

**ВИТЯГ**  
**з протоколу № 2/12**  
**засідання Наукової Ради**  
**ТОВ «Науково-дослідний інститут ДЕРЖВОДЕКОЛОГІЯ»**  
**від 5 грудня 2019 року**

**ПОРЯДОК ДЕННИЙ:**

Затвердження Програми «Створення природно-штучного біомеліоративного комплексу для забезпечення ефективної експлуатації Міжколгоспного-Дунайського магістрального каналу Кілійського міжрайонного управління водного господарства»

**СЛУХАЛИ:**

Звіт д.б.н., проф. Щербака В.І. про виконання науково-технічної роботи - розроблення Програми «Створення природно-штучного біомеліоративного комплексу для забезпечення ефективної експлуатації Міжколгоспного-Дунайського магістрального каналу Кілійського міжрайонного управління водного господарства»

**ВИСТУПИЛИ:**

Сидоренко О.В. (д.т.н., проф.) – оцінила позитивно виконану роботу за умови подальшого обов'язкового наукового супроводження Програми «Створення природно-штучного біомеліоративного комплексу для забезпечення ефективної експлуатації Міжколгоспного-Дунайського магістрального каналу Кілійського міжрайонного управління водного господарства» та можливості поетапного створення Природно-штучного біомеліоративного комплексу на Міжколгоспному-Дунайському магістральному каналі з використанням методології, розробленої та запатентованої науковцями НДІ ДЕРЖВОДЕКОЛОГІЯ

Гуць В.С. (д.т.н., проф.) – підтримав рішення  
Лебська Т.К. (д.т.н., проф.) – підтримала рішення  
Семенюк Н.Є. (к.б.н., ст.наук.співробітник) – підтримала рішення  
Туніцька А.О. (к.т.н., доц.) – підтримала рішення  
Романенко О.В. (к.т.н., доц.) - підтримала рішення  
Дончевська Р.С. (к.т.н., доц.) – підтримала рішення  
Євтушенко А.В. (к.вет.н., ст. наук. співроб.) – підтримав рішення  
Скарлат В.П. = підтримав рішення

**УХВАЛИЛИ:**

Затвердити науково-технічну роботу - Програма «Створення природно-штучного біомеліоративного комплексу для забезпечення ефективної експлуатації Міжколгоспного-Дунайського магістрального каналу Кілійського міжрайонного управління водного господарства»

Рішення прийнято одногосно.

Голова Наукової Ради

Секретар



О.В.Сидоренко

Н.О.Боліла

Для службового  
використання

ПОГОДЖЕНО  
Начальник  
Кілійського МУВГ  
С.А. Просяник



ЗАТВЕРДЖУЮ  
Замовник



ЗАТВЕРДЖУЮ  
Директор Науково-  
дослідного інституту  
«Держводекологія»,  
Д.Т.Н., проф.  
О.В. Сидоренко



| РОЗГЛЯНУТО І СХВАЛЕНО:                                  |  |
|---|--|
| на засіданні Вченої Ради НДІ<br>Держводекологія         | протокол № 2/12 від «05» грудня 2019 р., |
| на засіданні Науково-технічної Ради<br>Кілійського МУВГ | протокол № _____ від «» _____ 2019 р.    |

## ПРОГРАМА

**«Створення природно-штучного біомеліоративного  
комплексу для забезпечення ефективної експлуатації  
каналу Міжколгоспний-Дунайський Кілійського  
міжрайонного управління водного господарства»**

Київ 2019



(11) 101959

(19) UA

(51) МПК (2015.01)  
C02F 3/00

(21) Номер заявки: **u 2015 03296**

(22) Дата подання заявки: **07.04.2015**

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **12.10.2015**

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **12.10.2015, Бюл. № 19**

(72) Винахідники:  
**Щербак Володимир Іванович, UA,**  
**Коротецький Василь Павлович, UA,**  
**Сидоренко Олена Володимирівна, UA,**  
**Боліла Надія Олександрівна, UA,**  
**Якобчук Юлія Олександрівна, UA**

(73) Власники:  
**Щербак Володимир Іванович,**  
пр. Академіка Ковальова, 4,  
буд. 4, кв. 71, м. Київ, 03134,  
UA,  
**Коротецький Василь Павлович,**  
вул. Лайоша Гавро, 8, м. Київ,  
04211, UA,  
**Сидоренко Олена Володимирівна,**  
пр. П. Григоренка, 36, кв. 114,  
м. Київ, 02140, UA,  
**Боліла Надія Олександрівна,**  
пр. Маяковського, 17-г, кв. 32,  
м. Київ, 02222, UA,  
**Якобчук Юлія Олександрівна,**  
вул. Мілютенка, 6-а, кв. 100, м.  
Київ, 02156, UA

(54) Назва корисної моделі:

**СПОСІБ ПОКРАЩЕННЯ ПРИРОДНОЇ ЯКОСТІ ВОДИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СПЕЦІАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ ПРИРОДНО-ШТУЧНОГО БІОМЕЛІОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСУ**

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб покращення природної якості води та ефективності роботи спеціальних об'єктів водозабезпечення шляхом створення природно-штучного біомеліоративного комплексу, для чого проводиться комплексна обробка водойм мікроорганізмами та вселення риб-меліораторів, який відрізняється тим, що передбачається альголізація водойм суспензією зеленої мікроводорості штаму *Chlorella vulgaris* ІФР № С-111, *Chlorella vulgaris* (BIN), *Arthrospira platensis*, *Acutodesmus obliquus*, *Dunaliella salina*, *Spirulina* з коефіцієнтом пропускання 1,5-8 % в кількості 17-28 л на 1 млн м<sup>3</sup> води в глибоководній частині та 14-26 л/га в мілководній частині водойм з глибиною не більше 5 м, зариблюють рибами-меліораторами, з різним спектром живлення (фітопланктофаги, зоопланктофаги, їх гібриди, споживачі вищої водної рослинності, бентофаги),

## СПИСОК ВИКОНАВЦІВ

|   |                  |
|---|------------------|
| Керівник<br>пр.н.спів., д.б.н., проф.   | В.І. Щербак      |
| <i>Відповідальні виконавці:</i>   |                  |
| Президент Інтелектуального центру з<br>питань раціонального використання<br>водних ресурсів України,<br>Голова Федерації роботодавців та<br>підприємців рибогосподарської галузі<br>України,<br>д. т. н., проф. | В.П. Коротецький |
| ст.н.спів., к.б.н.  | О.В. Сидоренко   |
|   | Н.Є. Семенюк     |
| <i>Виконавці:</i>   |                  |
| к.б.н., н.спів.   | С.В.Кокодій      |
| к.в.н., ст.наук.спів.   | А.В. Євтушенко   |
| к.т.н., доц.  | О.В.Тимофєєва    |
| к.б.н., мол. наук. спів.  | В.М.Лисенко      |
| Голова ГО МС РОП<br>«Південьрибцентр»   | В.П.Скарлат      |
| пров. інж.  | Г.О. Гошовська   |
| Директор Асоціації «НАК<br>Акваресурси України»   | А.О.Антонов      |
| пров. інж.  | Г.М. Задорожна   |
| зав.лаб.  | Н.О.Боліла       |
| Аспірант  | О.О.Петрова      |

## Зміст

|  | <i>Стор.</i> |
|--|--------------|
| Вступ.....   | 8            |
| 1. Методи і матеріали натурних досліджень для створення природно-штучного біомеліоративного комплексу .....  | 12           |
| 2. Оцінка економічних та соціальних втрат від інтенсивного розвитку рослинності, бактеріо-, фіто-, зообростань .....   | 21           |
| 3. Фітопланктон.....   | 25           |
| 3.1 Структурно-функціональна організація фітопланктону .....   | 25           |
| 3.2 Енергетична і трофічна цінність фітопланктону як компоненту природно-штучного біомеліоративного комплексу .....  | 34           |
| 4. Макрофіти.....  | 41           |
| 4.1. Особливості формування угруповань макрофітів у каналах України.....   | 41           |
| 4.2. Характеристика макрофітів природно-штучного біомеліоративного комплексу .....   | 45           |
| 4.3. Енергетична і харчова цінність макрофітів .....   | 48           |
| 5. Епіфітон Міжколгоспного-Дунайського магістрального каналу.....  | 54           |
| 5.1. Якісне і кількісне різноманіття епіфітону .....   | 54           |
| 5.2. Оцінка енергетичного потенціалу і харчового ресурсу фітоепіфітону природно-штучного біомеліоративного комплексу .....   | 58           |
| 6. Зоопланктон та зообентос (зооперифітон).....  | 61           |
| 6.1. Якісна і кількісна характеристика зоопланктону .....  | 63           |
| 6.2. Якісна і кількісна характеристика зообентосу (зооперифітону) .....  | 67           |
| 7. Роль бактеріальних угруповань у різноманітті біоти каналу та функціонуванні природно-штучного біомеліоративного комплексу .....                                 | 69           |
| 8. Структура, функціонування і роль природно-штучного біомеліоративного комплексу в ефективній експлуатації Міжколгоспного-Дунайського магістрального каналу ..... | 73           |

|   |     |
|---|-----|
| 8.1. Наукова суть організації і функціонування природно-штучного біомеліоративного комплексу.....   | 73  |
| 8.2. Роль водоростей і ВВР у процесах самоочищення ↔ самозабруднення каналу.....  | 81  |
| 8.3. Оцінка якості води, кисневий режим і роль первинної продукції в їх формуванні.....   | 84  |
| 9. Іхтіофауна Міжколгоспного-Дунайського магістрального каналу.....   | 88  |
| 10. Умови іхтіологічної експлуатації, збереження, регулювання, науковий супровід оптимального функціонування природно-штучного біомеліоративного комплексу..... | 105 |
| 11. Проект формування іхтіологічної складової природно-штучного біомеліоративного комплексу.....  | 136 |
| 12. Правила експлуатації природно-штучного біомеліоративного комплексу.....   | 139 |
| Заключення.....   | 142 |
| Список використаних джерел.....   | 147 |
| Додатки.....  | 154 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МДМК – Міжколгоспний-Дунайський магістральний канал;

НС – насосна станція;

ПШБК - природно-штучний біомеліоративний комплекс;

ВВР – вища водна рослинність.



## ВСТУП

Канали – це штучні лотичні водні екосистеми зі специфічним гідрологічним, гідрохімічним і гідробіологічним режимами. Зокрема, до них відноситься і Міжколгоспний-Дунайський магістральний канал, який забирає воду з Дунаю і подає водоспоживачам Кілійського та Татарбунарського районів Одеської областей.

Довжина каналу МК – 25951 м.

Ширина каналу МК по дзеркалу – 30-50 м

Глибина МК – близько 4 м

Міжколгоспний-Дунайський канал здійснює водопостачання на Кілійську рисову зрошувальну систему, Мічуринську зрошувальну систему, Татарбунарську зрошувальну систему та являється джерелом наповнення Козійського, Дракулівського, Нерушайського, Дмитрівського та Кагачського водосховищ.

Канал здійснює водоподачу з річки Дунай та є самопливним каналом.

Відповідно до даних, розміщених на офіційній Інтернет-сторінці Кілійського міжрайонного управління водного господарства (<http://kuv.g.at.ua/index/vodoskhovishha/0-47>), та наших власних проведених досліджень, однією з проблем каналу Міжколгоспний-Дунайський є його постійне замулювання в головній частині на ділянці ПК0+00 -ПК21+00. Як відомо, р. Дунай, будучи джерелом якісної поливної води, несе велику кількість наносів, досягаючи до 370г/м<sup>3</sup>. Маючи вільне примикання до р. Дунай, в канал "Міжколгоспний-Дунайський" потрапляє значна кількість зважених наносів, які внаслідок зниження течії осідають в його головній частині, утворюючи "перекат" заввишки до 3-х метрів.

Перекази, що утворилися, зменшують поперечний переріз каналу Міжколгоспний-Дунайський і в обмежений період, при низьких рівнях води в р. Дунай значно зменшують потрапляння води в канал, порушуючи як режим

водоподачі на Татарбунарську зрошувальну систему, так і водообмін в Стенцівсько-Жебріянівських плавнях.

Відповідно до Акту обстеження транспортуючого каналу Міжколгоспний-Дунайський (17.10.2019 р.), довжина каналу складає 25951 м, ширина – від 30 до 50 м. Надмірне заростання каналу вищими водяними рослинами шкідливо впливає на технічний стан гідротехнічних споруд. Крім того, значна частина акваторії каналу прогрівається в літню пору, що сприяє „цвітінню” води.

За нашими даними, акваторія каналу заростає в найбільшій мірі такими вищими водяними рослинами, як очерет звичайний і сальвінія плаваюча. Фітопланктон Міжколгоспний-Дунайського каналу представлений 33 видами водоростей із відділів Cyanophyta (синьозелені), Euglenophyta (евгленові), Chrysophyta (золотисті), Bacillariophyta (діатомові), Chlorophyta (зелені). Найбільшим різноманіттям характеризуються діатомові водорості (70% від загальної кількості видів). Чисельність фітопланктону складає 3463 тис. кл/дм<sup>3</sup>, а біомаса – 1,136 г/м<sup>3</sup>. Основу чисельності формують синьозелені і діатомові водорості (56% і 42% відповідно), а основу біомаси – діатомові (59%), синьозелені (21%) і зелені водорості (19%). Домінуючий комплекс фітопланктону полідомінантний і представлений 7 видами синьозелених, діатомових і зелених водоростей. Сапробіологічна оцінка якості води Міжколгоспний-Дунайського каналу показала, що він відноситься до β-мезосапробної зони.

Заростання каналу водною рослинністю щорічно приводить до таких негативних наслідків:

- зменшується пропускна здатність каналу, що вимагає збільшення витрат електроенергії для забезпечення достатнім обсягом води водокористувачів;
- збільшується зношеність електричного та насосного устаткування на насосних станціях;
- виникає інтенсивне заростання на водозабірних спорудах, що потребує витрат робочого часу для їх очистки; як правило, при заростанні решіток

водозабірних споруд збільшуються витрати електроенергії при перекачуванні води із водойм у зрошувальні системи;

– вартість електроенергії зростає, а це означає, що при заростанні русла каналу водною рослинністю збільшуються витрати на електроенергію на усіх насосних станціях, що перекачують воду з магістрального каналу на зрошувальні системи та іншим водокористувачам;

– заростання русла каналу та цвітіння поверхневих вод призводить до погіршення якості води, яка забирається на водозаборах;

– за рік для водопостачання забирається значна кількість води, що вимагає значних додаткових витрат для її очистки;

– збільшення витрат на очистку води для водопостачання призводить до збільшення тарифів для населення та суб'єктів господарювання, що викликає соціальну напруженість та проблеми з оплатою за подану воду;

Враховуючи, що Кілійське міжрайонне управління водного господарства забезпечує водою споживачів у великих обсягах, втрати від заростання водних об'єктів значні, а розчистка від рослинності механічними засобами, враховуючи їх обсяги, кількість та витрати на придбання спеціальної техніки та пального, стає нереальною.

У складі програми визначені усі найбільш вагомні втрати від заростання русла каналу та визначено економічний ефект від застосування біомеліоративних заходів по їх підтриманню без заростання.

Важливими особливостями Міжколгоспного-Дунайського магістрального каналу (МДМК), які впливають на структуру і функціонування різних компонентів біоти, є те, що вода у канал надходить самотоком, а також те, що за типом водного живлення він належить до каналів, які беруть початок з рівнинних річок.

Провідним компонентом автотрофної ланки біоти каналу є фітопланктон – основний продуцент автохтонної органічної речовини і агент фотосинтетичної аерації і самоочищення водної товщі. Крім того, у каналі інтенсивно вегетують угруповання вищих водяних рослин, які мають важливе

значення для утилізації, трансформації і транспортування біогенних елементів і забруднювальних речовин. У той же час, їх інтенсивний розвиток може формувати біологічні загрози ефективній експлуатації каналу.

Важливу роль в екосистемі каналу відіграють прісноводні риби, молюски-фільтратори і ракоподібні. Проте наразі їх фауна є вивченою недостатньо. Ізоляція каналу від Дунаю і, разом з тим величезна площа водного дзеркала, дозволяють використовувати його для збільшення біологічного різноманіття і біологічної продуктивності за рахунок акліматизації цінних видів безхребетних і риб, що, відповідно, підвищить ефективність роботи каналу.

Структурно-функціональна організація бактеріальних угруповань в значній мірі визначає збалансованість процесів первинного продукування і деструкції органічних речовин.

Характеристика співвідношення первинної продукції та деструкції органічних речовин (A/R) – це не тільки показник біопотенціалу, але і провідна характеристика процесів самоочищення-самозабруднення, що в кінцевому результаті визначає якість водного середовища. Також бактерії в значній мірі визначають екологічний стан каналу.

Отже, високе різноманіття біотичних компонентів є необхідним базисом для створення Природно-штучного біомеліоративного комплексу, який в змозі забезпечити ефективну роботу МДМК.

В Програмі систематизовано та узагальнено дослідження, що проводились протягом 2019 р. безпосередньо на МДМК

## 1. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ НАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРИРОДНО-ШТУЧНОГО БІОМЕЛІОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСУ

Методи натурних досліджень включають комплекс різнопланових досліджень:

### I. Польові:

- дослідження біотичних характеристик (відбір проб гідробіонтів);
- визначення абіотичних характеристик екосистеми каналу, до яких належать гідрологічні, гідрохімічні, гідрофізичні.

### II. Лабораторні:

- гідрохімічний лабораторний аналіз;
- камеральне опрацювання проб гідробіонтів;
- аналіз, узагальнення отриманих натурних даних.

### *Польові методи досліджень*

Польові дослідження проводились на МДМК у березні – грудні 2019 р. Протягом експедиційного виїзду на кожній станції спостереження проводили вимір основних середовищеутворюючих абіотичних характеристик екосистеми каналу (температура води, прозорість води за диском Секкі, абсолютний і відносний вміст розчинного у воді кисню), відбирали проби води для визначення її гідрохімічного складу та проводили відбір проб гідробіонтів різних трофічних рівнів та екологічних груп (фітопланктон, макрофіти, фітомікроепіфітон, зоопланктон, зооперифітон, зообентос, бактеріальні угруповання, іхтіофауна).

