ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра загальної та прикладної екології і зоології

Кваліфікаційна робота

магістра

на тему: БІОРІЗНОМАНІТТЯ ГІДРОБІОНТІВ В ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТОКІВ

BIODIVERSITY OF HYDROBIONTS IN INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY

Виконала: студентка 2 курсу, групи 8.1013

спеціальності 101 Екологія

освітньо-професійної програми «Екологія та охорона навколишнього середовища»

_____ Тітова С.М.

Керівник_____доцент, доцент, к.б.н. Домбровський К.О.

Рецензент_____доцент, доцент, к.б.н. Воронова Н.В.

Запоріжжя – 2024

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Біологічний факультет
Кафедра загальної та прикладної екології і зоології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 101 Екологія
Освітньо-професійна програма Екологія та охорона навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри загальної та прикладної екології і зоолоії,
д.б.н., професор
_____ О.Ф. Рильський
«31» січня 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Тітової Софії Миколаївні

1. Тема роботи **Біорізноманіття гідробіонтів в технології очищення промислових стоків.**

керівник роботи Домбровський Костянтин Олегович, к.б.н. доцент

затверджена наказом ЗНУ від «27» березня 2024 р. № 526-с

2. Строк подання студентом роботи «30» листопада 2024 року

3. Вихідні дані до роботи аналіз біорізноманіття гідробіонтів в технології очищення промислових стоків р.Капустянка

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити:

- провести огляд наукової літератури
- визначити шляхи практичної роботи
- дослідити систему охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при роботі в умовах лабораторії та у польових умовах, розробити відповідні рекомендації.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 9 таблиць, 12 рисунків

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ім'я, по-батькові та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Притула Н.М., доцент, к.с.г.н.		

7. Дата видачі завдання 27 жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Огляд літературних джерел. Написання відповідного розділу роботи.	жовтень 2023-лютий 2024	Виконано
2.	Вивчення, засвоєння методик дослідження. Написання відповідного розділу роботи.	лютий-березень 2024	Виконано
3.	Засвоєння правил техніки безпеки під час виконання експериментальної частини. Написання відповідного розділу роботи.	березень 2024	Виконано
4.	Проведення експериментальних досліджень. Оформлення результатів експерименту (таблиці, рисунки). Написання відповідного розділу роботи.	травень 2024-жовтень 2024	Виконано
5.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Передзахист роботи.	жовтень 2024	Виконано
6.	Рецензування кваліфікаційної роботи	грудень 2024	Виконано
7.	Захист кваліфікаційної роботи	грудень 2024	Виконано

Студентка_ _____ С.М. Тітова

Керівник роботи _____ К.О. Домбровський

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ Н.М. Притула

РЕФЕРАТ

Дана робота складається з 78 сторінок друкованого тексту. Робота містить 9 таблиць, 12 рисунків та 3 додатки. Перелік використаних джерел налічує 59 найменувань, з яких 8 подано латиницею.

Метою кваліфікаційної робити є вивчення структурної організації перифітону волокнистого носія «ВІЯ» при очищенні поверхневих вод р. Капустянка.

Об’єкт дослідження – р. Капустянка, у яку потрапляють стічні води гідроспоруди, що функціонує у рамках комплексного позамайданчикового шламовидалення на ПАТ «Запоріжсталь».

Предмет дослідження – угруповання перифітону волокнистого носія типу «ВІЯ», під час процесу біологічного очищення стічних вод, що потрапляють у річку Капустянка.

Методи дослідження включають мікробіологічні, гідробіологічні, інструментальні, статистичні та описові підходи.

За результатами дослідження встановлено, що на розвиненій поверхні волокнистого носія, встановленого в річці Капустянка, формується активна бактеріальна біота та перифітон, що значно сприяє інтенсифікації біологічного очищення води в умовах водотоку.

Таким чином, навіть у контексті наявності подібних робіт, новизна та значимість цієї роботи полягають у застосуванні конкретної біотехнології в специфічних умовах, її впливі на ефективність очищення води та екологічний стан річки. Екологічна значимість цієї роботи полягає в її використанні для покращення стану подібних об’єктів в Україні.

ПЕРИФІТОН, БІОРІЗНОМАНІТТЯ, ГІДРОБІОНТИ, ВОЛОКНИСТИЙ НОСІЙ «ВІЯ», БАКТЕРІАЛЬНА БІОТА, БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

ABSTRACT

This work consists of 78 pages of printed text. The work contains 9 tables, 12 figures, and 3 appendices. The list of references includes 59 sources, of which 8 are in Latin.

The object of research is the Kapustyanka River, into which wastewater from the hydrostructure, functioning as part of the complex off-site sludge removal system at PJSC «Zaporizhstal» flows.

The subject of research is the periphyton community on the fibrous carrier of the «VIA» type during the biological treatment process of wastewater entering the Kapustyanka River.

The aim of this thesis is to study the structural organization of periphyton on the fibrous carrier «VIA» during the surface water purification process in the Kapustyanka River.

Research methods include microbiological, hydrobiological, instrumental, statistical, and descriptive approaches.

As a result of the study, it was found that an active bacterial biota and periphyton form on the developed surface of the fibrous carrier installed in the Kapustyanka River, significantly contributing to the intensification of biological water purification in the river flow conditions.

Thus, even in the context of similar existing studies, the novelty and significance of this work lie in the application of a specific biotechnology under unique conditions, its impact on the effectiveness of water purification, and the ecological state of the river. The ecological significance of this work is its potential use for improving the condition of similar water bodies in Ukraine.

PERIPHYTON, BIODIVERSITY, HYDROBIONTS, FIBROUS «VIA» CARRIER, BACTERIAL BIOTA, BIOLOGICAL WATER TREATMENT

ЗМІСТ

ВСТУП…… 7
1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ……. 10
1.1 Сучасні способи очистки стічних вод…… 10
1.2 Біологічні способи очищення стічних вод від забруднюючих речовин…….. 13
1.3 Вибір об’єкта дослідження та опис методів збору та аналізу зразків води……... 24
2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ……..... 38
2.1 Загальні методи дослідження мешканців водойм…….. 39
2.2 Вибір об’єкта дослідження та опис методів збору та аналізів зразків води …….. 43
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА……. 49
3.1 Перифітон волокнистої насадки типу «ВІЯ» при очищенні річки Капустянка……. 49
3.2 Дослідження бактеріальної біоти періфітону «ВІЇ»……. 60
4.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ…… 64
4.1 Використання заходів безпеки під час збору та аналізу водних зразків…… 64
4.2 План дій у випадку виникнення надзвичайних ситуацій під час дослідження або роботи на водних об’єктах……. 68
ВИСНОВКИ…….. 71
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……. 72
ДОДАТКИ……. 79

ВСТУП

Вода є одним з найцінніших природних ресурсів. По-перше, вона є незамінним середовищем, в якому відбулося утворення складних органічних сполук, що є основними елементами для будови всіх живих організмів [1]. По-друге, вода має надзвичайно важливе значення в обміні речовин у живих істотах і для багатьох з них є необхідним середовищем для існування.

Людина складається на 50-70% з води і щодня потребує близько 2 літрів рідини. Окрім цього, величезні об'єми води використовуються для різних потреб господарства та промисловості. Загальна річна витрата води на планеті у всіх сферах водопостачання складає 3300-3500 км³, і ці обсяги з кожним роком зростають. Водночас інтенсивне зростання міст, стрімкий розвиток промислових секторів, розширення сільськогосподарських угідь, зокрема зрошуваних земель, а також багато інших факторів ускладнюють завдання забезпечення водними ресурсами. Однією з найбільших проблем на сьогоднішній день є погіршення якості води, що насамперед викликано скидами недостатньо очищених стічних вод у природні водойми [2, 3].

Через недосконаліть систем водокористування більша частина природної води, використаної для господарських та побутових потреб, після її застосування повертається у водойми у вигляді стічних вод. Це спричиняє забруднення водного середовища, що виражається у зміні фізичних та органолептичних характеристик води, підвищенні рівня хімічних сполук (сульфатів, хлоридів, нітратів), токсичних важких металів, зниженні концентрації розчиненого кисню, а також у появі радіоактивних елементів та патогенних бактерій. За останніми даними, найбільшими забруднювачами є органічні речовини та іони важких металів .

Особливо гостро проблема водопостачання стоїть у промислових містах України, зокрема в Запоріжжі. Наприклад, річка Дніпро, яка є головною водною артерією країни і протікає через місто, містить значні концентрації

шкідливих речовин. За різними оцінками, рівень фенолів у воді становить 1-2 ГДК, сполуки міді – від 6 до 11 ГДК, цинку – від 7 до 12 ГДК, заліза – від 0,4 до 1,6 ГДК, марганцю та кадмію – від 3 до 8 ГДК [5]. Це підтверджує нагальність пошуку ефективних і економічно вигідних методів очищення стічних вод у таких регіонах.

Біологічний (або біохімічний) метод очищення стічних вод широко застосовується для очищення як промислових, так і побутових стоків від органічних та неорганічних забруднювачів. Процес базується на здатності мікроорганізмів використовувати забруднювачі з води як джерела живлення в процесі своєї життєдіяльності [4]. Цей метод характеризується низькою вартістю та високою ефективністю, якщо забезпечено оптимальні умови для мікроорганізмів і правильно організовано їх культивування [3, 6].

Метою кваліфікаційної робити є вивчення структурної організації перифітону волокнистого носія «ВІЯ» при очищенні поверхневих вод р. Капустянка.

Об'єкт дослідження – р. Капустянка, у яку потрапляють стічні води гідроспоруди, що функціонує у рамках комплексного позамайданчикового шламовидалення на ПАТ «Запоріжсталь».

Предмет дослідження – угруповання перифітону волокнистого носія типу «ВІЯ», під час процесу біологічного очищення стічних вод, що потрапляють у річку Капустянка.

Методи дослідження включають мікробіологічні, гідробіологічні, інструментальні, статистичні та описові підходи.

Робота виконувалася в рамках науково-дослідної роботи «Науковий супровід проєктів екологічного спрямування в Запорізькому регіоні» (керівник д.б.н., проф. Рильський О.Ф.). Номер державної реєстрації НДР: 0119U002425. Терміни виконання етапу: з 01.01.2019 р. по 31.12.2024 р. та її результати опубліковані:

1. Домбровський К. О., Тітова С. Біорізноманіття гідробіонтів та їх роль у технології очищення промислових стічних вод. The V International

Scientific and Practical Conference «Modern strategies of global scientific solutions», Decemberr 27−29. Stockholm: International Scientific Unity , 2023. С. 65-69. URL: https://isu-conference.com/arkhiv/modern-strategies-of-global-scientific-solutions/

2. Тітова С.М., Домбровський К. О., Загальні питання біологічної індікації водних екосистем. 9-й міжнародний молодіжний конгрес «СТАЛИЙ РОЗВІТОК: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» 28-29 березня 2024, Україна, Львів

3. Домбровський К. О., Горбань В., Воронова Н., Тітова С. . Зоопланктон рибоводних вирощувальних ставів АРК "Придунайська Нива" Одеської області. Всеукраїнська науково-практична конференція «Біорізноманіття: теорія, практика та методичні аспекти вивчення у закладах освіти» Полтава: ПНПУ імені В.Г. Короленка, 2024. С. 86-88

4. Воронов К.Є., Джоголя Є.М., Тітова С.М. Екологічні аспекти повоєнного відновленні сільських територій Запорізької області після окупації та військових дій. Матеріали Круглого столу «Відновлення сільських територій в умовах повоєнного відродження», що проходив 21 травня 2024 року в Запорізькому національному університеті в рамках проєкту ЄС Еразмус+ за напрямом ім. Жана Моне «Євроінтеграція та сталий розвиток сільських територій України як запорука забезпечення продовольчої безпеки в умовах повоєнного відновлення» (101127828 - NEWAGRO – ERASMUS-JMO-2023-HEI-TCH-RSCH). С.233-243

1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Сучасні способи очистки стічних вод

Як відомо, природний процес самоочищення води у водоймах відбувається, хоча й повільно, але є ефективним за умови мінімального впливу антропогенних факторів [1]. Однак у епоху промислової індустрії, коли обсяги відходів зростають, а їх склад стає дедалі різноманітнішим, водні екосистеми вже не здатні ефективно «переробляти» сучасні рівні забруднення. Крім того, з'являються нові забруднювачі – ксенобіотики, які є штучними, не природного походження, що додатково ускладнює процес самоочищення [3]. Тому виникла необхідність у розробці нових технологій водокористування, які не завдають шкоди навколишньому середовищу.

Попередження забруднення водних ресурсів стічними водами можливе через впровадження як організаційних, так і технічних заходів. Організаційні заходи спрямовані на запобігання скиданню неочищених стічних вод у водойми. Технічні заходи включають використання різних методів очищення стічних вод, їх повторне застосування для технічних потреб або поливу, створення оборотних і замкнутих систем водокористування, а також удосконалення технологічних процесів на підприємствах з метою зменшення забруднень, що потрапляють у стоки, або перехід до безвідходних технологій [5]. Одним із основних технічних заходів для забезпечення безпеки водокористування є очищення стічних вод, яке залишається актуальним на сьогодні.

Очищення стічних вод – це сукупність заходів, спрямованих на видалення всіх забруднювачів з води. Як і в будь-якому виробничому процесі, тут є «сировина» (стічні води) та «готова продукція» (очищена вода) [6].

Існують різні методи очищення стічних вод, які можна класифікувати на: механічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні (див. рис. 1.1). Окрім того, існує комбінований підхід, коли кілька методів застосовуються разом для

досягнення вищої ефективності очищення. Вибір конкретного методу залежить від типу забруднень та їх шкідливості для навколишнього середовища і здоров'я [14].

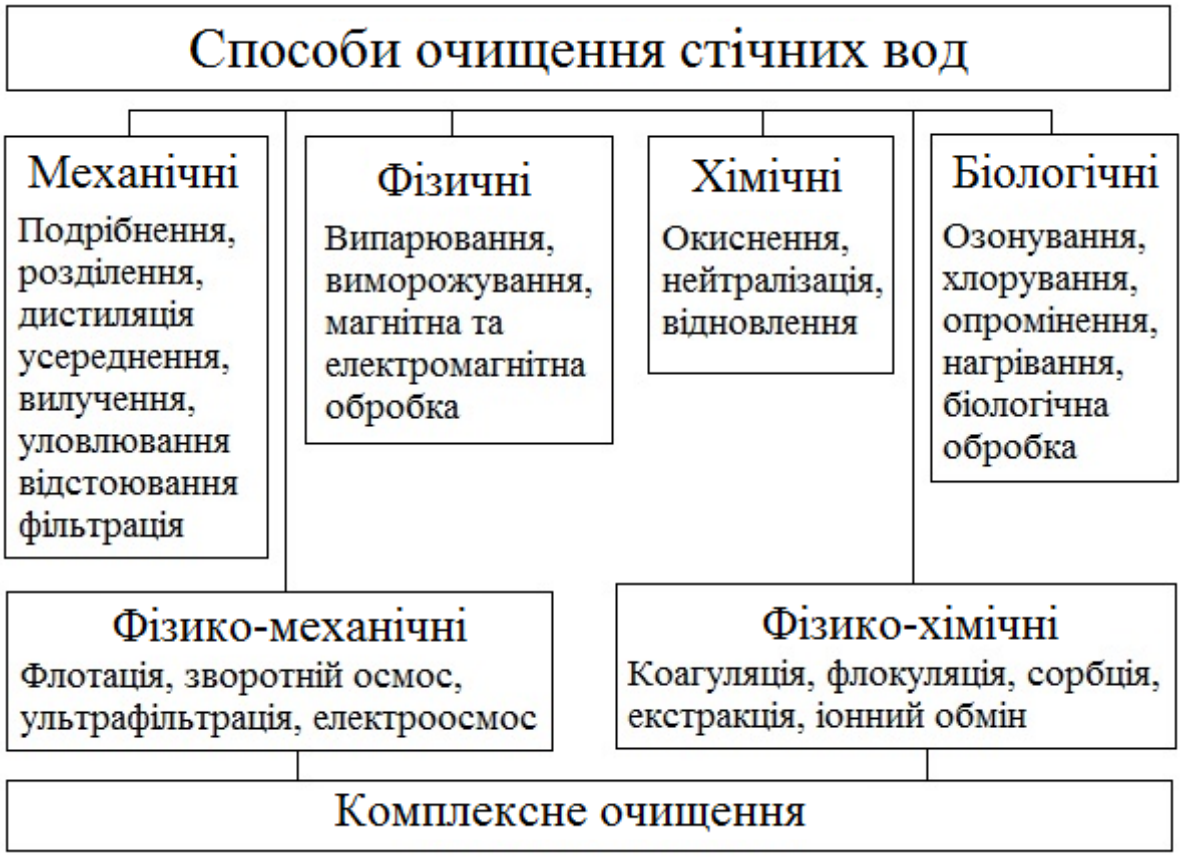


Рисунок 1.1 – Класифікація способів очистки стічних вод (за Джигирей В.С., 2002)

Механічні методи очищення використовуються для видалення твердих часток і масляних забруднень зі стічних вод. Вони зазвичай включають фільтрацію, осадження та сита для видалення великих часток.

Фізико-механічні методи очищення ґрунтуються на принципах флотації, мембранних технологій та азеотропної відгонки. Флотація дозволяє ефективно відокремлювати важкі частки і масла, що знаходяться у воді, за допомогою мікробульбашок, які піднімають забруднення на поверхню. Мембранні методи, зокрема ультрафільтрація та зворотний осмос, використовуються для видалення дрібніших забруднювачів, таких як солі та органічні молекули.

Азеотропна відгонка застосовується для видалення летких органічних речовин через змішування їх з іншими рідинами, що дозволяє досягти розділення компонентів за допомогою температурних змін.

Біологічне очищення води проводиться за допомогою різних біологічних методів, які можуть здійснюватися як у спеціальних спорудах, так і в природних умовах:

− біофільтри, аеротенки, окислювальні канали, біотенки та аеротенки із заповнювачами – спеціалізовані установки для біологічної очистки води, в яких мікроорганізми руйнують органічні забруднення;

− природні біологічні процеси, такі як очищення на полях зрошення, полях фільтрації та в біологічних водоймах, де природні мікроорганізми допомагають очищати воду від органічних забруднень.

Залежно від умов і типу мікроорганізмів, які беруть участь у процесі, біологічне очищення поділяється на два основні типи:

− аеробне (окислювальне) очищення – здійснюється за участю мікроорганізмів, які потребують кисню для розкладу органічних забруднень;

− анаеробне (відновлювальне) очищення – процес, при якому мікроорганізми розкладають органічні речовини без доступу кисню, утворюючи метан і інші продукти.

Ці методи дозволяють ефективно знижувати рівень органічних забруднень у стічних водах, роблячи їх безпечними для навколишнього середовища [15].

У виробничих умовах для ефективного очищення стічних вод часто застосовуються комплексні методи, що поєднують різні технології очищення, зокрема механічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні способи. Такий підхід дозволяє досягти високої ефективності очищення, оскільки кожен метод ефективний для видалення певних типів забруднень, і їх поєднання забезпечує більш комплексне усунення забруднень з води.

