

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Біотехнологічний факультет

Спеціальність 207 Водні біоресурси та аквакультура

Другий (магістерський) рівень вищої освіти

Допускається до захисту:

Завідувач кафедри водних
біоресурсів та аквакультури

д. б. н., проф. _____ Роман НОВІЦЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти Магістр на тему:

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БІОФЛОК-ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ
ВИРОЩУВАННЯ РИБ В ЗАКРИТИХ СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ У
ФЕРМЕРСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ «AQVATIC» (м. Дніпро)**

Здобувач другого (магістерського)
рівня вищої освіти

_____ Ярослав КОЗАК

Керівниця кваліфікаційної роботи,
к. б. н., доцентка

_____ Надія ГУБАНОВА

Дніпро – 2025

Міністерство освіти і науки України
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Біотехнологічний факультет
Спеціальність 207 «Водні біоресурси та аквакультура»
Освітній ступінь – «Магістр»
Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри, д. б. н.,
професор _____ Роман НОВІЦЬКИЙ
“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу здобувачу

Козаку Ярославу Сергійовичу

Тема роботи: «Ефективність використання біофлок-технологій для вирощування риб в закритих системах водопостачання у фермерському господарстві «AQVATIC» (м. Дніпро)»

Затверджена наказом по університету від “ 5 ” листопада 2025 р. № 3317

2. Термін здачі здобувачем завершеної роботи “ 1 ” грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

4. Короткий зміст роботи - перелік питань, що розробляються в роботі:

1. Інноваційні технології розведення гідробіонтів в фермерських господарствах
2. Якість води для розведення та технології вирощування гідробіонтів
3. Морфо-фізіологічні особливості гідробіонтів в контрольних та дослідних умовах

5. Перелік графічного матеріалу _____ немає _____

6. Консультант по проекту (роботі), із зазначенням розділів проекту, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях			

7. Дата видачі завдання: “ _____ ” _____ 20__ р.

Керівниця _____ Надія ГУБАНОВА

Завдання прийняв до виконання _____ Ярослав КОЗАК

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Етапи дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення теми роботи. Отримання завдання	Вересень 2025	
2.	Опрацювання літературних джерел	жовтень 2025	
3.	Проведення дослідження в умовах підприємства	жовтень	
4.	Експериментальні роботи	листопад	
5.	Проведення економічного обґрунтування проведеної роботи та написання розділів роботи.	листопад	
6.	Підведення підсумків роботи та формування висновків	Грудень	
7.	Оформлення роботи до захисту та підготовка презентації	грудень	

Здобувач вищої освіти _____ Ярослав КОЗАК

Керівниця роботи _____ Надія ГУБАНОВА

АНОТАЦІЯ

кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Магістр» студента II курсу навчання кафедри водних біоресурсів та аквакультури денної форми навчання біотехнологічного факультету ДДАЕУ Козака Ярослава Сергійовича «Ефективність використання біофлок-технології для вирощування риб в закритих системах водопостачання у фермерському господарстві «AQVATIC» (м. Дніпро)»

Кваліфікаційна робота присвячена етапам дослідження та подальшого впровадження інноваційних технологій в умовах фермерських господарств.

Метою роботи було розглянути питання використання біофлок-технологій для вирощування риб в закритих системах водопостачання в фермерському господарстві.

Результати цієї роботи мають практичне значення як для фахівців у галузі як рибальства та водних біоресурсів та аквакультури так і для природоохоронної галузі в аспектах застосування сучасних технологій та використання їх в умовах водних екосистем.

Робота містить 52 сторінки машинописного тексту, вміщує 10 таблиць, 11 рисунків та 36 джерел (19 англомовних), складається з розділів: вступу, огляду літератури, умов, матеріалів та методів виконання роботи, результатів власних досліджень, застосуванню біофлок-технології в фермерському господарстві, безпеки в надзвичайних ситуаціях та охороні праці, висновків та пропозицій для підвищення економічного ефекту виробництва.

Ключові слова: водні біоресурси, стерлядь, біофлок

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ	2
АНОТАЦІЯ	3
ЗМІСТ	4
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	8
1.1 Теоретичні основи біофлок-технологій	8
1.2 Принципи формування біофлоку	13
РОЗДІЛ 2 ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ БІОФЛОКУ У ЗАКРИТИХ СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ	17
РОЗДІЛ 3 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
3.1 Характеристика господарства «AQVATIC»	20
3.2 Технологія вирощування осетрових риб на прикладі стерляді	22
3.3 Методика визначення гемоглобіну в крові риб	23
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	26
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БІОФЛОК-ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СТЕРЛЯДІ	36
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	39
РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	42
ВИСНОВКИ	45
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	47

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і
термінів

ОСВ – осади стічних вод

TSS - загальна кількість зважених речовин

pH – водневий показник

MLSS - зважені речовини змішаної рідини

ПАР – поверхнево активні речовини

HCT - гематокрит

ОР – органічна речовина

Hb - гемоглобін

БАР – біологічно активні речовини

ПНЖК – полінасичені жирні кислоти

КН – коефіцієнт накопичення

ВСТУП

Інноваційні технології сприяють підвищенню рентабельності підприємств та прискорюють процес отримання продукції в галузі рибництва та рибальства. Під час відбору інноваційних проєктів і визначення їх ефективності на рівні підприємства враховують такі результати реалізації проєкту: підсумкові виробничі показники, до яких відносять дохід від продажу продукції та об'єктів інтелектуальної власності, технології в умовах господарства, ноу-хау, програмне забезпечення тощо; соціальні та екологічні результати, що оцінюються залежно від спільної діяльності учасників проєкту у відповідних регіонах; безпосередні фінансові показники; кредитні ресурси та інвестиції з боку інших держав, банків, компаній тощо; непрямі фінансові ефекти, які виникають у процесі реалізації проєкту: зміни доходів сторонніх організацій і населення, а також втрати природних ресурсів чи інші надзвичайні обставини [14].

Водні біоресурси та аквакультура є типовою галуззю, що потребує постійного оновлення та осучаснення технологічних умов, що особливо актуально в військові часи, тому що застосування більш економних заходів є головною метою для функціонування господарства з отримання рибної продукції.

Запровадження інноваційних технологій у сфері водних біоресурсів та аквакультури сприяє розв'язанню важливої економічної задачі прикладом якої є узгодження інтересів усіх учасників інноваційного процесу. Крім того, оцінювання якісного інтегрального ефекту від упроваджених інновацій слугує важливим інформаційним підґрунтям для ухвалення управлінських рішень щодо подальшого розвитку інноваційної діяльності підприємств цієї галузі [10].

Достовірна оцінка результативності, що отримана з дотриманням необхідних умов, дає змогу своєчасно коригувати, поліпшувати, удосконалювати стратегію розвитку фермерського господарства або

підприємства будь-якого рівня організації, оптимізувати використання ресурсів та підвищувати конкурентоспроможність аквакультурних господарств. У підсумку все, що вказано вище, сприяє та підтримує сталий розвиток галузі, підвищує рівень її спроможності та зміцненню продовольчої безпеки країни [5].

В зв'язку з цим метою роботи було визначення ефективності використання біофлок-технологій для вирощування риб в закритих системах водопостачання в фермерському господарстві.

Для досягнення мети було поставлено наступні завдання:

- ознайомитися з видами інноваційних технологій на основі літературних джерел;
- надати характеристику фермерського господарства;
- визначити екологічні групи водних організмів підприємства;
- порівняти умови вирощування гідробіонтів фермерського господарства «AQVATIC»;
- зробити висновки щодо проведеної роботи.

РОЗДІЛ 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1 Теоретичні основи біофлок-технологій

В основі біофлок-систем лежить гетеротрофна мікробна конверсія азоту. У воді аквакультури накопичуються продукти метаболізму риб до яких відносяться переважно амоній ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$), який для запобігання токсичності необхідно видаляти або трансформувати. У ВФТ це досягається природним шляхом: застосування гетеротрофних бактерій, використанням амонію як джерела азоту. Біофлок-технології потребують додаткового вуглецю (вносять патоку, крохмаль тощо), швидко ростуть, формуючи високу мікробну біомасу [7, 13].

Формування біофлоків включає агрегат з бактерій, водоростей, найпростіших, органічних часток, дрібної детритної фракції. Ці агрегати слугують живим кормом, багатим на білок (25–50 %), незамінні амінокислоти, жирні кислоти, вітаміни. Функціонування ВФТ ґрунтується на трьох основних циклах: азотний цикл, вуглецевий цикл, кисневий баланс.

Азотний цикл відображується у схемі:

$\text{NH}_4^+ \rightarrow$ бактерії засвоюють \rightarrow бактеріальна біомаса.

В даних умовах частково тривають processes нітрифікації (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), але гетеротрофний шлях завжди домінує.

Вуглецевий цикл полягає у підтримці співвідношення $\text{C:N} \approx 12\text{--}20:1$, при якому вносять додаткове джерело вуглецю. Це ключовий елемент: він визначає швидкість росту бактерій і ефективність утворення флоків.

Кисневий баланс визначається високим рівнем активного бактеріального метаболізму, який має високі потреби в кисні. Біофлок-системи завжди працюють при інтенсивній аерації, що також допомагає утримувати флоки у зваженому стані.

Гідрофізичні аспекти також мають суттєвий рівень свого впливу. Для стабільності флоків важливо підтримувати: постійне перемішування, рівномірну аерацію, мінімальний або нульовий водообмін. Це створює умови, за яких система працює як динамічний біофільтр.

Гетеротрофні бактерії як домінуючий компонент біофлоку мають вирішальне значення при функціонуванні системи.

Провідну роль у формуванні біофлоку відіграють гетеротрофні бактерії, які швидко засвоюють розчинені органічні сполуки та амонійний азот за наявності додаткового джерела вуглецю. Найбільш поширеним і функціонально значущим родом є *Bacillus*. Представники цього роду характеризуються високою ферментативною активністю, здатністю до утворення спор та синтезу антимікробних речовин, що сприяє біологічній стабільності системи та пригніченню умовно-патогенних мікроорганізмів [3, 12, 13].

До складу гетеротрофного комплексу також входять бактерії родів *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Enterobacter* та *Aeromonas*. Вони беруть участь у розкладанні білків, ліпідів і вуглеводів кормового та метаболічного походження. Особливо важливою є роль *Pseudomonas*, які поєднують властивості гетеротрофів і денітрифікаторів, що забезпечує гнучкість біогеохімічних процесів у системі (Рис. 1.1).