### Абіотичні характеристики

*Температуру води* вимірювали для поверхневих, середніх і придонних горизонтів водної товщі за допомогою ртутного водного термометра з ціною ділення  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .

*Прозорість води* оцінювали за диском Секкі. Цей метод дозволяє оцінювати потужність фотичної зони і полягає у встановленні глибини, на якій

занурений у воду диск Секкі перестає бути видимим. Вимірювання проводили з тіньового боку човна.

*Вміст розчинного кисню* визначали методом Вінклера. Для цього відбирали проби води у кисневі склянки місткістю 100-110 мл з притертими пробками за допомогою батометра Руттнера. Для фіксації розчинного кисню в склянку додавали по 1 мл хлористого марганцю і лужного розчину йодистого калію. Осаду, що утворився давали відстоятися не менше 10 хв.

До необхідних сьогоденних польових аналізів входило йодометричне визначення вмісту розчинного кисню. Розчин у кисневих склянках підкислювали, додаючи 2 мл сірчаної кислоти з концентрацією 1:1 для розчинення осаду. У присутності надлишку йодистого калію в склянках утворювався йод, кількість якого була еквівалентною вмісту розчинного кисню і визначалась методом титрування розчином тіосульфату (Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод, 2006).

Під час польових досліджень було використано універсальний комплексний прилад *Combo Water Quality Meter, модель 8603* з метою оцінки температури, рН, електропровідності, мінералізації, вмісту розчинного кисню у воді безпосередньо у місцях відбору.

Відбір проб води для визначення її *гідрохімічного складу* проводили відповідно до загальноприйнятих методів (Алекин, 1970). Гідрохімічний аналіз включав визначення таких показників:

- загальна мінералізація води (сума іонів);
- іонно-сольовий склад: вміст сульфат-іонів ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), хлорид-іонів ( $\text{Cl}^-$ ), гідрокарбонатів ( $\text{HCO}_3^-$ ), катіонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ;
- вміст біогенних елементів: неорганічних сполук азоту ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) і фосфору ( $\text{PO}_4^{3-}$ );
- біхроматна і перманганатна окиснюваність (БО і ПО).

#### Біотичні характеристики

##### *Відбір проб фітопланктону*

Відбір проб для визначення видового складу і кількісного розвитку фітопланктону проводили батометром Рутнера. Для врахування вертикальної динаміки водоростей і мінімізації похибки, зумовленої їх міграцією в товщі води, проби фітопланктону відбирали з поверхневого і придонного горизонтів водної товщі. Проби відбирали і зберігали в пластикових пляшках, пронумерованих і відкаліброваних на  $0,5 \text{ дм}^3$ . Для консервації водоростей планктону з метою їх подальшого камерального опрацювання використовували 40% розчин формальдегіду із розрахунку 1:100, проби щільно закривали кришками і ставили в темний ящик (Щербак, 2002).

Інтенсивність первинної продукції фітопланктону розраховували за вмістом кисню та із врахуванням прозорості води для оцінки потужності фотичної зони (Щербак, 2002).

#### *Відбір проб макрофітів*

Відбір проб макрофітів для визначення їх видового складу, фітомаси і продукції здійснювали на облікових ділянках площею  $0,25 \text{ м}^2$ .

У процесі обробки проби рослин відмивали від бруду і звільняли, наскільки це можливо, від наростань. Рослини складали у поліетиленові мішки і транспортували в лабораторію (Методи, 2006).

#### *Відбір проб фітомікроепіфітону*

Проби фітомікроепіфітону відбирали із домінуючих видів занурених ВВР у МДМК: рдесника пронизанолистого, водопериці колосової, різухи морської і валіснерії спіральної. Фрагменти рослин обережно зрізали під водою, вміщували в широкогорлі склянки, заливали дистильованою водою і консервували 40% розчином формальдегіду із розрахунку 1:20. Кожну пробу супроводжували етикеткою (Методи, 2006).

Продукцію фітомікроепіфітону на домінуючих видах ВВР визначали склянковим методом у кисневій модифікації (Жукова, 2005).

#### *Відбір проб зоопланктону*

Проби зоопланктону відбирали шляхом зачерпування води з поверхневого горизонту каналу з проціджуванням через планктонну сітку

Джеді з млинового сита №62. Сконцентрований у стаканчику сітки зоопланктон зливався у скляну банку місткістю  $100 \text{ см}^3$  і консервувалася 40% розчином формальдегіду із розрахунку 1:10. Кожна відібрана проба супроводжувалася етикеткою (Методи, 2006).

#### *Відбір проб зообентосу і зооперифітону*

Проби зообентосу і зооперифітону відбирали за допомогою малого дночерпака Петерсена, промивали через спеціальний сачок, переливали до широкогорлої склянки об'ємом  $0,5 \text{ дм}^3$  і консервували 40% розчином формальдегіду з розрахунку 1:10 (Методические рекомендации..., 1984).

#### *Польове дослідження бактеріальних угруповань*

Проби бактеріопланктону, бактеріобентосу, бактеріоперифітону для визначення структурних показників бактеріальних угруповань (чисельності, морфологічних характеристик) та інтенсивності бактеріальної деструкції відбирали у стерильні склянки з притертою пробкою. Пробка закривалася стерильним поліетиленовим ковпачком і зав'язувалася ниткою.

#### *Польове дослідження іхтіофауни*

Лови було здійснено за участю співробітників Кілійського МУВГ наступними знаряддями: підхват 70 на 80 м, вічко 60 мм, а також ставні сітки 22 шт. (довжина 90 м, висота 4 м, що були розташовані наступним чином: ПК 882-890 – 8 сіток, ПК 922-930 – 7 сіток, ПК 945-952 – 7 сіток). Параметри сіток наступні: з вічком 50 мм – 1 сітка, 60 мм – 3 шт., 75мм – 5 шт., 13 шт – 80 мм, а також ставні сітки довжиною 75 м, висота 1,8 м, вічко 45мм – 5 шт.

#### *Лабораторні методи досліджень*

##### *Лабораторне дослідження фітопланктону*

Для камерального дослідження проб фітопланктону проводилось їх згущення методом седиментації. Проби відстоювалися протягом 2 тижнів у затемненому прохолодному місці, після чого воду над водоростями, що осіли, збирали спеціальним сифоном, залишаючи над осадом шар води 5–8 см. Залишок проби об'ємом не менш ніж  $100 \text{ см}^3$  переливали у посуд меншої місткості і починали їх мікроскопування.



Мікроскопування фітопланктону здійснювали під світловим мікроскопом марки Carl Zeiss при величині окуляра  $K 7^{\times}$ , об'єктива –  $\times 20$ , для більш точного визначення – величина окуляра  $K 9^{\times}$ , а об'єктива –  $\times 40$ . Для встановлення видової приналежності дрібноклітинних форм діатомових і синьозелених водоростей використовувався імерсійний об'єктив –  $\times 90$ . Визначення видового складу проводилося за допомогою визначників прісноводних водоростей. Підрахунок чисельності водоростей проводився в лічильній камері Нажотта об'ємом  $0,02 \text{ см}^3$ . Чисельність фітопланктону перераховували на  $1 \text{ дм}^3$  води згідно з загальноприйнятою формулою (Щербак, 2002).

Біомаса водоростей визначалася розрахунково-об'ємним методом. Для цього підраховували чисельність конкретного виду і вимірювали об'єми клітин водоростей стереометричним методом, в основі якого лежать прирівнювання форм водоростей до геометричних тіл, подібних до даної морфологічної форми: куля, паралелепіпед, циліндр, конус, октаедр тощо, і розрахунок їх об'єму за загальноприйнятими геометричними формулами (Щербак, 2006). Вимірювання лінійних розмірів водоростевих клітин (радіус, діаметр, висота, довжина) виконувалося за допомогою окуляр-мікрометра з вимірювальною лінійкою. Відносна густина прісноводних водоростей в залежності від систематичного відділу до води приймалася за  $1,00\text{--}1,05$ .

Видами-домінантами вважали види, чисельність чи біомаса яких складала не менш ніж 10% від загальної чисельності (біомаси) проби фітопланктону (Щербак, Кузьменко, 1984).

При визначенні запасів фітопланктону МДМК середню біомасу фітопланктону за різних варіантів його розвитку перемножували на загальний об'єм води у каналі. Для розрахунку вмісту білків, жирів і вуглеводів співвідношення сухої і сирої біомаси фітопланктону при домінуванні синьозелених водоростей було прийнято за 1:14 (Іванов, 1968); Енергетичну цінність сирої біомаси фітопланктону було прийнято за  $0,8 \text{ ккал/г}$  (Михеева, 1970).

### *Лабораторні дослідження макрофітів*

У лабораторії макрофіти за допомогою фільтрувального паперу звільняли від зайвої води і зважували на технічних терезах, визначаючи їх сиру фітомасу. Потім макрофіти висушували у сушильній шафі за температури  $105^{\circ}\text{C}$  до постійної ваги, охолоджували в ексікаторі і зважували на аналітичних терезах для визначення абсолютно-сухої маси (Методи, 2006). Сирі і абсолютно-сухі фітомасу перераховували на  $1 \text{ м}^2$ .

Запаси фітомаси макрофітів визначали за середньою для виду фітомасою і приблизною площею, яку вони займають у каналі.

Для розрахунку біопродукційного потенціалу вищих водяних рослин використовували Р/В-коефіцієнт  $1,1 \times \text{рік}$ . Р/В-коефіцієнт нитчастих водоростей було прийнято за  $16,5 \times \text{рік}$  (Растительность, 1989).

Енергетичну цінність біомаси вищих водяних рослин і нитчатих водоростей було прийнято за  $4 \text{ ккал/г}$  сухої маси (Киевское водохранилище, 1972).

### *Лабораторні дослідження фітомікроепіфітону*

У лабораторних умовах із зібраних фрагментів рослин щіточкою ретельно змивали обростання. Відмиті від епіфітів фрагменти рослин висушували у сушильній шафі за температури  $80\text{--}105^{\circ}\text{C}$  до постійної маси, потім зважували на аналітичних вагах з метою подальшого перерахунку кількісних показників (чисельність, біомаса) водоростей обростань на одиницю абсолютно-сухої маси рослин-субстратів за загальноприйнятою формулою (Костикова, 1977; Методи, 2006).

Розрахунки запасів фітомікроепіфітону, його середню біомасу визначали перемноженням на запаси фітомаси ВВР у МДМК.

Для розрахунку вмісту поживних речовин у фітомікроепіфітоні (білків, жирів, вуглеводів) співвідношення його сухої і сирої біомаси при домінуванні діатомових водоростей було прийнято за 1:10. Енергетичну цінність сирої біомаси фітомікроепіфітону приймали за  $0,8 \text{ ккал/г}$  (Макаревич, 1985).

### *Лабораторні дослідження зоопланктону*

Відібрані проби зоопланктону опрацьовувались під біокуляром МБС-9 у камері Богорова. Визначався видовий склад всіх організмів у пробі за допомогою визначників, з підрахуванням кількості представників кожного виду. Для визначення біомаси чисельність виду перемножувалась на його стандартну індивідуальну масу. Чисельність і біомасу зоопланктону перераховували на  $1 \text{ м}^3$  (Киселев, 1969).

*Лабораторні дослідження зообентосу і зооперифітону*

У лабораторії усі організми, знайдені в пробі, розбирались за систематичними групами, далі проводилось визначення окремих видів, і підраховувалась загальна кількість тварин у кожному таксоні. Отримані дані сумувались і таким чином визначалась чисельність усіх організмів в пробі.

Далі проводився перерахунок чисельності на  $1 \text{ м}^2$  площі дна.

Біомаса крупних представників зообентосу і зооперифітону визначалась зважуванням після обсушування на фільтрувальному папері на торзійних терезах (великі організми зважувались на аптекарських терезах). Отримана сумарна біомаса перераховувалась на  $1 \text{ м}^2$  площі дна (Кафтанникова, Протасов, 1978).

*Лабораторні дослідження бактеріальних угруповань.*

Структурні показники бактерій (чисельність, морфологічні характеристики) визначали методом світлооптичної мікроскопії. Мікроорганізми концентрувались на поверхні мембранних фільтрів і забарвлювались барвниками. Використовувався імерсійний об'єктив  $\times 100$ , окуляр  $10^{\times}$  (Методи, 2006).

*Лабораторні дослідження іхтіофауни.*

*Морфологічний аналіз.* Морфометрія здійснювалася за стандартною методикою (Правдин И. Ф., 1966). В морфометричний аналіз були включені наступні 20 пластичних ознак: L - максимальна довжина; l - промислова довжина; r - довжина риля; o - діаметр ока; ро – заочноямкового відділу голови; с - довжина голови; hc - висота голови у потилиці; Н - найбільша висота тіла; h - найменша висота тіла; aD - антедорсальна відстань; pD - постдорсальна

відстань;  $pl$  - довжина хвостового стебла;  $ID$  - довжина основи спинного плавця;  $hD$  - найбільша висота спинного плавця;  $IA$  - довжина основи анального плавця;  $hA$  - найбільша висота анального плавця;  $IP$  - довжина грудного плавця;  $IV$  - довжина черевного плавця;  $PV$  - відстань між основами грудного і черевного плавців;  $AV$  - відстань між основами черевного і анального плавців. Крім того, аналізувалися і меристичні ознаки:  $D$  - кількість гіллястих променів у спинному плавці;  $A$  - кількість гіллястих променів в анальному плавці;  $P$  - кількість променів в грудному плавці;  $V$  - кількість променів в лівому черевному плавці;  $l.l.$  - кількість лусок в бічній лінії;  $sp. br.$

- кількість зябрових тичинок на першій зябрової дузі з лівої сторони тіла.

*Біологічний аналіз.* Стать особин визначалася за наявністю жіночих або чоловічих органів, статева зрілість - за розвитком статевих продуктів та гонад.

*Електрофоретичний аналіз.* Риба привозилася в лабораторію в живому стані,

де проводився відбір проб м'язів і крові для біохімічного генного маркування. Для електрофоретичного аналізу відбиралися шматочки спинних

м'язів, які перед електрофорезом заливалися розчином 10% сахарози і бромфенолового синього. Проби настоювалися не менше ніж 12 годин, після

чого отриманий розчин використовувався для дослідження. Якщо електрофоретичний аналіз не проводився в день препарування матеріалу,

проби заморожувалися. Також для електрофоретичного аналізу відбиралася

кров у риб з серцевої сумки, кров готували до електрофорезу за описаною вище схемою.

Електрофоретичному аналізу в 7,5% поліакриламідному гелі в трис-ЕДТА- $Na_2$ -боратній рН 8,5 системі (F.C. Peacock, S.L. Bunting, K.G., 1965) були піддані ферменти, які кодуються діагностичними для карасів локусами (Межжерин С.В., Кокодий С.В., Павленко Л.И., 2007), а саме: аспартатамінотрансферази (Aat-1, Aat-2) (час разгонки білків 2,5 години), які кодують розчинну і мітохондріальну форми; глюкозофосфатізомерази (Gpi-1, Gpi-2), лактатдегідрогенази (Ldh A, Ldh-B) (час разгонки білків 1,5 години), неспецифічні естерази (Es-1, Es-2) (час разгонки білків 2,5 години), загальний

білковий спектр м'язів (Pt-1, Pt-2, Pt-3, Pt-4), а також білки крові - гемоглобіни (Hb) і трансферин (Tf) розганялися протягом 2,5 годин. Фарбування ферментів і гелів на загальний білок проводилося за стандартними методиками (Harris H., Hopkinson D.A., 1976).

*Цитометричний аналіз.* Плоїдність карасів визначалася методом цитометрії, надійність якого підтверджена багатьма дослідниками (Васильєв В. П. 1985., А. И. Горюнова, 1960, С. В. Межжерин, Т. Ю. Чудагорова, 2001, — №9. — С.153—157.; Межжерин С.В. Генетическая структура популяций карасей (Cypriniformes, Cyprinidae, Carassius L., 1758), населяющих водоемы Среднеднепровского бассейна / С.В. Межжерин, И.Л. Лисецкий // Цитология и генетика. — 2004. — Т.38. — №5. — С.45— 54.; Черфас Н. Б. Естественная триплоидия у самок однополрой формы серебряного карася (*Carassius auratus gibelio* Bloch.) / Н. Б. Черфас // Генетика. — 1966а. — Т. 2. — №5. — С. 16— 24.; Sezaki K. Size of erythrocytes in the diploid and triploid specimens of *Carassius auratus langsdorfii* / К. Sezaki, Н. Kobayashi, М. Nakamura / К. Sezaki, Н. Kobayashi, М. Nakamura // Jap. J. Ichthyol. — 1977. — Vol. 24, №2. — P.135— 140.; Shimuzu Y. Electrophoretic studies of diploid, triploid, and tetraploid forms of the Japanese silver crucian carp, *Carassius auratus langsdorfii* / Y. Shimuzu, O. Oshiro, M. Sakaizumi // Jap. J. Ichthyol. — 1993. — V. 40. — N 1. — P. 65—75.]

Цитометричний аналіз проводився за стандартною методикою. За допомогою піпетки Пастера кров відбиралася безпосередньо з серця, після чого на предметному склі робився мазок. Отримані мазки крові сушилися протягом декількох годин, потім фіксувалися в 96% етанолі (15-20 хвилин). Фарбування проводилося розчином Гімзи за Романовським. Вимірювання еритроцитів здійснені за допомогою мікроскопа МБС збільшення об'єктива ( $\times 100$ ), окуляра ( $\times 16$ ). На кожному мазку вимірювалося щонайменше 20 еритроцитів. Площа кров'яних клітин представлена в мікрометрах, як площа прямокутника, в який вписана проекція клітини. З цитометричного аналізу були виключені нестатевозрілі екземпляри карасів, площа еритроцитів яких була значно меншою, ніж у дорослих особин.

## 2. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНИХ ТА СОЦІАЛЬНИХ ВТРАТ ВІД ІНТЕНСИВНОГО РОЗВИТКУ РОСЛИННОСТІ, БАКТЕРІО-, ФІТО-, ЗООБРОСТАНЬ МДМК

Після введення МДМК почало інтенсивно розвиватись зрошувальне землеробство, яке сприяло зайнятості місцевого населення, відповідно змінилась соціальна ситуація, з'явилися інші, крім землеробства, види зайнятості, покращилися санітарні умови для населення.