1.2 Біологічні способи очищення стічних вод від забруднюючих речовин

Найефективніше очищення виробничих стічних вод, що містять як органічні, так і неорганічні речовини у розчиненому вигляді, досягається за допомогою біологічного методу. Цей підхід використовує ті ж принципи, що і для очищення побутових вод, зокрема аеробний та анаеробний процеси. Для аеробної очистки застосовуються різноманітні установки, зокрема аеротенки, окситенки, фільтротенки, флототенки, біодиски та біологічні ставки. У випадку анаеробного очищення, особливо для висококонцентрованих стічних вод, що очищуються на першому етапі, використовуються метантенки як основні споруди [14].

Для ефективного очищення висококонцентрованих стічних вод застосовується метод анаеробно-аеробного окислення**.** Цей комбінований процес включає два етапи: на першому етапі, в умовах анаеробного середовища**,** мікроорганізми розкладають органічні забруднювачі без доступу кисню, що дозволяє зменшити їх кількість і підготувати воду до наступного етапу очищення. На другому етапі, в аеробних умовах, окислюються залишкові органічні сполуки за участю кисню, що забезпечує повне руйнування забруднювачів і досягнення високої якості очищеної води. Такий підхід дозволяє ефективно обробляти навіть важкоокислювані забруднення, зокрема у висококонцентрованих стічних водах.

Швидкості аеробного окислення при біологічному очищенні виробничих стічних вод варіюються в широкому діапазоні, від 10 до 30 мг/г активного мулу на годину (у розрахунку на беззольну речовину). Ці швидкості залежать від кількох факторів, таких як видова та кількісна структура активного мулу, початковий рівень забруднення, необхідний ступінь очищення, біохімічний склад забруднень, а також фізичні умови процесу (наприклад, інтенсивність перемішування, pH, температура та інші параметри).

Загалом, чим вища початкова концентрація забруднень (до певних меж) і чим менш суворі вимоги до ступеня очищення, тим більша швидкість окислення. Для визначення точних значень швидкості аеробного окислення та анаеробного зброджування проводяться експериментальні дослідження, оскільки ці параметри залежать від конкретних умов обробки стічних вод [21].

Для ефективного біологічного очищення виробничих стічних вод необхідно створити оптимальні умови для розвитку мікробіальних культур. У цьому контексті одними з найбільш перспективних технологій є:

1) аеротенки, які працюють з високими дозами активного мулу. Це дозволяє забезпечити більш інтенсивне біологічне очищення, оскільки більша кількість мікроорганізмів ефективніше руйнує органічні забруднення;

2) окситенки, де очищення відбувається в умовах забезпечення води чистим киснем. Це дозволяє значно покращити процес аеробного окислення, особливо для вод з високим рівнем органічних забруднень, оскільки чистий кисень підвищує ефективність роботи аеробних мікроорганізмів;

3) аеротенки з нерівномірним впусканням стічної води, що дозволяє покращити процес змішування води з активним мулом і забезпечує більш рівномірне розподілення забруднень по всій площі аеробного середовища, підвищуючи ефективність очищення.

Ці технології допомагають створити більш сприятливі умови для росту і діяльності мікроорганізмів, що сприяє більш ефективному та швидкому видаленню забруднень з стічних вод.

Біологічне очищення в аеробних умовах є ефективним, якщо сполуки, що містяться у виробничих стічних водах, здатні окислюватися в результаті біохімічних процесів. Однак для цього необхідно, щоб умови середовища залишалися в межах, які не перевищують гранично допустимі величини, що можуть порушити життєдіяльність мікроорганізмів. Це включає наявність достатньої кількості розчиненого кисню, оптимальні значення pH, прийнятні температурні умови та концентрації шкідливих речовин у воді [24].

Крім того, очищена вода повинна містити необхідну кількість біогенних елементів (азот, фосфор, калій, залізо та інші), які є важливими для підтримки екологічного балансу в водних екосистемах. У деяких випадках виробничі стічні води потребують попередньої обробки, а також додавання біогенних елементів, щоб забезпечити оптимальні умови для ефективного біологічного очищення. Це важливо для досягнення не лише вимог до якості очищеної води, але й для підтримки стійкості біологічних процесів у системі очищення.

Майже всі органічні речовини у стічних водах можуть бути руйновані під впливом бактерій при належних умовах. Процес окислення забруднень у стічних водах буде протікати тим ефективніше, чим більша величина відношення $БПК_{повн}$ (біохімічної потреби в кисні) до ГДК (гранично допустимої концентрації). Відношення $БПК_{повн}$: ГДК повинно бути не менше 0,4 для того, щоб процес окислення органічних забруднень був достатньо інтенсивним та ефективним. Це свідчить про те, що рівень органічних забруднень у воді має бути достатнім для забезпечення життєдіяльності мікроорганізмів, що відповідають за біологічне очищення, але при цьому не перевищувати гранично допустимих норм, щоб уникнути негативного впливу на екологічний баланс і здоров’я водних екосистем.

Як показує практика, біохімічному окисленню легко піддаються органічні сполуки аліфатичного ряду, такі як складні ефіри, кислоти, а також бензойна кислота, етиловий та аміловий спирти, гліколі, ацетон, гліцерин, анілін та інші подібні речовини. Крім того, при тривалій адаптації мікроорганізмів можливо досягти розкладу навіть таких стійких органічних сполук, як толуол, ксилол, нафталін, хлорзаміщені вуглеводні та інші. Проте варто зазначити, що окислення деяких органічних речовин може відбуватися настільки повільно, що біологічне очищення таких стічних вод стає неефективним або недоцільним.

Найбільший негативний вплив на біохімічні процеси очищення можуть мати солі важких металів, що містяться у стічних водах. Вони можуть істотно пригнічувати активність мікроорганізмів, які беруть участь у процесі

біологічного окислення, що значно знижує ефективність очищення води. Тому в таких випадках часто виникає необхідність попереднього очищення або використання додаткових технологій для нейтралізації токсичних елементів [25].

Основною причиною порушення нормальної роботи біологічних споруд є залпові скиди виробничих вод з високою концентрацією сполук, що окислюються повільно. Такі скиди можуть значно перевантажити систему біологічного очищення, оскільки мікроорганізми не здатні швидко обробити великі обсяги забруднених вод. Особливі труднощі виникають при очищенні стоків текстильних підприємств, які містять поверхнево-активні речовини (СПАР), що також ускладнюють роботу біологічних процесів. СПАР можуть пригнічувати активність мікроорганізмів, що відповідають за окислення органічних забруднень, і значно знижувати ефективність очищення води.

Для забезпечення належної роботи біологічних споруд на таких підприємствах повинні бути встановлені установки для вилучення шкідливих речовин з стічних вод перед їх подальшим біологічним очищенням. Це дозволить знизити навантаження на біологічні системи та забезпечити більш ефективне очищення води [27].

У активному мулі, що утворюється під час очищення виробничих стічних вод, видовий склад мікроорганізмів залишається порівняно стабільним, незважаючи на значну різноманітність забруднень, що окислюються. Це означає, що навіть при наявності великої кількості різних органічних та неорганічних сполук у стічних водах, мікроорганізми в мулі здебільшого належать до кількох видів, що можуть адаптуватися до різних умов середовища.

У більшості випадків в активному мулі домінує мікрофлора роду *Pseudomonas*, яка є здатною до розкладу широкого спектра органічних речовин, включаючи токсичні сполуки, що зустрічаються у стічних водах різних виробництв. Ці бактерії володіють високою здатністю до адаптації та можуть використовувати різноманітні органічні речовини як джерела енергії

для свого розвитку. Вони є одними з найбільш ефективних мікроорганізмів для біологічного очищення вод [27, 29].

Види мікроорганізмів, що складають біоценоз активного мулу, формуються та відбираються протягом тривалої роботи біоокислювача на стічній воді з певним складом забруднень. Процес адаптації мікроорганізмів до змін у якості та концентрації води є критично важливим для забезпечення ефективного біологічного очищення. Зміна складу стічних вод, наприклад, зниження концентрації органічних речовин або зміна їхніх характеристик, вимагає від мікроорганізмів здатності швидко адаптуватися до нових умов.

Ця здатність до адаптації є одним з головних факторів, що визначають успішність біологічного очищення виробничих стічних вод. Мікроорганізми повинні здатись пристосуватися до різних концентрацій забруднень, змін pH, температури та інших параметрів, що можуть варіюватися в процесі очищення. Тому процес біологічного очищення має бути організований таким чином, щоб підтримувати оптимальні умови для мікроорганізмів і забезпечувати їхню стабільну роботу протягом усього періоду експлуатації біологічних систем.

Процес біологічного очищення протікає більш стабільно та ефективно, коли в систему очищення надходить суміш виробничих і побутових стічних вод. Це пояснюється кількома факторами. По-перше, побутові води містять необхідні біогенні елементи (азот, фосфор, калій), які є важливими для підтримання росту та розвитку мікроорганізмів, що беруть участь у біологічному очищенні. По-друге, побутові стічні води, як правило, мають менший рівень забруднень, тому вони служать як розбавляючий агент, знижуючи концентрацію токсичних або важко окислюваних речовин у виробничих стоках.

Крім того, для швидкої інокуляції очисних споруд мікроорганізмами-мінералізаторами, в періоди запуску чи відновлення роботи системи, часто додають побутові стічні води до виробничих стоків. Це дозволяє прискорити процес заселення біоценозу корисними мікроорганізмами, що здатні

ефективно розкладати органічні забруднення. Таке змішування забезпечує більш швидкий старт процесу очищення, оскільки побутові води надають мікроорганізмам необхідні поживні речовини та умови для розмноження.

Після того, як очисні споруди «дозрівають» і мікроорганізми адаптуються до специфічних забруднень, характерних для виробничих вод, приплив побутових вод може бути значно зменшений або навіть припинений. Це стає можливим, оскільки мікроорганізми вже здатні ефективно переробляти забруднення у виробничих стоках без додаткового постачання побутових вод [29].

Для визначення необхідного ступеня розведення побутовими водами враховується, що їхня $БПК_{повн}$ повинна залишатися більш-менш стабільною. Середньостатистична величина $БПК_{повн}$ для побутових вод становить 40 г/добу на одну людину, що користується каналізацією. Це значення дозволяє підтримувати оптимальний рівень біологічного навантаження на систему очищення, сприяючи ефективній діяльності мікроорганізмів. Для виробничих вод значення $БПК_{повн}$ визначається через лабораторні аналізи, і на основі цього дані розраховується, яку кількість побутових вод необхідно додавати для забезпечення оптимальних умов очищення.

Цей метод розрахунку дозволяє приблизно оцінити економічну ефективність біологічного очищення виробничих стоків за умови їхнього розведення побутовими, умовно чистими, біологічно очищеними стоками або навіть річковою водою. Визначення оптимальної кількості додавання таких вод допомагає знизити загальну вартість очищення, оскільки це може зменшити навантаження на систему та забезпечити стабільність біологічного процесу[30].

Наприклад, в деяких випадках, коли виникає необхідність розвести виробничі стоки перед їх біологічним очищенням, застосування чистої води може бути не таким економічно ефективним. В таких ситуаціях, як правило, анаеробне зброджування може виявитися на 100 разів ефективніше з точки зору очищення. Це пояснюється тим, що при анаеробному процесі стоки

можуть бути перероблені з меншими енергетичними витратами і без потреби у великій кількості кисню, що робить цей метод більш економічним та енергоефективним порівняно з аеробним очищенням.

Кількість біогенних елементів (азоту та фосфору) у суміші виробничих і побутових стічних вод визначається через співвідношення $БПК_{повн}$: N і $БПК_{повн}$: P. Для більшості видів стічних вод азот зазвичай становить 2,3-4% від $БПК_{повн}$, а фосфор – 0,3-0,8% $БПК_{повн}$. Однак у деяких випадках, наприклад, для нафтових стічних вод, кількість азоту може збільшуватися до 5-10%, а фосфору – до 1,4% $БПК_{повн}$.

Якщо спостерігається нестача фосфору у стічних водах, що негативно впливає на ефективність біологічного очищення, можуть бути використані додаткові джерела фосфору. Зокрема, часто додають ортофосфорну кислоту, оскільки її фосфор легко засвоюється мікроорганізмами, що сприяє кращому засвоєнню біогенних елементів і підтримує нормальний процес очищення стічних вод [30].

Нестача біогенних елементів (таких як азот і фосфор) значно гальмує процес біохімічного окислення органічних речовин у стічних водах. Це обумовлено тим, що бактерії, які здійснюють окислення, потребують цих елементів для свого росту та розмноження. Штучне додавання біогенних елементів, зокрема азоту та фосфору, може значно стимулювати розвиток мікроорганізмів, що, у свою чергу, інтенсифікує процес окислення органічних забруднень.

Однак, якщо азоту в стічних водах не вистачає на тривалий час, це може призвести до утворення активного мулу, який буде погано осідати в відстійниках. Як результат – відбуваються втрати мулу через його винос з вторинних відстійників. Цей процес негативно впливає на ефективність очищення, оскільки втрачається не тільки біологічна активність, але й знижуються загальні показники очищення води [36].

Хоча роль деяких біогенних елементів в процесах біологічного очищення стічних вод ще недостатньо вивчена, наявні експериментальні

дослідження свідчать, що підвищення концентрації певних елементів у воді може стимулювати біохімічні процеси. Наприклад, збільшення концентрації заліза до 5 мг/л та магнію (у вигляді $MgSO_4 \times 7H_2O$) до 8 мг/л може позитивно вплинути на ефективність очищення виробничих стічних вод, сприяючи інтенсифікації процесу окислення органічних забруднень.

Крім того, екзогенні стимулятори – речовини, які додаються до стічних вод – можуть значно покращити ефективність біологічного очищення, активуючи мікроорганізми і прискорюючи їх метаболічні процеси. Такий підхід дозволяє оптимізувати біохімічне окислення і знизити потребу в великих дозах традиційних біогенних елементів, таких як азот та фосфор, що також сприяє більш ефективному очищенню води.

Потреба в біогенних елементах (азоті, фосфорі, магнії тощо) є постійною, оскільки приріст мікроорганізмів під час окислення різних речовин відбувається по-різному. Кожен тип забруднення потребує специфічного складу поживних речовин для оптимального росту та розвитку бактерій. Саме тому при очищенні виробничих стічних вод потреба в біогенних елементах повинна визначатися експериментально для кожного конкретного випадку, залежно від складу стоків, характеру забруднень та вимог до якості очищеної води.

Такий підхід дозволяє максимально адаптувати умови для біологічного очищення, забезпечивши необхідну підтримку мікроорганізмам для досягнення ефективного процесу окислення органічних і неорганічних забруднень [37].

Отже, біологічні методи очищення є не тільки ефективними, але й економічно вигідними, оскільки вони дозволяють досягти високої якості очищення при мінімальних витратах на обладнання та енергоспоживання. Особливо вони проявляють себе при очищенні води від органічних сполук, що робить ці методи надзвичайно актуальними для очищення води, забрудненої, зокрема, нафтопродуктами.

Завдяки здатності мікроорганізмів ефективно розкладати органічні забруднення, біологічні методи дозволяють значно знизити рівень токсичності та забезпечити стійкість процесу в умовах різноманітних забруднень. Крім того, біологічні процеси не потребують використання складних хімічних реагентів, що робить цей підхід не лише ефективним, але й екологічно безпечним для навколишнього середовища.

На сьогоднішній день існує велика кількість патентів і наукових досліджень, присвячених методам очищення стічних вод від нафтопродуктів [42]. Усі ці технології базуються на підборі способу іммобілізації мікроорганізмів, які здатні ефективно розкладати нафтопродукти.

Зокрема, показано, що найкращих результатів можна досягти завдяки використанню іммобілізованих мікроорганізмів, тобто таких, що прикріплені до твердого носія. Такий підхід має кілька ключових переваг:

1) висока концентрація клітин на одиницю площі носія, що дозволяє значно підвищити ефективність процесу очищення;

2) посилення масообміну між газовою та рідкою фазами в реакторі, що сприяє більш інтенсивному взаємодії мікроорганізмів з забруднювачами;

3) легкість поділу клітин, що дозволяє оптимізувати роботу системи та знижує витрати на обслуговування.

Завдяки таким перевагам, іммобілізовані мікроорганізми забезпечують ефективне та стабільне очищення стічних вод від нафтопродуктів, що робить цей метод надзвичайно перспективним для застосування в промислових умовах [37, 38].

Однією з популярних методик очищення стічних вод від нафтопродуктів є застосування біосорбентів. У цьому випадку, після внесення біопрепарату в забруднену нафтопродуктами середу, чисельність популяції мікроорганізмів, зокрема бактерій, різко збільшується. Вони використовують вуглеводні залишків нафти як джерело поживних речовин, що стимулює їх ріст і розмноження [42].

Коли бактерії повністю поглинають нафтопродукти, вони втрачають живильне середовище та починають гинути, залишаючи після себе гумус та мул. Цей процес допомагає ефективно знижувати концентрацію нафтопродуктів у воді. Однак важливо зазначити, що мікроорганізми можуть також гинути, якщо вони опиняються поза носієм або після завершення розкладу нафтопродуктів. Це виключає можливість їх інтродукції (мікробного забруднення) в природне середовище, що робить цей метод безпечним для навколишнього середовища.

Такі біопрепарати, як, наприклад, «Еколан», отримують відповідні сертифікати в Україні. «Еколан» був атестований Інститутом екологічної гігієни і токсикології України ім. Л.Л. Медведя [42]. Це свідчить про високу ефективність та безпеку застосування даного препарату для очищення стічних вод від нафтопродуктів у промислових і природних умовах.

Отже, на основі двох основних концепцій, що стосуються біологічної деструкції мікроорганізмів, сьогодні активно розвивається напрямок, орієнтований на очищення стічних вод від нафтопродуктів та інших органічних забруднень. Ефективність таких методів значною мірою залежить від оптимального вибору кількох факторів, зокрема:

1) сорбента, який забезпечує підтримку та активність мікроорганізмів у забрудненому середовищі;

2) іммобілізатора, що дозволяє прикріпити мікроорганізми до твердих носіїв, підвищуючи їх концентрацію та ефективність очищення;

3) штаму мікроорганізмів, який повинен бути здатним до високої активності в умовах забрудненого середовища.

Ці фактори мають велике значення для визначення оптимальних умов очищення і забезпечення високої ефективності біологічних методів. Результати досліджень показують, що вибір правильного поєднання цих елементів дозволяє досягти найкращих результатів у біологічній деструкції забруднювачів, забезпечуючи стабільну та ефективну очистку води від шкідливих сполук [42].

Дійсно, протягом останніх десятиліть було досягнуто значного прогресу у розробці та впровадженні методів біологічного очищення стічних вод від різних шкідливих домішок, включаючи органічні забруднювачі. Особливо успіхи спостерігаються в очищенні побутових стічних вод і деяких інших типів відходів, де біологічні процеси ефективно застосовуються для видалення органічних речовин, таких як нафтопродукти, поверхнево-активні речовини, а також деякі токсичні органічні сполуки.