Рис. 1.1 – Клітини бактерії *Pseudomonas*

У стабільних біофлок-системах важливу роль відіграють нітрифікуючі бактерії, які забезпечують біологічне окиснення амонію. Основними родами є *Nitrosomonas*, що здійснюють перший етап нітрифікації (окиснення NH_4^+ до

NO₂⁻), та *Nitrobacter* і *Nitrospira*, відповідальні за окиснення нітритів до нітратів (Рис. 1.2).

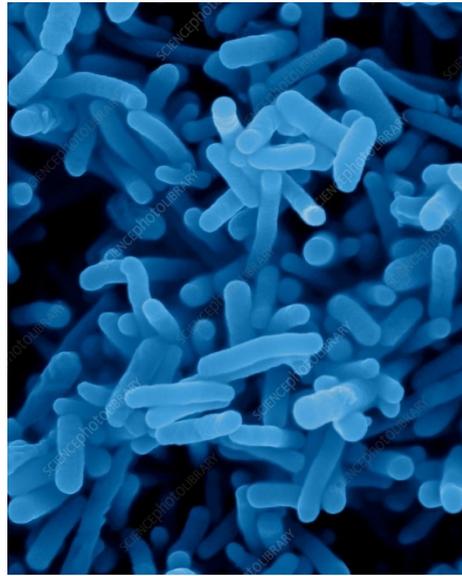


Рис. 1.2 – Клітини бактерії *Nitrosomonas*

Слід зазначити, що у біофлок-технологіях домінування гетеротрофного шляху утилізації азоту часто обмежує розвиток нітрифікаторів. Проте їх присутність є критично важливою для запобігання накопиченню токсичних форм азоту, особливо за коливань співвідношення вуглецю до азоту (C:N) [22, 27].

Домінуючим компонентом біофлоку в системах вирощування стерляді є гетеротрофні бактерії, насамперед представники роду *Bacillus*. Вони забезпечують швидку утилізацію розчинених органічних речовин та амонійного азоту, що особливо важливо для осетрових риб, які негативно реагують на підвищення концентрації токсичних азотних сполук. Крім того, *Bacillus* здатні продукувати протеолітичні та амілолітичні ферменти, що покращує доступність поживних речовин біофлоку для стерляді (Рис.1.3)

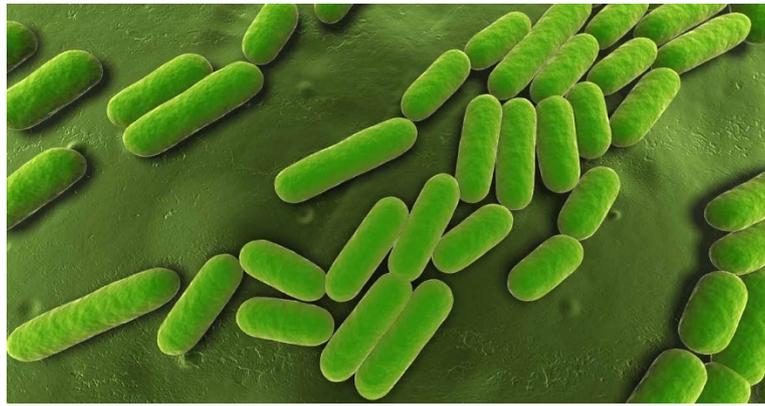


Рис. 1.3 – Клітини бактерії *Bacillus*

Бактерії родів *Pseudomonas* і *Flavobacterium* беруть участь у деструкції білкових компонентів кормових залишків та екскрементів, знижуючи біологічне навантаження на систему. Для стерляді це має особливе значення, оскільки надмірна органічна каламутність може пригнічувати її харчову активність і викликати стресові реакції.

Відомо, що стерлядь є високочутливою до накопичення амонію та нітритів, навіть у концентраціях, які є допустимими для більшості коропових риб. У цьому контексті присутність нітрифікуючих бактерій родів *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* та *Nitrospira* у біофлоці відіграє ключову роль. Вони забезпечують послідовне окиснення амонійного азоту до менш токсичних нітратів, стабілізуючи умови вирощування [2].

Структурна неоднорідність біофлоків створює умови для формування мікроанаеробних зон, у яких активізуються денітрифікуючі бактерії родів *Paracoccus*, *Alcaligenes* та *Pseudomonas*. Їх діяльність сприяє відновленню нітратів до газоподібного азоту, що додатково знижує азотне навантаження у воді.

Для стерляді це є важливим фактором, оскільки надлишок нітратів може опосередковано впливати на осморегуляцію та загальний фізіологічний стан риб. У біофлок-технологіях, адаптованих для осетрових риб, особливу увагу приділяють пробіотичним бактеріям родів *Lactobacillus* та *Enterococcus*. Вони стабілізують мікробний ценоз, пригнічують розвиток умовно-патогенних мікроорганізмів та позитивно впливають на мікрофлору кишечника стерляді.

Представники *Astinobacteria* виконують важливу структурну функцію у формуванні щільних, стабільних флоків, які є доступними для донного живлення стерляді. У поєднанні з найпростішими, коловертками та бактеріопланктоном біофлок виступає як багатокомпонентний природний корм, що доповнює штучні комбікорми [9].

Споживання біофлоку як додаткового кормового компонента сприяє надходженню мікробного білка, вітамінів групи В та біологічно активних речовин, що може позитивно відобразитися на темпах росту та кормовому коефіцієнті стерляді.

У біофлок-системах для стерляді нітрифікація, як правило, поєднується з гетеротрофним шляхом утилізації азоту, що дозволяє ефективно контролювати азотний баланс навіть за високої щільності посадки.

Розвиток сучасної аквакультури базується на принципах сталого використання природних ресурсів та дбайливого ставлення до довкілля, що передбачає впровадження екологічно безпечних біотехнологій. Одним із таких підходів є використання органічних методів, серед яких особливе місце займає хлорела – одноклітинна зелена водорість з відділу *Chlorophyta*. Хлорела представлена різними видами, які широко поширені як у прісних, так і в солоних водоймах, а також на вологих ґрунтах та корі дерев. Найбільш поширеним видом є *Chlorella vulgaris*, відомий науці з 1890 року та існуючий понад два мільярди років. Ця мікродорість живиться виключно завдяки фотосинтезу і здатна інтенсивно виробляти кисень, що робить її цінною для замкнених екосистем, таких як космічні станції або підводні човни [11, 26].

Хлорела містить значну кількість мікро- та макроелементів, хлорофілу, вітамінів і білка, який в її клітинах складає 40–55 % сухої маси, що робить її ефективною біологічно активною добавкою та перспективним джерелом живлення для тваринництва і птахівництва. Вона значно перевищує традиційні кормові культури, наприклад люцерну, за вмістом білка на одиницю площі.

У аквакультурі хлорела використовується для збагачення води киснем та очищення водойм, що особливо важливо в літній період, коли при високих температурах кисневий режим погіршується і риба піддається ризику загибелі. Крім того, водорість слугує органічним біостимулятором росту рослин, прискорюючи процеси коренеутворення, розвиток та цвітіння.

З середини ХХ століття хлорела застосовується у замкнених екосистемах для виробництва кисню, очищення води та підтримання стабільного складу повітря. На сучасному етапі технологія біоремедіації водойм із використанням суспензії *Chlorella vulgaris* дозволяє значно покращувати якість води, пригнічувати розвиток синьо-зелених водоростей та відновлювати популяції фіто- і зоопланктону. Це створює природну кормову базу для риб і підвищує їхній імунітет, одночасно покращуючи екологічний стан водойм.

1.2 Принципи формування біофлоку

Біофлок-технології представляють собою інноваційну систему інтенсивного вирощування риб і безхребетних, засновану на керованому формуванні мікробних агрегатів, які складаються із різних груп водоростей, що є основою біофлорів у водному середовищі. Основна ідея вище вказаної технології полягає у перетворенні шкідливого азотного забруднення на корисну мікробну біомасу, що одночасно забезпечує очищення води та формування додаткового джерела корму [19].

Природа та склад біофлоку представлені агрегатом, що складається з гетеротрофних та автотрофних бактерій; фітопланктону й одноклітинних водоростей; найпростіших тварин серед яких є інфузорії, ротіфери, флагелятів; дрібних безхребетних різних екологічних груп; частинок органічного детриту; слизових полімерів бактеріального походження (EPS) [23].

Цей комплекс створює мікроекосистему, у якій мікроорганізми взаємодіють, переробляють органічні та неорганічні сполуки. Стабільність

флоків забезпечується завдяки інтенсивній аерації, що утримує їх у завислому стані та сприяє постійному контакту з водою й рибою [1].

У центрі біофлок-технологій знаходиться азотний цикл, у якому шкідливі форми азоту, головним чином, амоній та нітрити перетворюються на безпечні та корисні продукти. Геобіохімічний процес, що описує, як азот циркулює в біосфері. Він включає перетворення атмосферного азоту (N_2) на біологічно доступні форми (наприклад, аміак, нітрати), які потім використовуються живими організмами. Потім азот повертається в атмосферу у вигляді газу.

Основні процеси включають гетеротрофну асиміляцію азоту у ході якої, гетеротрофні бактерії швидко споживають амоній (NH_4^+), включаючи його у свою клітинну біомасу за наявності достатньої кількості органічного вуглецю. Цей процес є ключовим, оскільки дозволяє практично миттєво знижувати токсичність води.

Оптимальне співвідношення карбону та нітрогену повинно складати C:N (10–20:1), що буде забезпечувати активний ріст гетеротрофної мікробіоти. Для цього до системи додають джерела вуглецю (меляса, крохмаль, глюкоза). Дослідження Ekasari та ін. (2014) показали, що баланс C:N є критичним фактором якісного формування флоків.

У системі присутні також нітрифікуючі бактерії, які окиснюють амоній до нітритів і нітратів. Автотрофи ростуть повільніше, ніж гетеротрофи, але формують додатковий механізм контролю азоту. Мікроорганізми розщеплюють органічні відходи (фекалії, залишки корму), зменшуючи накопичення детриту й стабілізуючи систему (Рис. 1.4) [20].