Із МДМК вода подається у канали інших зрошувальних систем: Мічуринську зрошувальну систему, Татарбунарську зрошувальну систему та являється джерелом наповнення Козійського, Дракулівського, Нерушайського, Дмитрівського та Кагачського водосховищ.

В останні роки потреби у воді зростають. Тенденція до зростання заборів води буде продовжуватись, оскільки прийнята Державна програма розвитку зрошувального землеробства, й інвестиції у цю галузь також зростають. Крім того, розвивається водопостачання населених пунктів.

Магістральний канал забезпечує водою зрошувальне землеробство, а обсяги водопостачання є значними, і його надійна та ефективна робота забезпечує стабільний соціально-економічний розвиток регіону.

Однією з головних проблем, що негативно впливає на роботу каналу, є його заростання водною рослинністю, масовий розвиток фітопланктону та бактеріо-, фіто- і зоообростань.

Це призводить до таких *негативних наслідків*:

– зменшення пропускної здатності каналу, що вимагає додаткових витрат електроенергії споживачів та підвищення мінералізації поверхневих вод;

– забруднення та заростання гідроспоруд магістрального каналу - їхня очистка вимагає додаткових робіт і, як наслідок, збільшення затрат на водопостачання та додаткових витрат електроенергії;

– збільшення випаровування з водної поверхні каналу за умови інтенсивного заростання і, як наслідок, значно підвищується витрата електроенергії та зменшення рівня води;

– погіршення якості води, що зумовлює додаткові затрати коштів для її очистки.

Отже, внаслідок проведеної експертної оцінки основних чинників зниження економічної ефективності роботи МДМК від біологічних перешкод визначено *необґрунтовані витрати на:*

– електроенергію на насосних станціях;

– очищення водозабірних споруд від водної рослинності, бактеріо-, фіто, зоообростань;

– водопідготовку води, що відбирається з каналу.

Крім того, варто зазначити, що внаслідок біологічних перешкод відбуваються втрати води як корисного природного ресурсу при її інтенсивному випаровуванні з поверхні каналу.

Заростання водойм, у тому числі каналів, масовий розвиток фітопланктону в них, є негативним явищем, з яким стикаються водогосподарські організації як в Україні, так і в інших країнах.

Відповідно до проведених аналітичних досліджень, на сьогодні існує ряд традиційних, але не дуже ефективних способів очистки водойм від рослинності:

1. Механічне викошування ВВР. Для цього використовуються спеціально створені плаваючі механізми, які, як правило, використовуються на невеликих водоймах у рибогосподарських організаціях. Більш сучасним і високопродуктивним та економічним є плаваючий багатофункціональний механізм TRUXOR, що виробляється в Швеції. Головним недоліком цього методу видалення водної рослинності є те, що викошування проходить на глибині 1–1,5 м і відбувається швидке відновлення.

2. Метод боротьби з водною рослинністю та масовим розвитком фітопланктону за допомогою *хімічних препаратів*, що взагалі недопустимо у водоймах, які використовуються для зрошення та питного водопостачання.

3. Широко поширений метод очистки від водної рослинності та „цвітіння” води фітопланктоном шляхом впровадження *біомеліоративних заходів*. Вперше масштабно цей метод був впроваджений у 60-і роки минулого століття на Каракумському каналі, де проводились перші дослідження по вселенню рослиноїдних риб: строкатого товстолоба та білого амура. Наразі цей метод набув широкого застосування на водоймах теплових електростанцій, водосховищах комплексного призначення та рибних ставках. З 2010 р. зазначений метод впроваджується для очистки від рослинності каналу Дніпро – Донбас. Позитивний результат досягнуто на 50-ти км каналу.

Також, у 2016 році технологія ПШБК НДІ «Держводекологія» запроваджена на Головному Каховському Магістральному Каналі – ГКМК, де вона показала позитивні результати за умови системного наукового супроводження робіт.

У даній Програмі науковцями НДІ «Держводекологія», з урахування досвіду науково-практичних робіт в даній галузі, передбачається створення та підтримання *Природно-штучного біомеліоративного комплексу* для забезпечення ефективної експлуатації Міжколгоспний-Дунайського магістрального каналу Кілійського МУВГ відповідно до запатентованої авторської методології [1].

Попередня оцінка витрат на впровадження ПШБК підтверджує економічну ефективність запропонованих заходів та підвищує стабільність роботи каналу з гарантованим забезпеченням водою усіх галузей економіки та населення.

Таким чином, найбільш ефективне використання методу біологічного очищення води вимагає поглибленого вивчення біоти водного середовища з метою розробки для конкретного водного об'єкту та конкретних умов



технології впровадження та режиму експлуатації біомеліоративного комплексу.

### 3. ФІТОПЛАНКТОН

#### 3.1. Структурно-функціональна організація фітопланктону МДМК

У каналах України, незалежно від їхнього типу, масштабності, призначення, інтенсивності експлуатації чи будь-яких інших техніко-економічних характеристик, провідним біотичним компонентом є фітопланктон – угруповання мікроскопічних водоростей, що вегетують у водній товщі. При цьому фітопланктон – це високодинамічна складна біологічна система, для якої характерна просторово-часова як структурна, так і функціональна організація. Специфіка ж фітопланктону конкретного каналу, зокрема, і його структурно-функціональна характеристика значною мірою залежить від їх типу живлення. Фітопланктон каналів, які беруть початок з Дунаю, і до яких належить МДМК, характеризується високим видовим і кількісним різноманіттям. Цьому сприяють такі чинники, як достатня кількість біогенних елементів, висока мінералізація, помірна швидкість течії, каламутність, швидке прогрівання товщі води.

Алохтонний фітопланктон, який потрапляє до каналу з Дунаю, змінюється в результаті випадіння одних видів водоростей, розмноження інших, а також внаслідок потрапляння організмів з донних біоценозів. Тому видовий склад фітопланктону в каналах визначається, в основному, таким фітопланктоном, який властивий вододжерелу.

У цілому, в різні сезони року для МДМК провідна роль у видовому складі фітопланктону належить діатомовим (27–45% загальної кількості видів), зеленим (30–45%) і синьозеленим водоростям (16–23%). Частка водоростей інших відділів – золотистих, динофітових, жовтозелених, евгленових – не перевищує 5%.

Виходячи з аналізу нечисленних матеріалів, представлених у доступних джерелах, фітопланктон каналу характеризується високим кількісним різноманіттям. Зокрема, в літній період його біомаса складає від 0,29 до

0,49 г/м<sup>3</sup>, в осінній – 0,19–1,37 г/м<sup>3</sup>. Провідне значення у її формуванні відіграють діатомові, зелені, синьозелені і динофітові водорості.

Згідно з нашим аналізом натурних проб, відібраних у поточному році під час польових досліджень, встановлено, що літній фітопланктон характеризувався високим таксономічним різноманіттям на всіх рівнях систематичної ієрархії і належав до 6 відділів, 10 класів, 15 порядків, 25 родів і 34 видів і внутрішньовидові таксони (в. в. т.).

У цілому ж, таксономічне різноманіття літнього фітопланктону каналу представлено в табл. 3.1.

*Таблиця 3.1*

**Таксономічне різноманіття літнього фітопланктону МДМК**

| Відділ          | Клас | Порядок | Рід | Вид (в.в.т.) |
|-----------------|------|---------|-----|--------------|
| Cyanophyta      | 2    | 3       | 5   | 9            |
| Cryptophyta     | 1    | 1       | 1   | 2            |
| Chrysophyta     | 1    | 1       | 1   | 1            |
| Dinophyta       | 1    | 1       | 1   | 1            |
| Bacillariophyta | 3    | 6       | 14  | 15           |
| Chlorophyta     | 2    | 3       | 4   | 6            |

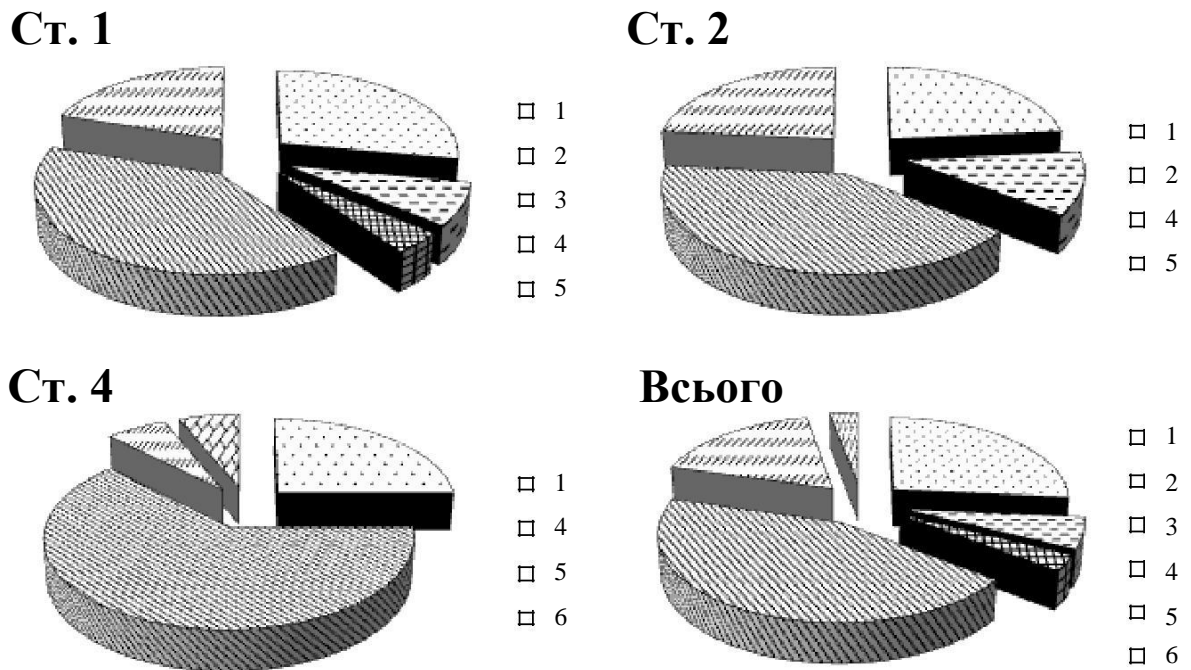
Аналіз структурної організації таксономічного різноманіття літнього фітопланктону на прикладі деяких станцій (табл. 3.2) показав, що його провідними відділами були: Cyanophyta, Bacillariophyta і Chlorophyta, а представники інших відділів суттєвого значення у формуванні таксономічного різноманіття не мали. Кількість в. в. т. у різних альгологічних пробах на представлених станціях коливалась від 10–11 до 16–24 таксонів.

**Структурна організація таксономічного різноманіття фітопланктону  
каналу влітку 2019 р.**

| Відділ          | Ст. 1                   |                | Ст. 2                   |                | Ст. 4                   |                | Σ               |
|-----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-----------------|
|                 | Поверхневі<br>Горизонти | Дно            | Поверхневі<br>горизонти | Дно            | Поверхневі<br>горизонти | Дно            |                 |
| Cyanophyta      | $\frac{6}{29}$          | $\frac{7}{44}$ | $\frac{2}{20}$          | $\frac{3}{27}$ | $\frac{4}{40}$          | $\frac{3}{23}$ | $\frac{9}{26}$  |
| Cryptophyta     | $\frac{2}{10}$          | $\frac{2}{13}$ | $\frac{2}{20}$          | –              | –                       | –              | $\frac{2}{6}$   |
| Chrysophyta     | $\frac{1}{5}$           | –              | –                       | –              | –                       | –              | $\frac{1}{3}$   |
| Dinophyta       | –                       | –              | –                       | –              | $\frac{1}{10}$          | –              | $\frac{1}{3}$   |
| Bacillariophyta | $\frac{8}{38}$          | $\frac{4}{25}$ | $\frac{4}{40}$          | $\frac{5}{45}$ | $\frac{4}{40}$          | $\frac{9}{69}$ | $\frac{15}{44}$ |
| Chlorophyta     | $\frac{4}{19}$          | $\frac{3}{19}$ | $\frac{2}{20}$          | $\frac{3}{27}$ | $\frac{1}{10}$          | $\frac{1}{8}$  | $\frac{6}{18}$  |

Важливо наголосити, що порівняльний аналіз якісного різноманіття по вертикальному розподілу водоростей не встановив достовірної відмінності. Так, на станції №1 у поверхневих горизонтах було знайдено 21 в. в. т., в придонних – 16 в. в. т., а на станції №4 ці показники відповідно склали 10 і 13 в. в. т. При цьому глибини на обох станціях були близькими – 4 м.

У структурі кількісного різноманіття червневого фітопланктону за чисельністю (*N*) домінували Cyanophyta з величинами до 9,50– 13,73 млн. кл/дм<sup>3</sup>, що складало 93–97% від загальної кількості фітопланктону. У якості графічної ілюстрації викладених вище даних приводимо рис. 3.1.



**Рис. 3.1. Структура таксономічного різноманіття літнього фітопланктону каналу: 1 – Cyanophyta, 2 – Cryptophyta, 3 – Chrysophyta, 4 – Bacillariophyta, 5 – Chlorophyta, 6 – Dinophyta.**

Відповідно, максимальні величини біомаси ( $B$ ) з окремих відділів водоростей планктону –  $1,32\text{--}1,49 \text{ г/м}^3$ , що складало  $72\text{--}73\%$  від загальної біомаси фітопланктону, також належали синьозеленим водоростям.

Характеристика вертикального розподілу кількісного різноманіття фітопланктону показує, що статистично достовірних відмінностей між величинами чисельності і біомаси як у поверхневих, так і в придонних горизонтах не встановлено, що співпадає з якісними показниками.

У цілому, приклад структурної організації червневого фітопланктону, його вертикальний розподіл по деяким моніторинговим станціям представлено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

## Структурна організація чисельності та біомаси фітопланктону, червень 2019 р.

| Відділ          | Чисельність, тис. кл/дм <sup>3</sup> |             |            |            |              |            | Біомаса, мг/дм <sup>3</sup> |             |             |            |             |             |
|-----------------|--------------------------------------|-------------|------------|------------|--------------|------------|-----------------------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|
|                 | Ст. 1                                |             | Ст. 2      |            | Ст. 4        |            | Ст. 1                       |             | Ст. 2       |            | Ст. 4       |             |
|                 | Пов.                                 | Дно         | Пов.       | Дно        | Пов.         | Дно        | Пов.                        | Дно         | Пов.        | Дно        | Пов.        | Дно         |
| Cyanophyta      | 637                                  |             | 289        | 292        |              | 724        |                             |             | 0,1         |            |             |             |
|                 | <u>5</u>                             | <u>9502</u> | <u>1</u>   | <u>5</u>   | <u>13753</u> | <u>2</u>   | <u>1,32</u>                 | <u>0,79</u> | <u>0,07</u> | <u>0</u>   | <u>1,49</u> | <u>0,37</u> |
|                 | 86                                   | 93          | 85         | 93         | 97           | 74         | 73                          | 69          | 31          | 33         | 72          | 22          |
| Cryptophyta     | <u>289</u>                           | <u>104</u>  | <u>42</u>  | -          | -            | -          | <u>0,05</u>                 | <u>0,02</u> | <u>0,01</u> | -          | -           | -           |
|                 | 4                                    | 1           | 1          | -          | -            | -          | 3                           | 2           | 5           | -          | -           | -           |
| Chrysophyta     | <u>11</u>                            | -           | -          | -          | -            | -          | <u>0,001</u>                | -           | -           | -          | -           | -           |
|                 | <1                                   | -           | -          | -          | -            | -          | 0,1                         | -           | -           | -          | -           | -           |
| Dinophyta       | -                                    | -           | -          | -          | <u>29</u>    | -          | -                           | -           | -           | -          | <u>0,29</u> | -           |
|                 | -                                    | -           | -          | -          | <1           | -          | -                           | -           | -           | -          | 14          | -           |
| Bacillariophyta | <u>588</u>                           | <u>459</u>  | <u>437</u> | <u>118</u> | <u>342</u>   | <u>251</u> | <u>0,24</u>                 | <u>0,19</u> | <u>0,11</u> | <u>0,0</u> | <u>0,14</u> | <u>1,16</u> |
|                 | 8                                    | 4           | 13         | 4          | 2            | 25         | 13                          | 16          | 47          | 20         | 7           | 68          |
|                 |                                      |             |            |            |              |            |                             |             |             |            |             |             |
| Chlorophyta     | <u>189</u>                           | <u>163</u>  | <u>42</u>  | <u>118</u> | <u>86</u>    | <u>96</u>  | <u>0,19</u>                 | <u>0,15</u> | <u>0,04</u> | <u>0,1</u> | <u>0,15</u> | <u>0,17</u> |
|                 | 3                                    | 2           | 1          | 4          | 1            | 1          | 10                          | 13          | 17          | 47         | 7           | 10          |
|                 |                                      |             |            |            |              |            |                             |             |             |            |             |             |

\* Над рискою – чисельність, біомаса відділу; під рискою - % від загальної чисельності (біомаси); «-» - представників відділу не виявлено.

Аналогічною структурною організацією з домінуванням Cyanophyta, вертикальним розподілом характеризувався і липневий фітопланктон МДМК, але його кількісні показники були значно вищими і складали, відповідно, – 18,24–25,38 млн. кл/дм<sup>3</sup> і 4,21–6,38 г/м<sup>3</sup>.

Домінуючий комплекс літнього фітопланктону формували 11 видів водоростей, з яких 6 видів, що складало 55%, належали до Cyanophyta, і значно в менших долях були представлені планктонні форми Bacillariophyta і Chlorophyta.