З іншого боку, біологічне очищення промислових стічних вод від металів та їх сполук залишається досить складним і новим напрямом, незважаючи на вивчені процеси мікробіологічної трансформації та детоксикації металів. Мікроорганізми, здатні трансформувати або детоксикувати важкі метали, активно вивчаються, однак застосування цих технологій на практиці потребує додаткових досліджень, розробки нових методик і вдосконалення умов, при яких процеси біологічного очищення можуть бути максимально ефективними для промислових стоків.

Наразі ці технології знаходяться на етапі розвитку та становлення, що пояснюється складністю впливу важких металів на біологічні системи, а також необхідністю вирішення таких проблем, як повільна біологічна розкладність металів, їх токсичність для мікроорганізмів та нестабільність процесів очищення. Тому для практичного застосування біологічних методів очищення промислових стічних вод від металів необхідно поєднувати біологічні методи з іншими технічними процесами, такими як флотація, сорбція або хімічне осадження, для досягнення оптимальних результатів.

На сьогодні для очищення стоків від важких металів застосовуються різні методи, зокрема хімічні, фізичні та електрохімічні технології. Однак, хоча ці методи широко використовуються в промисловості, вони часто мають суттєві недоліки. Наприклад, вони є дорогими, громіздкими, а також не завжди забезпечують високий ступінь очищення. Більше того, традиційні способи знешкодження та озолення відходів можуть призводити до значних економічних витрат, часто в 3 рази перевищуючи вартість біологічного

розкладу забруднень, що робить їх не завжди ефективними з економічної точки зору [44].

У порівнянні з традиційними технологіями, біологічне очищення важких металів є більш економічно вигідним та має ряд переваг. Витрати на будівництво та експлуатацію станцій біологічного очищення значно нижчі, ніж для більшості підприємств, які використовують традиційні методи обробки відходів. Біологічні методи очищення зазвичай потребують менших капітальних витрат та операційних витрат, а також мають менший енергетичний вплив на довкілля. Вони можуть бути більш ефективними, особливо в довгостроковій перспективі, оскільки дозволяють досягти високих рівнів очищення, без великих витрат на обладнання та реагенти, що часто є необхідними для хімічних та фізичних методів.

Таким чином, біологічне очищення є не лише перспективним, але й економічно ефективним способом очищення стоків від важких металів, що може бути важливою альтернативою традиційним технологіям.

Для вилучення металів з розчинів можуть бути використані різні представники мікроорганізмів з різних таксономічних груп, оскільки багато мікроорганізмів здатні концентрувати важкі метали на своїх клітинах, що робить їх корисними для біоремедіації та очищення води від забруднень. Так, клітини *Thiobacilus ferrooxidans* вилучають з розчину іони Cd (II), Co (II), Cu (II), Cr (VI), Fe (III), Ni (II), Ag^{+}, Au (III); ціанобактерії – Cd (II), Au (III); клітини хлорели – Cd (II), Ni (II), Co (II), Zn (II), Sr (II), Mo (II); дріжджі *Candida lipolytica, Candida utilis, Rhodotorula mucilaginosa* – Cd (II), Co (II), Cu(II), Ni(II), Zn (II); мицеліальні гриби роду *Aspergillus* – Co (II), Ra(II) [44].

Ці мікроорганізми не лише здатні акумулювати метали на своїх поверхнях, але й можуть змінювати їх хімічний стан, що дозволяє знижувати токсичність металів і сприяє їх більш ефективному вилученню з забруднених середовищ.

1.3 Вибір об’єкта дослідження та опис методів збору та аналізу проб води

Суть біологічного очищення полягає в використанні природних біоценозів гідробіонтів для видалення небажаних домішок зі стічних вод. Біоценози включають різноманітні організми, зокрема мікроорганізми, а також інші представники тваринного і рослинного світу (гідробіонти), які активно взаємодіють і виконують роль у процесах очищення. Ці організми можуть бути присутніми в таких середовищах, як активний мул**,** біоплівки або безпосередньо в очищуваній воді.

Мікроорганізми, що входять до складу цих біоценозів, здатні окислювати органічні та неорганічні речовини, трансформувати токсичні сполуки, а також утилізувати забруднюючі елементи, такі як азот, фосфор, важкі метали та інші хімічні сполуки. В залежності від складу стічних вод і характеру забруднень, застосовуються різні групи мікроорганізмів, які оптимально пристосовані для розщеплення специфічних речовин.

Водночас, рослинність і тварини, які також можуть брати участь у біологічному очищенні, виконують допоміжні функції, такі як збагачення середовища киснем (у випадку водоростей або рослин), підтримка стабільності екосистеми очищення, або забезпечення механічної фільтрації, як, наприклад, в процесах осадження в мулових відстійниках.

Для покращення ефективності очищення води розробляються системи, які використовують не лише окремі види гідробіонтів, а й їхні комплекси, створюючи біоценози водних організмів.

Перспективним напрямком є інтеграція в екосистему біологічних очисних споруд вищих водних рослин, які сприяють седиментації завислих часток, а також ефективно утилізують азот, фосфор та інші елементи, сприяючи формуванню біоценозів адаптованого мулу. Дослідження на деяких станціях аерації показали, що впровадження вищих рослин та прісноводних

риб допомагає зменшити кількість надлишкового мулу та покращити якість очищення, зокрема у плані зневоднення [47].

Процеси мінералізації органічних речовин можуть порушуватись під впливом токсичних сполук, поверхнево-активних речовин та важких металів. Біологічна токсичність таких домішок у промислових стоках оцінюється за зміною дегідрогеназної активності. Дегідрогеназа – це окислювально-відновлювальний фермент, що бере участь у процесах дихання та є надзвичайно чутливою до токсичних речовин. За ступенем пригнічення її активності в мікроорганізмах активного мулу можна визначити вплив токсинів на їх життєдіяльність. Співставлення результатів гідробіологічного та технологічного аналізу дає змогу оперативно оцінити ефективність біологічного очищення. Ступінь розвитку індикаторних організмів при різних умовах роботи очисних споруд відображено в таблиці 1.1 [47].

Найпростіші організми є представниками тваринного світу і не мають твердої оболонки. Їхня зовнішня клітинна мембрана є м’якою і гнучкою, часто складається з хітину або споріднених з ним сполук, не містячи целюлози. Під мембраною знаходяться ядро і цитоплазма, в якій розташовуються різні вакуолі, що виконують специфічні функції. Найпростіші дихають за допомогою розчиненого у воді кисню, а шкідливі речовини виводяться через всю поверхню тіла та скорочувальну вакуоль. Ці організми не мають складно організованих органів чуття, але чутливі до температури, світла та хімічних сполук. Вони розмножуються в основному поділом клітини, але деякі з них також можуть розмножуватися половим шляхом [48].

При потраплянні в несприятливі умови багато найпростіших утворюють цисти – спеціальні форми, які мають тверду оболонку. Ця оболонка забезпечує їм стійкість до шкідливих впливів навколишнього середовища, таких як висока температура, сухість або токсичні речовини. Завдяки цистам організми можуть виживати в умовах, які зазвичай є непридатними для їхнього існування.

В активному мулі та біоплівці можна знайти представників різних груп найпростіших, зокрема саркодових (*Sarcodina*), безкольорових джгутикових (*Flagellata*), війчастих інфузорій (*Ciliata*) та сисних інфузорій (*Suctoria*). Ці організми виконують важливі функції в екосистемах очистки, взаємодіючи з бактеріями та іншими мікроорганізмами в процесах розкладу органічних речовин [48].

Таблиця 1.1 – Ступінь розвитку груп індикаторних організмів при різній роботі споруд

Організми	Характеристика роботи очисної споруди			
	дуже погано	погано	задовільно	добре
Амеби	домінують	домінують	одиничні екземпляри	відсутні
Безкольорові джгутикові	домінують	домінують	одиничні екземпляри	відсутні
Інфузорії	відсутні	мало	домінують рівновійчасті	домінують коловійчасті, черевовійчасті
Коловертки	відсутні	мало	домінують	домінують

Клас *Sarcodina* включає найпростіших, які характеризуються рухливістю завдяки псевдоподіям (випростовуванням частин цитоплазми). Ці організми можуть змінювати свою форму і пересуваються, утворюючи тимчасові вирости цитоплазми. Вони є важливими компонентами біоценозів активного мулу та біоплівок, оскільки поглинають бактерії та частинки органічних речовин, сприяючи очищенню води.

Представники класу *Sarcodina* можуть бути різними за розмірами і формою, але всі мають спільну рису – здатність до утворення псевдоподій, які дозволяють їм здійснювати фагоцитоз, поглинаючи бактерії та інші частки. У цієї роботі найпростіщі класу *Sarcodina* представлені на рисунку 1.2.

Амеби є одними з представників класу *Sarcodina*, які постійно змінюють свою форму завдяки наявності псевдоподій (псевдоніжок) – тимчасових виростів цитоплазми. Ці організми мають гнучке, напіврідке тіло, яке містить ядро та інші органели. Псевдоподії дозволяють амебам не тільки рухатись, а й захоплювати їжу. Харчові частки, такі як бактерії, водорості та інші найпростіші організми, поглинаються шляхом фагоцитозу та перетравлюються в спеціальних вакуолях. Потім перетравлені речовини переносяться в цитоплазму, де вони використовуються для побудови клітинних структур.

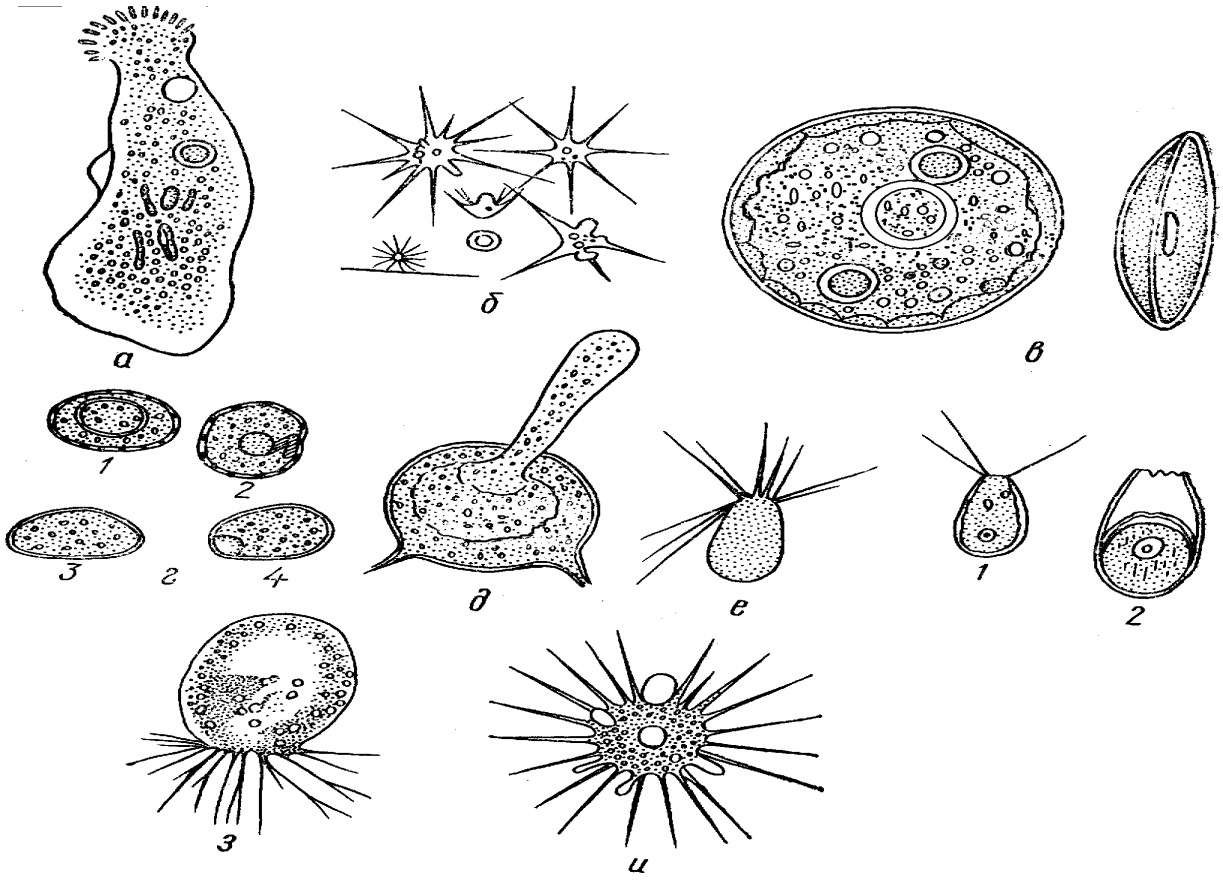


Рисунок 1.2 – Найпростіші (клас *Sarcodina*): а – *Amoeba limax*; б – *Amoeba radiosa*; в – *Arcella discoides*; г – *Centropyxis laevigata* (1 – раковини з цистою; 2 – раковина з ротовим отвором; 3 – вид спереду; 4 – вид збоку); д – *Centropyxis aculeate*; е – *Euglypha alveclava*; ж – *Euglypha laevis* (1 – раковина з псевдоподіями; 2– раковина з цистою); з – *Pamphagus hyalinus*; и – *Aktinophrys vesiculata* [53].

Амеби розмножуються шляхом поділу клітини. У здоровому, активно працюючому мулі представники роду *Arcella vulgaris* та *Pamphagus* зустрічаються в значних кількостях. *Amoeba radiosa* також є типовим представником амеб, що присутні в системах біологічного очищення води при нормальних умовах роботи споруд. Ці організми є важливими для процесів очищення, оскільки сприяють утилізації органічних забруднювачів, поглинаючи їх у вигляді бактерій і часток [49].

Клас *Mastigophora* включає безкольорові джгутикові інфузорії *Flagellata,* а також забарвлені форми, наприклад, *Euglena*. Представники цього класу мають більш або менш постійну форму тіла завдяки наявності одного або кількох джгутиків, які забезпечують їм рухливість. Джгутики також виконують функцію для захоплення їжі, оскільки ці організми харчуються, в основному, бактеріями та іншими дрібними органічними частками.

Механізм розмноження *Flagellata* зазвичай відбувається шляхом поділу клітини навпіл. Вони активно розвиваються в середовищі з великою кількістю органічних речовин і бактерій, що забезпечує їм достатню кількість їжі для нормального функціонування. Їх роль у системах біологічного очищення полягає в тому, що вони допомагають утилізувати органічні забруднення, зокрема за рахунок поїдання бактерій і дрібних органічних часток, що сприяє очищенню води [49].

Для групи джгутикових інфузорій (*Flagellata*) характерна наявність одного, двох або кількох джгутиків, що розташовуються на передньому кінці тіла і служать для руху. Наприклад:

- *Oicomonas* має один джгутик;
- *Bodo* володіє двома джгутиками;
- *Trepomonas* має кілька джгутиків.

Ці джгутики дозволяють інфузоріям активно переміщатися в середовищі, що є важливим для їх функціонування в системах біологічного очищення води [50].

Безкольорові джгутикові, такі як *Bodo, Monas* та *Hexamitus*, виявляються у великій кількості у перевантажених мулом системах, де вони домінують у відповідь на високий рівень органічних домішок. В нормальних умовах, при належній роботі очисних споруд, ці організми присутні лише в одиничних екземплярах.

Oicomonas має характерну будову: один кінець клітини містить заглиблення у вигляді губ, а на іншому кінці – наріст, який витягнутий у ніжку, дозволяючи організму прикріплюватися до твердих поверхонь. Джгутик цього організму виконує коливальні рухи, що сприяють його переміщенню та поглинанню їжі, яку він отримує з потоком води.

Клітини *Bodo* рухаються завдяки коливанням джгутика, який спрямований уперед, в той час як другий джгутик розташований на задньому кінці і допомагає організму прикріплюватися до твердих предметів, виконуючи роль руля.

Trepomonas має хвилеподібну форму тіла з чотирма джгутиками, розташованими по обидва боки від ротового отвору. Клітини цього організму містять два витягнуті ядра та одну скорочувальну вакуоль (див. рис. 1.3).

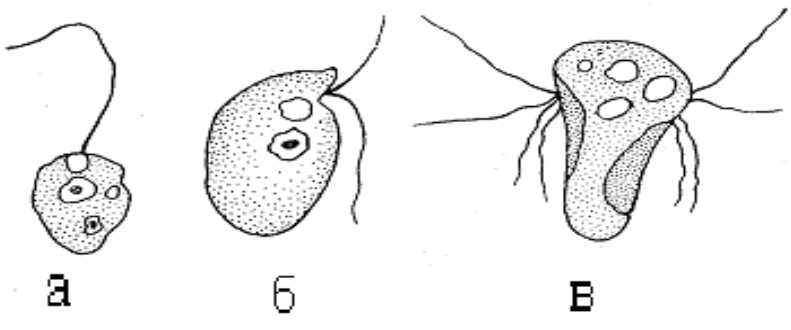


Рисунок 1.3 – Найпростіші (клас *Flagellata*), де: а – *Oicomonas socialis*; б – *Bodo*; в – *Trepomonas steini* [53].

Euglena (Евглена зелена) має витягнуту форму і тверду цитоплазму, завдяки якій її форма майже не змінюється під час руху. На одному кінці тіла

є наріст – джгутик, за допомогою якого евглена переміщується. Організм має численні зелені хлоропласти, що містять хлорофіл, що дозволяє йому здійснювати фотосинтез. У темряві евглена може живитись органічними речовинами, поглинаючи їх через цитоплазму. Евглена також здатна утворювати цисти для збереження в несприятливих умовах.

Клас *Ciliata* (війчасті інфузорії) включає організми, які мають характерні війки, що покривають їх тіло або частину його. Ці війки виконують кілька функцій: рух, утримання їжі та взаємодія з навколишнім середовищем. Війчасті інфузорії значно відрізняються між собою за формою, кількістю та розміщенням вій, а також способом харчування і образом життя.

Війчасті інфузорії можуть мати різні форми тіла – від простих овальних до складних, де організм розділений на кілька частин. Війки можуть бути розташовані по всьому тілу або в певних місцях, утворюючи специфічні структури для переміщення або фільтрації їжі. Ці інфузорії харчуються переважно бактеріями, одноклітинними водоростями, органічними частками, які вони захоплюють завдяки рухливості своїх вій. Війки допомагають не лише в русі, але й виконують роль органів чуття та сприяють захопленню і переміщенню їжі до ротової порожнини.

Війчасті інфузорії є важливою складовою біоценозу активного мулу, оскільки вони ефективно контролюють популяції бактерій та інших мікроорганізмів, підтримуючи баланс у водному середовищі.

Цей клас організмів є різноманітним і численним у біологічних системах, особливо в очищених водах, де вони сприяють зниженню рівня забруднення завдяки своєму харчуванню і взаємодії з іншими мікроорганізмами, представлено на рис. 1.4.