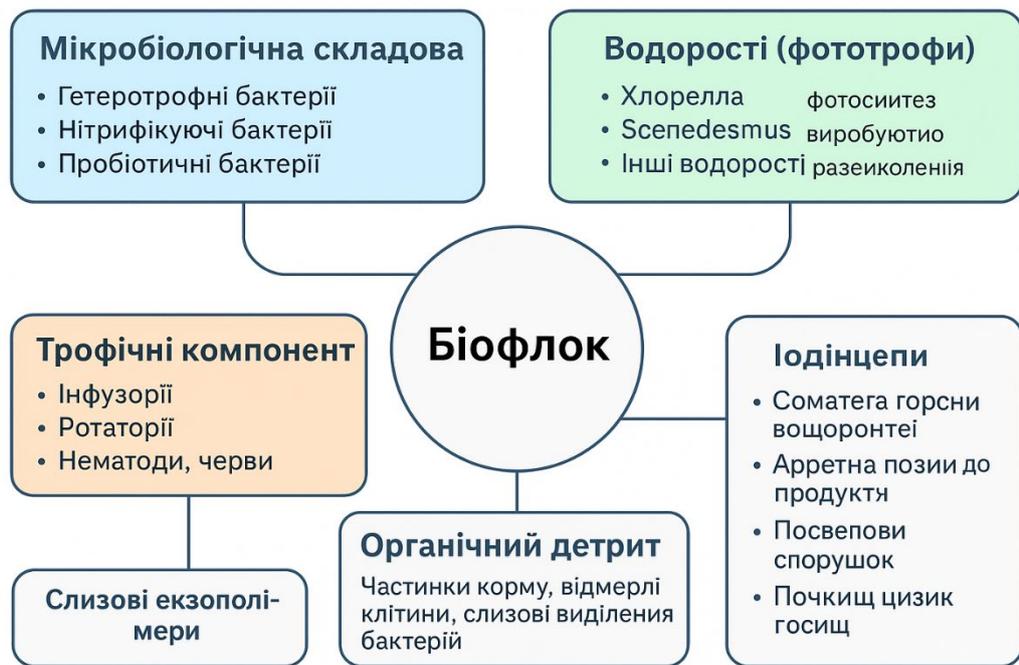


Рис. 1.4 Схема інтегрованої мікроекологічної системи біофлоку

Усі вказані процеси зменшують потребу у частковій заміні води та дозволяють підтримувати її якість без дорогих біофільтраційних систем. Гетеротрофні бактерії є основою ВФТ завдяки високій швидкості розмноження та здатності швидко асимілювати неорганічний азот. Дослідження Emerenciano та ін. (2017) довели, що мікробні біоспільноти:

- пригнічують патогенів шляхом конкуренції за субстрати;
- продукують ферменти, що покращують травлення у риб;
- стимулюють імунітет через постійний контакт із мікробними антигенами;
- підвищують стійкість риб до стресових факторів.

Таким чином, ВФТ виконує не лише екологічну, а й профілактичну функцію. Ефективне функціонування ВФТ потребує суворого контролю середовища:

- розчинений кисень >5–6 мг/л;
- інтенсивна аерація для підтримання флоків у завислому стані;
- температура: 24–30°C (залежно від виду риби);

- рН 6.8–8.2;
- суспендовані речовини (TSS) 200–600 мг/л;
- лужність 120–200 мг/л CaCO₃ для підтримання нітрифікації.

Порушення цих параметрів може призвести до надмірного накопичення органічної речовини, дефіциту кисню або зниження якості води.

Біофлок як природний високобілковий корм може використовуватися при розведенні риби та інших видів гідробіонтів.

Біофлок є цінним джерелом поживних речовин, оскільки містить

- 30–50% сирого білка;
- повний спектр незамінних амінокислот;
- жирні кислоти (ω -3, ω -6);
- вітаміни групи В, каротиноїди;
- мікроелементи (Zn, Cu, Fe).

У дослідженнях показано, що використання ВФТ збільшує прирости маси та покращує коефіцієнт конверсії корму в тилапії, сомів та креветок [32].

Біофлок-системи вважаються екологічно сталими завдяки:

- мінімальному водообміну ($\leq 1\%$ на добу);
- низьким викидам азоту в природні водойми;
- відсутності потреби у дорогих біофільтрах;
- зменшенню використання антибіотиків;
- можливості роботи при високій щільності посадки

Таким чином, мікробіологічний склад біофлоку, представлений родами *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Paracoccus* та *Lactobacillus*, створює оптимальні умови для вирощування стерляді. Біофлок забезпечує ефективну утилізацію азотистих відходів, стабілізацію якості води та формування додаткової кормової бази, що в комплексі сприяє підвищенню виживаності, інтенсифікації росту та зниженню технологічних ризиків при культивуванні *Acipenser ruthenus* в умовах інтенсивних систем.

РОЗДІЛ 2 ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ БІОФЛОКУ У ЗАКРИТИХ СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Біофлок-технології (BFT) належать до сучасних інноваційних підходів інтенсифікації аквакультури, оскільки забезпечують автономність та екологічну стабільність вирощування гідробіонтів у закритих системах водопостачання (ЗСВ). Однією з ключових переваг BFT є мінімізація водообміну завдяки здатності мікробних спільнот утилізувати амоній та нітрити, перетворюючи їх на біомасу. Такий процес значно зменшує навантаження на фільтраційні системи та сприяє скороченню використання водних ресурсів, що має важливе екологічне значення [5].

Іншою суттєвою перевагою є формування високобілкового кормового ресурсу у вигляді біофлоку. Дослідження показують, що біофлок містить до 30–50% білка, а також незамінні амінокислоти, жирні кислоти та вітаміни, що підвищує якість живлення та сприяє покращенню коефіцієнта конверсії корму (Ekasari et al., 2014). Для видів, таких як тилапія та сомові, спостерігається помітне збільшення приростів і виживаності при утриманні у системах BFT [14, 22].

Мікробіологічна стабільність є ще одним важливим аспектом ефективності BFT. Конкурентна взаємодія корисних мікроорганізмів біофлоку з патогенними видами знижує ризик розвитку бактеріальних хвороб, що підвищує біобезпеку системи та зменшує необхідність використання антибіотиків (Emerenciano et al., 2017). Це особливо важливо у високощільних системах вирощування риб, де патогенне навантаження традиційно є підвищеним.

Економічна ефективність технології проявляється через зниження витрат на корми, скорочення потреби у водообміні та зменшення навантаження на дорогі системи біофільтрації. Порівняльні дослідження показують, що фермерські господарства, які впровадили BFT, отримують вищий рівень рентабельності й стабільні виробничі результати навіть за умов високої щільності посадки [9].

Мікробні спільноти, що формують біофлок, виконують функцію природного біофільтра, який значною мірою замінює традиційні модулі очищення води.

Ключові процеси включають в себе гетеротрофне зв'язування амонію, що відбувається швидше, ніж нітрифікація; біологічне окиснення нітриту до нітрату мікроорганізмами нітрифікаторами, поглинання неорганічних форм азоту та фосфору мікробами, у тому числі хлореллою та безпосередньо адсорбцію органічних часток та колоїдів у складі флоків.

Біофлок містить високоякісну мікробну біомасу, яка є природним джерелом поживних речовин. Його склад включає 30–50 % сирого протеїну, незамінні амінокислоти, жирні кислоти, вітаміни групи В та мікроелементи. Завдяки цьому флоки можуть частково компенсувати нестачу корму або зменшувати загальні витрати комбікормів.

Основними перевагами є зниження кормових витрат на 10–25 %, покращення коефіцієнта конверсії корму (FCR), стимуляція росту, особливо у мальків та молоді, збагачення раціону біологічно активними речовинами.

Одним із важливих аспектів застосування біофлоку є формування керованої мікробіологічної екосистеми. У середовищі, де домінують корисні гетеротрофні та пробіотичні бактерії, створюється конкуренція за поживні речовини та простір, що пригнічує розвиток патогенних мікроорганізмів [14, 29].

Переважаюча мікробіота конкурує з патогенами за субстрати, продукує антимікробні речовини, формує бар'єрну біоплівку на поверхні часток, зменшує ймовірність бактеріальних захворювань.

Таким чином, технологія BFT забезпечує природний механізм біологічного контролю патогенів, що є надзвичайно актуальним в умовах інтенсивної аквакультури.

Ефективність використання флоків як природної кормової домішки є однією з причин поширення технології у вирощуванні тиляпії, коропа, сомоподібних та креветок, а також у дослідних системах з осетровими [8, 16, 33].

У результаті забезпечується стабільність основних гідрохімічних показників, що позитивно впливає на фізіологічний стан гідробіонтів. Біофлок запобігає різким коливанням концентрацій амонію та нітриту, які є найбільш токсичними метаболітами для риб.

Таким чином, біофлок-технології забезпечують поєднання екологічної, біологічної та економічної ефективності, що робить їх одним із найбільш перспективних напрямів розвитку інтенсивної аквакультури в умовах закритих систем водопостачання.

РОЗДІЛ 3 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Характеристика господарства «AQVATIC»

Дослідження проводилися в умовах фермерського господарства «AQVATIC» (м. Дніпро). Дане господарство знаходиться в Амур-Нижньодніпровському районі м. Дніпра. Під час дослідження застосовували комплекс традиційних гідрохімічних, гідробіологічних, іхтіологічних і бактеріологічних методів.

Дослід проводився із застосуванням системи біофлок (BFT) як варіанту інтенсифікації вирощування стерляді в умовах рециркуляції локальних ємностей. Контейнери 1000 л (1 м³) 4 штуки. Обов'язковим є аераційне обладнання: компресори із резервом; дискові або трубчасті дифузори; розподільчі лінії.



Рис. 3.1 Контейнер для утримування риб

Насоси циркуляції, біофільтри для часткової стабілізації, прилади для вимірювання різних показників: термометр, портативний DO-метр, рН-метр, тест-набори для $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$, NO_2^- , NO_3^- , прилад для визначення (ваговий метод або спектрофотометричні розрахунки) загальної кількості зважених речовин, зваженої речовини змішаної рідини.

Матеріали для ініціації біофлоку є вуглеводними, наприклад, меласа цукрова або інший органічний вуглецевий субстрат; джерелом інокуляту являється вода з активного ставка або комерційний інокулят [10, 12]

Підприємство вперше розпочало займатися вирощуванням осетрових риб. В ході вирощування використовується корм комерційний гранульований раціон для молоді стерляді. В даному кормі для молоді вміст протеїну складає не менше 35–45 %. Він має бути відповідним до розміру рота малька, особливо це стосується сухих кормів, які можуть використовуватися для зручності або як доповнення до живого корму можна використовувати високоякісні сухі корми, спеціально розроблені для молоді риб. Вони представлені у вигляді порошків або дрібної крихти.

Живий корм вважається найбільш повноцінним і корисним для ростучих мальків, оскільки він стимулює їх природний інстинкт полювання.