Структурна організація домінуючого комплексу фітопланктону: видовий склад, величини чисельності, біомаси, їх відносне значення у відповідних інтегральних показниках всього фітопланктону представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

## Структура та екологічно-морфологічна характеристика домінуючого комплексу літнього фітопланктону МДМК

| Домінуючі види           | Морфологічна характеристика клітини |         |            | Ст. 1              |                   |                    |                   | Ст. 2              |                   |                    |                   | Ст. 4              |                   |                    |                   |
|--------------------------|-------------------------------------|---------|------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|                          |                                     |         |            | Пов.               |                   | Дно                |                   | Пов.               |                   | Дно                |                   | Дно                |                   | Пов.               |                   |
|                          | розміри<br>μ                        | форма   | об'єм, мкм | N, тис. зкл/л<br>м | B, мг/зДМ         | N, тис. зкл/л<br>м | B, мг/зДМ         | N, тис. зкл/л<br>м | B, мг/зДМ         | N, тис. зкл/л<br>м | B, мг/зДМ         | N, тис. зкл/л<br>м | B, мг/зДМ         | N, тис. зкл/л<br>м | B, мг/зДМ         |
| Anabaena flos-aquae      | Ø 5                                 | куля    | 180        | -                  | -                 | $\frac{1066}{10}$  | $\frac{0,19}{17}$ | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{2907}{20}$  | $\frac{0,52}{25}$ | -                  | -                 |
| Anabaena scheremetievi   | д. 8<br>ш. 10                       | еліпс   | 654        | $\frac{1499}{20}$  | $\frac{0,98}{54}$ | $\frac{326}{3}$    | $\frac{0,21}{18}$ | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 |
| Aphanizomenon flos-aquae | д. 7<br>ш. 5                        | циліндр | 100        | -                  | -                 | $\frac{1421}{14}$  | $\frac{0,14}{12}$ | $\frac{635}{19}$   | $\frac{0,06}{27}$ | -                  | -                 | $\frac{8395}{59}$  | $\frac{0,84}{41}$ | -                  | -                 |
| Asterionella formosa     | д. 85<br>ш. 2                       | циліндр | 314        | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{169}{5}$    | $\frac{0,05}{21}$ | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 |
| Diplopsalis acuta        | д. 34<br>ш. 46                      | ромб    | 10256      | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{29}{<1}$    | $\frac{0,29}{14}$ | -                  | -                 |
| Fragilariforma virescens | д. 65<br>ш. 8                       | циліндр | 287        | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{141}{4}$    | $\frac{0,04}{17}$ | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{1445}{15}$  | $\frac{0,42}{24}$ |
| Gloeocapsa minima        | Ø 7                                 | куля    | 33         | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{2323}{73}$  | $\frac{0,08}{27}$ | -                  | -                 | -                  | -                 |
| Melosira varians         | д. 21<br>ш. 10                      | циліндр | 3462       | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{64}{<1}$    | $\frac{0,22}{13}$ |
| Neidium productum        | д. 70<br>ш. 26                      | циліндр | 7326       | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{32}{<1}$    | $\frac{0,24}{14}$ |
| Oscillatoria planctonica | д. 3<br>ш. 2                        | циліндр | 28         | -                  | -                 | $\frac{5402}{53}$  | $\frac{0,15}{13}$ | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 | -                  | -                 |
| Phacotus coccifer        | д. 15<br>ш. 10                      | еліпс   | 1767       | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{14}{<1}$    | $\frac{0,03}{13}$ | -                  | -                 | -                  | -                 | $\frac{96}{1}$     | $\frac{0,17}{10}$ |



Фітопланктон каналу також характеризується просторовою динамікою (по поздовжньому профілю). Наприклад, у літній і ранньосінній періоди, які відрізняються різними режимами проточності і, відповідно, найбільш несприятливими умовами для фітопланктону, що потрапляє з Дунаю, характерно скорочення його чисельності і біомаси по трасі.

Просторова динаміка є різною для різних відділів водоростей. Так, для діатомових водоростей, що є реофільними організмами, кількісний розвиток залишається майже на однаковому рівні на значному протязі каналу. Динаміка зелених водоростей характеризується збереженням їх розвитку приблизно на одному рівні на більшій частині каналу.

Синьозелені водорості, потрапляючи в канал з р. Дунай, по-різному відносяться до специфічних умов каналу. Вони в масі вегетують влітку і на початку осені і заносяться до каналу в період максимальної водоподачі. Для багатьох видів водоростей, які викликають „цвітіння” води у р. Дунай, більш висока швидкість течії у каналі є несприятливою, і тому по трасі каналу вони поступово випадають з планктону, осідають на дно і відмирають, але, в той же час, можуть і формувати локальні по акваторії, але дуже інтенсивні за кількісними показниками „плями цвітіння” води.

Навесні і восени домінуючий комплекс представлений діатомовою водорістю *Stephanodiscus hantzschii* та видами роду *Cyclotella*, влітку і на початку осені – синьозеленими водоростями. Із синьозелених розвивається *Microcystis pulverea* f. *incerta*, однак це можуть бути і *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*. На деякій відстані від вододжерела в каналі відбувається перебудова фітопланктону: алохтонне угруповання, яке надійшло з водосховища, трансформується в автохтонний фітопланктон, що розвивається в самому каналі. При цьому склад домінантів змінюється: замість видів, що викликають „цвітіння” води у водосховищі, домінуючу роль частіше за все відіграє *Microcystis pulverea* f. *incerta*.

Провідну роль серед чинників, що визначають динаміку видового і кількісного різноманіття фітопланктону, відіграє швидкість течії, яка здійснює

на планктонні водорості прямий і непрямий вплив. Прямий вплив – це механічна дія при перемішуванні водних мас; непрямий – це зміна гідрохімічного режиму (посилення аерації води, перерозподіл біогенних елементів), підвищення каламутності води, часта зміна умов освітлення при вертикальному переміщенні водоростей. Тому планктонні водорості по різному реагують на течію води. З трьох основних відділів водоростей, які вегетують у каналі, краще за все толерантні до течії діатомові водорості, гірше – зелені і синьозелені. На основі спостережень за трансформацією фітопланктону в каналах України можна в узагальненому вигляді вказати наступні орієнтовні градації швидкостей течії для різних відділів (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

### Лімітуючі і критичні швидкості течії для різних відділів водоростей

(Гидробиология каналов..., 1990)

| Склад фітопланктону                        | Швидкість течії, м/с |          |
|--|----------------------|----------|
|  | Лімітуюча            | Критична |
| Bacillariophyta                            | 0,7                  | 2,0      |
| Chlorophyta                                | 0,5                  | 1,5      |
| Суанопhyta:                                |                      |          |
| алохтонні (ті, що надходять із водосховищ) | 0,2                  | 0,6      |
| автохтонні (ті, що розвиваються в каналах) | 0,5–0,7              | 1,5–2,0  |

При цьому толерантність окремих представників синьозелених водоростей до течії суттєво відрізняється. Параметри, вказані для алохтонних синьозелених, характерні для більшості видів, що викликають „цвітіння” води (*Aphanizomenon flos-aquae*, види роду *Anabaena*, *Microcystis aeruginosa*), які добре розвивається і при швидкості течії 0,3 м/с, а *Microcystis pulverea* f. *incerta* вегетує в каналах і при більшій швидкості течії (0,6–0,8 м/с). Щодо зелених водоростей, то наведені в табл. 3.5 значення лімітуючої і критичної швидкостей течії властиві хлорококовим водоростям, які представлені високим видовим різноманіттям. У той же час вольвоксові водорості більш

чутливі до течії, їх чисельність і біомаса знижуються вже при швидкості 0,1–0,2 м/с (Гидробиология каналов..., 1990).

Таким чином, структурно-функціональна організація літнього фітопланктону МДМК характеризується високим таксономічним, кількісним (величини чисельності, біомаси) різноманіттям і відносно рівномірним розподілом у водній товщі каналу. У цілому, його можна характеризувати як Cyanophyta – Bacillariophyta – Chlorophyta, що за своєю структурою є типово літнім планктоном континентальних водойм і водотоків як в Україні, так і на Євразійському континенті.

Південна зона розташування та підвищена мінералізація водойм Кілійського МУВГ створюють підвищене якісне та кількісне зростання фітопланктону, що негативним чином впливає на якість поверхневих вод. Запровадження ПШБК на Міжколгоспному-Дунайському магістральному каналі суттєво поліпшить якість води та зупинить процеси деградації водних об'єктів.

### **3.2. Енергетична і трофічна цінність фітопланктону як компоненту Природно-штучного біомеліоративного комплексу**

#### *Трофічна цінність фітопланктону.*

У формуванні потоків енергії і колообігу речовин, що є діалектичною основою функціонування різноманітних біотичних компонентів ПШБК, включаючи й іхтіофауну, причому як аборигенних видів, так і видів-вселенців, першочергова роль належить фітопланктону.

З екологічної точки зору взаємозв'язку між першопродуцентами і рибою, як кінцевим компонентом трофічної чи енергетичної піраміди, фітопланктон формує найбільш ефективні трофічні ланцюги. Схематично вони мають наступний вигляд:

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

Другий: „фітопланктон → зоопланктон → риби”, - відповідно з риб це: строкатий товстолоб, частково білий та їхні гібриди, які, наприклад, на сьогодні в іхтіофауні товстолобів Придунайських водойм за даними Держрибоохорони складають до 30–35% від загальної кількості білих і строкатих товстолобів.

Третій, який віртуально можна підрозділити на два, де:

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

Зрозуміло, що запропонована нами формалізація є дещо схематичною, але така віртуальна інтерпретація дозволяє більш детально і всебічно проаналізувати трофічну роль фітопланктону.

Виходячи з теорії харчової елективності (Щербак, Жданова, Головко, 1983; Жданова, Щербак, Головко, 1986; Щербак, Устич, Семенюк, 2010) важливими показниками трофічної цінності фітопланктону є екоморфологічні (екоморфа) характеристики планктонних водоростей.

Так, наведені в табл. 3.4 морфологічні характеристики клітин домінуючих видів, зокрема це розміри, форма, об'єм, а також величини чисельності, біомаси, показують, що фітопланктон є оптимальним харчовим ресурсом для риб на різних етапах онтогенезу (як для молоді на перших етапах вегетації, так і для дорослих видів риб – планктонофагів).

Іншим позитивним чинником є те, що за морфологічними характеристиками фітопланктон є оптимальним харчовим ресурсом для гіллястовусих рачків – фітофагів, а також коловерток, копепод, які є еврифагами та поліфагами, чи для яких водорості можуть бути факультативним джерелом живлення.

Отже, наявний у каналі фітопланктон за своїми структурно-морфологічними характеристиками є природним харчовим ресурсом, здатним забезпечити функціонування високоефективних харчових ланцюгів МДМК.

*Еколого-біологічна характеристика.*

Не менш важливою є оцінка екологічно-біотопічного різноманіття та, враховуючи масштаби МДМК, і географічного поширення водоростей по всій акваторії каналу.

Так, аналіз даних по таксономічних, екологічних, географічних характеристиках фітопланктону, наведених в табл. 3.6, показав, що за поширенням практично всі види водоростей є космополітами. Це свідчить про їх високу адаптаційну здатність до умов водного середовища, тому вони можуть вегетувати, а отже і входити до ПШБК не тільки в магістральному каналі, а і в усіх його системах.

Таблиця 3.6

**Таксономічне, екологічне, географічне різноманіття літньої альгофлори МДМК\***

| № п/п             | Таксони  | Екологічні характеристики |           |             |            |     | Ст.1 | Ст.2 | Ст.4 |
|-------------------|--|---------------------------|-----------|-------------|------------|-----|------|------|------|
|                   |  | біотоп                    | Поширення | сапробність | галобність | pH  |      |      |      |
| 1                 | 2  | 3                         | 4         | 5           | 6          | 7   | 8    | 9    | 10   |
| <b>СYANOPHYTA</b> |  |                           |           |             |            |     |      |      |      |
| 1                 | <i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Bréb.        | П                         | к         | β           | I          |     | +    | -    | +    |
| 2                 | <i>Anabaena scheremetievi</i> Elenk              | П                         | к         | β           | I          | alf | +    | -    | -    |
| 3                 | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs.      | П                         | к         | β           | Ог         |     | +    | +    | +    |
| 4                 | <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (спора)          |                           |           |             |            |     | +    | +    | +    |
| 5                 | <i>Aphanothecce clathrata</i> W. et G.S.West     | П                         | к         | β           | I          |     | -    | +    | -    |
| 6                 | <i>Gloeocapsa minima</i> (Keissl.) Hollerb.ampl. | П                         | к         |             | Гл         |     | -    | +    | -    |
| 7                 | <i>Oscillatoria amphibia</i> Ag.                 | Л                         | к         | β           | Гл         |     | +    | -    | -    |
| 8                 | <i>Oscillatoria geminata</i> (Menegh.) Gom.      | П                         | к         |             | Ог         | ind | +    | -    | -    |

|             |  |   |   |     |    |     |   |   |   |
|-------------|--|---|---|-----|----|-----|---|---|---|
| 9           | <i>Oscillatoria planctonica</i><br>Wołosz.                   | П | к | β   | I  |     | + | - | + |
| CRYPTOPHYTA |  |   |   |     |    |     |   |   |   |
| 10          | <i>Cryptomonas erosa</i> Ehr.                                | Л | к | β-α | ГЛ |     | + | + | - |
| 11          | <i>Cryptomonas pusilla</i><br>Bachmann                       |   |   |     |    |     | + | + | - |
| DINOPHYTA   |  |   |   |     |    |     |   |   |   |
| 12          | <i>Diplopsalis acuta</i> (Apstein)<br>Entz var. <i>Acuta</i> | П | к |     | Or | acf | - | - | + |
| CHRYSOPHYTA |  |   |   |     |    |     |   |   |   |
| 13          | <i>Chrysococcus heverlensis</i><br>Conrad                    |   |   |     |    |     | + | - | - |

|                 |  |     |   |     |    |     |   |   |   |
|-----------------|--|-----|---|-----|----|-----|---|---|---|
| BACILLARIOPHYTA |  |     |   |     |    |     |   |   |   |
| 14              | <i>Achnantheidium minutissima</i><br>(Kutz.) Czarn.                                | О   | к | о-β | I  | ind | + | - | - |
| 15              | <i>Asterionella formosa</i> Hass.  | П   | к | о-β | I  | alf | + | + | + |
| 16              | <i>Cocconeis placentula</i> Ehr.   | О   | б | β   | I  | alf | + | - | + |
| 17              | <i>Cyclotella kuetzingiana</i><br>Thw.   | П-Б | к | β   | ГЛ | alf | + | - | - |
| 18              | <i>Cymbella tumidula</i> Grun. in<br>A. S. et al.                                  | Б   | к | о   | Or | alf | - | + | + |
| 19              | <i>Cymbella ventricosa</i> Kutz.   |     |   | β   |    |     | + | + | + |
| 20              | <i>Diatoma vulgare</i> Bory  | О-П | к | β   | I  | alf | + | - | - |
| 21              | <i>Fragilariforma virescens</i><br>(Ralfs) Will. et Round<br>var. <i>Virescens</i> | Л   | к | о   | I  | ind | + | + | + |
| 22              | <i>Gomphoneis olivaceum</i><br>(Horn.) Daw. ex Ross et<br>Sims.                    | Б   | к | β   | I  | alf | - | - | + |
| 23              | <i>Melosira varians</i> Ag.  | П   | к | β   | ГЛ | alf | - | - | + |
| 24              | <i>Navicula cryptocephala</i><br>Kütz.   | Л   | к | α   | I  | alf | - | + | + |
| 25              | <i>Neidium productum</i> (W.<br>Sm.)   | Б   | к | о-β | I  | acf | - | - | + |
| 26              | <i>Skeletonema subsalsum</i> (A.<br>Cl.) Bethge                                    | П   | к |     | ГЛ |     | + | + | + |
| 27              | <i>Stephanodiscus hantzschii</i><br>Grun. in Cl. et Grun.                          | П   | к | α   | I  | alf | + | + | - |
| 28              | <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehr.<br>var. <i>Ulna</i>                             | Л   | к | β   | I  | ind | + | - | - |
| CHLOROPHYTA     |  |     |   |     |    |     |   |   |   |
| 29              | <i>Chlamydomonas globosa</i><br>Snow   | Л   | к | о-α |    |     | + | + | - |

|    |  |   |    |     |   |     |   |   |   |
|----|--|---|----|-----|---|-----|---|---|---|
| 30 | <i>Chlamydomonas pertyi</i><br>Gorosch.                        | Л | к  | о-β |   |     | - | + | - |
| 31 | <i>Monoraphidium arcuatum</i><br>(Korsch.) Hild.               | П | к  | β   | I |     | + | - | - |
| 32 | <i>Monoraphidium irregulare</i><br>(G. Sm.) Kom.-Legn. in Fott | П | к  |     | I | ind | + | - | - |
| 33 | <i>Mougeotia parvula</i> Hass.                                 | Б |    |     |   |     | + | + | - |
| 34 | <i>Phacotus coccifer</i> Korsch.                               | П | мв |     | I | ind | + | + | + |

\*П р и м і т к а. «-» - види не виявлені; Л – літоральний, Б – бентосний, П – планктонний, О-Б – епіфітно-бентосний, к – космополітний, б – бореальний, мв – мало вивчені, β – бетамезосапробний, Ог – олігогалоб, I – олігогалоб-індиферент, Гл – олігогалоб-галофіт, ind – індиферент, alf – алкаліфіл + алкалібіонт.

Значний ареал поширення зумовлений також і тим, що 50% видів є типово планктонними формами, 21% видів відноситься до літоральних і 29% – до бентосних і фітообростань. При цьому, основну частку біомаси, а це енергетичний базис кормового ресурсу, формують типово планктонні види - космополіти.

Отже, за еколого-біотопічною характеристикою фітопланктон може забезпечити функціонування ПШБК як в основних магістралях, так і в усіх акваторіях, які відносяться до всієї водної екосистеми МДМК.

#### *Енергетична цінність фітопланктону*

Виходячи з високої природної просторово-часової динаміки фітопланктону, особливостей функціонування гідравлічних систем каналу, які можна розглядати як негативний антропогенний чинник, що значно порушує його лотичний континуум, енергетичну цінність приведемо для декількох класів кількісного розвитку.