Їжею для більшості інфузорій є бактерії, водорості та інші мікроорганізми, у тому числі й інші інфузорії. Тіло інфузорій складається з однієї клітини, але має складну організацію. Наприклад, інфузорія-туфелька (парамеція) зберігає постійну форму завдяки гнучкому, але міцному зовнішньому шару цитоплазми. Все її тіло покрите численними маленькими

віями, що розташовані в поздовжніх рядах і виконують коливальні рухи, за допомогою яких організм переміщується.

На одному з кінців туфельки знаходиться ротовий отвір, що веде до глотки. Їжа, що потрапляє в глотку, переміщується до харчової вакуолі, де відбувається її перетравлення і всмоктування корисних речовин. Неперетравлені залишки виводяться через анальний отвір (порошицю). Скорочувальні вакуолі відіграють роль у зборі рідких продуктів обміну, які потім виводяться з організму.

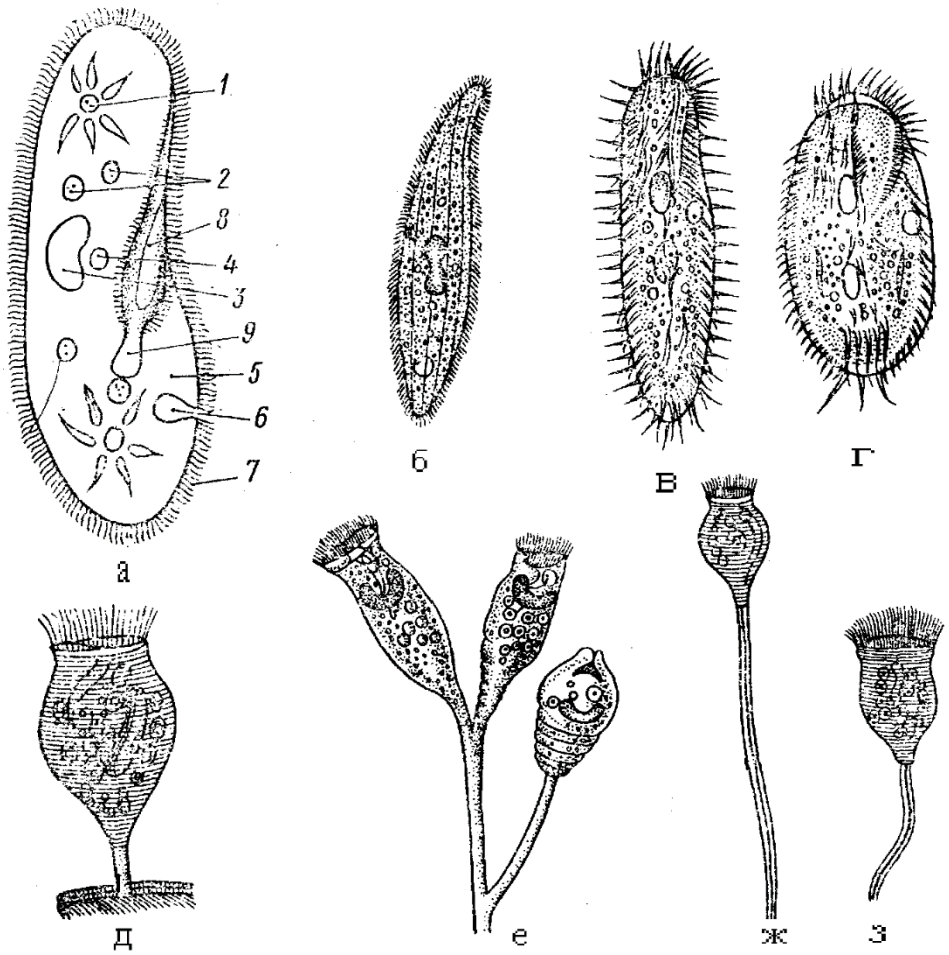


Рисунок 1.4 – Найпростіші (клас *Ciliata*): а – *Paramaecum caudatum* (1 – скорочувальна вакуоль; 2 – травна вакуоль; 3 – велике ядро; 4 – мале ядро; 5 – цитоплазма; 6 – порошиця; 7 – вії; 8 – ротовий жолобок; 9 – глотка); б – *Lionotus lamella*; в – *Oxytricha pellionella*; г – *Stylonychia pustulata*; д – *Rhabdostyla ovum*; е – *Epistylis plicatilis*; ж – *Vorticella microstoma*; з – *Vorticella convallaria* [53].

Такий спосіб харчування дозволяє інфузорії ефективно очищати воду від бактерій і інших дрібних органічних частинок, що робить їх важливою частиною біоценозів в екосистемах очищення води [51].

Інфузорії *Opercularia* постійно присутні в активному мулі. Їх війчаста зона має характерні зміни в залежності від умов середовища: в нормально працюючому мулі вона відкрита, а рухи вій активні, тоді як у несприятливих умовах війчаста зона може закриватися.

Vorticella microstoma зазвичай розвивається в перевантажених мулах, де спостерігається недостатня кількість розчиненого кисню. Вона є індикатором поганих умов, оскільки в таких середовищах її чисельність збільшується.

Vorticella convallaria є типовим представником активного мулу. Вони утворюються групами під час регенерації і є чутливими до токсичних речовин. У випадку нестачі кисню вони відриваються від свого стебла й переходять до вільно плаваючої форми. Ці форми мають вінець вій на задньому кінці, що допомагає їм утримуватися у воді.

Крім того, при різких змінах складу стічних вод, наприклад, через надходження виробничих стоків або при дефіциті поживних речовин, парамеції можуть утворювати цисти для адаптації до стресових умов [51].

Paramecium caudatum є однією з найбільш витривалих форм інфузорій, що здатна переживати умови нестачі розчиненого кисню. Вона є характерною для погано працюючого активного мулу, де спостерігається велика кількість бактерій у завислому стані, що утворюються внаслідок розкладу мулу.

Aspidisca – це черевовійчаста інфузорія, яка майже постійно присутня в активному мулі і вважається позитивним індикатором його якості. Вона є важливим маркером для оцінки нормальної роботи системи біологічного очищення.

Epistylis і *Carchesium* є інфузоріями, що розвиваються у значних кількостях в умовах нітрифікації, характерних для нитрифікуючого мулу, де відбувається активний процес окислення аміаку до нітратів.

Клас *Suctoria* включає сисних інфузорій, які ведуть осілий спосіб життя, прикріплюючись до різних поверхонь, таких як водні рослини, раковини молюсків або хлопки мулу, за допомогою не скорочувальних стебел. Їхні клітини мають покриття у вигляді пелікули, що надає їм структурну стабільність (рис. 1.5).

Ці інфузорії не здатні до активного переміщення, оскільки їхній спосіб життя припускає фільтрацію їжі з води, використовуючи спеціалізовані сисні органи, які дозволяють їм поглинати дрібні органічні частки, такі як бактерії та інші мікроорганізми.

Сисні інфузорії (сукторії) не мають рота, їхній спосіб харчування здійснюється через сисні щупальця, які являють собою тонкі трубочки з внутрішнім каналом та отвором на кінці. Ці щупальця можуть мати присоски або загострені кінці, що допомагають їм закріплюватися на поверхні або на здобичі. Щупальця можуть бути розподілені по всьому тілу організму або зібрані в пучки.

Процес харчування сукторій полягає в тому, що через щупальця всмоктується рідка частина тіла здобичі, яка може включати різні мікроорганізми, здебільшого війчастих інфузорій. Окрім цього, сукторії іноді поглинають водорості, тварин або залишки рослин [51].

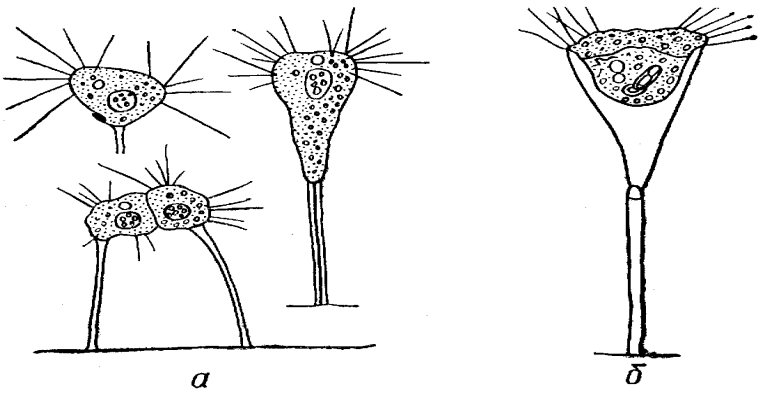


Рисунок 1.5 – Найпростіші (клас *Suctoria*): а – *Tokophrya lemnarum*; б – *Acineta flava* [53].

Сисні інфузорії *Podophrya* та *Tokophrya* зазвичай зустрічаються в умовах недостатнього навантаження на очисні споруди. Ці організми є паразитами, які живляться за рахунок інших інфузорій, при цьому вони прикріплюються до своїх господарів за допомогою сисних щупалець. Їхня наявність в активному мулі свідчить про незначне забруднення або нестабільні умови в системі біологічної очистки [52].

Коловертка (рис. 1.6) є представником тваринного світу з більш складною будовою, порівняно з найпростішими організмами. Вона має прозорий, але міцний панцир, який з одного боку завершується шістьма симетричними шипами, а з іншого — двома. У передньому отворі панцира розташований головний кінець організму, на якому знаходиться війчастий коловертальний апарат. Вії цього апарату постійно рухаються, сприяючи переміщенню організму. Знизу панцир має вузький отвір, через який виходить нога коловертки, що також допомагає їй у русі [51].

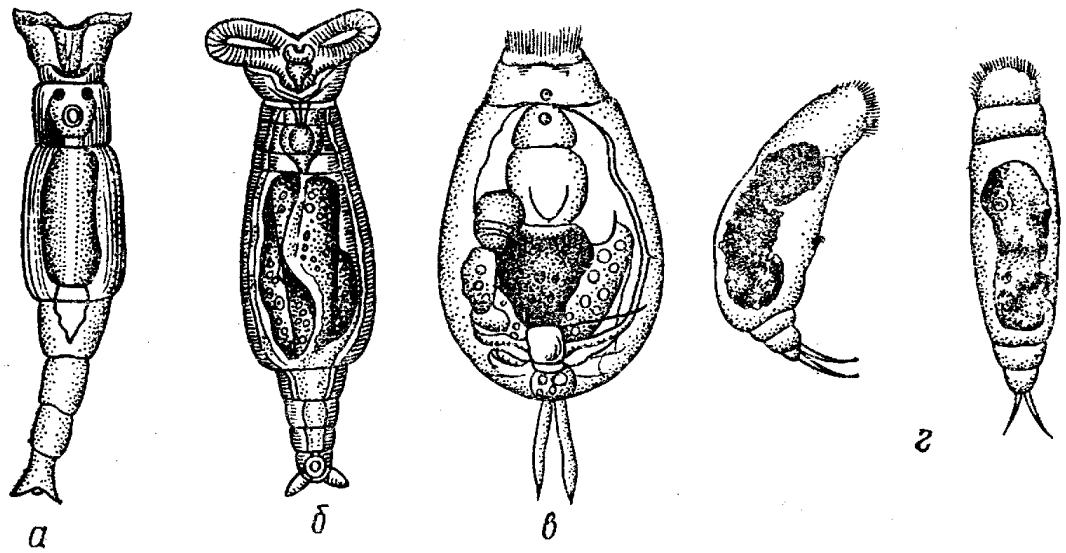


Рисунок 1.6 – Коловертки: а – *Philodina roseola*; б – *Callidina vorax*; в – *Cathypna luna*; г – *Notommata ansata* [53].

У коловерток відсутні кровоносна та дихальна системи. Травна система складається з рота, ротової порожнини, глотки, стравоходу та шлунку. За

способом живлення коловертки є седиментаторами, оскільки вони добувають їжу з води. Для цього у них розвинена складна війчаста апаратура, яка змінена для ефективного збору їжі. Вії на тілі коловертки утворюють гвинтоподібний рух води, що сприяє її переміщенню до рота тварини у вигляді воринок. Їжа, яку коловертки отримують, включає бактерії, найпростіших організмів та органічні речовини [52].

Коловертки є аеробними організмами і чутливі до нестачі кисню. Вони також реагують на зміни pH середовища. У разі несприятливих умов коловертки можуть зжиматися і утворювати цисти, що дозволяє їм витримувати погіршення умов навколишнього середовища.

Коловертки є важливими індикаторними організмами, які допомагають оцінити ефективність роботи очисних споруд. Присутність у біоценозі активного мулу таких видів, як *Philodina roseola* та *Cathupna luna*, вказує на нормальний стан мулу. Натомість поява коловерток, таких як *Colladina vorare,* які здатні витримувати нестачу кисню, свідчить про порушення в роботі споруд і можливі проблеми з якістю обробки стічних вод.

Круглі черви (*Nematodes*) мають довге, ниткоподібне тіло, яке не має сегментації і зазвичай звужується на обох кінцях (рис. 1.7). Це дає їм характерну форму, яка відрізняється від інших типів червів.

Зовнішні покрови тіла нематод складаються з двох щільно з'єднаних шарів. Верхній шар є прозорим, безбарвним, дуже міцним і малопроникним для сторонніх речовин, що дозволяє деяким видам нематод витримувати несприятливі умови довгий час. Нижній шар зазвичай складається з густої прозорої протоплазми, яка не має клітинної структури, хоча іноді можна знайти залишки ядер. Нематоди є типовими представниками перифітону в системах біологічного очищення стічних вод. Вони присутні в значних кількостях у активному мулі при недостатній аерації, в той час як у нормальних умовах, коли система працює належно, їх зустрічається лише в одиничних екземплярах [54].

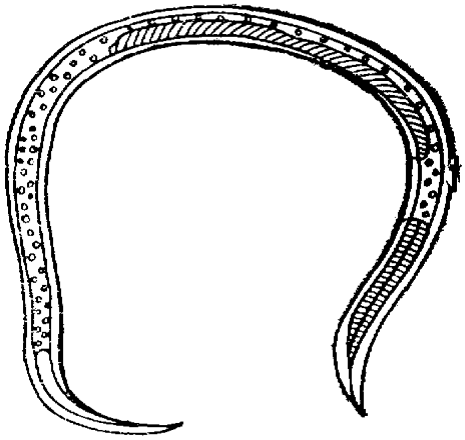


Рисунок 1.7 – *Nematoda* (круглі черви) [53].

До нижчих ракоподібних належать гіллястовусі та веслоногі рачки. Веслоногі рачки, зокрема циклопи, використовують ноги, що розташовані на грудях, для переміщення. Натомість гіллястовусі, зокрема дафнії, рухаються за допомогою антен, які оснащені плавальними ворсинками, що сприяють їх переміщенню у воді.

Нижчі ракоподібні є активними фільтраторами, які проціджують велику кількість води через свій організм. В процесі цього вони затримують завислі частки, частково мінералізуючи їх, а залишки викидають назовні у вигляді склеєних агрегатів. Їжею для рачків служать бактерії, дрібні водорості та органічні частки, що перебувають у воді.

Нижчі ракоподібні, зокрема циклопи та дафнії, у значних кількостях зустрічаються в умовах голодуючого активного мулу, коли навантаження на споруди біологічного очищення низьке. Вони активно фільтрують воду, затримуючи органічні частки та мінералізуючи їх, що допомагає підтримувати баланс у системі навіть за зниженого рівня поживних речовин [54].

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Класична гідробіологія, вивчаючи стан водних екосистем, використовує широкий спектр методів, які дозволяють не лише оцінити біотичне різноманіття в екосистемах, а й визначити функціональні та трофічні зв'язки в цих системах. Це включає дослідження популяцій різних видів гідробіонтів, їх взаємодії з навколишнім середовищем, а також оцінку їхнього внеску в перебіг енергетичних та біохімічних процесів. Такі підходи дозволяють вивчати, як енергія та речовини передаються через трофічні ланцюги від producers (первинних продуцентів) до консументів та редуцентів, і визначати, як зміни в цьому процесі можуть впливати на загальний стан екосистеми.

Для оцінки стану водних екосистем в сучасній гідробіології застосовуються різноманітні методи, серед яких важливе місце займає біомоніторинг. Він дозволяє швидко і ефективно визначати рівень забруднення води та інші екологічні показники шляхом спостереження за змінами в популяціях організмів, які є чутливими до змін навколишнього середовища.

1. Індикаторні види гідробіонтів: для біомоніторингу використовують індикаторні види – організми, чутливі до конкретних забруднювачів або змін у водному середовищі. Це можуть бути бактерії, водорості, безхребетні, риби та інші організми. Їхня присутність, відсутність або зміни в чисельності можуть вказувати на стан екосистеми, рівень забруднення води та вплив антропогенних факторів. Наприклад:

1) водорості можуть служити індикаторами рівня поживних речовин у воді (наприклад, азоту і фосфору);

2) інфузорії (як представники планктонних організмів) можуть допомогти оцінити рівень органічного забруднення;

3) ракоподібні та молюски можуть бути чутливими до токсичних металів або змін в кислотності води;

2. Індекси якості води: Водночас для кількісної оцінки якості води застосовуються різноманітні індекси, такі як:

1) індекс Біологічної Якості Води (IBY) – оцінюється на основі різноманіття видів і їхніх популяційних характеристик;

2) індекс Біомоніторингу за допомогою водоростей (IBR);

3) індекс трофічного рівня – дозволяє оцінити рівень забруднення органічними речовинами;

4) фітопланктонний індекс – на основі змін у чисельності та складі водоростей.

3. Методи, засновані на енергетичних та біогеохімічних процесах: Оцінка якості води за допомогою вивчення перебігу енергії та речовин у водній екосистемі також має важливе значення. Це може включати аналіз продуктивності екосистеми, таких як:

1) первинна продуктивність (кількість органічної речовини, що утворюється внаслідок фотосинтезу);

2) респіраційна активність (перетворення органічних сполук в воду, вуглекислий газ та інші продукти).

4. Біохімічні та токсикологічні методи: Біохімічні методи вивчають зміни в хімічному складі води та взаємодії з організмами. Це дозволяє виявити токсичні речовини, що потрапляють у водні екосистеми, та їхній вплив на гідробіонтів.

2.1 Загальні методи дослідження мешканців водойм

Основні методи дослідження водойм у гідробіології включають описовий, порівняльний та експериментальний підходи, які допомагають вивчити різні аспекти стану водних екосистем.

Описовий метод. Метод, який є основним на початкових етапах дослідження водних екосистем. Він полягає у збиранні та систематизації фактичного матеріалу, що дозволяє описати характеристики водних екосистем, таких як видове різноманіття, чисельність організмів, їхній стан та взаємозв'язки. За допомогою описового методу вивчається:

− видовий склад гідробіонтів (тварин, рослин, бактерій тощо).

− кількісні показники розвитку окремих видів, їхня біомаса та чисельність.

− аналіз стану водного середовища, включаючи фізико-хімічні показники (температура, pH, солоність, розчинений кисень тощо).