Рис. 3.2 – Корм для молоді осетрових риб

Заповнити баки водою, запустити аерацію. Інокулювати бак мікробною культурою або використовувати біологічний стартер із наявної BFT системи (або занести воду з робочої BFT). Паралельно почати годування риб;

додавання корму та органічного вуглецевого субстрату стимулює формування флоків.

Експеримент тривав 42 доби. Аналіз показників росту, якості води та фізіологічного стану риби продемонстрував суттєві відмінності між контрольною (К) та біофлоковою (BFT) групами.

Вид стерлядь (*Acipenser spp.*) було розміщено за контейнерами в контрольну та експерименту групи. Стартова маса особин стерляді в середньому складала $25 \text{ г} \pm 10 \%$, була гомогенною групою. Очищення та заповнення: очистити танки, заповнити водою без хлору до робочого рівня ($\approx 1000 \text{ л}$). Субстрат інокуляція додавався 5–10 % води з активного ставка або 50–200 мл комерційного інокуляту на контейнер в залежності від інструкції виробника). Початкове аераційне поживлення подавалося таким чином, щоб забезпечити інтенсивну аерацію для підтримки та перемішування суспензії бактерій.

При наповненні експериментальних контейнерів важливим було підтримувати співвідношення в них C:N у відповідних кількостях, щоб бактерії почали активно розмножуватися та система біофлок почала функціонувати на повну силу. Для нормального функціонування система встановити цільове співвідношення вуглецю до азоту C:N 15–20:1. Вносити меласу як джерело вуглецю за потребою.

Період підготовки: 10–14 діб до посадки риби - протягом цього часу стабілізується мікрофлора та рівні базових параметрів серед яких вміст вільного кисню, водневий показник, співвідношення аміаку до нітритів.

3.2 Технологія вирощування осетрових риб на прикладі стерляді

Приріст мальків стерляді дуже швидкий, особливо на початкових етапах, і може досягати високих показників (у перші тижні до 13-15% на добу), але згодом сповільнюється до 8-9% на добу, що в перерахунку на тиждень означає значне збільшення ваги за сприятливих умов вирощування. Конкретні цифри залежать від віку мальків, температури, корму та умов утримання.

Фактори, що впливають на приріст взагалі однакові для осетрових, проте на стадії личинки та на початку підрощування приріст є максимальним, потім він поступово знижується.



Рис. 3.3 – Мальок осетрових риб

Важливе значення має якісний, збалансований корм, який містить всі групи органічних та неорганічних сполук, мікроелементів та вітамінів ключ до швидкого росту.

Оптимальна температура водного середовища значно прискорює метаболізм. Важливим показником також є щільність посадки, тому надто висока щільність може гальмувати ріст.

3.3 Методика визначення гемоглобіну в крові риб

Для відбору крові риб використовують наступні прилади та реагенти: анестетик для риб, наприклад, бензокаїн та вода для промивання; шприци 1–2 мл і голки 23–26G; або мікропіпетки для дрібних об'ємів. Пробірки з антикоагулянтом або так звані гепаринові пробірки, гепаринізовані шприци та мікропіпетки. Мікрокапілярні герметичні капілярні трубочки для гематокриту (запаяні з одного кінця). Мікроцентрифуга (мікро гематокритна) або центрифуга для капілярів. Секційна глиняна (пластилінова) заглушка для капілярів. Спектрофотометр (візуальний фотометр) з довжиною хвилі 540 нм або фотометр для гемоглобіну. Реагент Драбкіна (Drabkin's reagent) або

комерційний набір для метгемоглобінового (ціанметгемоглобінового) методу. Стандарти гемоглобіну, для калібрування, або калібрувальні зразки.

Перед початком взяття крові треба анестезувати рибу згідно з етичними вимогами (наприклад, MS-222 у концентрації, рекомендованій для виду). Підсушити місце взяття крові серветкою, взяти кров з хвостової вени (*vena caudalis*) або інших дозволених судин шприцом з гепарином.

Для однієї особини бажано отримати 0.2–1.0 мл крові; у дрібних особин можна використовувати групування/пулінг зразків. Кров перенести в пробірку з гепарином або безпосередньо наповнити капіляр (для гематокриту). Під час взяття крові важливо уникати гемолізу, тобто не струсувати, не перегрівати зразки.

Визначення гемоглобіну (Hb) за методом Драбкіна так званий ціанметгемоглобіновий метод. Метод стандартний, чутливий і широко застосовний у рибній гематології. Приготувати Drabkin's reagent (комерційний або лабораторний склад) та охолодити. Підготувати серію стандартів гемоглобіну, наприклад 0, 2, 4, 6, 8, 10 гр/дм³ для калібрувальної кривої, якщо використовується спектрофотометр.

Взяти 20 мл крові мікропіпеткою і розвести в 5 мл Drabkin's reagent (це дає розведення 1:250), потім добре перемішати. Дати реакції завершитися, постояти 5–10 хвилин при кімнатній температурі. Виміряти поглинання при 540 нм у спектрофотометра проти бланку з чистим розчином Drabkin.

Розраховується концентрація гемоглобіну за калібрувальною кривою шляхом побудови лінії залежності стандартів гемоглобіну і по ній визначити гемоглобін зразка. Якщо використовується готовий калібрувальний множник від виробника реагенту, то слід застосувати його згідно з інструкцією.

Подати результат у g/dL або g/L; $1 \text{ g/dL} = 10 \text{ g/L}$.

Крім спектрофотометричного методу можна використати візуальний колориметричний метод, проте він менш точний і менш рекомендований для наукових робіт.

Аналіз крові після взяття зразка треба робити якомога швидше після взяття (оптимально протягом 2–4 годин); при необхідності зберігати при 4 °С, не заморожувати. Уникати сильного струшування і надмірного нагрівання, що викликає гемоліз. Якщо бракує крові від однієї особини, допускається пулінг 2–3 особин, але це треба відзначити в тексті та врахувати при інтерпретації. Анестезія і маніпуляції повинні проводитись згідно з етичними нормами та дозволами.

При інтерпретації даних враховувати видову варіабельність, вік риби, температуру, стан годівлі та сезонні зміни.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Підготовчий етап та запуск біофлоку полягає в очищенні та заповненні очистити танки, заповнити водою без хлору до робочого рівня (≈ 1000 л). Створити робочий інокулянт додати 5–10 % води з активного ставка або 50–200 мл комерційного інокуляту на кожен контейнер (залежно від інструкції виробника).

Початкове аераційне поживлення полягає в забезпеченні інтенсивної аерації для підтримки суспензії. Встановити цільове співвідношення вуглецю до азоту (C:N) 15–20:1. Вносити меласу як джерело вуглецю за потребою. Період підготовки водного середовища з біофлоком складає 10–14 діб до посадки риби, приблизно протягом цього часу стабілізується мікрофлора та рівні базових параметрів насамперед, вільний кисень, водневий показник, рівень аміаку та нітритів будуть досягати необхідних показників. (DO, рН, NH_3/NO_2).

Температура води повинна підтримуватися в оптимальному діапазоні для кожного конкретного виду, наприклад, для молоді стерляді температура повинна складати 18–24 °С, вміст вільного кисню у воді повинен бути не менше $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. Вміст кисню у воді вимірюється та контролюється ранком і вдень. Водневий показник рН = 6.5–8.5.

Розрахунок добової норми корму залежить від біомаси та температури. Для ілюстрації використовуємо типову ставну норму 3 % від біомаси на день (підвищується або знижується залежно від температури та апетиту). Система ВФТ продемонструвала стабільніший азотний цикл.

Таблиця 4.1 -

Показники якості води в контролі та досліді

Параметр	Контроль	Біофлок
Амоній (NH_4^+), мг/л	1.2–1.6	0.3–0.6
Нітрит (NO_2^-), мг/л	0.25–0.32	0.05–0.10
Нітрат (NO_3^-), мг/л	35–48	55–70
Кисень, мг/л	5.8–6.4	5.6–6.1
рН	7.2–7.6	7.4–7.8

Зважені речовини, мг/л	90–120	420–580 (через флоки)
------------------------	--------	-----------------------

Біофлок сприяв інтенсивнішому росту молоді стерляді (*Acipenser ruthenus*), що пов'язано з додатковим природним кормом та мікробною біомасою та покращеним травленням (Табл. 4.2).

Таблиця 4.2 –

Динаміка росту та виживаності стерляді в ході експерименту

Показник	Контроль	Біофлок	Різниця
Початкова маса, г	3.1 ± 0.2	3.2 ± 0.2	–
Кінцева маса, г	11.8 ± 0.7	15.6 ± 0.9	+32%
Середньодобовий приріст, г/добу	0.21	0.30	+43%

На стовпчиковому графіку представлено порівняння вмісту гемоглобіну (мг) у крові риб у контрольній та дослідній групах за дев'ятьма вимірюваннями (Рис. 4.1).

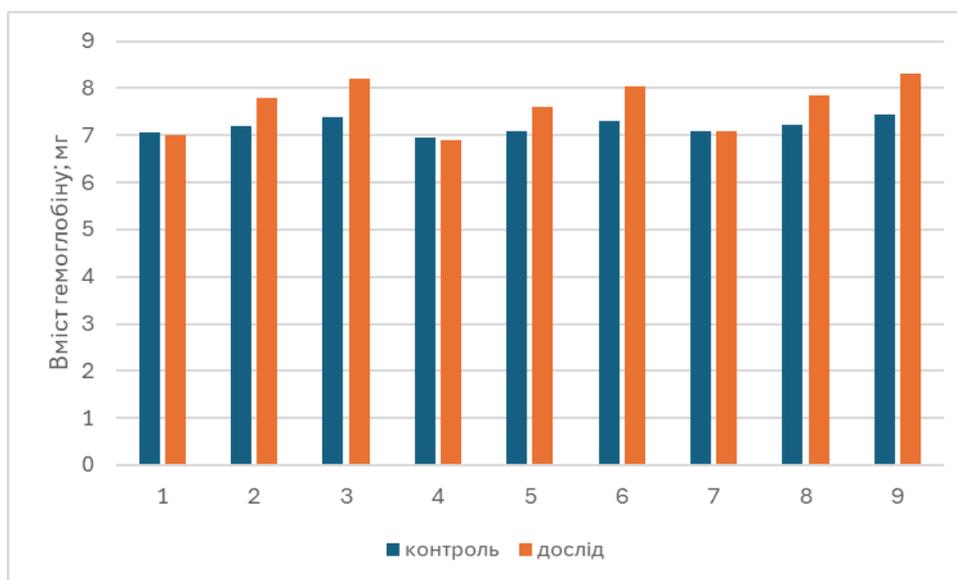


Рис. 4.1 – Вміст гемоглобіну в крові під час дослід з біофлоком

Дані показують стабільну перевагу дослідної групи над контролем. У контрольній групі концентрація гемоглобіну коливається в межах 7,0–7,4

мг, що свідчить про рівномірний фізіологічний стан риб без суттєвих відхилень. У дослідній групі (із застосуванням відповідного експериментального чинника, наприклад біофлоку) показники є вищими 7,4–8,3 мг. Практично у всіх точках спостерігається підвищення на 0,4–1,0 мг порівняно з контролем.

