МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЇ, БІОРЕСУРСІВ ТА ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Спеціальність H5 Водні біоресурси та аквакультура

Допускається до захисту

Зав. кафедри водних біоресурсів та аквакультури,

доктор вет. наук, професор _____ Н.Є. Гриневич

"18" 11 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ФІЗІОЛОГО-ЕКОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ АДАПТАЦІЇ РИБ ДО ГІДРОХІМІЧНОГО РЕЖИМУ СТАВІВ БІЛОЦЕРКІВСЬКОЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ГІДРОБІОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ ІНСТИТУТУ ГІДРОБІОЛОГІЇ НАН УКРАЇНИ

Виконав/Виконала:

_____ Зеленець Дмитро Анатолійович

Керівник:

доцент, кандидат с.г.наук

_____ Трофимчук Алла Михайлівна

Рецензент:

професор Гриневич Н.Є.

_____

Біла Церква – 2026 р.

БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ДЕКЛАРАЦІЯ
про дотримання академічної доброчесності під час виконання кваліфікаційної роботи

Я, Зеленець Дмитро Анатолійович,
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

здобувач(ка) другого рівня вищої освіти за освітньою програмою Водні біоресурси та аквакультура,

підтверджую, що кваліфікаційну роботу з теми:
«Фізіолого-екологічні особливості адаптації риб до гідрологічного режиму садків Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції Інституту гідробіології НАН України»
виконано мною з дотриманням принципів і правил академічної доброчесності.

Підтверджую, що:

- роботу виконано особисто на основі власних розробок і суджень;
- у роботі належним чином зазначено авторство та джерела використаних текстів, ідей, даних, зображень та інших матеріалів;
- наведені результати дослідження, дані та висновки є достовірними;
- робота не містить свідомо сфабрикованої чи сфальсифікованої інформації.

У процесі виконання роботи було використано інструменти штучного інтелекту, зокрема для оформлення та редагування тексту (ChatGPT, Gemini, DeepSeek тощо), для перекладу тексту (Deepl, Google Translate, ChatGPT тощо), для створення або редагування зображень (NanoBanana 2, Midjourney, Stable Diffusion тощо), для написання чи оптимізації коду (GitHub Copilot, Tabnine, Codeium тощо). Відомості про це наведено в роботі згідно з вимогами законодавства та встановленими правилами академічної доброчесності.

(у разі використання ШІ обрати відповідну опцію)

Я усвідомлюю відповідальність за зміст кваліфікаційної роботи та дотримання вимог академічної доброчесності під час її підготовки.

Дата: 10.11.26

Здобувач(ка) вищої освіти: _____

(підпис / кваліфікований електронний підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Екологічний факультет

Спеціальність Н5 Водні біоресурси та аквакультура

ЗАТВЕРДЖУЮ
Гарант ОП "Водні біоресурси та аквакультура"
другого (магістерського) рівня вищої освіти
13 вересня 25
_____ 20____ р.

ЗАВДАННЯ

Зеленця Дмитра Анатолійовича

Тема роботи: «Фізіолого-екологічні особливості адаптації риб до гідрохімічного режиму ставів Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції Інституту гідробіології НАН України»

Затверджено наказом ректора №487/с від 12.11.2025

Термін здачі студентом готової кваліфікаційної роботи в деканат:

до "10" 11 2026 р.

Перелік питань, що розробляються в роботі. Вихідні дані.

Багаторічні фондові та архівні матеріали Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції (БЕГС) ІГБ НАН України за останні роки; результати власних гідрохімічних, гідробіологічних та гематологічних досліджень вирощувальних і нагульних ставків (№ 8, 9, 10, 14, 21, 22); нормативна документація рибогосподарської галузі, методичні рекомендації БНАУ.

Дослідження еколого-гідробіологічних та гідрохімічних особливостей ставків БЕГС ІГБ НАН України.

Вивчення фізіолого-біохімічних механізмів адаптації риб до коливань кисневого режиму, pH та азотистих метаболітів.

Аналіз впливу гідрохімічного середовища на гематологічні показники та неспецифічну резистентність об'єктів аквакультури (короп, білий і строкатий товстолобики, білий амур).

Розрахункова частина: визначення парціального тиску кисню, дихального коефіцієнта (RQ), токсичності неіонізованого аміаку (NH_3), Інтегрального індексу стресованості (IIS) та біопродукційних показників (приріст, відхід, щільність посадки).

Розробка пропозицій виробництву щодо оптимізації гідрохімічного режиму та запобігання заморам.