Цей метод активно використовується на ранніх етапах екологічних досліджень і дозволяє досліднику отримати загальне уявлення про екосистему. Збирання матеріалу для такого аналізу зазвичай здійснюється за допомогою спеціальних приладів та обладнання, серед яких:

1) планктонні сітки – для відбору проб планктону, дозволяють визначити склад і чисельність дрібних організмів у воді;

2) батометри – для вимірювання глибини водойми, що допомагає визначити вертикальний розподіл організмів;

3) дночерпаки – використовуються для збору зразків з дна водойми (наприклад, донних організмів або органічних відкладень);

4) волоки – спеціалізовані пристрої для відбору зразків води з конкретних глибин;

5) драги – призначені для вилучення донних відкладень та твердих частинок, що можуть містити організми та інші забруднення.

Ці прилади дозволяють дослідникам отримувати точні зразки матеріалу для подальшого аналізу.

Порівняльний метод, який полягає в аналізі різних водойм або різних ділянок однієї водойми на основі порівняння показників, що характеризують стан екосистеми. Це може включати:

− порівняння різних типів водойм (наприклад, річки, озера, ставки).

− оцінку змін в екосистемі протягом часу (наприклад, порівняння різних сезонів або довгострокових змін у водних біоценозах).

− порівняння природних та антропогенно змінених екосистем, щоб оцінити вплив людської діяльності.

Такі порівняння дають можливість виділити змінні фактори, що впливають на стан екосистеми, та зрозуміти їхній взаємозв'язок. Вони є важливими для оцінки ефективності природоохоронних заходів та моніторингу стану водних ресурсів.

Експериментальний метод. Цей метод дозволяє проводити контрольовані дослідження, які дозволяють виявити причинно-наслідкові зв'язки між різними факторами водного середовища та біологічними процесами. Це дає змогу оцінити вплив різних змінних факторів на стан екосистеми. До цього методу належать:

1) лабораторні експерименти: використання акваріумних установок або біореакторів для вивчення впливу певних параметрів (температури, рівня кисню, концентрації забруднювачів) на організми або біоценози;

2) польові експерименти: проведення контрольованих змін в екосистемі (наприклад, додавання забруднювачів у воду або змінювання гідрохімічних параметрів) для вивчення реакцій екосистеми на ці зміни.

Експериментальний підхід дає можливість детально вивчити процеси, які відбуваються в водних екосистемах, а також прогнозувати їх реакцію на зміни в середовищі [47].

У сучасній гідробіології для вирішення різноманітних завдань використовуються різні методи та технології, що допомагають досліджувати стан водних екосистем і вивчати взаємодію між організмами та навколишнім середовищем.

Вивчення видового складу водних організмів потребує інформаційного забезпечення, яке включає три основні компоненти.

1. Визначники систематичної ієрархії флори та фауни. Цей блок охоплює всі таксономічні групи – від конкретних видів до найвищих таксонів, таких як тип і царство.

2. Монографічні роботи. Це фундаментальні дослідження, які допомагають обґрунтувати необхідність вивчення певних груп гідробіонтів. Вони надають необхідні дані для вибору структурно-функціональних характеристик, що використовуються для дослідження конкретних екологічних чи трофічних груп. Такі роботи дозволяють дослідникам освоювати нові методи досліджень та розуміти механізми функціонування водних екосистем.

3. Математичне забезпечення. Це, як правило, методи статистики, зокрема варіаційної статистики, які використовуються для обробки та інтерпретації результатів досліджень. Математичні моделі дозволяють прогнозувати зміни в екосистемах, вивчати залежності між різними факторами і визначати закономірності в розподілі видів та їх взаємодії.

Для визначення таксономічного складу планктонних та бентосних угруповань водних організмів, а також для оцінки їх кількісних показників, необхідно використовувати спеціалізоване апаратне забезпечення, зокрема оптичні та вимірювальні прилади. Серед них важливу роль відіграють мікроскопи різних типів, фотоелектроколориметри, цитофлуориметри та інші.

Сучасні світлові мікроскопи є складними оптичними системами, здатними досягати значного збільшення – від 2500 до 3000 разів, що дозволяє детально вивчати морфологію дрібних організмів.

Ці методи значно розширюють можливості для дослідження різноманіття водних екосистем та забезпечують високу точність у визначенні видового складу протистів та бактеріальної біоти , що є важливим для моніторингу стану водних ресурсів. Використання новітніх технологій дозволяє ефективно вивчати взаємодію між організмами в екосистемах, що сприяє кращому розумінню екологічних процесів та їх змін під впливом антропогенних факторів .

2.2 Вибір об’єкта дослідження та опис методів збору та аналізів зразків води

Гідробіологічний аналіз водойм охоплює дослідження різних груп організмів, що населяють основні біотопи водної екосистеми. До цих біотопів відносяться нейсталі (поверхневі шари води), пелагіаль (середовище вільної води) та бенталь (донне середовище). Кожен із цих біотопів має свої унікальні екологічні умови, що визначають видове різноманіття організмів.

Гідробіологічний аналіз цих біотопів передбачає:

− визначення видового складу і чисельності організмів у кожному з біотопів;

− оцінку трофічних взаємодій між видами та їх ролі в екосистемі (наприклад, хто є джерелом їжі для кого, як організми допомагають переробляти органічні залишки тощо);

− вивчення функціональної ролі мікроорганізмів, таких як бактерії та водорості, в процесах самоочищення водойм, зокрема в циклі елементів (азоту, фосфору, вуглецю).

Ключові методи, що використовуються для аналізу кожного з цих біотопів, включають біологічні, хімічні та фізичні дослідження, зокрема визначення фізико-хімічних показників води, аналіз мікробіологічних спільнот, а також дослідження макро- і мікроорганізмів.

У водних екосистемах угруповання організмів поділяються за їхнім розташуванням у різних біотопах: нейсталі, пелагіалі та бенталі.

Ці життєві форми організмів виконують ключову екологічну функцію у водних екосистемах, відіграючи важливу роль у підтриманні стабільності екосистеми. Вони сприяють утворенню і підтримці харчових ланцюгів, забезпечуючи взаємозв'язок між різними видами. Крім того, вони беруть участь у природних процесах самоочищення води, допомагаючи очищати водне середовище від забруднень, а також здійснюють важливий обмін

речовин, сприяючи регулюванню хімічного складу води та підтримці її біологічної рівноваги.

Об’єктом дослідження були поверхневі води р. Капустянка та саме перифітон волокнистого носія типу «ВІЯ». Карта-схема дослідного району району представлена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Делянка р.Капустянка після міні ГЕС, де встановлено волокнистий носій типу «ВІЯ»

Перифітон – це біоценоз організмів, що мешкають на твердих субстратах, які занурені у воду або безпосередньо контактують з водним середовищем. Термін «перифітон» походить від грецьких слів "пери" (навколо) і "фітос" (рослина), що вказує на наявність організмів, які утворюють обростання на різних об'єктах, що перебувають у воді. До таких об'єктів можуть належати стебла водних рослин, камені, бетонні укріплення берегів, скелі, а також підводні частини суден і гідротехнічних споруд.

Основні компоненти перифітону:

1) бактерії – мікроорганізми, що беруть участь у розкладі органічних речовин, очищенні води та здійсненні процесів біогеохімії;

2) найпростіші організми – одноклітинні організми, що можуть виконувати роль фільтрів води, утримуючи мікроскопічні частки;

3) гриби – часто присутні в складі перифітону, де вони виконують роль деструкторів, розкладаючи органічні залишки;

4) водорості – переважно зелені, коричневі та червоні водорості, які здатні до фотосинтезу й є основою для багатьох харчових ланцюгів;

5) черви – такі як різноманітні види плоских та багатощетинкових червів, що живуть на поверхні субстрату, виконуючи роль детритофагів;

6) ракоподібні – дрібні організми, наприклад, рачки, які активно рухаються на поверхні обростання, виконуючи роль фільтраторів;

7) личинки комах – водяні личинки, що можуть паразитувати на перифітоні або використовувати його як середовище для розвитку;

8) двостулкові молюски – такі як мідії або устриці, які можуть утворювати колонії на твердій поверхні і відіграють важливу роль у фільтрації води.

Функції та значення перифітону:

1) очищення води: Організми перифітону здатні фільтрувати воду, поглинаючи мікроскопічні частки, органічні речовини та патогени, тим самим покращуючи якість води;

2) живлення для інших організмів: Перифітон служить важливим джерелом їжі для багатьох безхребетних організмів (наприклад, ракоподібних) і риб, особливо на ранніх стадіях їхнього розвитку;

3) індикатор якості води.

Зміни у складі чи чисельності перифітону можуть свідчити про забруднення водойм або зміни в екологічних умовах.

Основні фактори існування перифітону:

1) наявність твердого субстрату для прикріплення організмів, для яких необхідний стабільний поверхневий матеріал, який забезпечує базу для розвитку біоценозу (це можуть бути камені, корчі, бетонні структури, гілки рослин);

2) швидкість течії води впливає на здатність організмів прикріплюватися до субстрату і на доступність поживних речовин. У

спокійних водах перифітон може рости густіше, у той час як в швидкоплинних водах він може бути менш різноманітним;

3) коливання рівня води від якого залежить тривалість затоплення субстратів, що може обмежувати або стимулювати розвиток певних груп організмів;

4) концентрація розчиненого кисню, що для багатьох організмів перифітону важливою умовою є наявність достатнього вмісту кисню у воді, оскільки більшість з них є аеробними.

Для відбору проб води ми використовували аптечні стерильні пляшки для відбору аналізів. З огляду на те, що стерильний посуд доставляли до місць проведення роботи за допомогою транспортних засобів, для запобігання трясінню і розбиттю, а також проникненню пилу та води, він був ретельно упакований у картонні коробки і перекритий клейонкою. На кожну пляшку поміщали етикетку, на якій вказували дату і номер відібраної проби.

Проби доставляли в лабораторію щонайшвидше, адже бактеріологічні дослідження мають бути початі впродовж 2 годин після відбору проби або за умови зберігання в холодильнику за температури 1-8°С – не пізніше, ніж через 6 годин [51]. Проби відбирались до та після встановленої споруди «ВІЯ», а також, досліджувався саме перифітон волокнистого носія типу «ВІЯ». При відборі проб води вимірювали її температуру за допомогою спиртового термометра. Температуру визначали безпосередньо в джерелі води. Термометр опускали у воду на п’ять хвилин, після чого знімали показники температури води [44].

Мікробіологічні дослідження проводились у лабораторії мікробіології кафедри загальної та прикладної екології і зоології Запорізького національного університету. У лабораторних умовах були проведені аналізи для визначення загального мікробного числа (ЗМЧ) та чисельності санітарно-показових мікроорганізмів.

Для визначення ЗМЧ використовували м’ясопептонний агар (МПА), що є стандартним середовищем для культивування широкого спектру

мікроорганізмів. Для ідентифікації санітарно-показових видів, зокрема коліформних бактерій, застосовували фуксин-сульфатний агар (середовище Ендо), який дозволяє диференціювати ці бактерії за їх характерним забарвленням на колоніях.

Для посіву мікроорганізмів використовували метод глибинного посіву. Для цього піпеткою в чашку Петрі вносили 1 мл досліджуваної води, після чого додавали 20 мл попередньо підігрітого (до температури 45°С) м'ясо-пептонного агарного середовища. Потім вміст чашки акуратно перемішували, обережно обертаючи її по поверхні столу, щоб уникнути утворення повітряних бульбашок та забезпечити рівномірне покриття дна чашки, а також уникнути потрапляння середовища на краї та кришку чашки.

Після цього чашки Петрі позначали, накривали кришками та розміщували в термостаті для інкубації при температурі 37°С. Час експозиції становив 48 годин, що дозволяло за цей період час виявити мікроорганізми, що виростають на агаровому середовищі.

Для визначення загального мікробного числа (ЗМЧ) проводили підрахунок кількості колоній, що виросли на м’ясо-пептонному агарі (МПА). Потім для точного визначення кількості бактерій в 1 мл води враховували ступінь розведення водної суспензії, який становив 1:1000. Це дозволило отримати результат, що відображає реальну чисельність мікроорганізмів в досліджуваній воді.

Для посіву водної суспензії на середовище Ендо готували розведення 1:10. Після цього 1 мл води вносили до чашки Петрі, яку потім заливали поживним середовищем і добре перемішували. Чашки Петрі позначали і розміщували в термостаті при температурі 37°С на 48 годин.

Після витримки у термостаті проводили підрахунок кількості колоній, типових для групи кишкової палички. Для цього враховували такі типи колоній:

- червоні з металевим блиском або без блиску,
- рожеві з темним центром,

- рожеві слизисті,
- блідо-рожеві.

Ці колонії були індикаторами наявності кишкової палички та інших патогенних бактерій у воді, що дозволяло оцінити її санітарний стан.

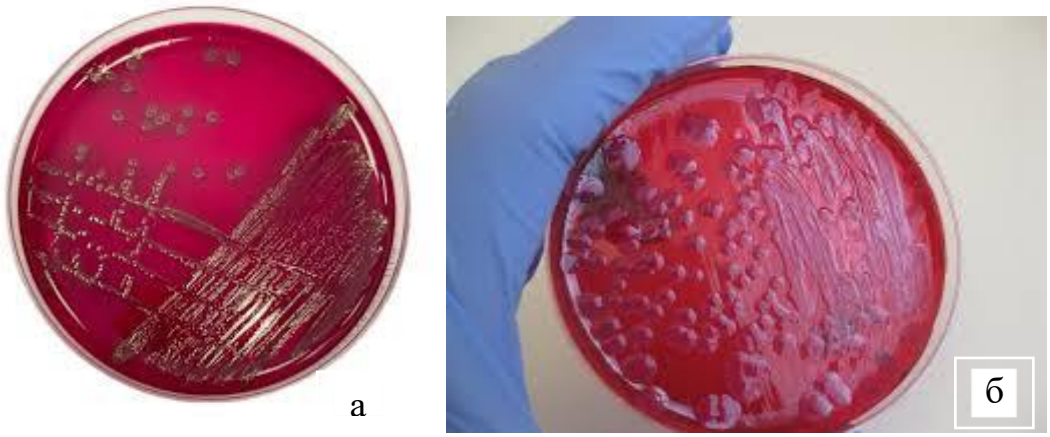


Рисунок 2.2 – Колонії коліформних бактерій на середовищі Ендо: а – з металевим блиском; б – блідо-рожеві

У сучасній гідробіології для оцінки стану водних екосистем використовують різноманітні методи. Опанування цих методів дозволило мені зробити експериментальну частину моєї кваліфікаційної роботи, визначати рівень забруднення води та інші екологічні показники через спостереження за змінами в популяціях організмів, чутливих до змін навколишнього середовища. Оволодіння методами дослідження водних екосистем дало змогу вивчити кількісний та якісний склад перифітон «ВІЇ», яка встановлена на р. Капустянка.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Перифітон волокнистої насадки типу «ВІЯ» при очищенні річки Капустянка

Для відновлення якості води малої річки Капустянка науковими співробітниками кафедри загальної та прикладної екології і зоології у 2021 році було розпочато дослідження щодо очищення поверхневих вод цього водотоку за сучасною біотехнологією. В річці Капустянка були встановлені (натягнуті) капронові фали перпендикулярно течії водотоку, до яких прикріплювали елементи біологічного очищення води у вигляді полотна волокнистого носія типу «ВІЯ» (див. додаток А). Такі стаціонарні конструкції з «ВІЄю» було змонтовано нижче міні-ГЕС в тому місці, де вода дуже добре насичується розчиненим киснем. (див. рис. 3.1)



Рисунок 3.1 – Вигляд волокнистого носія типу «ВІЯ»

Ефективність очищення промислових поверхневих вод р. Капустянка перевіряли в умовах штучного насичення води розчиненим киснем повітря (після міні-ГЕС), де досліджували угруповання перифітону волокнистого носія типу «ВІЯ» упродовж весняно-осіннього періоду 2024 року.

Температура води р. Капустянка під час проведення гідробіологічних досліджень влітку становила 27°С, восени – 16°С, а весною – 21°С.

Перифітон волокнистого носія при біологічному очищенні поверхневих вод складався із 27 таксонів гідробіонтів, які відносяться до трьох екологічних груп – протистоперифітону, мікрозооперифітону та макрозооперифітону. Структурна організація екологічних груп перифітону носія «ВІЯ» в р. Капустянка представлена в таблиці 3.1.

Найбільшою кількістю видів було представлено угруповання протистоперифітону (17 видів), які відносяться до чотирьох систематичних груп – джгутиконосців, корененіжок, сонцевиків та інфузорій.

Мікрозооперифітон був представлений коловертками (5 видів) та нематодами (1 вид). Угруповання макрозооперифітону складалось із олігохет (3 види) та черевоногих молюсків (1 таксон).

Видовий склад перифітону волокнистого носія у весняний період 2024 року був представлений 9 таксонами, які належать до п’яти таксономічних груп. Найбільша кількість видів була виявлена серед інфузорій та коловерток (по 3 видів), нематоди, черевоногі молюски та олігохети були представлені по одному виду відповідно.

Видовий склад перифітону волокнистого носія в літній період характеризувався високою видовою різноманітністю й був представлений 17 таксонами, які належать до семи таксономічних груп. Найбільша кількість видів була виявлена серед інфузорій (8 видів), 3 видами були представлені коловертки, 2 видами характеризувались олігохети, нематоди, черевоногі молюски, джгутиконосці, корененіжки та сонцевики були представлені по одному виду відповідно (див. додаток В).

Таблиця 3.1 – Структурна характеристика перифітону носія типу «ВІЯ»

Показники	Період дослідження
	Весна-осінь 2024 р.
Таксономічна структура (кількість видів)	
1. Протистоперифітон	
Amoebozoa	3,6%(1)
Mastigophora	3,6%(1)
Heliozoa	3,6%(1)
Ciliophora	52,0% (14)
2. Мікрозооперифітон	
Rotatoria	19,0% (5)
Nematoda	3,6% (1)
3. Макрозооперифітон	
Oligochaeta	11,0% (3)
Gastropoda	3,6%(1)
Загальна кількість видів	27

В осінній період видове різноманіття перифітону було високим (14 таксонів). Перифітон складався з п’яти таксономічних груп. Найбільша кількість видів була виявлена серед інфузорій (9 видів), 3 видами були представлені олігохети, нематоди, коловертки, черевоногі молюски, були представлені по одному виду відповідно.

Перифітон волокнистого носія «ВІЯ» досліджували в р. Капустянка на початку та в кінці стаціонарних конструкції з «ВІЄю». Тому було цікавим з’ясувати структурну організацію та видове різноманіття цих угруповань гідробіонтів.

Видове різноманіття протистоперифітону носія типу «ВІЯ» р. Капустянка на початку стаціонарних конструкції з «ВІЄю» було високим в літку (10 таксонів), середнім восени (7 видів) та низьким у весняний період (3 таксони), таблиця 3.2.