Загальна тенденція демонструє покращення рівня гемоглобіну в досліді, що може свідчити про позитивний вплив умов вирощування на кисневотранспортну функцію крові; відсутність різких коливань, що вказує на стабільний фізіологічний стан риб у обох групах.

Отже, експериментальні умови сприяли кращому гематологічному статусу риб, що може бути ознакою покращеного харчування, метаболічної активності або загального здоров'я.

У межах проведеного дослідження було проаналізовано гематологічні показники риб рівень гемоглобіну (Hb) та гематокриту (HCT), які є одними з ключових індикаторів фізіологічного стану та адаптаційних реакцій організму до умов середовища. Отримані дані свідчать про чітку позитивну динаміку в риб дослідної групи порівняно з контролем (Рис. 4.2).

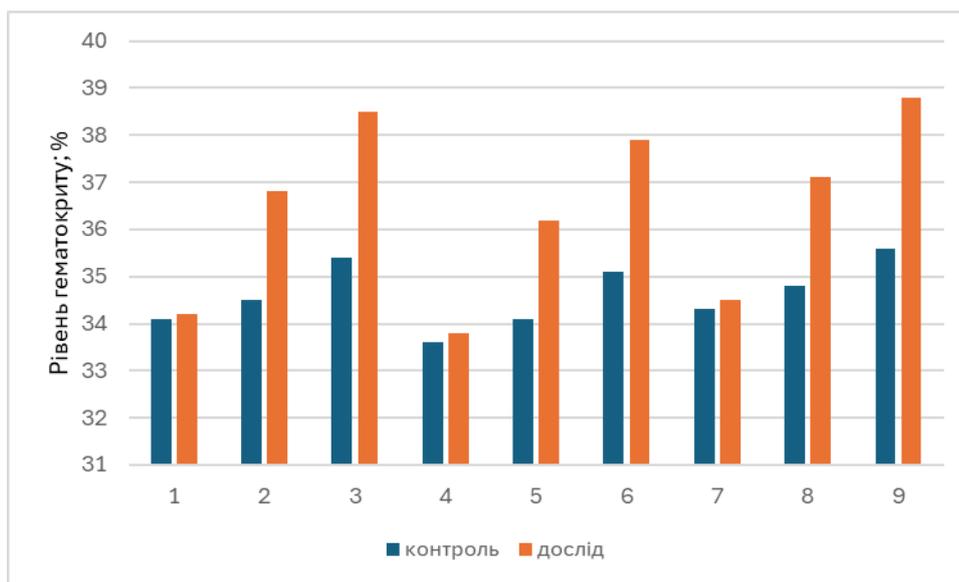


Рис. 4.2 – Вміст гематокриту під час дослід з біофлоком

Гематокрит продемонстрував суттєві відмінності між групами. У контролі значення становили 33,7–35,6 %, що відображає нормальний фізіологічний стан. Натомість у досліді рівень гематокриту був вищим і досягав 34,8–39,0 %, що у деяких вимірюваннях перевищувало контроль на 4–5 %. Зростання гематокриту може свідчити про: підвищення кількості еритроцитів; покращену кисневу забезпеченість тканин; посилену метаболічну активність унаслідок кращого живлення; підвищену стійкість до коливань параметрів води.

Такі зміни відповідають відомим фізіологічним реакціям риб на покращення трофічних умов та зниження рівня хронічного стресу. Вищий гематокрит часто свідчить про добрий загальний фізіологічний стан та сприятливі умови утримання.

Отримані дані гематологічних параметрів демонструють систематичне покращення у риб дослідної групи. Підвищений рівень гемоглобіну та гематокриту вказує на: оптимізацію кисневотранспортної функції крові; покращення роботи кровотворної системи; можливу активацію імунної відповіді; загальне підвищення фізіологічної резистентності організму.

Аналіз показників вмісту гемоглобіну продемонстрував стабільно вищі значення у риб дослідної групи. У контрольній групі рівень гемоглобіну становив у середньому 7,0–7,4 мг, що відповідає нормальним фізіологічним параметрам для осетрових видів. Водночас у дослідній групі ці показники були підвищеними та коливалися в межах 7,4–8,3 мг.

Підвищений вміст гемоглобіну може свідчити про:
активізацію процесів еритропоезу;
покращення доступності поживних речовин, зокрема білків і заліза;
зменшення стресового навантаження завдяки стабільним умовам утримання;
кращу здатність переносити кисень у тканини.

Це особливо важливо для риб, які утримуються у системах із потенційними коливаннями вмісту розчиненого кисню, адже підвищений рівень гемоглобіну компенсує можливу нестачу кисню у воді.

За умов використання технології Biofloc збільшення гемоглобіну може бути зумовлене надходженням додаткового легкозасвоюваного білка, амінокислот та мікроелементів, що стимулюють кровотворення.

За даними наукових досліджень, у осетрових підвищення рівнів HCT та Hb спостерігається при покращенні кормової бази та стабільних гідрохімічних умовах. Отримані результати узгоджуються з такими висновками та підтверджують, що застосування додаткових кормових компонентів (у тому числі біофлоку) може покращувати фізіологічний статус риб.

В контексті аквакультури такі результати мають важливе практичне значення, оскільки свідчать про ефективність застосованого підходу (зокрема, технології Biofloc), який забезпечує риб достатньою кількістю доступних поживних речовин, покращує якість води та знижує стрес.

Технологія Biofloc дає змогу суттєво зменшити водообмін та обсяги споживання води в аквакультурних системах завдяки підтриманню стабільної якості води всередині культиваційної ємності. У процесі її функціонування формується біомаса біофлоку - доступне та білковмісне живлення, яке може слугувати додатковим кормовим ресурсом для вирощуваних гідробіонтів. Отже, гематологічні показники підтверджують, що експериментальні умови створили для риб сприятливе середовище, у якому спостерігається підвищення еритропоетичних процесів, покращення газообміну та загального фізіологічного стану. Це свідчить про ефективність використаного технологічного підходу та його перспективність для впровадження у сучасній аквакультурі.

Таблиця 4.3 –

Описова статистика показників гемоглобіну; мг

Група	n	Середнє (Mean)	Стандартне відхилення (SD)	Мін	Макс
Контроль	9	7.18	0.14	7.0	7.4
Дослід	9	7.90	0.46	6.9	8.3

Із таблиці 4.3 видно, що вимірювання проводилися у 9 осіб. Середнє в дослідному варіанті перевищує контроль, а розмах виборки є невеличким.

Для гемоглобіну обидва критерії показали достовірне підвищення у дослідної групи (Рис.4.4).

Таблиця 4.4 –

Результати статистичного порівняння рівня гемоглобіну

Тест	Статистика	p-значення	Висновок
t-тест (Welch)	$t = -3.07$	0.0127	різниця достовірна
Манна-Вітні	$U = 15.0$	0.0267	різниця достовірна

Таблиця 4.5 –

Описова статистика показників гематокриту; мг

Група	n	Середнє (Mean)	Стандартне відхилення (SD)	Мін	Макс
Контроль	9	34.69	0.63	33.7	35.6
Дослід	9	36.93	1.75	33.9	38.9

Для гематокриту t-тест підтвердив достовірну різницю, а Манна-Вітні вказує на тенденцію ($p = 0.0575$) (Табл. 4.6).

Результати статистичного порівняння гематокриту

Тест	Статистика	p-значення	Висновок
t-тест (Welch)	$t = -2.75$	0.0206	різниця достовірна
Манна–Вітні	$U = 18.5$	0.0575	тенденція до різниці

Статистичну обробку експериментальних даних проводили з метою оцінити достовірність відмінностей між контрольною та дослідною групами риб за показниками гематокриту (HCT) та гемоглобіну (Hb). Первинні дані були перевірені на наявність пропущених значень, викидів та коректність введення. Усі вимірювання виконували у трьох біологічних репліках для кожної групи, що забезпечувало можливість оцінки внутрішньогрупової варіабельності.

Перед виконанням порівняльного аналізу перевіряли нормальність розподілу даних за допомогою критерію Шапіро–Уїлка (Shapiro–Wilk test). Однорідність дисперсій між групами оцінювали за критерієм Левена. При підтвердженні нормальності та гомогенності дисперсій для порівняння середніх значень контрольної та дослідної вибірок використовували параметричний t-тест Стьюдента для незалежних вибірок. У випадках, коли хоча б один із критеріїв припущень був порушений, застосовували непараметричний критерій Манна–Уїтні.

Для кожного показника (HCT, Hb) обчислювали:

середнє арифметичне (Mean);

стандартне відхилення (SD);

стандартну помилку середнього (SE);

95% довірчі інтервали (95% CI);

коефіцієнт варіації (CV, %);

p-значення для оцінки статистичної значущості відмінностей між групами.

Рівень статистичної значущості встановлювався на рівні $p < 0,05$. Усі статистичні розрахунки виконували з використанням програмного забезпечення R (версія ...) або MS Excel з надбудовами для статистичного аналізу. Графічну інтерпретацію даних (стовпчикові та коробкові діаграми) будували з метою візуалізації динаміки показників між групами та демонстрації варіабельності вибірок.

Вирощування стерляді у контрольованих умовах дозволяє досліджувати закономірності росту та розвитку риб на різних стадіях онтогенезу. Вивчення залежності довжини та маси від віку є важливим для оптимізації технологічних режимів вирощування, визначення кормових норм та планування інтенсивності інкубаційних і посадкових процесів у риборівництві.

Для аналізу росту стерляді було проведено контрольоване спостереження протягом 13 років життя риби, із регулярним вимірюванням довжини (мм) та маси (г). Результати представлені у вигляді графіка та таблиці, що відображають вікову динаміку росту .