Виходячи з отриманих натурних даних поточного року та наявних аналітичних досліджень, апіорі за величинами чисельності, біомаси, структури видового складу, сезонної та просторової динаміки, виділено 3 класи:

I клас: від 0,19–0,29 до 0,62–0,84 г/м<sup>3</sup> з середньою величиною 0,51 г/м<sup>3</sup>;

II клас: від 1,15–1,70 до 2,07–2,50 г/м<sup>3</sup> з середньою величиною 2,20 г/м<sup>3</sup>;

III клас: від 4,21–6,38 до 8,70–10,00 г/м<sup>3</sup> з середньою величиною 7,84 г/м<sup>3</sup>.

Враховуючи можливість локального „цвітіння” води з біомасами вище 20,00 г/м<sup>3</sup>, виділено і IV клас, прогножуючи, що за певних екологічних умов такі величини біомаси фітопланктону в каналі є потенційно можливими.

Для оцінки запасів біомаси фітопланктону МДМК необхідно визначити об’єм всієї водної товщі каналу. При цьому, виходячи з наших натурних досліджень, було прийнято, що розподіл фітопланктону по акваторії магістралі каналу і по вертикалі є рівномірним.

Обчислені запаси біомаси, їхня харчова й енергетична цінність представлені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

**Запаси біомаси, харчова та енергетична цінність фітопланктону МДМК\***

| Класи | Середня біомаса, г/м <sup>3</sup> | Запаси біомаси, т сира суха | Запаси поживних речовин, т<br><u>межі коливань</u><br>середні |                         |                         | Енергетична цінність <sup>2</sup> , ккал |
|-------|-----------------------------------|-----------------------------|---|-------------------------|-------------------------|--|
|       |                                   |                             | Білки   | жири                    | вуглеводи               |  |
| I     | 0,51                              | $\frac{40}{3}$              | $\frac{0,7-1,3}{1,0}$   | $\frac{0,1-0,5}{0,3}$   | $\frac{0,2-1,0}{0,6}$   | $32 \times 10^6$                         |
| II    | 2,20                              | $\frac{172}{12}$            | $\frac{2,9-5,3}{4,1}$   | $\frac{0,2-2,2}{1,2}$   | $\frac{0,7-3,9}{2,3}$   | $138 \times 10^6$                        |
| III   | 7,84                              | $\frac{611}{44}$            | $\frac{10,5-19,3}{14,9}$                                      | $\frac{0,9-7,9}{4,4}$   | $\frac{2,7-14,2}{8,4}$  | $489 \times 10^6$                        |
| IV    | 20,00                             | $\frac{1560}{111}$          | $\frac{26,5-48,7}{37,6}$                                      | $\frac{2,2-20,0}{11,1}$ | $\frac{6,9-35,7}{21,3}$ | $1248 \times 10^6$                       |

\*Примітка. 1 – співвідношення сухої і сирої біомаси фітопланктону при домінуванні синьозелених водоростей було прийнято за 1:14 (Іванов, 1968); 2 – енергетичну цінність сирої біомаси фітопланктону було прийнято за 0,8 ккал/г (Михеева, 1970).

Отже, запаси сирої біомаси фітопланктону всієї акваторії МДМК оцінюються від 40 т (I клас) до 1560 т (IV клас).



Можна розрахувати, що запаси біомаси фітопланктону на 1 га водної поверхні можуть складати від 0,04 до 1,53 т/га.

Згідно з літературними даними (Растительность..., 1989) у фітопланктоні Дунаю, з якого бере початок МДМК, вміст білків становить 23,9–43,9%, жирів – 2,0–18,0%, вуглеводів – 6,2–32,2% сухої біомаси.

Таким чином, фітопланктон є важливим біологічним компонентом, який відіграє провідну роль в формуванні біорізноманіття, кількісних, трофічних і енергетичних зв'язків в біоті ПШБК.

## 4. МАКРОФІТИ

### 4.1. Особливості формування угруповань макрофітів у каналах України

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

1) угруповання вищих водних рослин (ВВР) з різних екологічних груп:

а) повітряно-водні рослини, основними домінантами яких є представники наступних родів: *Phragmites* (очерет), *Typha* (рогоз), *Scirpus* (комиш), *Carex* (осока) тощо;

б) рослини з плаваючим на поверхні листям: роди *Nymphaea* (латаття), *Nuphar* (глечики), *Tigra* (водяний горіх);

в) занурені рослини – це такі, таломи яких повністю знаходяться у водній товщі. Це види роду *Potamogeton* (рдесник), *Ceratophyllum* (кушир), *Myriophyllum* (водопериця), *Vallisneria* (валіснерія), *Najas* (пізуха);

2) макроскопічні форми водоростей, в основному це різні таксони нитчастих водоростей з найбільш різноманітних представників відділу *Chlorophyta* (зелені водорості), в меншій мірі це *Charophyta* (харові водорості).

У науковій літературі як синоніми макроскопічних водоростей часто використовуються терміни: макрофітобентос, макрофітоперифітон, макро-, мезофітоепіфітон.

Основними чинниками, що визначають процес формування заростей ВВР, а також мезо- і макроводоростей каналів, є характер ложа, конфігурація поперечного перерізу, зокрема крутизна відкосів. Тому що, чим вужчий канал, і чим більш похилі відкоси, тим більші в ньому абсолютні і відносні площі мілководь.

Глибинною межею поширення ВВР у каналах при нормальному режимі експлуатації є 1,5–2,0 метрова ізобата. Однак, в залежності від екологічних чинників, вона може змінюватися. Важливу роль при цьому відіграють швидкість течії і каламутність води, особливо для занурених рослин. При

цьому слід враховувати нерівномірність розподілу швидкості течії по поперечному профілю каналу. Оскільки швидкість течії води знижуються від середини русла до берегів, на відкосах створюються найсприятливіші умови для вегетації ВВР. Також розвиток рослинності в каналі в значній мірі визначається прозорістю і обмежується подвоєною прозорістю води за диском Секі.

Видовий склад ВВР у МДМК досить одноманітний, що пояснюється чітко вираженою пристосованістю ВВР до певного комплексу екологічних чинників як природної так і антропогенної природи. Найбільш пристосованими до умов каналів є занурені рослини.

Проведені декілька років тому фрагментарні дослідження макрофітів МДМК показали, що вони представлені нитчастими водоростями (Confervoideae) і 6 видами ВВР: рдест курчавий (*Potamogeton crispus*), рдест волосовидний (*Potamogeton trichoides*), роголист (*Ceratophyllum* sp.), кушир занурений (*Ceratophyllum demersum*), валіснерія (*Vallisneria spiralis*), водопериця (*Myriophyllum spicatum*).

Влітку основу біомаси макрофітів складає роголист (*Ceratophyllum* sp.), біомаса якого коливається від 86,76 до 1660,0 г/м<sup>2</sup>. Восени значного рівня розвитку досягають валіснерія (56,89–355,07 г/м<sup>2</sup>) і водопериця (24,13–235,01 г/м<sup>2</sup>). Проективне покриття ВВР змінювалось від 10 до 50% площі водного дзеркала і залежало від швидкості течії. Так, величина проективного покриття зростає по поздовжньому профілю каналу зі зменшенням швидкості течії.

Проте процитовані дані є фрагментарними. Відповідно, на сьогодні це завдання вимагає більш системних натурних досліджень

З точки зору боротьби з біоперешкодами важливим є те, що більшість макрофітів каналу відносяться до так званої “м’якої” водної рослинності, що є досить привабливим кормовим ресурсом, який може бути трансформований у кормову базу при введенні до складу Природно-штучного біомеліоративного комплексу макрофітофага – білого амура.

Для сформування та визначення оптимального функціонування угруповань макрофітів, як важливого біологічного компоненту ПШБК, необхідно чітко проаналізувати особливості їх формування у каналах України.

Видовий склад макрофітів у каналах України формується в основному за рахунок біофондів джерел водного живлення (річки, водосховища, озера).

У цілому, становлення рослинного покриву в каналах – це тривалий у часі процес, у якому можна виділити декілька етапів, основними з яких є:

- I – поява окремих екземплярів вищих водних рослин чи водоростей; II – процес формування розрізнених ділянок заростей;
- III – поступове розширення зарослих ділянок, як по площі водного дзеркала, так і по глибині каналу;
- IV – створення „поясів” рослинності;
- V – інтенсивне заростання як відкосів, так і русла каналу ВВР різних екологічних груп та макроводоростями.

Заростання каналів значною мірою пов'язано із субстратом для поселення і розвитку водоростей, обростань і ВВР, а тому у каналах із різним ложем темпи заростання і шляхи формування заростей є різними.

В облицьованих каналах поява рослин і процес заростання зумовлені ступенем облицювання відкосів та інтенсивністю акумуляції наносів на твердих субстратах. Наприклад, у каналі Дніпро – Донбас заростання відбувалося прискореними темпами завдяки заплавному трасуванню, змиву теригенного матеріалу в канал і його відкладенню на щербінчастому облицюванні. Крім того, прорите русло каналу заповнювалось ґрунтовими водами, процес формування заростей розпочався ще в період будівництва, а це декілька років до надходження води з головного вододжерела. Після передачі каналу в експлуатацію і заповнення його до проектної відмітки рівень води суттєво підвищився, що призвело до переформування заростей (Гидробиология каналов, 1990).

Характерною особливістю формування рослинного покриву в облицьованих каналах є те, що на перших етапах, крім появи окремих

екземплярів вищих водних рослин, відбувається обростання відкосів нитчастими водоростями, які сприяють мулонакопиченню.

У процесі заростання каналів України формуються характерні для кожного з них рослинні покриви, що належать до груп формацій повітряно-водної і зануреної рослинності. Ценози рослинності з плаваючим листям у каналах зустрічаються зрідка, а повітряно-водна рослинність досить одноманітна по руслам річок або їх заплавам водоймам. Зарості очерета звичайного домінують в каналі Дніпро – Донбас. Широко поширений в каналах України також ценоз рогозу вузьколистого, у деяких каналах, особливо в перехідні періоди, значне місце належить змішаним заростям очерету і рогозу.

Занурена рослинність в облицьованих каналах представлена заростями з домінуванням рдесника пронизанолистого і водопериці колосової. Широко поширені „чисті” зарості рдесників гребінчастого, кучерявого, плаваючого, малого, кушира зануреного, елодеї канадської, а також змішані зарості рдесників кучерявого і гребінчастого або пронизанолистого.

Сучасний розподіл заростей у каналах характеризується чітко вираженою поясністю. Рослинність розташовується вздовж берегів більш або менш переривчастою смугою, що може включати два пояси повітряно-водних і занурених рослин, причому другий пояс поступово витісняється по мірі розростання першого. У поясі повітряно-водних рослин домінує очерет звичайний. Ширина смуги його заростей коливається залежно від конфігурації відкосів каналу і ступеню розвитку заростей, наприклад, у МДМК вона досягає 5 м. Заростання берегової лінії змінюється по ділянках каналів залежно від етапу формування заростей і умов зростання. Наприклад, у МДМК, у цілому по трасі та на окремих ділянках заростання складає 20–70% залежно від утворення ґрунтових наносів, крутизни відкосів та інших чинників.

Пояс занурених рослин у каналах України характеризується максимальними параметрами на III–V етапах розвитку рослинного покриву.

Його ширина залежить від крутизни закладення відкосів і може досягати 3,5 м. Ступінь заростання вздовж берегової лінії змінюється в широких межах. Серед занурених рослин значного розвитку досягає рдесник пронизанолистий. Його зарості поширюються до глибини 1,5 м; при 100% проективному покритті фітомаса може досягати  $4\text{--}5 \text{ кг/м}^2$ . Широко поширений рдесник гребінчастий, який заходить углиб на 1–1,5 м і формує густі зарості з проективним покриттям до 100% і фітомасою –  $3\text{--}4 \text{ кг/м}^2$ . Важливе значення в заростанні каналів України має водопериця колосова. Її зарості поширюються на значну глибину – до 2 м, а окремі рослини і глибше – до 3 м, ширина смуги складає 0,5–2 м, фітомаса –  $4\text{--}6 \text{ кг/м}^2$ . Інші занурені рослини мають значення в періоди нерівномірної роботи каналів й уповільненої течії води. Так, кушир занурений на окремих ділянках може утворювати фітомасу до  $4\text{--}6 \text{ кг/м}^2$ , елодея канадська – до  $4,5 \text{ кг/м}^2$ , різуха морська –  $2\text{--}3 \text{ кг/м}^2$ .

Площі заростання в каналах України (в цілому по каналу) залежно від ступеню заростання і морфометричних параметрів штучних водотоків (ширини мілководної зони, протяжності траси) коливаються в широких межах – від декількох до сотень гектарів, і співвідношення площ, зайнятих зануреною і повітряно-водною рослинністю, зумовлено етапом формування рослинного покриву.

#### **4.2. Характеристика макрофітів Природно-штучного біомеліоративного комплексу МДМК**

Натурними дослідженнями, проведеними на МДМК у весняно-літній період 2019 р., встановлено, що зарості макрофітів каналу, в основному, належать до екологічної групи занурених рослин, а також очерету. Макрофіти каналу представлені різноманітними зануреними ВВР і нитчастими водоростями, про що свідчать дані, представлені в табл. 4.1. Зарості ВВР каналу нараховують 8 видів з 5 родин: родина Рдесникові (рдесник пронизанолистий, гребінчастий, кучерявий, злаколистий), родина Різухові (різуха морська), родина Жабурникові (валіснерія спіральна), родина

Куширові (кушир занурений), Родина Столисникові (водопериця колосова). Усі види є багаторічними рослинами, що широко поширені на території України. Знайдені види утворюють у каналі як чисті, так і змішані ценози.

Найбільшу фітомасу на одиницю площі ( $m^2$ ) утворюють рдесники пронизанолистий, гребінчастий, кучерявий, водопериця колосова, кушир занурений і валіснерія спіральна (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Фітомаса і річна продукція макрофітів МДМК  
(вищих водних рослин і нитчастих водоростей)**

| Макрофіти  | Фітомаса,<br>г/м <sup>2</sup><br><u>сир</u><br>АСМ | Площі<br>заростей,<br><u>га</u><br>% | Запаси<br>фітомаси, т<br><u>сир</u><br>а<br>АС<br>М | Продукція,<br>т/рі<br>к<br><u>сирої</u><br>маси<br>АСМ |
|--|--|--------------------------------------|---|--|
| Рдесник<br>пронизанолистий<br><i>Potamogeton perfoliatus</i><br>L. | <u>1800</u><br>268,00                              | <u>5,40</u><br>15%                   | <u>97,20</u><br>14,47                               | <u>106,92</u><br>15,92                                 |
| Рдесник гребінчастий<br><i>Potamogeton pectinatus</i><br>L.        | <u>1400</u><br>208,00                              | <u>5,40</u><br>15%                   | <u>75,60</u><br>11,22                               | <u>83,16</u><br>12,34                                  |
| Рдесник кучерявий<br><i>Potamogeton crispus</i> L.                 | <u>1000</u><br>150,00                              | <u>3,60</u><br>10%                   | <u>36,00</u><br>5,40                                | <u>39,60</u><br>5,94                                   |
| Рдесник злаколистий<br><i>Potamogeton gramineus</i> L.             | <u>30</u><br>4,25                                  | <u>1,80</u><br>5%                    | <u>0,55</u><br>0,08                                 | <u>0,60</u><br>0,09                                    |
| Різуха морська<br><i>Najas marina</i> L.                           | <u>40</u><br>0<br>59,00                            | <u>3,6</u><br>0<br>10%               | <u>14,40</u><br>2,12                                | <u>15,84</u><br>2,33                                   |
| Валіснерія спіральна<br><i>Vallisneria spiralis</i> L.             | <u>60</u><br>0<br>89,90                            | <u>3,6</u><br>0<br>10%               | <u>21,60</u><br>3,22                                | <u>23,76</u><br>3,54                                   |
| Кушир занурений<br><i>Ceratophyllum demersum</i><br>L.             | <u>60</u><br>0<br>90,00                            | <u>5,4</u><br>0<br>15%               | <u>32,40</u><br>4,85                                | <u>35,64</u><br>5,34                                   |
| Водопериця колосова<br><i>Myriophyllum spicatum</i> L.             | <u>85</u><br>0<br>125,00                           | <u>5,4</u><br>0<br>15%               | <u>45,90</u><br>6,75                                | <u>50,49</u><br>7,42                                   |
| Нитчасті водорості   | <u>28</u><br>0<br>34,63                            | <u>1,8</u><br>0<br>5%                | <u>5,05</u><br>0,62                                 | <u>83,32</u><br>10,23                                  |



|        |   |                       |                        |                        |
|--------|---|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Всього | – | $\frac{36,00}{100\%}$ | $\frac{328,70}{48,73}$ | $\frac{439,33}{63,15}$ |
|--------|---|-----------------------|------------------------|------------------------|

Примітка. \* – % – частка площі, яку займає даний вид у поясі рослинності; P/B- коефіцієнт для вищих водяних рослин – 1,1 × рік; для нитчастих водоростей – 16,5 × рік (Киевское водохранилище..., 1972); АСМ – абсолютно суха маса.

Порівняння результатів наших натурних досліджень за 2019 р. з даними, представленими в звіті, показало, що загальною закономірністю є те, що рослинність МДМК представлена екологічною групою занурених рослин. Як і в 2007 р., так і на сьогодні в каналі спостерігається інтенсивна вегетація таких видів як водопериця колосова, рдесник кучерявий, валіснерія спіральна.

Для розрахунку сучасних запасів фітомаси макрофітів МДМК необхідно визначити, яку площу займають їх зарості. Встановлено, що ширина мілководь, де зазвичай розвивається пояс занурених рослин, коливається в широких межах і залежить від цілої низки екологічних чинників.

Згідно з літературними даними (Гидробиология каналов, 1990), пояс занурених рослин на мілководдях вздовж берегової лінії на різних ділянках каналу є не суцільним, і ступінь заростання мілководь, як правило, складає близько 30% в середньому по каналу. Отже, можна розрахувати, що пояс занурених рослин фактично займає площу в розрахунку на 1 км всього магістрального каналу в середньому по каналу 0,30 га/км.

Враховуючи, що найбільш поширеними видами занурених рослин в каналі є рдесник пронизанолистий, рдесник гребінчастий, водопериця колосова і кушир занурений, було умовно прийнято, що кожний з перерахованих видів займає близько 15% площі поясу занурених рослин.