Таблиця 3.2 – Щільність протистоперифітону волокнистого носія (тис. екз/м^2) при очищенні води р. Капустянка на початку стаціонарних конструкції з «ВІЄю»

Таксон	09.05.24	02.07.24	24.10.24
Джгутикові			
Mastigamoeba invertens Klebs, 1893	–	112	–
Корененіжки			
Amoeba proteus Leidy, 1878	–	392	–
Сонцевики			
Actinosphaerium eichorni Ehrenberg, 1830	–	56	–
Інфузорії			
Aspidisca cicada (Muller, 1786) Claparede and Lachmann, 1858	65	112	–
Coleps hirtus (Müller, 1786) Nitzsch, 1827	–	336	–
Litonotus lamella Shewlakoff, 1896	–	112	–
Paramecium caudatum Ehrenberg, 1833	–		75
Glaucoma scintillans Ehrenberg, 1830	65		–
Stentor roeseli Ehrenberg 1835	–	56	–
Stentor muelleri Ehrenberg, 1831	–	–	75
Trithigmostoma cucullullus (Muller, 1786) Jankowski, 1967	–	–	75
Tokophrya quadriparitita (Cl. Lachn, 1858)	–	1736	750
Vorticella microstoma Ehrenberg, 1830	65	616	150
Vorticella convallaria-complex	–	–	825
Carchesium polypinum Linnaeus, 1758	–	224	–
Epistylis hantscheli Kachl, 1935	–	–	75

Щільність організмів протистоперифітону за досліджений період була високою в літній та осінній періоди та складала 3752 тис. екз/м^2 й 2025 тис. екз/м^2. У весняний період щільність угруповання обростання одноклітинних організмів була низьким та не перевищувало 195 тис. екз/м^2. В цілому у весняно-осінній період в протистоперифітоні постійно зустрічався

лише один вид інфузорій *Vorticella microstoma* Ehrenberg щільність якого коливалась в межах 65−616. Також слід зазначити, що в угрупованні протистоперифітону високу щільність мали два види інфузорій – *Tokophrya quadriparitita* (Cl. Lachn) та *Vorticella convallaria-complex*, які складали 46,3−77,8% від загальної щільності угруповання.

Видове різноманіття мікро та макрозооперифітону волокнистого носія р. Капустянка на початку стаціонарних конструкції з «ВІЄю» було не високим (зустрічалось 3−5 видів). Постійно в продовж періоду дослідження в угрупованні макрозооперифітону зустрічався 1 вид олігохет – *Chaetogaster langi* Bretscher та 1 вид черевоногих молюсків – *Costatella integra*. Щільність першого виду коливалась в межах 56−75 тис. екз/м^2, а другого виду – 100 до 2300 екз/м^2, таблиця 3.3.

Також слід зазначити, що постійно в мікрозооперифітоні волокнистого носія за досліджений період зустрічався один вид коловерток – *Rotaria rotatoria* (Pallas), який мав високі показники щільності (1344−3225 тис. екз/м^2).

Таким чином досліджуючи перифітон волокнистого носія у весняно-осінній період на початку стаціонарних конструкції з «ВІЄю» із інтенсивною аерацією води р. Капустянка при очищенні її поверхневих вод встановлено, що найбільше видове різноманіття та щільність мають інфузорії-бактеріофаги за рахунок розвитку 3 таксонів – *Tokophrya quadriparitita, Vorticella microstoma* та *Vorticella convallaria-complex*. Суттєву роль в угрупованні перифітону мали бактеріо-детритофаги (коловертки), головним чином за рахунок високої щільності одного виду – *Rotaria rotatoria*.

Трофічна структура перифітону волокнистого носія річки Капустянка у весняно-осінній період на початку стаціонарних конструкції з «ВІЄю» була представлена 6 групами – бактеріо-детритофагами, альгофагами, бактеріо-альго-детритофагами, детритофагами, поліфагами та хижаками. Серед 6 виявлених трофічних груп домінує виключно одна група – бактеріо-детритофагів, як за кількістю видів так і за щільністю, табл. 3.4.

Таблиця 3,3 – Щільність мікро та макроперифітону волокнистого носія (тис. екз/м^2) при очищенні води р. Капустянка на початку стаціонарних конструкції з «ВІЄю»

Таксон	09.05.24	02.07.24	24.10.24
Коловертки			
Rotaria rotatoria (Pallas, 1766)	1625	1344	3225
Philodina megalotrocha Ehrenberg, 1832	585	–	–
Brachionus quadridentatus Hermann, 1783	130	–	–
Proales decipiens (Ehrenberg, 1834)	–	56	–
Олігохети			
Aeolosoma hemprichi Ehrenberg, 1828	–	112	–
Chaetogaster langi Bretscher, 1896	65	56	75
Черевоногі молюски			
Costatella integra (Haldeman, 1841)	1,0	2,3	0,1

В угрупованні перифітону до бактеріо-детритофагів належали інфузорії (7 видів) та джгутикові (1 вид), які були представлені максимальною кількістю видів – 8 таксонів або 34,8% видів від загального складу виявлених гідробіонтів перифітону. Бактеріо-альго-детритофаги були представлені 4 таксонами коловерток та складали 17,4% від загальної кількості видів перифітону. Альгофаги були представлені 2 видами й складали 8,7% від загальної фауни угруповання. Поліфаги (омніфаги) представлені інфузоріями (2 види), сонцевиками (1 вид) та черевоногими молюсками (1 таксон). Хижаки представлені 3 видами й складали 13,0% від загальної кількості видів угруповання. Детритофаги були представлені 2 видами олігохет й складали 8,7% від загальної фауни угруповання, які відіграють важливу роль у переробці органічних матеріалів і підтриманні екологічного балансу водних екосистем.

Таблиця 3.4 – Трофічна структура перифітону волокнистого носія при очищенні води р. Капустянка на початку стаціонарних конструкції з «ВІЄю»

Дата	Кількість видів					
	А	Б-Д	Б-А-Д	Д	П	Х
09.05.24	0	3	3	1	1	0
02.07.24	1	4	2	2	3	3
24.10.24	1	4	1	1	2	1
Щільність, тис. екз/м^2						
09.05.24	0	195	2340	65	1	0
02.07.24	392	1064	1400	168	114,3	1848
24.10.24	75	1125	3225	75	75,1	750

Примітка: А – альгофаги, Б-Д – бактеріо-детритофаги, Б-А-Д – бактеріо-альго-детритофаги, Д – детритофаги, П – поліфаги, Х – хижаки

В перифітоні волокнистого носія за досліджений період домінували за щільністю дві трофічні групи – бактеріо-альго-детритофаги та бактеріофаги. Щільність бактеріо-альго-детритофагів коливалась у межах від 1400 тис. екз/м^2 до 3225 тис. екз/м^2 або 26−90% від загальної щільності перифітону волокнистого носія. Щільність бактеріо-детритофагів складала 8−21% від загальної щільності угруповання. Слід також зазначити, що лише влітку серед виявлених трофічних груп переважали за щільністю хижаки, які складали 1848 тис. екз/м^2 або 35% від сумарної щільності перифітону.

Таким чином в трофічній структурі угруповань перифітону волокнистого носія домінували коловертки та інфузорії, які живляться бактеріями та детритом, що притаманно для очисних споруд, де різноманітні забруднюючі речовини розкладаються іммобілізованими мікроорганізмами-деструкторами.

Видове різноманіття протистоперифітону носія типу «ВІЯ» р. Капустянка в кінці стаціонарних конструкції з «ВІЄю» було середнім в

літньо-осінній період (по 6 таксонів) та низьким у весняний період (2 таксони), таблиця 3.5.

Таблиця 3.5 – Щільність протистоперифітону волокнистого носія (тис. екз/м^2) при очищенні води р. Капустянка в кінці стаціонарних конструкції з «ВІЄю»

Таксон	09.05.24	02.07.24	24.10.24
Джгутикові			
Mastigamoeba invertens Klebs, 1893	–	84	–
Корененіжки			
Amoeba proteus Leidy, 1878	–	84	–
Інфузорії			
Aspidisca cicada (Muller, 1786) Claparede and Lachmann, 1858	–	84	–
Euplotes patella Ehrenberg, 1838		84	112
Litonotus lamella Shewlakoff, 1896	–	84	112
Glaucoma scintillans Ehrenberg, 1830	1344	–	–
Trithigmostoma cucullullus (Muller, 1786) Jankowski, 1967	–	–	336
Tokophrya quadriparitita (Cl. Lachn, 1858)	–	2184	1680
Vorticella microstoma Ehrenberg, 1830	336	–	224
Vorticella convallaria-complex	–	–	784

Щільність організмів протистоперифітону за досліджений період була високою в літній та осінній періоди та складала 2604 тис. екз/м^2 й 3248 тис. екз/м^2. У весняний період щільність угруповання обростання одноклітинних організмів була середньою та дорівнювала 1680 тис. екз/м^2. В цілому у літньо-осінній період в протистоперифітоні постійно зустрічався лише один вид інфузорій із високою щільністю – *Tokophrya quadriparitita* (Cl. Lachn). Щільність цього виду коливалась у межах 1680−2184 тис. екз/м^2.

Також слід зазначити, що в угрупованні протистоперифітону у весняний період високу щільність мав ще один вид інфузорій – *Glaucoma scintillans*

Ehrenberg, щільність якого складала 80% від загальної щільності одноклітинних організмів.

Видове різноманіття мікро та макрозооперифітону волокнистого носія р. Капустянка в кінці стаціонарних конструкції з «ВІЄю» було не високим (зустрічалось 3−6 видів). Постійно в продовж періоду дослідження в угрупованні макрозооперифітону зустрічався 1 вид черевоногих молюсків – *Costatella integra*, щільність якого була не високою та коливалась в межах 100−900 екз/м^2, таблиця 3.6.

Таблиця 3.6 – Щільність мікро та макроперифітону волокнистого носія (тис. екз/м^2) при очищенні води р. Капустянка в кінці стаціонарних конструкції з «ВІЄю»

Таксон	09.05.24	02.07.24	24.10.24
Коловертки			
Rotaria rotatoria (Pallas, 1766)	1008	1260	12992
Philodina megalotrocha Ehrenberg, 1832	1848	–	–
Brachionus quadridentatus Hermann, 1783	336	–	–
Keratella tropica (Apstein, 1907)	–	84	–
Олігохети			
Aeolosoma hemprichi Ehrenberg, 1828	–	–	112
Chaetogaster langi Bretscher, 1896	336	–	–
Aeolosoma headleyi Beddard, 1888	–	–	448
Черевоногі молюски			
Costatella integra (Haldeman, 1841)	0,9	0,1	0,1
Нематоди			
Nematoda sp. 1	168	–	224

Серед досліджених гідробіонтів мікрозооперифітону волокнистого носія постійно зустрічався й характеризувався високими кількісними

показниками 1 вид коловерток – *Rotaria rotatoria* (Pallas), щільність якого весною складала 30%, а у літньо-осінній період коливалась у межах 94–98% від загальної щільності угруповання мікрозооперифітону.

Трофічна структура перифітону волокнистого носія річки Капустянка у весняно-осінній період в кінці стаціонарних конструкції з «ВІЄю» була представлена 6 групами – бактеріо-детритофагами (5 видів), альгофагами (2 види), бактеріо-альго-детритофагами (4 види), детритофагами (3 види), поліфагами (2 види) та хижаками (3 таксони). Серед 6 виявлених трофічних груп за кількістю видів домінує група – бактеріо-детритофагів, яка мала також високі показники щільності, табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Трофічна структура перифітону волокнистого носія при очищенні води р. Капустянка в кінці стаціонарних конструкції з «ВІЄю»

Дата	Кількість видів					
	А	Б-Д	Б-А-Д	Д	П	Х
09.05.24	0	2	3	1	1	1
02.07.24	1	2	2	0	2	2
24.10.24	1	2	1	2	2	3
Щільність, тис. екз/м^2						
09.05.24	0	1680	3192	336	0,9	168
02.07.24	84	168	1344	0	84,1	2268
24.10.24	336	1008	12992	560	112,1	2061

Примітка. А – альгофаги, Б-Д – бактеріо-детритофаги, Б-А-Д – бактеріо-альго-детритофаги, Д – детритофаги, П – поліфаги, Х – хижаки.

В перифітоні волокнистого носія за весняний та осінній періоди домінувала за щільністю група – бактеріо-альго-детритофаги. Щільність цієї трофічної групи коливалась у межах від 3192 тис. екз/м^2 до 12992 тис. екз/м^2 від загальної щільності перифітону волокнистого носія. У літній період в угрупованні перифітону переважали виключно представники хижаків.

Щільність хижаків в угрупованні складала 57% від загальної щільності перифітону. Порівняльна характеристика трофічної структури угруповань перифітону волокнистого носія на початку та вкінці встановлених «ВІЙ» представлені на рис. 3.2.

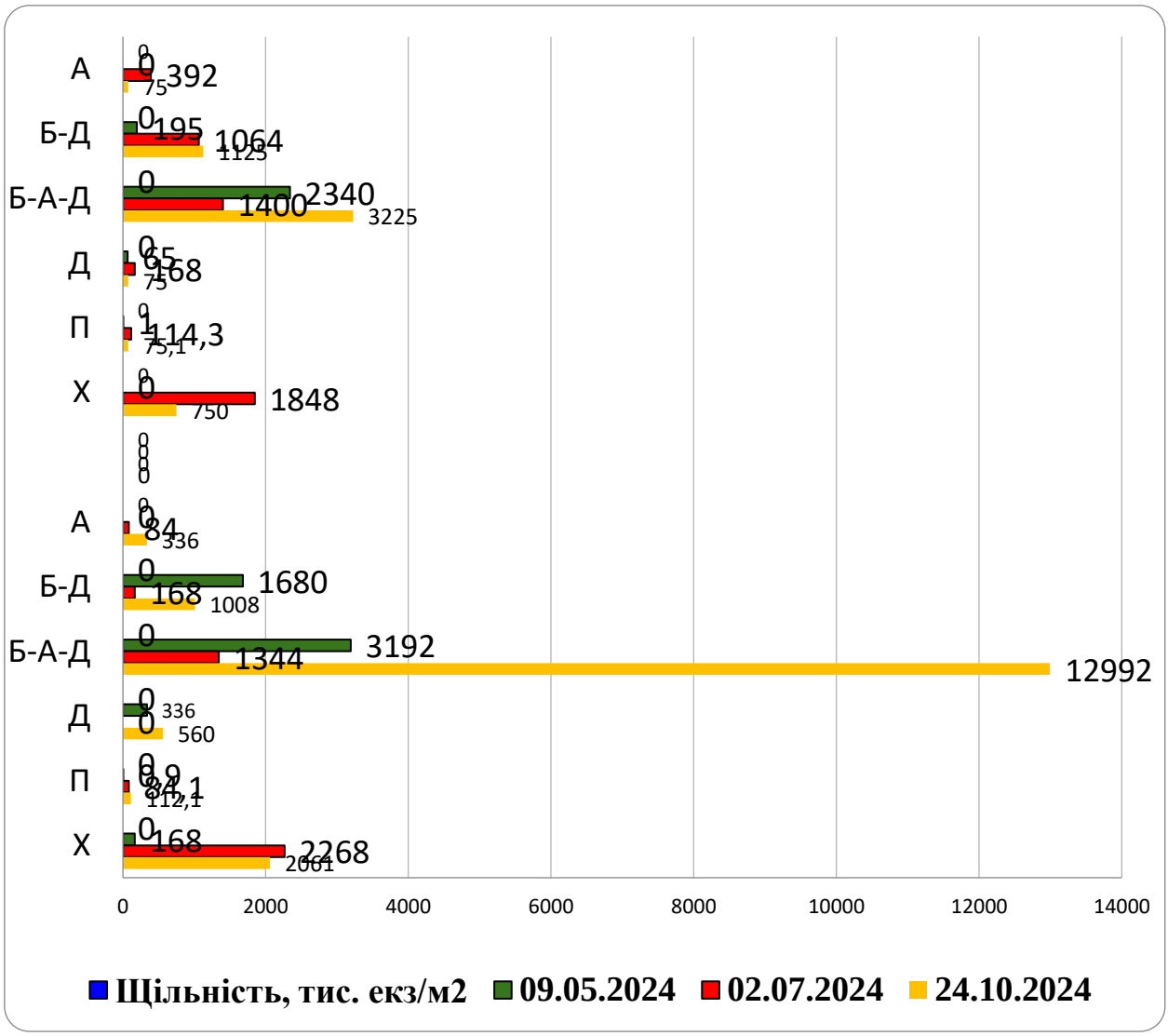


Рисунок 3.2 – Порівняльна характеристика трофічної структури угруповань перифітону

Розглядаючи зооперифітон, який приймав активну участь в процесах очищення поверхневих вод р. Капустянка в умовах підвищеної аерації води, можна дати характеристику його трофічної структури. Трофічний ланцюг угруповань зооперифітону волокнистого носія типу «ВІЯ» складається з чотирьох рівнів (рис. 3.3).

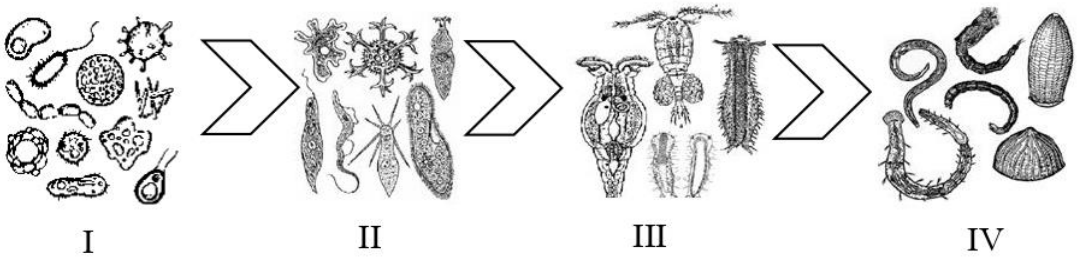


Рисунок 3.3 – Трофічний ланцюг угруповань перифітону волокнистого носія типу «ВІЯ»

На першому рівні (I) цього трофічного ланцюга розташовані аеробні бактерії, які іммобілізовані на волокнистому носієві «ВІЯ» й інтенсивно розкладають різноманітні органічні сполуки (забруднення). До цього комплексу мікроорганізмів головним чином належать бактерій родів *Pseudomonas, Bacillus, Arthrobacter* тощо. Далі, цими бактеріями харчуються найпростіші – кореневіжки, джгутикові, сонцевики та інфузорії, які утворюють II рівень трофічного ланцюга – протистоперифітон. Третій рівень (III) трофічного ланцюга представлений організмами мікрозооперифітону до якого належать коловертки та нематоди. Четвертий рівень (IV) харчового ланцюга утворюють представники макрозооперифітону, який складається з олігохет та черевоногих молюсків.

3.2 Дослідження бактеріальної біоти перифітону «ВІЇ»

У лабораторних умовах було виконано якісний і кількісний аналіз водних проб за мікробіологічними показниками, зокрема визначення чисельності аеробних сапрофітних бактерій на МПА загальне мікробне число(ЗМЧ), колонієутворюючи організми(КУО) та оцінка рівня санітарно-показових мікроорганізмів.