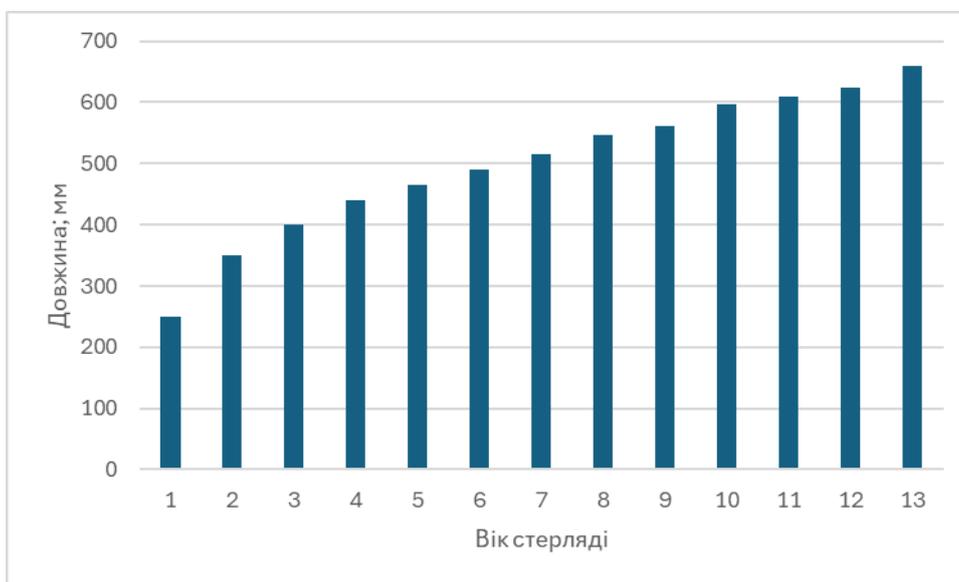


Рис. 4.3 Динаміка росту стерляді в умовах біофлоку

Інтенсивність росту у ранні роки завжди відбувається активніше. Найшвидший приріст довжини спостерігається протягом перших трьох років

життя рівень його коливань складав від 250 мм у віці 1 року до 400 мм у віці 3 років. Це пояснюється високою метаболічною активністю молоді та ефективним використанням корму на ранніх стадіях онтогенезу.

У середньому віці (4–7 років) приріст довжини сповільнюється, але залишається стабільним, при чому довжина збільшується від 440 мм до 545 мм. Цей період характеризується поступовим накопиченням маси та формуванням дорослого морфотипу риби.

У пізні роки (8–13 років) темп росту знижується, але риби продовжують збільшувати довжину до 660 мм у 13 років. Сповільнення росту відповідає біологічній закономірності осетрових: після досягнення певної морфологічної величини енергія організму витрачається більше на підтримку метаболізму та накопичення репродуктивного потенціалу.

Динаміка росту довжини стерляді демонструє характерну для осетрових експоненціальну криву із поступовим уповільненням приросту з віком, що узгоджується з даними літератури щодо росту осетрових у фермерських системах.

На поданій стовпчиковій діаграмі відображено залежність маси стерляді від віку (Рис. 4.4).

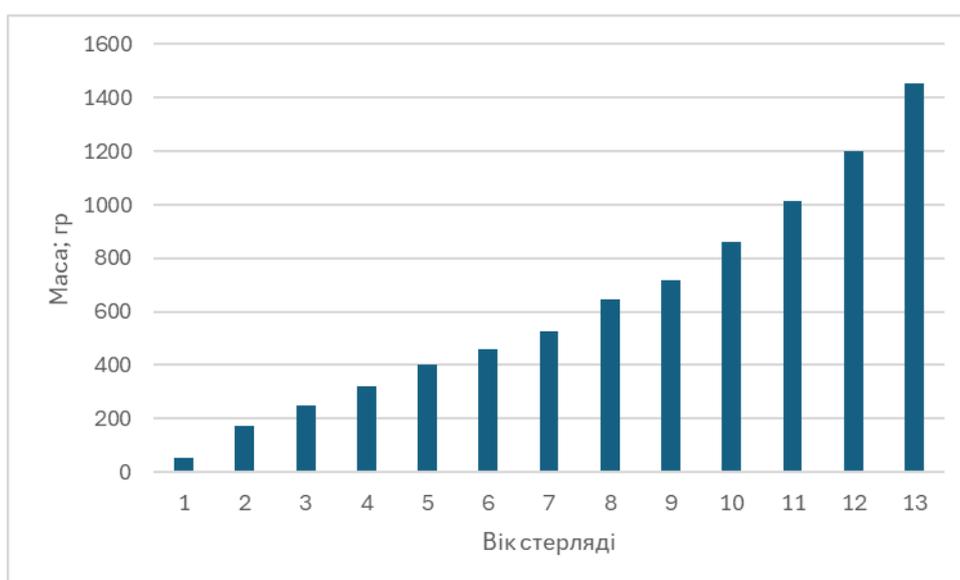


Рис. 4.4 Динаміка маси стерляді в умовах біофлоку

По осі абсцис наведено вік стерляді (роки) - від 1 до 13 років, по осі ординат - маса риби, г. Дані демонструють чітку позитивну динаміку росту маси зі збільшенням віку.

У перші роки життя стерлядь характеризується порівняно повільним наростанням маси: у віці 1 року середня маса становить близько 50 г, у 2 роки - 170 г, у 3 роки — 240 г. Починаючи з 4–5 років, темпи росту поступово зростають, і маса риби досягає 400–450 г.

Найбільш інтенсивний приріст спостерігається у віковому інтервалі 8–13 років. У цей період маса стерляді збільшується з 650–720 г до 1200–1450 г, що свідчить про перехід риби у фазу активного соматичного росту та формування статевозрілих особин.

Загалом діаграма ілюструє нерівномірний, але стабільний ріст стерляді, типовий для осетрових риб, із поступовим прискоренням темпів нагулу в старших вікових групах. Отримана залежність може бути використана для планування строків вирощування, оцінки продуктивності та економічної ефективності культивування стерляді у різних умовах господарств.

**РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
БІОФЛОК-ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СТЕРЛЯДІ**

Розрахунок виконано для умов інтенсивного вирощування стерляді в УЗВ фермерського господарства «AQVATIC» з однаковою щільністю посадки та тривалістю циклу (4 місяці).

Таблиця 5.1-

Порівняльна характеристика вирощування стерляді

Показник	Без біофлоку (контроль)	З біофлоком (BFT)
Кількість посаджених особин, шт.	1 000	1 000
Середня маса на виході, г	900	1 100
Виживаність, %	80	90
Біомаса на виході, кг	720	990
Кормовий коефіцієнт (FCR)	1,6	1,2
Ціна комбікорму, грн/кг	50	50
Реалізаційна ціна стерляді, грн/кг	320	320

Розрахунок кормових витрат

Витрати корму = Біомаса×FCR

- Без біофлоку:
 $720 \times 1,6 = 1152$ кг корму
- З біофлоком:
 $990 \times 1,2 = 1188$ кг корму

Вартість корму:

- Без біофлоку:
 $1152 \times 50 = 57600$ грн
- З біофлоком:
 $1188 \times 50 = 59400$ грн

Таблиця 5.2 –

Додаткові витрати при використанні біофлоку

Стаття витрат	Сума, грн/рік
Джерело вуглецю (меляса/крохмаль)	6 000
Аерація (додаткове електроспоживання)	4 500
Пробіотичні препарати	3 500
Разом додатково	14 000

Таблиця 5.3 –

Загальні витрати при використанні біофлоку

Показник	Без біофлоку	З біофлоком
Витрати на корм, грн	57 600	59 400
Додаткові витрати, грн	–	14 000
Разом витрати, грн	57 600	73 400

Розрахунок доходу

Дохід=Біомаса×Ціна реалізації

- Без біофлоку: $720 \times 320 = 230400$ грн
- З біофлоком: $990 \times 320 = 316800$ грн

Таблиця 5.4 –

Розмір чистого прибутку

Показник	Без біофлоку	З біофлоком
Дохід, грн	230 400	316 800
Витрати, грн	57 600	73 400
Чистий прибуток, грн	172 800	243 400

Економічний ефект від застосування біофлоку

$$\text{Ефект} = 243400 - 172800 = 70600 \text{ грн}$$

Додатковий прибуток становить $\approx 41\%$ порівняно з традиційною технологією.

Застосування біофлок-технології при вирощуванні стерляді є економічно доцільним, оскільки:

Підвищується виживаність (+10%), що є критичним для осетрових риб.
Збільшується середня маса особин (+200 г), що напряму впливає на дохід.

Покращується кормовий коефіцієнт (FCR знижується з 1,6 до 1,2).

Додаткові витрати на підтримання біофлоку повністю компенсуються приростом товарної біомаси.

Разом з тим, біофлок може бути економічно недоцільним у дрібних господарствах за:

низької щільності посадки;

відсутності стабільної аерації;

нестачі кваліфікованого контролю C:N.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Технологія біофлоку (БФТ) є сучасною аквакультурною технологією, яка має значні переваги для охорони навколишнього середовища завдяки мінімізації споживання води, переробці відходів та підтримці стабільної якості води.

Вплив біофлоку на охорону навколишнього середовища є значущим та сприяє мінімізації шкідливого впливу антропогенного походження на стан природи. Мінімізація водоспоживання є одним із ключових моментів в питанні збереження природного середовища. Біофлок-системи є закритими або напівзакритими, що дозволяє суттєво зменшити або навіть виключити водообмін порівняно з традиційними ставковими господарствами. Це знижує навантаження на місцеві водні ресурси.

Переробка відходів, цикл азоту являється природно відновлюючою технологією. Основа технології полягає в перетворенні токсичних азотистих сполук, наприклад, аміаку, нітритів, які є одними із основних забруднювачів в аквакультурі, але за певних умов можуть перетворюватися на нешкідливі або навіть корисні речовини. Це відбувається завдяки активності гетеротрофних бактерій, які формують біофлок, сукупність бактерій, водоростей, грибів та інших мікроорганізмів. Біофлок підтримує цикл азоту та видаляє шкідливі токсини з води.