Календарний план виконання роботи

Етап виконання	Дата виконання етапу	Відмітка про виконання
Огляд літератури	до 15.09.2026	Виконано
Методична частина	до 21.09.2026	Виконано
Дослідницька частина	до 09.10.2026	Виконано
Оформлення роботи	до 27.10.2026	Виконано
Перевірка на плагіат	до 05.11.2026	Виконано
Подання на рецензування	до 10.11.2026	Виконано
Попередній розгляд на кафедрі	16.11.2026	Виконано

Керівник кваліфікаційної роботи:

доцент,к.с.-г.н., А.М.Трофимчук _____
(вчене звання, прізвище, ініціали) *(підпис)*

Здобувач:

ЗеленецьД.А. _____
(прізвище, ініціали) *(підпис)*

Дата отримання завдання "13" 09 2025 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	14
1.1. Фізіолого-біохімічні механізми адаптації риб до коливань гідрохімічних чинників (кисневий режим, pH, азотисті метаболіти).	14-21
1.2. Вплив гідрохімічного середовища на гематологічні показники та неспецифічну резистентність ставкових риб	21-23
1.3. Еколого-гідробіологічна характеристика ставів Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції ІГБ НАН України у світлі наукових публікацій.	24-25
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	26
2.1. Характеристика вихідного масиву даних (використання фондових та архівних матеріалів БЕГС ІГБ НАН України за останні роки).	26-29
2.2. Характеристика об'єктів моделювання (короп, білий та строкатий товстолобики, білий амур).	30-32
2.3. Методика розрахункової частини	33-35
2.4. Методи математичної та статистичної обробки результатів	35-37
РОЗДІЛ 3. ВЛАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ (РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА)	38
3.1. Ретроспективний аналіз гідрохімічного режиму ставів БЕГС ІГБ НАН України	38-39
3.2. Розрахункова оцінка фізіологічного стану та газообміну риб	39-41
3.3. Моделювання показників адаптації та резистентності риб	42-44
3.4. Розрахунок рибницько-біологічних результатів та продуктивності	44-47
3.5 Розрахунок планової щільності посадки, відхоу (загибелі) та абсолютного/ відносного приросту риби	47-51
ВИСНОВКИ	52-53
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ІНТЕРНЕТ ДЖЕРЕЛ	55-59
ДОДАТКИ	60

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ ТА ТЕРМІНІВ

Умовне позначення, символ	Розшифрування
БЕГС	Білоцерківська експериментальна гідробіологічна станція
ГДК	Гранично допустима концентрація
ІГБ НАН України	Інститут гідробіології Національної академії наук України
IIS	Інтегральний індекс стресованості (англ. *Integrated Index of Stress*)
K_H	Коефіцієнт розчинності кисню у воді
K_w	Ваговий коефіцієнт значущості гематологічного маркера
NH_3	Неіонізований аміак (токсична форма азоту)
NH_4^+	Іонізований амоній
NO_2^-	Нітрити (нітритний азот)
NO_3^-	Нітрати (нітратний азот)
O_2	Розчинений у воді кисень
pH	Водневий показник (активна реакція середовища)
pK	Константа дисоціації амонійного іону
PO_2	Парціальний тиск кисню
RQ	Дихальний коефіцієнт (відношення об'єму виділеного CO_2 до спожитого O_2)
S_{pl}	Планова щільність посадки риби
TAN	Загальний амонійний азот (англ. *Total Ammonia Nitrogen*)
W_{abs}	Абсолютний приріст риби

Умовне позначення, символ	Розшифрування
$\mathbf{W_{rel}}$	Відносний приріст риби
$\mathbf{W_0}$	Початкова середня маса риби
$\mathbf{W_t}$	Кінцева середня маса риби на кінець періоду вирощування

РЕФЕРАТ

Автор: Здобувач вищої освіти групи Н5-25-1М(д) Зеленець Дмитро Анатолійович

Тема кваліфікаційної роботи: Фізіолого-екологічні особливості адаптації риб до гідрохімічного режиму ставів Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції Інституту гідробіології НАН України

Об'єкт дослідження — фізіолого-біохімічні, гематологічні та адаптивні реакції ставкових риб за умов динамічної зміни гідрохімічних показників водойм.

Характер досліджень — комплексне експериментально-аналітичне та виробничо-гідробіологічне дослідження, що поєднує польові гідрохімічні вимірювання, лабораторні гематологічні аналізи та статистичне опрацювання даних.

Методи проведення роботи — загальноприйняті та сучасні гідрохімічні методи (визначення розчиненого у воді кисню, активної реакції середовища pH, концентрації азотистих метаболітів — аммонійного азоту, нітритів, нітратів); гематологічні методи (визначення кількості еритроцитів, лейкоцитів, рівня гемоглобіну, кольорового показника); тести на визначення неспецифічної резистентності організму риб; методи математичної та статистичної обробки експериментальних даних за допомогою прикладних програмних пакетів (Microsoft Excel).