Досить часто зустрічаються різуха морська, рдесник кучерявий і валіснерія спіральна, площу їх заростей було прийнято за 10%. Інші види зустрічаються рідше, було прийнято, що їх площа становить по 5%. Крім того, важливо зауважити, що практично від урізу води і до початку формування поясу ВВР суцільним рослинним „килимом” вегетують зарості макрководоростей – в основному з комплексу нитчастих водоростей.

На основі отриманих даних обчислили запаси фітомаси кожного виду, і загальні запаси зануреної рослинності у каналі. У цілому, запаси рослинності у МДМК оцінюються близько 2,5 т/км абсолютно сухої маси (АСМ) (див. табл. 4.1).

Результати наших розрахунків узгоджуються з літературними даними щодо запасів фітомаси у каналах водосховищного живлення. Наприклад, у каналі Дніпро – Донбас в 1987 р. запаси фітомаси зануреної рослинності склали 522,8 т (або 1,98 т/км), в каналі Дніпро – Кривий Ріг в 1969 р. – 212,7 т (або 5,06 т/км).

Для розрахунку біопродукційного потенціалу вищих водних рослин використовували Р/В-коефіцієнт  $1,1 \times \text{рік}$ . Р/В-коефіцієнт нитчастих водоростей було прийнято за  $16,5 \times \text{рік}$  (Киевское водохранилище, 1972).

Таким чином, зарості макрофітів у МДМК накопичують значні величини біомаси, знаходження якої у каналі має як позитивний, так і негативний вплив на його експлуатацію, формування біорізноманіття та життєдіяльність гідробіонтів. Позитивний вплив – це забезпечення якості води та використання макрофітів як реальний харчовий ресурс для гідробіонтів вищих трофічних рівнів (безхребетні, риби) чи як потенційний ресурс для отримання білків, жирів, вуглеводів.

Негативний вплив макрофітів полягає в тому, що при відмиранні надлишкової біомаси у воду надходить велика кількість органічних речовин, що може призводити до погіршення кисневого режиму, і відповідно якості води.

### **4.3. Енергетична і харчова цінність макрофітів**

Для оптимального функціонування ПШБК однією з важливих складових

є оцінка харчового ресурсу макрофітів, що реально використовується гідробіонтами вищих трофічних рівнів, які є його компонентами. Не менш важливою є їхня потенційна характеристика за вмістом білків, жирів, вуглеводів, що може бути використана для інтенсифікації роботи біотичних компонентів ПШБК.

*Енергетична і харчова цінність вищих водних рослин.*

ВВР МДМК є біологічним кормовим ресурсом, що використовується в їжу тваринами різних систематичних груп, які є структурно-функціональними

компонентами ПШБК – червами, червоногими молюсками, ракоподібними, комахами і іхтіофауною. Рослини забезпечують енергією всі трофічні ланки ланцюга живлення гідробіонтів, які споживають не тільки прижиттєві частини рослин, але й відмерлі. Останні, крім того, розкладаються бактеріями, грибами і найпростішими, і разом з детритом утилізуються різними детритофагами. Так, риби, які споживають рослини, дещо умовно поділяють на три групи:

1. Риби – облігатні фітофаги. ВВР у їхньому живленні мають виключне або переважне значення.
2. Риби – факультативні фітофаги, у живленні яких ВВР співставні з тваринною їжею, особливо на різних етапах онтогенезу.
3. Риби – еврифаги, у живленні яких ВВР не є основним кормом.

Підкреслюємо, що поділ між групами риб значною мірою є умовним, але цей підхід дозволяє більш чіткіше оцінити взаємовідносини в підсистемі харчового ланцюга: «ВВР↔Риби».

Так, до першої групи належать риби із родини Cyprinidae. Найбільш виражена форма облігатної фітофагії проявляється у білого амура – *Stenopharyngodon idella*. Хоча його молодь на перших стадіях онтогенезу споживає дрібних планктонних тварин, а пізніше переходить до фітофагії. Дорослі особини є чисто рослиноїдними рибами. Білий амур краще за все споживає рдесники, кушир, ряску, елодею, мох, молоді пагони рогозу і очерету. При живленні м'якою водною рослинністю добові раціони можуть досягати 100–150% відносно маси тіла риб. Тому риба здійснює суттєвий вплив на зарості вищих водних рослин і включає їхню продукцію у свій трофічний цикл.

Червонопірка (*Scardinius erythrophthalmus*) також належить до риб, у живленні яких рослинна їжа (вищі рослини, нитчасті водорості) має переважне значення. Мальки живляться в основному тваринною їжею, а з дворічного віку риба починає надавати перевагу рослинній їжі.

До другої групи риб з широким спектром живлення відносять в'язя (*Leuciscus idus*), линя (*Tinca tinca*), плітку (*Rutilus rutilus*), сазана (*Cyprinus*

*caprio*). У їхньому раціоні водна рослинність має не менше значення, ніж тваринна їжа.

До третьої групи риб, для яких ВВР відіграють роль додаткової їжі, можна віднести чебачка (*Leuciscus schmidti*), карася (*Carassius carassius*), уклею (*Alburnus alburnus*), підуста (*Chondrostoma nasus*).

Усі перераховані риби споживають в основному м'яку водну рослинність, і тільки риби, що належать до першої групи, можуть поїдати і жорсткі рослини.

Вважаємо, що при оцінці кормових якостей ВВР потрібно виходити не тільки з біомаси, а й враховувати наявність у ній хімічних сполук, що мають першочергове значення у живленні тварин, а саме: білків, вуглеводів, жирів. Наявність поживних речовин у рослинах є інтегральним показником, що відображає процеси синтезу, відтоку і взаємоперетворення речовин (Гаевская, 1966; Методические рекомендации..., 1984).

**Вуглеводи.** Вуглеводи є основним енергетичним матеріалом. У цю групу речовин входять цукри (моно-, ди-, трисахариди) і полісахариди (крохмаль, клітковина, геміцелюлоза і пентозани). Вуглеводи необхідні тваринам для більшості обмінних процесів, пов'язаних з накопиченням і обміном амінокислот, синтезом жиру, мінеральним обміном. Крім свого основного (енергетичного) призначення, вуглеводи сприяють збільшенню засвоєння в організмі кальцію, що дуже важливо для побудови кісткової тканини і луски риб, а також панцирів безхребетних.

За літературними даними (Садчиков, Куряшов, 2004; Воронихин, 1953; Гаевская, 1966; Петушкова и др., 2008) вміст вуглеводів у різних видах занурених рослин, які були зареєстровані нами у МДМК, коливається в межах 11–26% сухої маси (табл. 4.2). Найбільший вміст вуглеводів – у рдеснику гребінчастому. Розрахунки показали, що вищі водні рослини каналу можуть продукувати близько 9,79 т вуглеводів на рік.

**Протеїни.** Протеїни вищих водних рослин поділяються на білки і небілкову фракцію азотистих сполук (вільні амінокислоти). Вищі водні

рослини містять у своїх тканинах усі відомі амінокислоти, в тому числі і незамінні (валін, триптофан, лізин, метіонін, треонін, фенілаланін, гістидин) (Методические рекомендации..., 1984).

Таблиця 4.2

## Річна продукція вищих водних рослин МДМК

| Макрофіти   | Продукція<br>фітомаси,<br>т/рік<br>АСМ | Вміст поживних речовин <sup>1</sup> |                           |                    | Енергетична<br>цінність <sup>2</sup> ,<br>ккал |
|---|--|-------------------------------------|---------------------------|--------------------|--|
|   |  | Протеїни                            | Вуглеводи<br>(клітковина) | Жири               |  |
| Рдесник<br>пронизанолистий<br><i>Potamogeton<br/>perfoliatus</i> L. | 15,92                                  | <u>1,91</u><br>12%                  | <u>2,71</u><br>17%        | <u>0,16</u><br>1%  | 63,68×10 <sup>6</sup>                          |
| Рдесник<br>гребінчастий<br><i>Potamogeton<br/>pectinatus</i> L.     | 12,34                                  | <u>2,59</u><br>21%                  | <u>3,21</u><br>26%        | <u>0,37</u><br>3%  | 49,36×10 <sup>6</sup>                          |
| Рдесник<br>кучерявий<br><i>Potamogeton<br/>crispus</i> L.           | 5,94                                   | <u>1,31</u><br>22%                  | <u>0,77</u><br>13%        | <u>0,12</u><br>2%  | 23,76×10 <sup>6</sup>                          |
| Рдесник<br>злаколистий<br><i>Potamogeton<br/>gramineus</i> L.       | 0,09                                   | <u>0,02</u><br>17%                  | <u>0,02</u><br>19%        | <u>0,003</u><br>3% | 0,36×10 <sup>6</sup>                           |
| Різуха морська<br><i>Najas marina</i> L.                            | 2,33                                   | <u>0,40</u><br>17%                  | <u>0,44</u><br>19%        | <u>0,07</u><br>3%  | 9,32×10 <sup>6</sup>                           |
| Валіснерія<br>спіральна<br><i>Vallisneria<br/>spiralis</i> L.       | 3,54                                   | <u>0,53</u><br>15%                  | <u>0,71</u><br>20%        | <u>0,04</u><br>1%  | 14,16×10 <sup>6</sup>                          |
| Кушир<br>занурений<br><i>Ceratophyllum<br/>demersum</i> L.          | 5,34                                   | <u>0,96</u><br>18%                  | <u>0,59</u><br>11%        | <u>0,05</u><br>1%  | 21,36×10 <sup>6</sup>                          |
| Водопериця<br>колосова<br><i>Myriophyllum<br/>spicatum</i> L.       | 7,42                                   | <u>1,19</u><br>16%                  | <u>1,34</u><br>18%        | <u>0,07</u><br>1%  | 29,68×10 <sup>6</sup>                          |
| Всього  | 52,92                                  | 8,91                                | 9,79                      | 0,88               | 211,68×10 <sup>6</sup>                         |

Примітка. 1 – над рискою, т/рік, під рискою – % від абсолютно сухої маси (згідно: Садчиков, Куряшов, 2004; Воронихин, 1953; Гаевская, 1966; Петушкова и др., 2008);

2 – прийнято, що калорійність біомаси вищих водних рослин складає 4 ккал/г сухої маси.

Вміст протеїнів у вищих водних рослинах каналу змінюється від 12% (рдесник пронизанолистий) до 22% (рдесник кучерявий). У цілому занурені макрофіти МДМК можуть продукувати 8,91 т протеїну на рік.

**Жири.** Жирні кислоти рослинного походження, які надходять риbam, що їх споживають, мають першочергове значення у жировому обміні. Вміст жирів у рослинах каналу незначний – 1–3%. Всього за рік вищі водні рослини каналу продукують 0,88 т жиру.

З огляду на те, що калорійність вищих водних рослин дорівнює 4 ккал/г сухої маси (Киевское водохранилище, 1972), можна розрахувати, що біопродукційний потенціал вищих водних рослин МДМК у цілому складає  $211,68 \times 10^6$  ккал/всю акваторію каналу × рік.

#### *Енергетична і харчова цінність нитчастих водоростей.*

Нитчасті водорості за своїм біохімічним складом є повноцінним кормовим ресурсом для безхребетних і рослиноїдних риб. Зокрема, ними живляться такі риби, як сазан, короп, білий амур, густера, плітка, в'язь, вирезуб (Вовк, 1976; Тугарина, 1969; Величко, 1982). Із безхребетних, що в свою чергу слугують кормом для риб, нитчастими водоростями живляться бокоплав, хірономуси (Любимов, 1935), деякі види олігохет, молюсків, личинки одноденок, комарів, мух, імаго жуків – не менше 30 видів (Кренке, 1963). У цілому, в заростях нитчастих водоростей може жити близько 100 видів безхребетних, які також слугують кормом для риб. Важливо зазначити, що в осінньо-зимовий період не вся маса нитчастих водоростей розкладається, й її продовжують споживати гідробіонти. Отже, нитчасті водорості відіграють важливу роль у формуванні природної кормової бази для ПШБК.

За біохімічним складом зелені нитчасті водорості ближчі до вищих рослин, ніж до інших груп водоростей. У зелених нитчастих водоростях білок, в середньому, складає 15,3% сухої маси, вуглеводи – 59,7%, жири – 3,2%.

Основна частина вуглеводів нитчастих водоростей представлена полісахаридами (56,5% сухої маси водоростей). Розчинні вуглеводи містяться у невеликій кількості: глюкоза – 1,6%, фруктоза – 0,8%, сахароза – 0,8% (Величко, 1982).

Натурними дослідженнями, проведеними на МДМК, встановлено, що річна продукція нитчастих водоростей оцінюється в 10,23 т абсолютно сухої маси на рік. Отже, можна розрахувати, що нитчасті водорості МДМК продукують:

білків – 1,56 т/рік;

жирів – 0,33 т/рік;

вуглеводів – 6,11 т/рік (в тому числі: полісахаридів – 5,78 т/рік, глюкози – 0,16 т/рік, фруктози – 0,08 т/рік, сахарози – 0,08 т/рік).

Енергетична цінність<sup>1</sup> продукції нитчастих водоростей МДМК складає  $40,92 \times 10^6$  ккал/ всю акваторію каналу  $\times$  рік або  $0,25 \times 10^5$  ккал/га акваторії  $\times$  рік.

Білки і ліпіди нитчастих водоростей використовуються консументами (безхребетними і рослиноїдними рибами) для побудови клітинних структур і як джерело енергії. Білок нитчастих водоростей є повноцінним, у ньому амінокислоти містяться в достатній кількості. Основним джерелом енергії для консументів слугують вуглеводи. Високий вміст каротинів, представлених майже повністю  $\beta$ -каротином, задовольняє потреби консументів у провітаміні А. Крім того, в зелених нитчастих водоростях містяться такі вітаміни як тіамін, рибофлавін і нікотинова кислота (Величко, 1982).

Отже, нитчасті водорості є повноцінним кормовим ресурсом для безхребетних і риб, а тому відіграють суттєву роль в формуванні і функціонуванні ПШБК каналу.

---

<sup>1</sup> Було прийнято, що калорійність нитчастих водоростей приблизно дорівнює калорійності вищих водних рослин (4 ккал/г сухої маси).



## 5. ЕПІФІТОН МДМК

### 5.1. Якісне і кількісне різноманіття епіфітону

Специфічним рослинним компонентом біоти, що вегетує у МДМК, є фітомікроепіфітон – угруповання водоростей, що обростають підводні частини рослин. Видовий склад епіфітних угруповань у каналах України в основному визначається надходженням водоростей з вододжерел. Одним із провідних чинників, що зумовлюють формування і розвиток епіфітону в каналах, є екологічні особливості ВВР та їхнє проективне покриття. При цьому, для якісного складу епіфітних водоростей екологічна група ВВР великого значення не має, але вона відіграє провідну роль для їх кількісного розвитку. На занурених рослинах кількісні показники епіфітних угруповань водоростей значно вищі, ніж на повітряно-водних.

По руслу каналів і на окремих їх ділянках чисельність і біомаса епіфітних водоростей коливаються в значних межах. Важливими чинниками, що визначають характер вегетації епіфітних водоростей у каналах, є прозорість, швидкість течії і температура води. Температурний режим визначає сезонну динаміку епіфітону, а підвищення каламутності негативно впливає на його вегетацію, внаслідок чого на ділянках каналів із більш прозорою водою кількісні показники епіфітону, як правило, вищі.

Значний вплив на вегетацію епіфітних угруповань водоростей у каналах водосховищного живлення, до яких належить МДМК, здійснює „цвітіння” води, властиве вододжерелу – річка Дунай. „Осадження” планктонних синьозелених водоростей, зокрема *Microcystis aeruginosa*, на ВВР, негативно впливає на розвиток діатомових і зелених епіфітних водоростей.

Натурними дослідженнями, проведеними у весняно-літній період 2019 р., показано, що видовий склад епіфітних водоростей МДМК, нараховує 70 видів і внутрішньовидових таксонів водоростей з 6 відділів (Cyanophyta, Euglenophyta, Cryptophyta, Chrysophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta). За видовим різноманіттям домінують діатомові (45% загальної кількості видів),

зелені (35%) і синьозелені водорості (10%). Роль водоростей інших відділів (золотистих, евгленових, криптофітових) є незначною і не перевищує 1–3%.

Встановлено, що впродовж вегетаційного сезону найбільше якісне і кількісне різноманіття епіфітону спостерігається влітку, в основному за рахунок зелених і синьозелених водоростей, кількість видів яких порівняно з весною може збільшуватись у 6–10 разів. У весняний і осінній період переважають діатомові водорості, на частку яких припадає більше 70% загальної кількості видів.

Кількісне різноманіття фітомікроепіфітону МДМК коливається в широких межах: чисельність – від 21746 до 168151 тис. кл/г абсолютно сухої маси рослин і біомаса – від 26,42 до 67,75 мг/г абсолютно сухої маси рослин (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

**Чисельність (*N*, тис. кл/г АСМ) і біомаса (*B*, мг/г АСМ)  
фітомікроепіфітону МДМК (весняно-літній сезон 2019 р.)\***

| Відділи         | Рдесник<br>пронизанолистий |                     | Водопериця<br>колосова |                     | Різуха<br>морська   |                     | Валіснерія<br>спіральна |                     |
|-----------------|----------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
|                 | <i>N</i>                   | <i>B</i>            | <i>N</i>               | <i>B</i>            | <i>N</i>            | <i>B</i>            | <i>N</i>                | <i>B</i>            |
| Cyanophyta      | $\frac{17565}{81}$         | $\frac{2,07}{8}$    | $\frac{150034}{89}$    | $\frac{4,79}{7}$    | $\frac{20756}{33}$  | $\frac{0,68}{2}$    | $\frac{31707}{46}$      | $\frac{2,39}{6}$    |
| Euglenophyta    | $\frac{31}{*}$             | $\frac{0,07}{*}$    | –                      | –                   | –                   | –                   | –                       | –                   |
| Cryptophyta     | –                          | –                   | –                      | –                   | $\frac{139}{*}$     | $\frac{0,31}{1}$    | –                       | –                   |
| Chrysophyta     | $\frac{16}{*}$             | $\frac{0,001}{*}$   | –                      | –                   | –                   | –                   | –                       | –                   |
| Bacillariophyta | $\frac{2870}{13}$          | $\frac{19,73}{75}$  | $\frac{16187}{10}$     | $\frac{62,64}{92}$  | $\frac{23263}{37}$  | $\frac{18,04}{60}$  | $\frac{34281}{49}$      | $\frac{35,55}{85}$  |
| Chlorophyta     | $\frac{1264}{6}$           | $\frac{4,55}{17}$   | $\frac{1931}{1}$       | $\frac{0,32}{*}$    | $\frac{18388}{29}$  | $\frac{10,96}{37}$  | $\frac{3276}{5}$        | $\frac{4,09}{10}$   |
| Всього          | $\frac{21746}{100}$        | $\frac{26,42}{100}$ | $\frac{168151}{100}$   | $\frac{67,75}{100}$ | $\frac{62546}{100}$ | $\frac{30,00}{100}$ | $\frac{69264}{100}$     | $\frac{42,03}{100}$ |

\*Примітка. Над рискою – чисельність (біомаса) водоростей даного відділу, під рискою – % від загальної чисельності (біомаси); „–” – представників даного відділу не виявлено; „\*” – частка чисельності (біомаси) даного відділу менше 1%.