Аеробні сапрофіти є важливим індикатором якості води, оскільки між рівнем її забруднення органічними речовинами та чисельністю мікроорганізмів існує пряма кореляція. Вищий рівень мікробного числа свідчить про більшу ймовірність присутності патогенних мікроорганізмів у воді. Однак, загальне мікробне число, яке відображає загальну кількість сапрофітних бактерій, є непрямим показником забруднення, оскільки, згідно з нормативними вимогами, цей параметр для відкритих водойм не має законодавчо встановлених лімітів. Для порівняно чистих відкритих водойм нормальний рівень ЗМЧ становить 1000–1500 КУО/мл [54].

Наші дослідження показали, що найбільша чисельність аеробних мікроорганізмів на самому перифітоні (табл. 3.8), висока. Після «ВІЇ» вища у 2,5 раза у порівнянні з чисельністю бактерій до «ВІЇ». Це може бути обумовлено потужністю тока води після споруди міні ГЕС на р. Капустянка.

Таблиця 3.8 – Показники загального мікробного числа

Місце відбору проб	$\sum$	$\bar{x}$	σ^2	m (похибка средньоквадратичного відхилення)	Cv, %
До «ВІЇ»	19260	1926	184315,55	±143,1	22,29
Після «ВІЇ»	44420	4442	886484,44	±313.84	21.19
Перифітон «ВІЇ»	8686200	868620	6650575111	± 27183,68	9.39

$\sum$ – сума усіх вимірювань;

$\bar{x}$ – середне значення вимірювань;

σ^2 – дісперсія;

m – похибка средньоквадратичного відхилення;

Cv, % – коефіцієнт варіації.

На нашу думку, високий рівень ЗМЧ у воді може бути зумовлений забрудненням стічної води промисловими стоками Запорізьких підприємств, та органічними речовинами антропогенного походження.

Для оцінки води за санітарно-показовими мікроорганізмами в усіх лабораторіях світу використовуються бактерії групи кишкової палички

(БГКП). БГКП належать до родини *Enterobacteriaceae*, яка включає близько 40 родів, серед яких особливе медичне значення мають роди, такі як pp *Citrobacter, Enterobacter, Erwinia, Escherichia, Klebsiella, Proteus, Salmonella, Serratia, Shigella ma Yersinia* [26]. Виділення мікроорганізмів, тобто виявлення грампозитивних і грамнегативних бактерій, що виросли на середовищі МПА та Ендо проводили методом фарбування за Грамом [43]. Результати представлені у додатку Б.

Аналіз колоній бактерій на середовищі Ендо виявив, що концентрація коліформ може бути високою через наявність органічних забруднень від скиду промислових стоків та зливових вод. На поверхні біоплівки коліформна біота може зберігатися або навіть збільшуватись через накопичення органічних речовин, що стають живильним середовищем для бактерій (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Чисельність коліформних бактерій у воді

Загальне мікробне число (КУО $*10^2$/мл)					
Місце відбору проб	$\sum$	$\bar{x}$	σ^2	m	Cv, %
До «ВІЇ»	2800	280	733,33	±9,02	9,67
Після «ВІЇ»	3120	312	1551,11	±13,12	12,02

У результаті проведеного морфологічного аналізу ізолятів на середовищі Ендо було виявлено два морфотипи колоній: 1) темночервоні з металевим блиском, що утворюються лактозопозитивними бактеріями внаслідок розщеплення лактози, характерні для *E. coli*; 2) світлі колонії, які утворюються лактозонегативними бактеріями, що належать до *Salmonella* та *Shigella* [41].

Наявність БГКП у воді є важливим аспектом санітарної оцінки. Виявлення бактерій групи кишкової палички, зокрема підгруп *Bacterium paracoli* і *Vasterium aerogenes*, свідчить про фекальне забруднення води та

наявність патогенних мікроорганізмів кишкової групи. БГКП потрапляють у навколишнє середовище через випорожнення людей і теплокровних тварин. Споживання води, зараженої кишковою паличкою, може стати причиною низки шлунково-кишкових захворювань, таких як черевний тиф, паратифи, дизентерія тощо.

Дослідження бактеріальної мікрофлори на біоплівці системи "ВІЯ" є дуже важливим, оскільки бактерії, які формують перифітон на таких носіях, є невід'ємною частиною трофічного ланцюга і активно беруть участь у процесах очищення промислових стоків, сприяючи ефективному зниженню забруднення води органічними речовинами.

4.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Використання заходів безпеки під час збору та аналізу водних зразків

Термін «Охорона праці» розкривається у статті 1 Закону України «Про охорону праці» як комплекс заходів і засобів, що включають правові, соціально-економічні, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні аспекти, спрямованих на захист здоров'я та працездатності людини під час виконання трудових обов'язків.

Предметом моєї роботи є перифітон волокнистого носія типу «ВІЯ». Під час відбору матеріалу та його подальшої обробки я дотримувалась встановлених норм і вимог охорони праці.

Дослідження я здійснювала в осінній та весняний періоди. Відокремлення матеріалу виконувалось за допомогою спеціальних інструментів, відповідно до інструкцій та вимог техніки безпеки.

Перед виходом на місце роботи ми оцінювали поточну військову ситуацію, враховували можливість обстрілів, замінування території, наявність вибухонебезпечних предметів (міни, боєприпаси), хімічних чи біологічних загроз.

Мій керівник ознайомив мене з особливостями техніки безпеки, а також я пройшла курс навчання з надання першої медичної допомоги та поведінки в умовах бойових дій. Правильна поведінка під час обстрілу або атаки з повітря є необхідними для ефективної роботи в таких умовах.

Для відбору проб на об’єкт ми з керівником виїжджали під час відсутності повітряної тривоги, що забезпечувало безпеку нашої роботи. Під час підходу до річки, що проходив через крутий схил, ми суворо дотримувались усіх норм техніки безпеки, щоб уникнути травм та забезпечити безпечні умови для роботи.

Особлива увага приділялась правильному підбору індивідуальних засобів захисту. Наприклад, проби води і зразки «ВІЇ» були відібрані на об’єкті з потенційно високим рівнем забруднення. Тому ми застосовували захисні рукавички і марлеві пов’язки, а час перебування на об'єкті був обмежений.

У місці відбору проб проводили моніторинг умов навколишнього середовища, таких як температура та рівень контамінації повітря [47]. Використовували відповідний одяг, який відповідав погодним умовам.

Відбір проб для гідробіологічних та мікробіологічних досліджень завжди повинен виконуватись із застосуванням стерильних інструментів, обладнання та тари [54], тому роботу проводили асептично, використовували лише стерильні герметичні ємності та інше обладнання

Разом із часом відбору проб має бути зафіксовано тип проби, номер серії, дата відбору та контейнери, з яких ці проби були відібрані. Транспортування та зберігання проб здійснювали в умовах, які забезпечують збереження їх чистоти [54]

Життєздатні мікроорганізми в більшості мікробіологічних проб, зокрема в зразках води, навколишнього середовища та для вивчення мікробіологічної чистоти, чутливі до умов обробки та зберігання. Ключовими параметрами в цих умовах є склад продукту (або проби), матеріал тари, час і температура зберігання. Тому важливо мінімізувати час між відбором проби та початком випробувань, а також контролювати, наскільки це можливо, умови зберігання. Наприклад, проби води слід зберігати при низькій температурі (2-8 °C) протягом 2 годин після відбору проби (якщо протягом цього часу вони не були випробувані).

Робота з вивчення видового складу перифітону «ВІЇ» проходила в мікробіологічній лабораторії кафедри загальної та прикладної екології і зоології. Там були створені сприятливі умови мікроклімату, оскільки на самопочуття та здоров'я людини значно впливає мікроклімат виробничих приміщень. Він визначається такими факторами, як температура, вологість, рухливість повітря та теплове випромінювання. Дослідження показали, що

навіть незначне відхилення температури повітря від норми на 1°С може призвести до зниження продуктивності праці на 1%. Переохолодження організму може виникнути через надмірну вологість і швидкість повітря, що перевищує 0,5-0,8 м/с, особливо в холодний період року.

Освітлення робочих об'єктів має важливе практичне значення, оскільки воно повинно забезпечувати високу продуктивність праці, бути безпечним і мінімізувати зорове та загальне стомлення. На моєму робочому місці світло падало зверху і зліва, що дозволяло створити комфортні умови для виконання завдань. Місцеве освітлення гарантувало необхідну яскравість на окремих робочих зонах. Рівень освітленості, відповідно до санітарних норм, залежить від точності виконуваної роботи, виду використовуваних ламп і типу освітлення, яке застосовується [55].

В процесі виконання експериментальної частини кваліфікаційної роботи я дотримувалась інструкцій з охорони праці. Працювала під керівництвом викладача, і лабораторні експерименти виконувала за допомогою лаборанта. Там мені провели кілька інструктажів: з електробезпеки, поводження зі скляним посудом, і правил пожежної безпеки. Під час роботи ми суворо дотримувалися всіх вимог до лабораторних приміщень – від правильної організації мікроклімату до належного освітлення. Техніка безпеки – це набір технічних засобів і прийомів, які мінімізують ризик на робочому місці. Безпека праці передбачає такі умови, за яких виключено вплив небезпечних факторів на працівника. Охорона праці є системою заходів, спрямованих на збереження життя та здоров'я працівників. Крім того, під час повітряної тривоги ми спускалися в укриття ІІІ навчального корпусу ЗНУ.

Щодо пожежної безпеки, то лабораторія обладнана вогнегасником та автоматичною пожежною сигналізацією. Також важливо було дотримуватися всіх правил при роботі з електроприладами. Всі електроприлади були заводського виробництва, а їх експлуатація відбувалася строго згідно з інструкціями. Ми працювали лише з заземленими пристроями, а після закінчення роботи відразу відключали їх від мережі. Крім того, було

заборонено залишати працюючі прилади без нагляду, а також використовувати легкозаймисті матеріали в небезпечних умовах [56].

Такий комплексний підхід до техніки безпеки дозволяє забезпечити належний рівень захисту працівників на всіх етапах їх діяльності, підтримувати високий рівень обізнаності про потенційні небезпеки та правильні дії в екстремальних ситуаціях.

Недотримання правил техніки безпеки може призвести до аварійних ситуацій. Аварія чи нещасний випадок можуть статися через ураження електричним струмом, загоряння апаратури тощо.

У разі аварійної ситуації комп’ютер необхідно негайно відключити від мережі, зокрема при відключенні електричної енергії, пожежі чи появі запаху диму.

Якщо людина зазнала ураження електричним струмом, необхідно терміново звільнити її від дії струму, відключивши комп'ютер або відкинувши електропровід. Якщо це неможливо зробити швидко, постраждалого слід відтягнути від струмоведучих частин, використовуючи для цього одну руку, ізольовану гумовою рукавичкою чи сухим одягом, торкаючись лише одягу потерпілого. До прибуття лікаря необхідно надати потерпілому першу допомогу. Під час пожежі слід приступити до гасіння вогню вуглекислотним вогнегасником і викликати пожежну команду.

Моя робота також включала ризики, пов’язані з можливими травмами, такими як порізи або забиття під час роботи з лабораторним обладнанням. У таких випадках я завжди була готова надати першу допомогу. У лабораторії знаходилась аптечка, яка містила такі засоби: перекис водню, спирт, 15% розчин борної кислоти, соду, перекис магнію, бинт та вату. Наприклад, при порізах було важливо негайно обробити рану антисептиком і закрити її для запобігання інфекції.

Таким чином, дотримання вимог охорони праці дозволило уникнути травм під час виконання кваліфікаційної роботи магістра.

4.2 План дій у випадку виникнення надзвичайних ситуацій під час дослідження або роботи на водних об’єктах

У випадку виникнення надзвичайних ситуацій під час дослідження або роботи на водних об’єктах в Запорізькому державному університеті розроблені Інструкції щодо дій під час надзвичайних ситуацій, а саме визначають порядок реагування на потенційні загрози та виникнення надзвичайних ситуацій природного, техногенного, соціального і воєнного характеру. Документ розроблений відповідно до ст. 40 Кодексу цивільного захисту України, постанови Кабінету Міністрів України від 26 червня 2013 року № 444 «Про затвердження Порядку здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях», наказу ДСНС України від 23 березня 2015 року № 167 «Про затвердження методичних рекомендацій щодо підготовки населення до дій в умовах загрози або вчинення терористичного акту», а також наказу Міністерства освіти і науки України від 21 листопада 2016 року № 1400 «Про затвердження Положення про функціональну підсистему навчання дітей дошкільного віку, учнів та студентів діям у надзвичайних ситуаціях (з питань безпеки життєдіяльності) єдиної державної системи цивільного захисту» [59].

Надзвичайна ситуація (НС) – це обстановка, яка виникає на певній території або у межах суб’єкта господарювання, включаючи водні об’єкти, і характеризується порушенням звичних умов життя населення. Вона може бути спричинена різними подіями, такими як обстріли, бомбування, замінування, катастрофи, аварії, пожежі, тощо. Такі події можуть призвести до загрози життю та здоров’ю людей, великої кількості постраждалих і загиблих, значних матеріальних втрат, а також до неможливості подальшого проживання населення на цій території або ведення господарської діяльності на відповідних об’єктах.

У рамках повсякденної діяльності здобувачі освіти та працівники Університету повинні [59]:

1) ознайомитися з сигналами цивільного захисту та процедурою їх передачі населенню;

2) знати номери телефонів екстрених служб і вміти правильно викликати їх у разі потреби;

3) розуміти порядок дій при загрозі чи виникненні надзвичайних ситуацій;

4) володіти навичками використання первинних засобів пожежогасіння та бути обізнаними щодо їх розташування на території університету;

5) дотримуватися вимог пожежної безпеки, правильно користуватися електричними приладами, а також виконувати санітарно-гігієнічні норми. Про всі порушення безпеки необхідно інформувати керівника;

6) ознайомитися з планом евакуації на випадок надзвичайних ситуацій;

7) знати місцезнаходження захисних споруд та укриттів на території університету;

8) вміти користуватися засобами індивідуального захисту органів дихання і медичними засобами для надання першої допомоги, а також знати основи надання першої медичної допомоги в екстрених ситуаціях.

Під час воєнного стану повітряна тривога не буває навчальною. Коли надходить інформація від сил протиповітряної оборони про переміщення ворожої авіації (крилатих ракет) або про запуск балістичних ракет та інших повітряних цілей, існує загроза життю. Сповіщення про повітряну тривогу – це повідомлення про реальну загрозу удару з повітря. [59]

У разі перебування на вулиці, наприклад, під час дослідження чи роботи на водних об’єктах, рекомендується виконувати такі дії:

− негайно лягти на землю, обираючи найбільш заглиблені місця, такі як канави, ями, ритвини тощо. Прикрити голову доступними предметами або, в крайньому випадку, руками. Укриття повинні бути вибрані на максимальній відстані від будівель;

− не виявляти зацікавленості у тому, що відбувається навколо, не піднімайтеся з землі і не висовуйтеся з-за укриття;

− не перебувати під деревами або будівлями, не намагатися стояти чи бігати. Уникати перебування поблизу техніки та об’єктів, які можуть бути пожежонебезпечними чи вибухонебезпечними. Ці об’єкти можуть становити небезпеку для тих, хто знаходиться поруч;

− при артилерійських або мінометних обстрілах щільно закривати вуха руками, відкриваючи рот, щоб урівноважити тиск. Звуковий удар може призвести до серйозних пошкоджень, таких як розриви судин чи барабанних перетинок;

− після завершення вибухів або пострілів потрібно якомога швидше переміститися в безпечне місце, наприклад, у бомбосховище;

− не підбирати зброю або боєприпаси, що можуть бути розкидані на землі, оскільки це може бути небезпечно;

− у безпечному місці надавати допомогу тим, хто потребує допомоги: дітям, жінкам, літнім людям, інвалідам. Якщо є необхідні навички, надати домедичну допомогу постраждалим.

Потрібно пам’ятати, що у ситуаціях надзвичайної небезпеки кожна хвилина має значення, тому важливо дбати не тільки про свою безпеку, але й про безпеку оточуючих.

ВИСНОВКИ

1. Перифітон волокнистого носія при біологічному очищенні поверхневих вод водотоку складався із 27 таксонів гідробіонтів, які відносяться до трьох екологічних груп – протистоперифітону, мікрозооперифітону та макрозооперифітону. Угруповання протистоперифітону (17 видів) представлено інфузоріями, джгутиковими, кореневіжками та сонцевиками; мікрозооперифітон (6 видів) – коловертками та нематодами; макрозооперифітон – олігохетами (3 види) та черевоногими молюсками (1 вид).

2. Видове різноманіття протистоперифітону волокнистого носія річки на початку стаціонарних конструкції з «ВІЄю» було високим в літку (10 таксонів), середнім восени (7 видів) та низьким у весняний період (3 таксони). В кінці стаціонарних конструкції біорізноманіття угруповання було середнім в літньо-осінній період (по 6 таксонів) та низьким у весняний період (2 види).

3. Видове різноманіття мікро та макрозооперифітону волокнистого носія водотоку на початку та в кінці стаціонарних конструкції з «ВІЄю» було не високим, зустрічалось 3-5 та 3-6 видів відповідно.

4. В трофічній структурі перифітону волокнистого носія було виявлено 6 трофічних груп – бактеріо-детритофаги, альгофаги, бактеріо-альго-детритофаги, детритофаги, поліфаги та хижаки. В цілому за весь період дослідження серед цих трофічних груп переважали за щільністю бактеріо-альго-детритофаги та бактеріо-детритофаги.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гвоздяк П.І. Актуальні питання біологічного очищення води. Ойкумена. 1992, № 5-6. С. 58-70.

2. Гвоздяк П.І. 50 запитань і 49 відповідей з нової біотехнології очистки води. Київ: Знания, 1990. 28 с.

3. Біотехнологія : навч. посіб. / О. О. Воронкова та ін. Дніпро : Ліра, 2019. Т. 2. 155 с.

4. Dombrovskiy K.O., Gvozdyak P.I. Biological afterpurification of industrial Sewage from hexamethylene diamine using Periphyton communities on the «VIYa» fibrous carrier and on the root system of Eichhornia crassipes. Hydrobiol. Journal. 2018. Vol. 54. № 4. P. 63-71.

5. Сташук В.А., Мокін В.Б., Гребінь В.В., Чунарьов О.В. Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом : монографія. Херсон : Грінь Д.С., 2014. 320 с.

6. Рильський О.Ф., Домбровський К.О., Дударєва Г.Ф. Промислова біотехнологія. Курс лекцій для студентів 5-6 курсів біологічного факультету денного та заочного відділень. Запоріжжя : ЗНУ, 2010. 126 с.

7. Сафонов А. І. Фітоіндикація забруднення важкими металами антропогенно трансформованого середовища Донбасу : автореф. дис. на здобуття наукового ступеня к. б. н.: 03.00.16. Дніпро, 2014. 22 с.

8. Горова А. І., Павличенко А. В., Борисовська О. О., Грунтова В. Ю., Деменко О. В. Біоіндикація. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт. Дніпро : НГУ, 2014. 76 с.