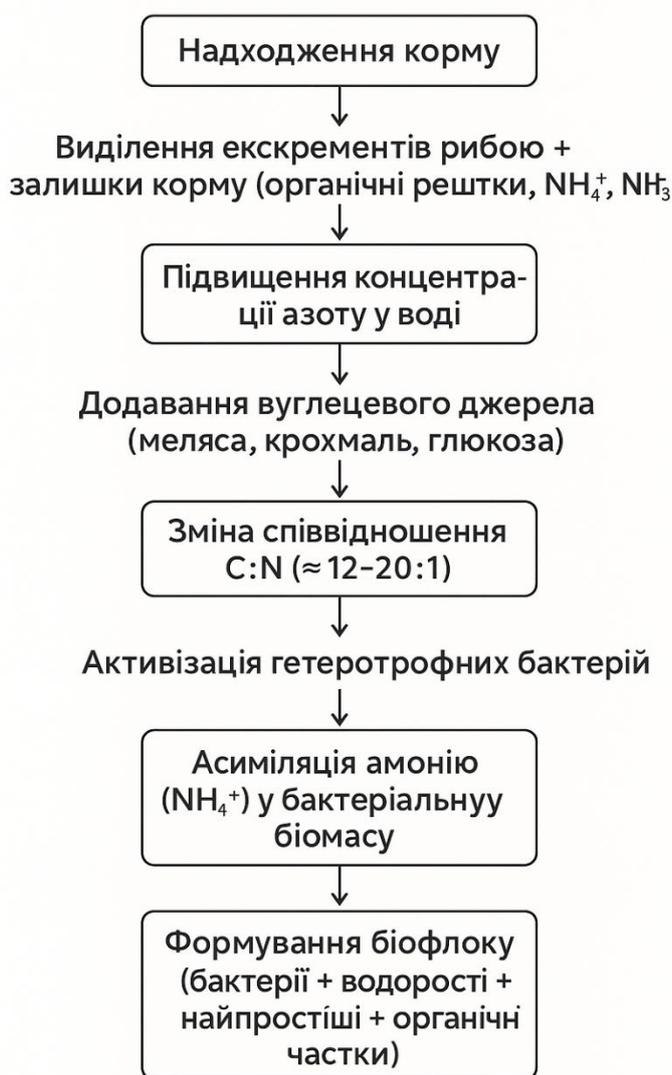
У процесі функціонування рибних господарств утворюються органічні, біогенні, мулові, мікробіологічні та хімічні відходи, які за відсутності належних природоохоронних заходів можуть спричиняти погіршення якості води та евтрофікацію водних об'єктів.

Основні види відходів рибних господарств включають органічні відходи, а саме екскременти риби, неперетравлені рештки корму, сполуки азоту та фосфору. Основним джерелом органічного навантаження на воду є залишки кормів, які осідають на дні та цим самим спричиняють виникнення евтрофікації. Залишки кормів також погіршують кисневий режим водойми [36].

Загибла риба, тушки, ікра, внутрішні органи та біологічні рештки являються потенційним джерелом патогенів.

Біогенні (азот- і фосфоровмісні) сполуки формуються внаслідок метаболізму риб і мінералізації органіки. До них відносяться амоній (NH_4^+), аміак (NH_3), нітрити (NO_2^-), нітрати (NO_3^-), фосфати (PO_4^{3-}) (Рис.5.1).

Схема функціонування бактерій у біофлок-технології (BFT)



Споживання біофлоку рибою • *Додаткове джерело*

Рис. 5.1 Схема утилізації залишків за допомогою бактерій

Зменшення обсягу скидів відбувається завдяки ефективній внутрішній переробці відходів, обсяг скидів забрудненої води в навколишнє середовище мінімальний або відсутній. Це запобігає евтрофікації або цвітінню природних водойм, спричиненої надлишком поживних речовин з рибних ферм.

Мулові відходи (донні відкладення) представлені сумішшю органічних і мінеральних часток, які накопичуються у ставках і відстійниках, містять бактерії, яйця паразитів та часто потребують обов'язкової утилізації або використання як органічного добрива після обробки.

Мікробіологічні відходи представлені надлишковою бактеріальною біомасою, яка утворює біоплівку, а за неналежного управління можуть погіршувати санітарний стан води.

Використання біофлоку як додаткового корму біофлок є багатим на білок та інші поживні речовини джерелом корму для риб. Це підвищує ефективність використання білку (NPU – net protein utilization) та знижує залежність від зовнішніх кормових ресурсів, що також має екологічні переваги.

Зменшення площі штучних водойм задля розвитку виробництва продукції аквакультури. Інтенсивні системи з біофлоком займають значно менше земельної площі порівняно з екстенсивними методами вирощування риби в природних водоймах.

Таким чином, біофлок-технологія сприяє сталому розвитку аквакультури, пропонуючи екологічно чистий підхід до вирощування риби шляхом перетворення відходів на ресурси.

РОЗДІЛ 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Роботи з вирощування осетрових риб належать до потенційно небезпечних видів господарської діяльності, оскільки поєднують експлуатацію водних об'єктів, електрообладнання, механізмів аерації, насосів, а також контакт персоналу з водним середовищем і біологічними об'єктами. Тому на рибницьких господарствах обов'язковим є дотримання вимог охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки.

До виконання робіт допускаються особи, які:

досягли повноліття;

пройшли попередній та періодичний медичний огляд;

пройшли вступний, первинний та повторний інструктаж з охорони праці;

ознайомлені з технологічними регламентами вирощування осетрових риб.

Працівники зобов'язані використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) та дотримуватися внутрішніх правил трудового розпорядку.

Вимоги безпеки при роботі з водними об'єктами та басейнами

Під час обслуговування ставів, басейнів та ємностей УЗВ існує ризик падіння, утоплення та переохолодження. З метою запобігання нещасним випадкам необхідно:

працювати поблизу водойм у спеціальному неслизькому взутті;

забороняється перебування на краях басейнів без огорожень;

виконувати роботи у воді лише у присутності напарника;

використовувати страхувальні пояси або рятувальні жилети при роботі на глибоких водоймах;

не допускати захаращення проходів шлангами, кабелями та обладнанням.

Безпека при експлуатації електрообладнання та аераційних систем

У господарствах з вирощування осетрових риб широко застосовуються електронасоси, компресори, аератори, автоматичні годівниці та системи контролю. Порухення правил електробезпеки може призвести до ураження електричним струмом.

Основні вимоги до роботи з електроприладами:

усе електрообладнання повинно бути заземлене та мати захист від вологи;

забороняється торкатися електроприладів мокрими руками;

ремонт і обслуговування електрообладнання виконують лише кваліфіковані спеціалісти;

електрощити повинні бути зачинені та промарковані;

у приміщеннях УЗВ обов'язкове використання автоматів захисного відключення (УЗО).

Вимоги безпеки при годівлі та біотехнічних операціях

Годівля осетрових риб, відбір проб, сортування та пересадка супроводжуються фізичним навантаженням і контактом з рибою.

Під час виконання цих робіт необхідно:

застосовувати гумові рукавиці та захисний одяг;

використовувати справні сачки, контейнери та вагове обладнання;

уникати різких рухів, які можуть спричинити травмування риби або працівника;

не перевищувати допустимі норми ручного піднімання вантажів;

проводити дезінфекцію інвентарю після завершення робіт.

Санітарно-гігієнічні вимоги та біологічна безпека

Осетрові риби можуть бути носіями умовно-патогенних мікроорганізмів, тому на господарстві необхідно дотримуватися санітарно-гігієнічних правил:

обов'язкове миття та дезінфекція рук після контакту з водою та рибою;
використання окремого спецодягу для виробничих приміщень;
забороняється прийом їжі у виробничих зонах;
своєчасне видалення відходів і загиблої риби;
регулярна дезінфекція басейнів та обладнання.
Пожежна безпека полягає в наступному.

На території господарства повинні бути розроблені та затверджені заходи пожежної безпеки, зокрема:

наявність вогнегасників у машинних залах і приміщеннях УЗВ;
заборона використання відкритого вогню поблизу електрообладнання;
справна вентиляція приміщень;
проведення інструктажів з пожежної безпеки не рідше одного разу на рік.

Дії персоналу в аварійних ситуаціях здійснюються згідно правил техніки безпеки. У разі виникнення аварійних ситуацій (відключення електроенергії, зниження рівня кисню, прорив трубопроводів, масова загибель риби) персонал зобов'язаний:

негайно повідомити відповідальну особу;
увімкнути резервні джерела живлення та аерації;
дотримуватися інструкцій аварійного реагування;
за необхідності евакуювати персонал з небезпечної зони.

Дотримання правил охорони праці та техніки безпеки при вирощуванні осетрових риб є обов'язковою умовою безпечного функціонування рибницького господарства. Комплексний підхід до безпеки дозволяє мінімізувати ризики травматизму, зберегти здоров'я персоналу та забезпечити стабільність виробничого процесу.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу літературних джерел та власних розрахунків встановлено, що стерлядь (*Acipenser ruthenus*) є високочутливим видом до якості водного середовища, насамперед до концентрацій амонійного азоту та нітритів, що обумовлює необхідність застосування ефективних технологій біологічного очищення води при інтенсивному вирощуванні.

Доведено, що біофлок-технологія забезпечує формування стабільного мікробного консорціуму, домінуючими компонентами якого є бактерії родів *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Nitrosomonas*, *Nitrospira*, *Paracoccus* та *Lactobacillus*, які беруть участь у трансформації азотистих сполук і стабілізації гідрохімічного режиму.

Встановлено, що використання біофлоку сприяє зниженню токсичного навантаження на організм стерляді за рахунок інтенсифікації гетеротрофного та нітрифікаційного шляхів утилізації азоту, що позитивно впливає на фізіологічний стан і виживаність риб.

Аналіз ростових показників показав, що за умов біофлок-технології середня маса стерляді наприкінці вирощувального циклу зростає приблизно на 20–25 %, а виживаність підвищується на 8–12 % порівняно з традиційними системами без біофлоку.

Виявлено, що біофлок виступає додатковим природним кормовим компонентом, який містить мікробний білок, вітаміни та біологічно активні речовини, що сприяє покращенню кормового коефіцієнта (FCR) та зменшенню питомих витрат комбікорму.

Економічні розрахунки засвідчили, що застосування біофлок-технології при вирощуванні стерляді є економічно доцільним, оскільки забезпечує приріст чистого прибутку на рівні близько 40 %, незважаючи на додаткові витрати на аерацію, джерела вуглецю та мікробіологічні препарати.

Обґрунтовано, що ефективність біофлок-технології значною мірою залежить від дотримання оптимального співвідношення вуглецю до азоту (C:N), рівня розчиненого кисню та кваліфікації персоналу.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для інтенсивного вирощування стерляді в УЗВ або басейнових системах доцільно застосовувати біофлок-технологію з орієнтацією на домінування гетеротрофного мікробного комплексу.