Найбільшою чисельністю і біомасою характеризується епіфітон водопериці колосової, що пояснюється великою площею поверхні даної рослини, зумовленою значним ступенем розсіченості листової пластинки. За кількісним різноманіттям переважають діатомові, синьозелені і зелені водорості. На усіх досліджуваних видах ВВР за чисельністю домінують дрібноклітинні синьозелені і діатомові водорості, за біомасою – крупноклітинні діатомові і зелені.

Домінуючий комплекс, тобто сукупність видів, біомаса кожного з яких складає не менш, ніж 10% від загальної біомаси проби епіфітону, представлений діатомовими, синьозеленими і зеленими водоростями (табл. 5.2).

Із синьозелених значною часткою біомаси характеризуються: *Lyngbia kuetzingii*, яка є типовим представником обростань, а також *Microcystis aeruginosa*, який „осаджується” на екземпляри ВВР з планктону.

Ясно, що синьозелені водорості, які надходять з р. Дунай у період „цвітіння” води, можуть здійснювати значний вплив на епіфітон каналу. У цей час у результаті масового „осадження” на рослини планктонних синьозелених водоростей рівень розвитку епіфітону суттєво зростає, іноді навіть у 20–30 разів.

Проведений спеціальний діатомовий аналіз показав, що із діатомових до складу домінуючого комплексу входять: *Cocconeis placentula*, *Gomphonema parvula*, *Encyonema elginense*, *Melosira varians*, *Cymbella affinis*, *Amphora ovalis*, *Navicula tripunctata*, *N. cryptocephala*, *N. radiosa*, *Achnantheidium minutissima*, *Nitzschia palea*, *N. dissipata*, *Synedra ulna*.

Із зелених водоростей домінують нитчасті форми: *Oedogonium sp.* і *Stigeoclonium tenue*.

**Структура домінуючого комплексу фітомікроепіфітону МДМК за  
біомасою (весняно-літній сезон 2019 р.)\***

| Домінуючі<br>види                     | Рдесник<br>пронизанолистий | Водопериця<br>колосова | Різуха<br>морська | Валіснерія<br>спіральна |
|---------------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|
| <i>Lyngbia<br/>kuetzingii</i>         | –                          | <u>3,39</u><br>5       | –                 | <u>2,52</u><br>6        |
| <i>Microcystis<br/>aeruginosa</i>     | <u>1,85</u><br>7           | –                      | –                 | –                       |
| <i>Cocconeis<br/>placentula</i>       | <u>4,23</u><br>16          | <u>9,48</u><br>14      | <u>3,30</u><br>11 | <u>9,25</u><br>22       |
| <i>Gomphonema<br/>parvula</i>         | <u>2,64</u><br>10          | –                      | <u>2,10</u><br>7  | –                       |
| <i>Encyonema<br/>elginense</i>        | –                          | –                      | <u>4,50</u><br>15 | <u>5,88</u><br>14       |
| <i>Melosira<br/>varians</i>           | –                          | <u>6,10</u><br>9       | –                 | <u>3,36</u><br>8        |
| <i>Cymbella<br/>affinis</i>           | <u>3,43</u><br>13          | –                      | –                 | –                       |
| <i>Amphora<br/>ovalis</i>             | –                          | –                      | <u>3,60</u><br>12 | –                       |
| <i>Navicula<br/>tripunctata</i>       | <u>1,32</u><br>5           | <u>12,87</u><br>19     | –                 | –                       |
| <i>Navicula<br/>cryptocephala</i>     | 1,32<br>5                  | –                      | –                 | <u>2,10</u><br>5        |
| <i>Navicula<br/>radiosa</i>           | –                          | –                      | <u>2,10</u><br>7  | –                       |
| <i>Achnantheidium<br/>minutissima</i> | –                          | <u>3,39</u><br>5       | <u>2,40</u><br>8  | –                       |
| <i>Nitzschia<br/>palea</i>            | <u>2,38</u><br>9           | –                      | –                 | –                       |
| <i>Nitzschia<br/>dissipata</i>        | –                          | –                      | –                 | <u>2,94</u><br>7        |
| <i>Synedra ulna</i>                   | –                          | <u>6,78</u><br>10      | –                 | –                       |
| <i>Oedogonium<br/>sp.</i>             | <u>3,17</u><br>12          | –                      | <u>2,40</u><br>8  | –                       |
| <i>Stigeoclonium<br/>tenue</i>        | –                          | –                      | <u>3,00</u><br>10 | <u>3,78</u><br>9        |

Примітка. Над рискою – біомаса домінуючого виду, мг/г АСМ, під рискою – % від загальної біомаси проби.

Інтенсивність первинної продукції фітомікроепіфітону на домінуючих видах вищих водяних рослин змінюється від 3,1 до 18,5 мг O<sub>2</sub>/г сухої маси рослини × добу, а деструкція органічних речовин – від 2,2 до 15,7 мг O<sub>2</sub>/г сухої маси рослини × добу (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

**Первинна продукція (А, мг O<sub>2</sub>/г сухої маси рослини × добу) і деструкція органічної речовини (R, мг O<sub>2</sub>/г сухої маси рослини × добу) фітомікроепіфітону вищих водяних рослин МДМК (весняно-літній сезон 2019 р.)\***

| Рослини                 | A                        | R                       | A/R                      |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Рдесник пронизанолистий | $\frac{6,5-11,2}{8,8}$   | $\frac{7,8-9,0}{8,4}$   | $\frac{0,83-1,24}{1,03}$ |
| Водопериця колосова     | $\frac{10,9-18,5}{14,5}$ | $\frac{6,4-15,7}{10,8}$ | $\frac{1,19-1,70}{1,44}$ |
| Різуха морська          | $\frac{3,1-3,4}{3,3}$    | $\frac{2,2-4,0}{3,1}$   | $\frac{0,79-1,45}{1,15}$ |
| Валіснерія спіральна    | $\frac{5,4-7,3}{6,4}$    | $\frac{3,5-8,6}{6,0}$   | $\frac{0,84-1,54}{1,19}$ |

\*Примітка. Над рискою – межі коливань, під рискою – середні значення.

Співвідношення продукційно-деструкційних процесів (A/R) складає від 0,79 до 1,70 × добу.

## 5.2. Оцінка енергетичного потенціалу і харчового ресурсу фітоепіфітону Природно-штучного біомеліоративного комплексу

Узагальнення натурних даних по кількісному розвитку фітомікроепіфітону МДМК показало, що в середньому його біомаса складає близько 41,55 мг/г сухої маси рослин. Калорійність сирої речовини фітомікроепіфітону прийняли за 0,8 ккал/г (Макаревич, 1985).

Узагальнення даних по продукційним характеристикам фітомікроепіфітону каналу показало, що в середньому валова первинна продукція складає 8,25 мг O<sub>2</sub>/г сухої маси рослини × добу. Було прийнято,

що трати на обмін (деструкцію) становлять 25% від валової первинної продукції. Отже, чиста первинна продукція фітомікроепіфітону становить

6,18 мг O<sub>2</sub>/г сухої маси рослини × добу. У перерахунку на вегетаційний період занурених вищих водних рослин, які є субстратом для водоростей обростань (153 дні) (Растительность..., 1989), валова продукція фітомікроепіфітону становить 0,9 г O<sub>2</sub>/г сухої маси рослини × рік або  $47,63 \times 10^6$  г O<sub>2</sub>/всю акваторію каналу × рік. Оскільки енергетичний еквівалент 1 г O<sub>2</sub> становить 3,51 кілокалорій, можна розрахувати, що біопродукційний потенціал фітомікроепіфітону каналу досягає  $167,18 \times 10^6$  ккал/всю акваторію каналу × рік.

Біопродукційний потенціал фітомікроепіфітону на 1 га акваторії каналу – близько  $1,6 \times 10^5$  ккал/га × рік.

У доступних нам джерелах інформації не було знайдено даних щодо вмісту білків, жирів і вуглеводів у фітомікроепіфітоні. Вважаємо, що вміст поживних речовин у водоростях фітомікроепіфітону приблизно дорівнює такому як для водоростей фітопланктону і при домінуванні діатомових водоростей: вміст білків – 3–4% сухої маси, вміст жирів – 20–25%, вміст вуглеводів – 12–20% сухої маси (Растительность..., 1989). Отже, фітомікроепіфітон МДМК може продукувати:

- білків – 0,63–0,84 т/рік;
- жирів – 4,20–5,25 т/рік;
- вуглеводів – 2,52–4,20 т/рік.

Таким чином, угруповання фітомікроепіфітону є важливим компонентом екосистеми МДМК.

В цілому ж, виходячи з запасів біомаси і біопродукційного потенціалу ВВР, нитчастих водоростей і фітомікроепіфітону, можна зробити висновок, що канал представляє собою високоевтрофну екосистему, де процеси первинного продукування перевищують процеси деструкції. При відмиранні і розкладі надлишкової фітомаси у воду надходить значна кількість органічних речовин, що погіршує кисневий режим і якість води. Розрахунки показали, що біопродукційний потенціал вищих водних рослин каналу складає  $211,68 \times 10^6$  ккал/акваторію каналу × рік, нитчастих водоростей –  $40,92 \times 10^6$  ккал/акваторію

каналу  $\times$  рік, фітомікроепіфітону –  $167,18 \times 10^6$  ккал/ акваторію каналу  $\times$  рік. Тому, для досягнення збалансованості продукційно-деструкційних процесів, відновлення ефективної експлуатації каналу необхідно створення Природно-штучного біомеліоративного комплексу, до складу якого входять рослиноїдні риби.



## 6. ЗООПЛАНКТОН І ЗООБЕНТОС (ЗООПЕРИФІТОН)

### 6.1. Якісна і кількісна характеристика зоопланктону

Угруповання безхребетних водної товщі каналу (зоопланктон) представлені різноманітними дрібними тваринами, які, в основному, відносяться до коловерток (Rotatoria), гіллястовусих (Cladocera) і веслоногих ракоподібних – Copepoda.

Таксономічне і кількісне (величини чисельності і біомаси) різноманіття зоопланктону формується під впливом двох екологічних чинників:

- якісного і кількісного різноманіття зоопланктону, який надходить з джерела водозабору – р. Дунай;
- внутрішньоводойменних процесів, які протікають уже безпосередньо в каналі; інтенсивність цих процесів, а відповідно, і формування різноманіття, визначається всією гамою абіотичних і біотичних чинників.

До перших із них відноситься: конфігурація ложа каналу, його глибина, ширина, гідрологічний режим (швидкість течії, ступінь її ламінарності чи турбулентності, об'єми водних мас, їх гомогенність чи стратифікація, тощо), температурний режим, прозорість чи каламутність води.

Із біологічних складових, які впливають на розвиток тварин, головними є кормовий ресурс (волорості, бактерії, детрит) і наявність (чи відсутність) пресу хижаків.

Зазвичай, в зоопланктоні каналів домінують коловертки, а найменш представленими є веслоногі ракоподібні (табл. 6.1).

За кількісним різноманіттям (величинами чисельності і біомаси) зоопланктону каналів України притаманні дуже значні коливання цих показників, які для одного і того ж каналу на різних ділянках можуть різнитися в межах до 3-5 порядків.

**Співвідношення (%) різних систематичних груп у зоопланктоні каналів  
України (Гидробиология каналов, 1990)**

| Безхребетні  | Канали              |                            |             |
|--------------|---------------------|----------------------------|-------------|
|              | Дніпро – Кривий Ріг | Сіверський Донець – Донбас | Інгулецький |
| Коловертки   | 11–19               | 7–24                       | 10–23       |
| Гіллястовусі | 1–14                | 6–15                       | 5–15        |
| Веслоногі    | 0–5                 | 3–9                        | 2–8         |

Основні екологічні чинники, що визначають як часову, так просторову динаміку різноманіття зоопланктону, коротко були наведені вище. Конкретні ж підтвердження високої динаміки кількісного різноманіття зоопланктону основних каналів України наведено в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

**Кількісне різноманіття зоопланктону каналів України**

*(Гидробиология каналов, 1990)*

| Канал                      | Чисельність ( <i>N</i> ), тис.<br>екз/м <sup>3</sup> | Біомаса ( <i>B</i> ), мг/ м <sup>3</sup> |
|----------------------------|--|--|
| 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                               |

Аналіз результатів, отриманих за опрацьованими в лабораторних умовах натурними даними, показав, що зоопланктон був представлений різноманітними таксонами: Rotatoria – 16 видів, що становило 59% від загальної кількості організмів; відповідно Cladocera – 5 видів (18%). Веслоногі рачки Соперода були представлені значною кількістю науплій на різних ювенільних стадіях розвитку, від ювенілій I-II стадії до вже дорослих личинок, які вже здатні «осідати» на субстрати.

Домінуючими видами зоопланктону (як по чисельності, так і по біомасі) були коловертки – *Ploesoma truncatum*, *Asplanchna sieboldi*, *Euchlanis dilatata*, *Keratella quadrata* і веслоногий рачок – *Acanthocyclops americanum*.

По кількісному різноманіттю, основну частину чисельності – 83,0 тис. екз/м<sup>3</sup>, це 90% від загальної кількості чисельності зоопланктону, і біомаси – 172,9 мг/дм<sup>3</sup>; що відповідно складає 67% від сумарного зоопланктону формували коловертки.

Важливим, з точки зору формування біорізноманіття безхребетних, інтенсифікації процесів самоочищення водної товщі та створення і розширення площ акваторій з підвищеним харчовим ресурсом для риб-бентофагів, є знаходження в водній товщі в досить значних кількостях як велігерів (личинок молюсків *Dreissena*), так і вже їх розвинутих личинок, здатних до осідання на вільні субстрати в каналі. Але, в той же час, збільшення ареалів розповсюдження *Dreissena* необхідно розглядати як потенційну загрозу створення біологічних перешкод ефективному функціонуванню каналу, особливо його водозабірних станцій.

В цілому ж, проведення узагальнюючого аналізу по якісному і кількісному різноманіттю зоопланктону показує, що більшу частину року - весна, осінь, зима, - величини його біомас знаходяться в межах до одного грама на метр кубічний, і тільки в літній період, а це фактично не більше трьох місяців, можуть досягати величин біомас в декілька грам. Але при цьому, як було показано в розділі №3 (фітопланктон) і №7 (бактеріальне населення) даного звіту, зоопланктон відіграє суттєву роль в формуванні планктонних ланцюгів живлення багатьох представників іхтіофауни на різних етапах розвитку риб.

У значно меншій кількості розвивались гіллястовусі рачки, чисельність яких, в середньому, складала 0,4 тис. екз/м<sup>3</sup>, а біомаса всього – 0,005 г/м<sup>3</sup>. В цілому ж, таксономічне, кількісне різноманіття (за величинами чисельності і біомаси) червневого зоопланктону МДМК представлені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Таксономічне і кількісне різноманіття (чисельність, N, тис. екз/м<sup>3</sup>; біомаса, В, г/м<sup>3</sup>)<sup>1</sup> зоопланктону  
МДМК у червні 2019 р.

| Rotatoria                   |       |        | Cladocera                   |     |       | Copepoda                         |      |        |
|-----------------------------|-------|--------|-----------------------------|-----|-------|----------------------------------|------|--------|
| Види                        | N     | В      | Види                        | N   | В     | Види                             | N    | В      |
| <i>Keratella cochlearis</i> | 200   | 0,040  | <i>Bosmina longirostris</i> | 250 | 2,500 | <i>Eurythemora affinis</i>       | 30   | 1,500  |
| <i>K. quadrata</i>          | 6500  | 3,250  | <i>B. coregoni</i>          | 15  | 0,450 | <i>Acanthocyclops americanus</i> | 400  | 28,0   |
| <i>Synchaeta sp.</i>        | 30    | 0,024  | <i>Daphnia cucullata</i>    | 15  | 0,900 | <i>Ergasilus sp.</i>             | 15   | 0,150  |
| <i>Polyarthra vulgaris</i>  | 2000  | 0,200  | <i>Chidorus spaericus</i>   | 90  | 0,900 | <i>Cyclops juvenes</i>           | 2500 | 25,0   |
| <i>Asplanchna sieboldi</i>  | 850   | 17,0   | <i>Evadne trigona</i>       | 15  | 0,450 | <i>Nauplii</i>                   | 5500 | 27,500 |
| <i>Euchlanis dilatata</i>   | 64500 | 129,0  |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>Ploesoma truncatum</i>   | 7500  | 22,500 |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>Brachionus angularis</i> | 50    | 0,025  |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>Br. calyciflorus</i>     | 30    | 0,210  |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>Br. diversicornis</i>    | 300   | 0,300  |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>Filinia longiseta</i>    | 30    | 0,009  |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>Trichocerca pusilla</i>  | 100   | 0,050  |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>T. cylindrica</i>        | 200   | 0,040  |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>T. capucina</i>          | 50    | 0,010  |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>Lepadella patella</i>    | 50    | 0,005  |                             |     |       |                                  |      |        |
| <i>Lecane luna</i>          | 650   | 0,195  |                             |     |       |                                  |      |        |

\*Примітка. Представлені чисельності, біомаси є середніми величинами червневого зоопланктону.