9. Dombrovskyi K.O., Rylskyi A.F., Gvozdiak P.I., Sherstoboieva O.V., Petrusha Yu.Yu. Distribution of inorganic nitrogen compounds in purification of storm wastewater of the engine-building manufactory. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2020. № 2. P. 112-118.

10. Бакала, О. Д. Оцінка якості вод Кременчуцького водосховища в межах Кіровоградської та Черкаської областей. Вінниця : ВНТУ, 2017

11. Якимець М. О. Антропогенне навантаження водної екосистеми як основа для проведення комплексного моніторингу оцінки екологічного стану вод Кременчуцького водосховища. *Екологічна безпека держави* : тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів. (Київ, 27-28 квітня 2010). Київ : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2010. С. 205-207.

12. Яцик А. В., Хорєв В. М. Водне господарство в Україні. Київ : Генеза, 2000. 456 с.

13. Томільцева А. І., Яцик А. В., Мокін В. Б. та ін. Екологічні основи управління водними ресурсами : навч. посіб. Київ : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.

14. Романенко В. Д., Жукинський В. М., Оксіюк О. П., Яцик А. В. та ін. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ : «Символ-Т», 1998. 28 с.

15. Клименко В. Г., Фролова Л. І. Екологічна оцінка природних ресурсів : метод. посібник для студентів. Харків : ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2009. 64 с.

16. Про Загальнодержавну програму розвитку водного господарства : Закон України від 01.01.2013 № 2988-III. Офіційний портал Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2988-14#Text

17. Національна програма екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води : Постанова Верховної Ради України від 27.02.1997 р. № 123/97-ВР. Офіційний портал Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/123/97-%D0%B2%D1%80#Text

18. Гідрологічні умови Кременчуцького водосховища. URL: http://www.eco.com.ua/node/1448 (дата звернення: 15.08.23).

19. Водний фонд України: Штучні водойми – водосховища і ставки / за ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. Київ : Інтерпрес, 2014. 164 с.

20. Яцик А. В., Томільцева А. І., Плігін Ю. В. та ін. Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду. Київ : «Генеза», 2003, 176 с.

21. Задніпрямець А. Д. Екологічна оцінка стану поверхневих вод р. Соб в межах Гайсинського ОТГ. Вінниця : ВНАУ, 2023. 42 с.

22. Томільцева А. І., Яцик А. В., Мокін В. Б. та ін. Екологічні основи управління водними ресурсами : навч. посіб. Київ : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.

23. Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року : Закон України від 24.05.2012 № 4836-VI. Офіційний портал Верховної Ради України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/ laws/show/4836-17#Text

24. Афанасьев С. А. Розвиток європейських підходів до біологічної оцінки стану гідроекосистем у моніторингу річок України. *Гідробіологічний журнал*. Київ : НАН України, 2001. Т. 37, № 5. С. 3-18.

25. Мальцев В. І., Карпова Г. О., Зуб Л. М. Визначення якості води методами біоіндикації. Київ : НЦЕБМ НАН України, ІНЕКО, 2011. 112 с.

26. Арсан О. М., Давидов О. А., Дьяченко Т. М. та ін. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ : «Логос», 2006. 408 с.

27. Жукинський В. М., Чернявська А. П., Яцик А. В., Єзловецька І. Є. Досвід використання «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними критеріями» (пояснення, застереження, приклади). Київ : «Символ-Т», 1998. 48 с.

28. Руденко Л. Г., Разов В. П., Жукинський В. М. та ін. Методика картографування екологічного стану поверхневих вод України за якістю води. Київ : «Оріяни», 2006. 60 с.

29. Река В. В., Бігун П. П. Визначення якості води методами біоіндикації. *Матеріали наукової конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників і здобувачів наукового ступеня за підсумками*

науково дослідної роботи за період 2015-2016 рр. Вінниця : ДонНУ ім. Василя Стуса, 2017. Т. 1, С. 16-18 URL: https://jpvs.donnu.edu.ua/article/view/3552/3586 (дата звернення: 30.09.2024).

30. Джигирей В.С., Сторожук В М., Яцюк Р. А., Основи екології та охорона навколишнього середовища: підручник, доповн.. Львів, 2001. 63 с.

31. Rietveld L. C., Siri J. G., Chakravarty I. Improving health in cities through systems approaches for urban water management. Environ. Health. 2016. 15 (Suppl 1). Vol. 31. P. 152-171. DOI: 10.1186/s12940-016-0107-2.

32. Scott J., McGrane. Impact of urbanization on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review. Hydrological Science Journal. 2016. Vol. 61:13. P. 2295-2311. DOI: 10.1080/02626667.2015.112808.

33. Mikovits C., Rauch W., Kleidorfer M. Dynamics in urban development, population growth and their influences on urban water infrastructure. Procedia Engineering. 2014. Vol. 70. P. 1147-1156.

34. Xueru Guo et.al. Seasonal and Spatial Variability of Anthropogenic and Natural Factors Influencing Groundwater Quality Based On Source Apportionment. Int. J. Environ. Res.Public. Health. 2018. Vol 15 (2). P. 1-19. DOI: 10.3390/ijerph15020279.

35. Пічура В. І., Потравка Л. О., Скок С. В. Екологічний стан акваторії ріки Дніпро у зоні впливу урбосистем (на прикладі міста Херсона). *Водні біоресурси та аквакультура*. 2019. № 2. С. 19-34.

36. Карпик Ю. І., Петровська М. А. Оцінка якості питної води Старосамбірського району Львівської області. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Київ, 2019. № 1. С. 57-65. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2019_1_6 .

37. Скок С. В. Екологічна оцінка впливу урбосистем на якість водних ресурсів. ДВНЗ «Херсонський державний аграрно-економічний університет». *Екологічні науки*. № 4 (31). С. 66-75. DOI: https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.10

38. Денисова А. І., Тімченко В. М., Нахшина Е. П. Гідрологія та гідрохімія Дніпра і його водосховищ. Київ : Наукова дума, 1989. 216 с.

39. Медична мікробіологія, вірусологія та імунологія : підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів IV рівня акредитації /за ред. акад. В. П. Широбокова. Вінниця : Нова Книга, 2011. 952 с.

40. Lewin W.-C. Determinants of the distribution of juvenile fish in the littoral area of a shallow lake. *Freshwater Biology*, 2004. Vol. 49. P. 410-424.

41. Мікробіологія з основами вірусології : метод. вказівки до лаб. занять для студентів хім. фту /Г. В. Ямборко, Н. О. Єлинська, О. Ю. Зінченко, Н. Ю. Васильєва. Одеса : Одеський нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2018. 52 с.

42. Харченко Т. А., Протасов А. А., Ляшенко А. В. Біорізноманіття та якість середовища антропогенно змінених гідроекосистем України. Київ : ІГБ НАН України, 2005. 314 с.

43. Рильський О. Ф., Костюченко Н. І. Мікробіологія : методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» напряму підготовки «Біологія» денної форми навчання. Запоріжжя : ЗНУ, 2013. 48 с.

44. Пилипенко Л., Карпелянц Л., Єгорова А. та ін. Технічна мікробіологія : навчальний посібник. Херсон : Олді-Плюс, 2017. 432 с.

45. Клименко М. О., Вознюк Н. М., Вербецька К. Ю. Порівняльний аналіз нормативів якості поверхневих вод. НУВГіП. URL: https://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12kmo.pdf (дата звернення: 12.09.2023).

46. Пічура В. І., Потравка Л. О., Скок С.В. Екологічний стан акваторії ріки Дніпро у зоні впливу урбосистем (на прикладі міста Херсона). Водні біоресурси та аквакультура. 2019. № 2. С. 19-34.

47. Методика відбору проб для визначення складу і властивостей стічних вод підприємств при їх скиданні в системи каналізації м. Павлограда : Рішення виконавчого комітету Павлоградської міської ради від 13.04.2016 р. № 278. Павлоград, 2016. 26 с.

48. Крупєй К.С. Комплексна оцінка екологічного стану р. Мокра Московка. *Сучасні проблеми біології, екології та хімії : збірка матеріалів III міжнародної науково практичної конференції, присвяченої 25- річчю біологічного факультету, 11-13 травня 2012 р. Запоріжжя*: Copy Art, 2012. С. 405-406.

49. Войтович О. Б., Єдьоміна А. К. Взаємодія мікроорганізмів із навколишнім середовищем. Запоріжжя ЗДМУ, 2015. 56 с.

50. Щербак В. І. Структурна організація бактеріального населення рибницьких ставів. *Рибогосподарська наука України*. 2012. С 36-41.

51. Домбровський К. О., Крупєй К. С. Технологічні рішення щодо розчистки русел малих річок для охорони земель від підтоплення та відновлення порушених водотоків. *Актуальні питання біології, екології та хімії. Розділ: Охорона навколишнього середовища та раціональне природокористування*. 2012. № 2. С. 83-88.

52. Антипчук А. Ф., Кірсєва І. Ю. Водна мікробіологія. Київ: Видавничий центр НАУ, 2003. 215 с.

53. Foissner W., Blatterer H., Berger H., Kohmann F. Taxonomiche und ökologiche Revision der Ciliaten des Saprobiensystems. Band I: Cyrtophorida, Oligotrichida, Hypotrichia, Colpodea. Informationsberichte des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtchaft. 1991. Hf. 1. S. 1–478.

54. Кукурудзяк К. В., Бригас О. П., Тертична О. В Екологічна оцінка санітарно-хімічного стану відкритих водойм поблизу свинарських господарств.

55. Катренко Л.А., Піскун І.П. Охорона праці в галузі освіти : навчальний посібник. Суми : Університетська книга, 2001. 339 с.

56. Коржик Б. М. Основи охорони праці: навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти України. Харків : *ХНАМГ*, 2002. 105 с.

57. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях. Запоріжжя : НУЗП, 2016. 16 с. URL : https://zp.edu.ua/sites/default/files/konf/rozdil_dp_specialisty.pdf.

58. Ткачук К.Н., Зацарний В.В. Охорона праці та промислова безпека: підручник. Київ: Лібра, 2010. 559 с.

59. Інструкція щодо дій в умовах надзвичайних ситуацій в Запорізькому національному університеті. Запоріжжя : НУЗП, 2024.URL : http://surl.li/suxlnb

ДОДАТКИ

Додаток А

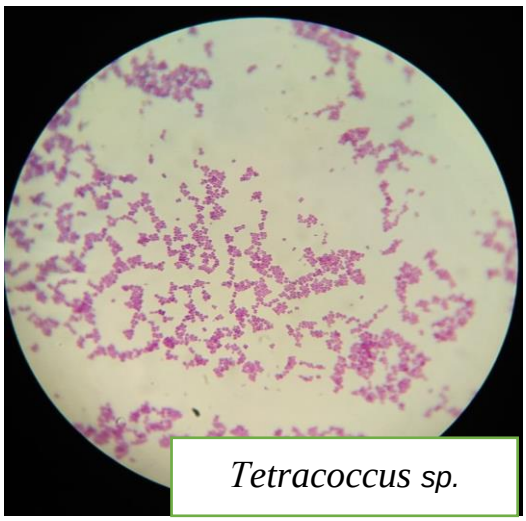
Вигляд «ВІЇ» з обростанням періфітону 02.07.24р.

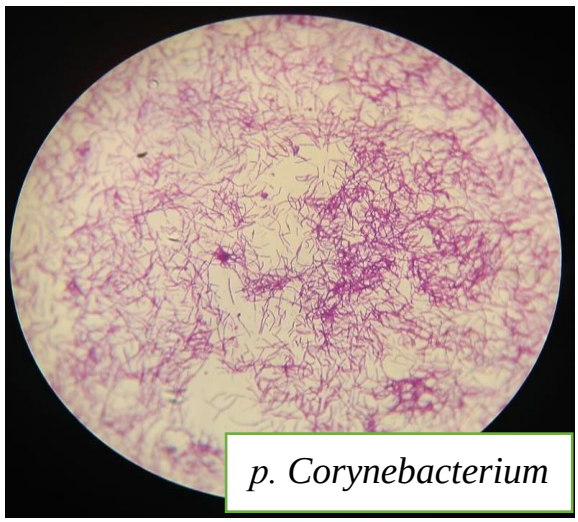


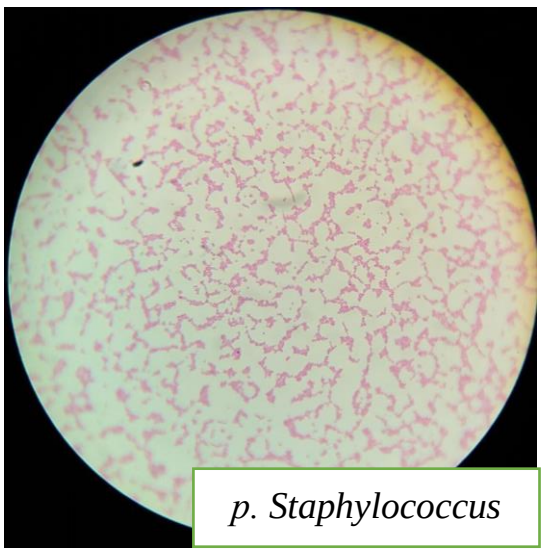


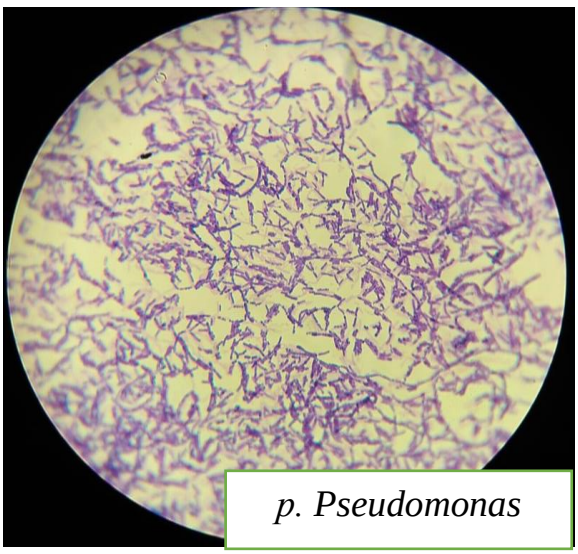
Додаток Б

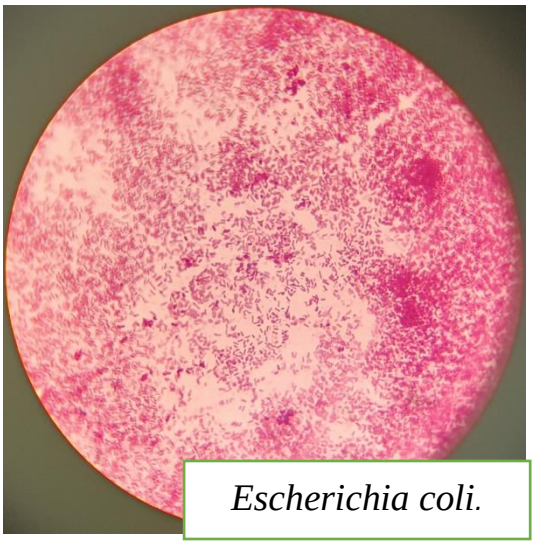
Мікробіота періфітону «ВІЇ» під імерсійним об’єктивом мікроскопу (фарбування за Грамом)

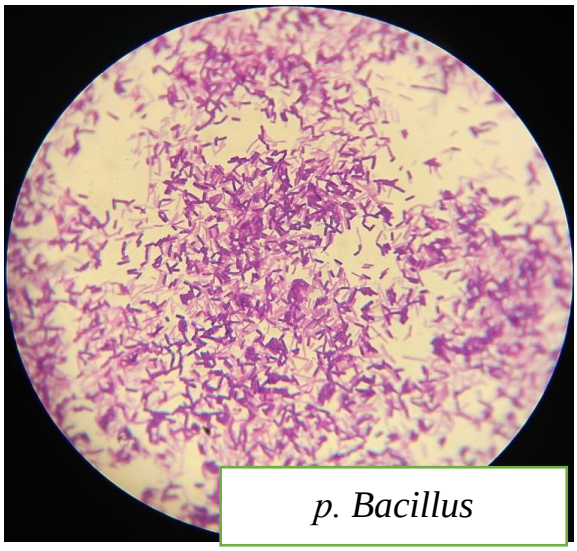












Додаток В

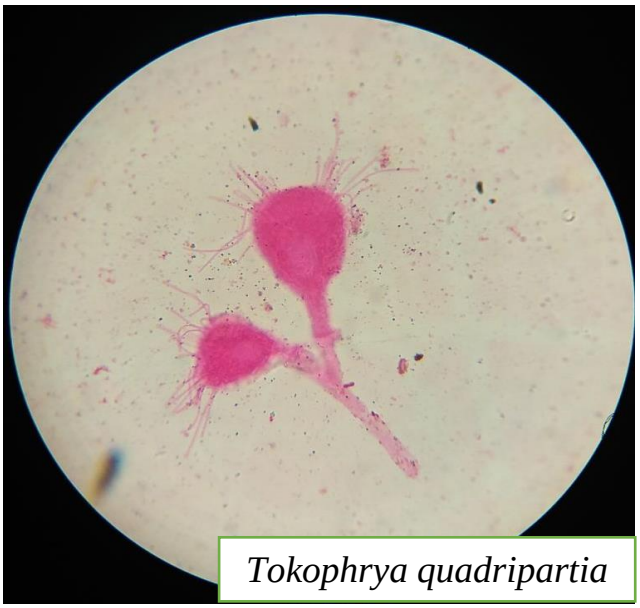
Виявлені гідробіонти періфітону «ВІЇ»



Coleps hirtus



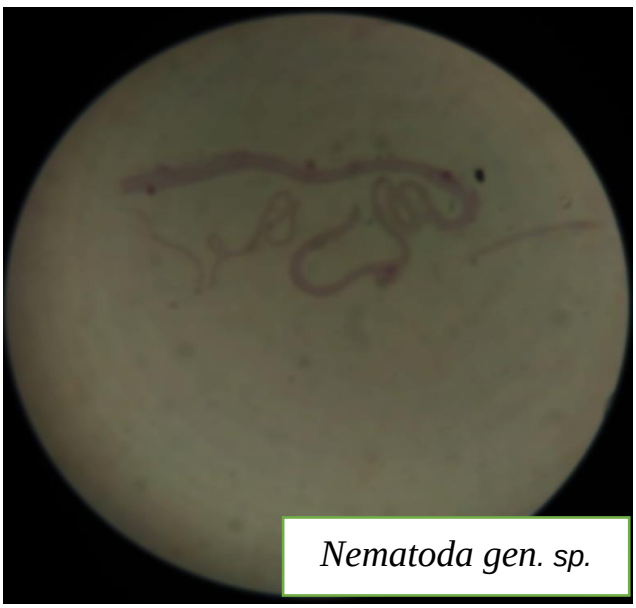
Rotaria rotatoria



Tokophrya quadripartia



Philodina megalotrocha



Nematoda gen. sp.



Біоценоз гідробіонтів