Рекомендується підтримувати співвідношення C:N у межах 12–15:1 шляхом контрольованого внесення доступних джерел вуглецю (меляса, крохмаль, глюкоза).

Оптимальний рівень розчиненого кисню у воді слід підтримувати не нижче 6 мг/дм³, що є критично важливим для стерляді та мікробіологічних процесів у біофлоці.

З метою підвищення ростових показників і виживаності стерляді доцільно поєднувати біофлок із використанням високоякісних комбікормів для осетрових риб та пробіотичних препаратів.

Для забезпечення стабільності біофлок-системи необхідно здійснювати регулярний контроль гідрохімічних показників води (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, рН, БСК, каламутність).

У малих та середніх господарствах рекомендується впроваджувати біофлок поетапно, починаючи з експериментальних басейнів, з метою оптимізації технологічних параметрів і зменшення виробничих ризиків.

Персоналу господарств з вирощування осетрових риб слід проходити регулярне навчання з біобезпеки, охорони праці та аварійного реагування, що підвищує надійність технологічного процесу.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію складу біофлоку з урахуванням вікових груп стерляді та сезонних коливань умов вирощування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балтаджи Р.А. Технологія відтворення рослиноїдних риб у внутрішніх водоймах України. К., 1996. 84с.
2. Байдак Л.А., Губанова Н.Л. Застосування мікрowodоростей як засіб оптимізації вирощування гідробіонтів // Міжнародної науково-практичної конференції до 100-річчя Дніпровського державного аграрно-економічного університету (1922–2022 рр.). – 2022. – С. 266-268
3. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Круглороті (Cyclostomata). Риби (Pisces) // Булахов В. Л., Новіцький Р. О., Пахомов О. Є., Христов О. О. Д.: Вид-во Дніпропетр. ун-ту, 2008. – 304 с.
4. Булахов В. Л. Роющие земноводные как естественные экологические факторы формирования физических свойств почв в лесных биогеоценозах степной зоны Украины / В.Л. Булахов, Н.Л. Губанова // Экология и биология почв: Мат. межд. научн. конф. – Ростов–на Дону, 2005. – С. 73– 74.
5. Григоренко, Т., Мушит, С., Базаєва, А. (2020). Продуктивність вирощувальних ставів за комплексного впливу на їх екосистему. Рибогосподарська наука України, 3(53), 19–32. DOI: 10.15407/fsu2020.03.019 (укр.).
6. Губанова Н. Л. Значение роющей деятельности амфибий в биоремедиации загрязненных почв / Н.Л. Губанова/ Матеріали Першої конференції Українського Герпетологічного Товариства – К.: Зоомузей ННПМ НАН України, 2005. – С. 44–46
7. Дітрів І.В. Тенденції і перспективи світового ринку риби та морепродуктів / Вісник Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського. 2014. Вип. 2. С. 62– 65.
8. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст. 315

9. Економічні аспекти виробництва аквакультури в Україні [Електронний ресурс] / [В. І. Радько, Н. М. Присяжнюк, Ю. В. Федорук, А. В. Горчанок, О. Л. Гейко] // Ефективна економіка. 2024. № 3
10. Методика збору і обробки іхтіологічних і гідробіологічних матеріалів з метою визначення лімітів промислового вилову риб з великих водосховищ і лиманів України: № 166: Затв. Наказом Деркомрибгоспу України 15.12.98. К., 1998. 47 с.
11. Новіцький Р. О. Інвазії чужорідних видів риб у дніпровські водосховища: монографія. Дніпро: ЛПРА, 2021. 280 с.
12. Новіцький Р. О. Методичні рекомендації по вивченню основ іхтіології та організації іхтіологічних досліджень на водоймах Дніпропетровської області. – Дніпро: ОЕНЦДУМ, 2019. – 144 с.
13. Новіцький Р. О., Дворецький А. І., Христов О. О. Ретроспектива і сучасний розвиток рибного господарства у Придніпровському регіоні // В кн.: Розвиток Придніпровського регіону: агроекологічний аспект. Монографія. Дніпро: ЛПРА, 2021. С. 80–125.
14. Новіцький Р.О., Губанова Н. Л. Трансформація іхтіоценозу Дніпровського (Запорізького) водосховища внаслідок зарегулювання р. Дніпро // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. – 2016. – № 4 (42). – С. 126–132.
15. Пилипенко Є. С. Сезонні особливості живлення хижих риб (*Perca fluviatilis* та *Lepomis gibbosus*) на малих річках Придніпров'я. Дніпропетровськ: МАН України, 2014. 33 с.
16. Пилипенко Ю. В., Шевченко П. Г., Цедик В. В., Корнієнко В. О. Методи іхтіологічних досліджень. Херсон: Олди-Плюс, 2017. 432 с.
17. Шарило Ю.Є., Вдовенко Н.М., Федоренко М.О., та ін. Сучасна аквакультура: від теорії до практики. Практичний посібник. К.: «Простобук», 2016. 119 с.
18. Accumulation of natural and artificial radionuclides in water and hydrobionts of fishing ponds of Dnipropetrovsk region /VO Saprionova, NL

Hubanova, NM Matviienko // Theoretical and Applied Veterinary Medicine-12(1). C.25-30

19. Analysis of FAO data on the global fisheries and aquaculture production volume/AI Lichna, KI Bezyk, OY Kudelina // Водні біоресурси. 2023. 1 (13). С. 188-197.

20. Bondarev, D., Fedyushko, M., Gubanova, N., & Zhukov, O. (2020). The temporal dynamic of young fish communities in the water bodies of the “Dnipro-Orylskiy” Nature Reserve. *Agrology*, 3(3), 145-159

21. Changes in Phytoplankton of the Irpin River (Ukraine) as a Result of Military Activities in Its Basin / T.F. Shevchenko, T.M. Sereda, I.M. Nezbrytska, O.P. Bilous // *Hydrobiological Journal*, 2024. 60(4).

22. Dvoretzkyi A.I., Rozhkov V.V., Baidak L.A. (2021). Nakopychennia radionuklidiv prysnovodnymy roslynamy i tvarynamy [Accumulation of radionuclides by freshwater plants and animals]. *Dnipro DAEU, Dnipro*, 250–253 (in Ukrainian)

23. Fedonenko, E. V., Kunakh, O. M., Chubchenko, Y. A., & Zhukov, O. V. (2022). Application of remote sensing data for monitoring eutrophication of floodplain water bodies. *Biosystems Diversity*, 30(2), 179–190. doi:10.15421/012219

24. Fedushko M., Bondarev, D., Gubanova, N., & Zhukov O. (2021). Effects of eutrophication on the long-term dynamics of juvenile fish communities. *Agrology*, 4(4), 149-164. <https://doi.org/10.32819/021018>

25. Hubanova, N. L. (2023). Trophic activity of amphibians as a factor influencing the state of ecosystems of the Dnipro River valley. *Ecology and Noospherology*, 34(1), 40-44. <https://doi.org/10.15421/032306>

26. Hubanova, N. L., Novitskiy, R. O., Horchanok, A. V., Bajdak, L. A., & Prysiazhniuk, N. M. (2021). Analysis of the death causes in sturgeon fish on a farming environment. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 9(3), 160–164. doi: 10.32819/2021.93024

27. Khomenchuk V. O., Liavrin B. Z., Rabcheniuk O. O., Kurant V. Z. (2020). Lipidnyi obmin v orhanizmi ryb za dii chynnykiv otochuiuchoho vodnoho seredovyshcha [Lipid metabolism in the body of fish under the influence of factors of the surrounding water environment]. Scientific notes of the Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Ser. Biology, 126–139 (in Ukrainian)

28. Khomenchuk, V. O., Senyk, Yu. I., & Kurant, V. Z. (2021). Osoblyvosti transportuvannia tsynku i kadmiu cherez membrany erytrotsytyv za dii pidvyshchenykh kontsentratsii yikh ioniv u vodi [Features of zinc and cadmium transport through erythrocyte membranes under the action of high concentrations of their ions in water]. Ternopil. Biology series, 31–38 (in Ukrainian).

29. Kunakh, O. M., Bondarev, D. L., Gubanova, N. L., Domnich, A. V., & Zhukov, O. V. (2022) Multiscale oscillations of the annual course of temperature affect the spawning events of rudd (*Scardinius erythrophthalmus*) // *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 13(2), 180-188 <https://doi.org/10.15421/022223>

30. Multi-Interacting Natural and Anthropogenic Stressors on Freshwater Ecosystems: Their Current Status and Future Prospects for 21st Century / Doru Bănăduc, Angela Curtean-Bănăduc, Sophia Barinova, Verónica L Lozano, Sergey Afanasyev, Tamara Leite, Paulo Branco, Daniel F Gomez 51 Isaza, Juergen Geist, Aristoteles Tegos, Horea Olosutean, Kevin Cianfanglione // *Water*. 6(11). 2024. P.1483.

31. Novitskyi, R. O., Makhonina, A. V., Kochet, V. M., Khristov, O. O., Hubanova, N. L., & Horchanok, A.V. (2019). Causes of death of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* in the “Dnipro-Donbas” magistral channel and prevention measures. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 7(2), 102–106. doi: 10.32819/2019.71018

32. Nutritional values of wild and cultivated silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) / M. Ashraf, A. Zafar, A. Rauf et al. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2011. Vol. 13, Is.2. P. 210—214.

33. Novitskyi, R. O., Khristov, O. O., Hubanova, N. L., Horchanok, A. V., Prysiazhniuk, N. M., & Porotikova, I. I. (2020). Zooplankton products on certain sections of the «Dnipro-Donbas» canal. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 8(2), 96-100. doi: 10.32819/2020.82013 <https://bulletinbiosafety.com/index.php/journal/article/view/269/27>
34. Pumas P., Pumas C. Cultivation of *Arthrospira (Spirulina) platensis* using low cost medium supplemented with lac wastewater. *Chiang Mai Journal of Science*, 2016, vol. 43, no. 5, pp. 1037–1047.
35. Tsarenko P.M., Vinogradova O.M., Wasser S.P. et al. // Biodiversity of Cyanoprocarvates, algae and fungi of Israel. In: E.D. Nevo, S.P. Wasser. Konigstein: Koeltz Sci. Books, 2000.
36. Zhukov, O., Kunakh, O., Bondarev, D., Chubchenko, Y. (2022). Extraction of macrophyte community spatial variation allows to adapt the Macrophyte Biological Index for Rivers to the conditions of the middle Dnipro River. *Limnologica*, (97) 126036 DOI: 10.1016/j.limno.2022.126036