Вважаємо, що максимального розвитку зоопланктон каналу, як це встановлено для його джерела водного живлення – р. Дунай (Беспозвоночные и рыбы, 1989), досягає в липні – середині серпня і може складати до декількох г/м<sup>3</sup>. Аналогічна ситуація була встановлена і для серпневого зоопланктону каналу (Звіт, 2007), що характеризувала період інтенсивного розвитку копепода, коли тільки їх біомаса, коливалась в межах – 0,31-3,71 г/м<sup>3</sup>. Хоча вважаємо за необхідне зазначити, що з осінньо-зимовим зниженням температури води, як відомо, інтенсивність вегетації і кладоцера і копепода може знижуватись в декілька разів в порівнянні з літнім періодом.

Таким чином, зоопланктон каналу характеризується значним якісним і кількісним різноманіттям та відіграє значну роль в функціонуванні біоти, а відповідно, і ПШБК.

## **6.2. Якісна і кількісна характеристика зообентосу (зооперифітону)**

Особливістю просторового розподілу донних безхребетних каналів є те, що за своїми екологічними і біотопічними характеристиками практично не можливо, навіть притримуючись історично встановлених гідробиологічних канонів (Зернов, 1934), провести грань: це є угруповання зообентосу чи зооперифітону? Тому не вдаючись до глибокої наукової дискусії будемо притримуватись думки одного із основоположників досліджень безхребетних каналів – О.Г. Кафтанникової (Кафтанникова, 1975) і застосовувати термін «зообентос».

В зообентосі МДМК виділяються дві життєві зони безхребетних з специфічною структурою угруповань:

Перша – від урізу води, вглибину по відкосу до 1,5-2,0 м. В основному, це дрібні тваринні організми, які відносяться до мікро-, мезобентосу, і представлені різноманітними донними формами коловороток, ракоподібних, гідр, нематод, олігохет, гамарусів і таке інше.

Друга зона – від 2,0 м і нижче, включаючи і дно каналу; розвиваються більш крупні форми, з домінуванням за способом живлення фільтраторів: мшанки, 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  $\text{кг}/\text{м}^2$  субстрату.

З представлених в табл. 6.4 даних видно, що в усіх шести каналах, не залежно від їх типу, провідна роль належить молюскам. Причому, важливо відмітити, що деякі з наведених (табл. 6.4) каналів відносяться до тих, які в осінньо-зимовий час практично не функціонують і в повній мірі заповнюються водою тільки навесні наступного року.

У каналах просторовий розподіл зообентосу, його якісне і кількісне різноманіття, крім особливостей сезонного розвитку, визначається режимом швидкостей течій, в залежності від джерела водозабору, а також морфологією та субстратом ложа каналу. При цьому, в найбільшій мірі, коливаються величини чисельності і біомаси і межі коливань між мінімальними і максимальними показниками. Так, в одному і тому ж каналі ці показники можуть досягати декількох порядків. В цілому ж, кількісне різноманіття (за чисельністю і біомасою) зообентосу може сягати декількох порядків (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

**Кількісне різноманіття за чисельністю (N, тис. екз/м<sup>2</sup>) і біомас (B, г/м<sup>2</sup>) зообентосу в каналах України.**

| Канал                           | N          |              | B            |              |
|---------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|
|                                 | Загальна   | Без молюсків | Загальна     | Без молюсків |
| ГКМК                            | 0,8-173,8  | 0,2-165,1    | 0,3-17778,0  | 0,4-19,2     |
| Сіверський Донець-Донбас        | 0,2-45,7   | 0,2-44,7     | 0,02-280,0   | 0,02-20,4    |
| Дніпро-Кривий Ріг               | 0,5-69,9   | 0,2-66,6     | 0,07-3007,0  | 0,03-18,0    |
| Дніпро-Донбас                   | 0,14-103,7 | 0,01-34,0    | 0,07-17375,0 | 0,62-17,8    |
| Північно-Кримський              | 0,2-314,0  | 0,2-312,0    | 0,04-10217,0 | 0,06-17,9    |
| Інгулецький магістральний канал | 0,2-84,0   | 0,01-84,0    | 0,06-447,0   | 0,01-5,3     |

В значній мірі, феномен домінування в біомасі зообентосу каналів молюсків, пояснюють результати спеціальних досліджень часової динаміки молюска дрейсени, які були приведені на каналі Дніпро-Кривий Ріг (табл. 6.5).

**Біомаса ( $B$ ,  $г/м^2$ ) і продукція ( $P$ ,  $г/м^3$ ) цьогорічної дрейсени,  
що поселилася на субстрат каналу Дніпро-Кривий Ріг в різний час  
(Гидробиологія каналов, 1990)**

| Період часу       | $\Sigma B$ | $\Sigma P$ | $\Sigma P/B$ |
|-------------------|------------|------------|--------------|
| 19/V – 30/VIII    | 66,7       | 117,5      | 1,7          |
| 8/VII – 30/VIII   | 143,5      | 553,7      | 3,8          |
| 16/VII – 30/VIII  | 146,6      | 647,7      | 4,4          |
| 27/VII – 30/VIII  | 56,2       | 194,8      | 3,4          |
| 6/VIII – 30/VIII  | 20,0       | 52,5       | 2,6          |
| 16/VIII – 30/VIII | 6,9        | 12,1       | 1,7          |

\* - Час поселення велігерів дрейсени на субстрат.

\*\* - Час відбору поселень (колоній) дрейсени.

З представлених в табл. 6.5 даних наглядно видно, що навіть при різних часових інтервалах дослідів, за рахунок збагачення води як розчиненими, так і дрібно розмірними завислими органічними речовинами, проходить інтенсивний розвиток *Dreissena*.

Строки експозицій дослідів коливались від декількох місяців до двох неділь, протягом яких в каналі спостерігається інтенсивна експансія велігерів дрейсени, які поселяються на субстрат і формують значні біомаси.

Отже, важливим (з точки зору механізмів формування біоперешкод, до яких належать молюски дрейсени) є те, що «поселення» на субстрат велігерів молюсків відбувалось протягом всього періоду дослідів – з третьої декади квітня до кінця липня. А виходячи з біологічних характеристик молюсків роду *Dreissena*, «початок», а відповідно і «закінчення» міграції велігерів, може мати і більший часовий інтервал, що ще раз підкреслює їх роль в формуванні живої біотичної речовини каналів України і, відповідно, біологічних загроз.

Крім представників макрозообентосу, до яких належать молюски, в формуванні особливого видового різноманіття належить дрібним тваринам різних систематичних таксонів, які об'єднуються в таку специфічну еколого-біотопічну групу, як мікрозообентос.

Встановлено, що одним із домінуючих чинників, який визначає інтенсивність розвитку організмів мікрозообентосу, є ступінь замуленості субстрату. Так, в табл. 6.6 приводяться дані по величинам середніх біомас мікрозообентосу, який розвивався на відкосах каналу Сіверський Донець-Донбас в залежності від ступеня замуленості відкосів каналу.

Таблиця 6.6

**Середня біомаса ( $B$ , г/м<sup>2</sup>) мікрозообентосу на облицьованих відкосах каналу Сіверський Донець-Донбас в залежності від ступеня замулення.**

| Біомаса мікрозообентосу | Ступінь замулення відкосів |                |                   |                 |
|-------------------------|----------------------------|----------------|-------------------|-----------------|
|                         | не замулені                | слабо замулені | середньо замулені | сильно замулені |
|                         | 0,92                       | 19,65          | 12,28             | 26,32           |

Таким чином, приведені характеристики структурно-функціональної організації безхребетних водної товщі та різнотипних субстратів, показують їхнє високе якісне і кількісне різноманіття. Це, безперечно, вказує на їх важливу роль в процесах формування якості води, колообігу речовин, харчового ресурсу для риби, а отже і функціонування ПШБК каналу.



## 7. РОЛЬ БАКТЕРІАЛЬНИХ УГРУПОВАНЬ У РІЗНОМАНІТТІ БІОТИ КАНАЛУ ТА ФУНКЦІОНУВАННІ ПРИРОДНО-ШТУЧНОГО БІОМЕЛІОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСУ

У структурній організації біоти каналу суттєве значення належить бактеріальним угрупованням, які присутні в усіх екологічних (біотопічних) групах: планктоні, бентосі, обростаннях штучних субстратів, ВВР і, навіть, колоніальних форм Cyanophyta.

Відповідно, таке широке поширення мікроорганізмів зумовлює те, що структурно-функціональна організація бактеріальних угруповань в значній мірі визначає збалансованість процесів первинного продукування (А) і деструкції органічних речовин (R).

Важливо зазначити, що  $A/R$  – не тільки показник біопотенціалу водної екосистеми, а й провідна характеристика процесів самоочищення-самозабруднення, що в кінцевому результаті визначає якість водного середовища. Крім того, бактерії в значній мірі визначають і екологічний стан каналу.

У МДМК чисельність, біомаса, сезонна динаміка, функціональна активність бактерій визначається:

а) характеристикою джерела водопостачання - в даному випадку це інтенсивність розвитку водної мікрофлори, що надходить до каналу; екологічний стан, продуктивність, якість води нижньої частини Дунаю;

б) інтенсивністю, сезонною динамікою та направленістю внутрішньоводоймних процесів, які протікають безпосередньо в різних місцях каналу.

Крім того, необхідно враховувати особливості гідрологічного, гідрохімічного режимів, інтенсивність експлуатації та морфологічні показники (глибина, ширина, конфігурація русла) як основного магістрального каналу, так і інших зрошувальних систем, бо, апріорі, ці процеси в кожному з водотоків мають свою специфіку.

Найчисельнішим компонентом бактеріального населення каналу є бактеріопланктон, тобто ті мікроорганізми, що розвиваються у водній товщі водотоку.

Бактеріопланктону МДМК належить провідна роль у деструкції органічних речовин (ОР) у воді і лише в періоди масового розвитку фітопланктону (фактично це червень–серпень) величини добового дихання водоростей та бактерій приблизно однакові. При цьому, інтенсивність бактеріальної деструкції органічних речовин залежить від температури води в каналі і вмісту в ній ОР. Ранньою весною вона, як правило, мінімальна – 0,1–0,3 мг  $O_2/дм^3 \times добу$ . Влітку, з підвищенням температури води, споживання кисню зростає до 0,3–0,8 мг  $O_2/дм^3 \times добу$ , а при надходженні в канал із водосховища фітопланктону, який виступає у якості додаткового органічного субстрату для бактерій – збільшується до 1,5 мг  $O_2/дм^3 \times добу$ .

Важливими складовими бактеріальних угруповань є бактеріоперифітон (бактеріальні обростання всіх споруд каналу: шлюзи, відкоси, решітки тощо) та бактеріоепіфітон, що являє собою бактеріальні обростання ВВР, що вегетують у каналі. Доведено (Якушин, 1996), що у Північно-Кримському каналі чисельність бактеріоепіфітону на ВВР різних видів (очереті, рогозі, рдеснику) в літній період становила 195,2–399,6 млн. кл/г вологої маси рослини і не мала чітко вираженої залежності від виду макрофіта.

Так, у каналі Дніпро – Кривий Ріг, що також живиться з водосховища, загальна чисельність бактерій в обростаннях рослин різних видів влітку становила 221,4–441,2 млн. кл/г. Більш високою була вона у занурених рослин (рдесника, куширя), в порівнянні з повітряно-водними (очеретом, рогозом).

За інтенсивністю розвитку бактеріоепіфітону різних екологічних груп ВВР найбільших показників він досягає на занурених рослинах, що затримують на своїй поверхні багато завислих речовин, і тому формують додатковий субстрат для бактерій.

Отже, виходячи з ролі бактерій у водній екосистемі каналу, їх необхідно розглядати як важливий компонент ПШБК, який забезпечує взаємозв'язок у колообігу органічних речовин, виконуючи наступні функції:

1. Трофічну – синтезуючи бактеріальну біомасу, забезпечує функціонування трофічного ланцюга: „бактеріопланктон → зоопланктон (рачки-бактеріофаги, поліфаги) → риби”. Необхідно відмітити, що крім планктонного харчового ланцюга, існують й інші трофічні ланцюги: „бактеріобентос → донні безхребетні → риби” і „бактеріоперифітон → перифітонні безхребетні → риби”. Хоча, трофічна роль бактерій цих ланцюгів у забезпеченні харчових ресурсів екосистеми нижче, ніж планктонного трофічного ланцюга.

2. Формування бактеріально-детритних агломерацій, що значно підвищує енергетичну цінність детриту, який входить до складу як планктонного, так і бентосного ланцюгів живлення.

3. Деструкційна роль бактерій – у процесі своєї життєдіяльності гетеротрофні мікроорганізми редукують органічні речовини до мінеральних форм азоту:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  і фосфору – до фосфатів, що в свою чергу сприяє:

–інтенсифікації фотосинтезу фітопланктону, фітоепіфітону, фітомікробентосу і ВВР;

– через зменшення органічних речовин у воді зростає її якість.

У цілому, бактеріопланктон, бактерії обростань різних субстратів відіграють важливу роль у формуванні біологічного потенціалу, продуктивності, процесів самоочищення-самозабруднення, які лежать в основі формування якості води водотоку.

Так, частка бактеріопланктону в загальній деструкції органічної речовини планктоном у каналі може складати до 70%. Між інтенсивність деструкційних процесів та вмістом бактеріопланктону, концентрацією органічної речовини, температурою води є тісний позитивний зв'язок.

Доля бактерій обростань у загальній деструкції органічної речовини біотичними угрупованнями (фіто-, зоопланктон, фіто-, зообентос, ВВР) в екосистемі каналу досягає 11–19%.

Отже, бактеріальні угруповання каналу (бактеріопланктон, бактеріоперифітон, бактеріоепіфітон) відіграють важливу роль в екосистемі каналу. Не зважаючи на те, що на сьогоднішній день, на жаль, фактично відсутні

репрезентативні натурні дані, що характеризують бактеріальне населення та його роль у функціонуванні екосистеми МДМК, бактеріопланктон, бактеріоперифітон, бактеріоепіфітон, бактеріобентос є важливим біотичним компонентом МДМК. Вважаємо, що після створення ПШБК необхідною умовою для забезпечення оптимального його функціонування є включення комплексних мікробіологічних досліджень бактеріального населення в Моніторинг наукового супроводу. Також, враховуючи особливості гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного режиму необхідно провести мікробіологічний моніторинг як основного русла каналу, так і прилеглих зрошувальних систем.

Таким чином, бактеріальне населення, яке характерне для всіх біотопів (планктон, бентос, епіфітон, перифітон) каналу, є важливим природним біотичним компонентом, що не лише безпосередньо забезпечує життєдіяльність ПШБК, але і бере участь у процесах самоочищення. Ці процеси визначають якість води, що надходить до сільськогосподарських водоспоживачів та, що не менш важливо, водозабезпечення питних потреб соціуму південних регіонів України.

## 8. СТРУКТУРА, ФУНКЦІОНУВАННЯ І РОЛЬ ПРИРОДНО-ШТУЧНОГО БІОМЕЛІОРАТИВНОГО КОМПЛЕКСУ В ЕФЕКТИВНІЙ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МДМК

### 8.1. Наукова суть організації і функціонування ПШБК

В процесі своєї життєдіяльності різноманітні угруповання гідробіонтів формують структуру і функціональні взаємозв'язки в екосистемі, що і є біологічним базисом біомеліоративного комплексу.

Основними біотичними чинниками, які визначають взаємозв'язки між угрупованнями гідробіонтів різних екологічних груп (планктон, бентос, перифітон, епіфітон), є трофічні зв'язки. В їх якості виступають різноманітні трофічні ланцюги гідробіонтів, які контактують між собою харчовими взаємовідношеннями. Відповідно, трофічні ланцюги являють собою один з найважливіших механізмів адаптації гідробіонтів для свого існування в конкретній водній екосистемі. Зміна якісного складу, величин чисельності (біомаси) навіть одного виду, безперечно, вплине на розвиток гідробіонтів на більш високих рівнях структурно-функціональної організації біоти.

Аналіз складних біологічних взаємовідносин гідробіонтів в водній екосистемі можливе лише за певної міри їх формалізації. Для цього на основі приведених в розділах 3-7, а також 9 (іхтіофауна), якісному і кількісному різноманітті, а також даних по структурно-функціональній організації гідробіонтів МДМК, до певної міри віртуально, виділимо два основних типи трофічних взаємовідносин:

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

Як правило, в більшості водних екосистем, а до таких відноситься і МДМК, як в просторових, так і часових координатах, паралельно існують обидва ланцюги. При цьому важливим є те, що можуть формуватись і більш складні трофічні взаємозв'язки, при яких проходить діалектичне взаємопоєднання обох трофічних ланцюгів даної екосистеми. Характерною рисою цих складних надорганізмних біологічних систем є те, що в них представлені гідробіонти різних екологічних груп: планктон, бентос, перифітон, епіфітон, а також і трофічних рівнів і автотрофна ланка (водорості, ВВР), консументи і редуценти.

Зрозуміло, що чим різноманітнішими є трофічні взаємовідносини, тим в водній екосистемі формується складніша і, як правило, взаємодоповнююча одна одну, структура біоти.

Приведений аналіз доступного літературного матеріалу, даних («Звіт ..., 2007) і, особливо, отриманих в весняно-літньо-осінній період 2019 р. натурних даних по різних компонентах біоти каналу, дозволив, до певної міри схематично, виділити основні трофічні взаємозв'язки гідробіонтів, які і визначають структурно-функціональну організацію біоти МДМК. Ці взаємозв'язки між основними угрупованнями гідробіонтів каналу в схематичному вигляді представлені на рис. 8.1.

Детальний аналіз приведених схем взаємозв'язків, їх науково-практична верифікація з використанням отриманих натурних матеріалів по якісному і кількісному різноманіттю гідробіонтів, для такого специфічного об'єкту як МДМК, безсумнівно, має значне наукове значення. Але, виходячи з Технічного завдання даної НДР, зупинимось на детальному аналізі тільки тих з них, які формують основні біологічні загрози, що погіршують ефективну роботу МДМК на сьогоднішній день чи можуть бути потенційною загрозою в майбутньому.