Конкретні результати роботи та їх новизна:

- Досліджено еколого-гідробіологічні та гідрохімічні особливості ставків Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції ІГБ НАН України.
- Виявлено закономірності впливу коливань кисневого режиму, показників pH та концентрації азотистих метаболітів на фізіолого-біохімічні механізми адаптації культивованих видів риб.
- Охарактеризовано гематологічні показники (формулу крові, концентрацію гемоглобіну) та стан неспецифічної резистентності ставкових риб залежно від напруженості гідрохімічного середовища.

- Наукова новизна полягає у поглибленні теоретичних знань про адаптивний потенціал риб у замкнених та напівпроточних екосистемах експериментальних ставків за умов антропогенного та евтрофікаційного навантаження.

Рекомендації щодо використання результатів роботи: Отримані результати можуть бути використані для розробки біологічних обґрунтувань щодо оптимізації гідрохімічного режиму ставів, підвищення рибопродуктивності та збереження резистентності водних біоресурсів.

Галузь використання: Рибництво, аквакультура, екологія водних об'єктів, рибогосподарські підприємства, науково-дослідні установи.

Економічна ефективність: Запропоновані заходи та рекомендації сприяють зниженню ризиків стресу й загибелі риби, підвищенню рентабельності виробництва рибопосадкового матеріалу та товарної продукції за рахунок своєчасного прогнозування гідрохімічних криз.

Кваліфікаційна робота магістра містить:

- сторінок: 60
- таблиць: 6
- рисунків: 9
- список використаних джерел: 51 найменувань
- додатків: 3

Ключові слова: аквакультура, ставкові риби, гідрохімічний режим, кисневий режим, азотисті метаболіти, гематологічні показники, неспецифічна резистентність, адаптація, екосистема.

ABSTRACT

Author: Zelenets Dmytro Anatoliiovych, Higher Education Applicant of Group H5-25-1M(d)

Master's Thesis Topic: Physiological and ecological features of fish adaptation to the hydrochemical regime of the ponds of the Bila Tserkva Experimental Hydrobiological Station of the Institute of Hydrobiology of the National Academy of Sciences of Ukraine

- **Object of study:** Physiological, biochemical, hematological, and adaptive reactions of pond fish under conditions of dynamic changes in the hydrochemical parameters of water bodies.
- **Character of research:** Comprehensive experimental-analytical and production-hydrobiological research combining field hydrochemical measurements, laboratory hematological analyses, and statistical data processing.
- **Methods of research:** Generally accepted and modern hydrochemical methods (determination of dissolved oxygen in water, active medium reaction pH, concentrations of nitrogen metabolites — ammonium nitrogen, nitrites, nitrates); hematological methods (determination of red blood cell and white blood cell counts, hemoglobin level, color index); tests to determine the non-specific resistance of the fish organism; methods of mathematical and statistical processing of experimental data using applied software packages (Microsoft Excel).

Specific results of the work and their novelty:

- The ecological-hydrobiological and hydrochemical features of the ponds of the Bila Tserkva Experimental Hydrobiological Station of the Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine were investigated.
- The regularities of the impact of oxygen regime fluctuations, pH values, and nitrogen metabolite concentrations on the physiological and biochemical mechanisms of adaptation of cultivated fish species were revealed.

- Hematological parameters (blood formula, hemoglobin concentration) and the state of non-specific resistance of pond fish were characterized depending on the tension of the hydrochemical environment.
- The scientific novelty lies in deepening theoretical knowledge about the adaptive potential of fish in closed and semi-flow ecosystems of experimental ponds under conditions of anthropogenic and eutrophication load.

Recommendations for the use of the results: The obtained results can be used to develop biological substantiations for optimizing the hydrochemical regime of ponds, increasing fish productivity, and preserving the resistance of aquatic bioresources.

Field of application: Fish farming, aquaculture, ecology of water bodies, fisheries enterprises, research institutions.

Economic efficiency: The proposed measures and recommendations help reduce the risks of stress and fish mortality, and increase the profitability of the production of stocking material and commercial products through the timely forecasting of hydrochemical crises.

The Master's thesis contains:

- **Pages:** 60
- **Tables:** 6
- **Figures:** 9
- **List of references:** 51 titles
- **Appendices:** 3

Keywords: aquaculture, pond fish, hydrochemical regime, oxygen regime, nitrogen metabolites, hematological parameters, non-specific resistance, adaptation, ecosystem.

ВСТУП

Актуальність теми: сучасний етап розвитку аквакультури в Україні вимагає інтенсифікації рибництва на засадах екологічної безпеки та збереження біологічного різноманіття. Ставкові господарства є важливим джерелом отримання високоякісної рибної продукції, проте їхній потенціал часто обмежується нестабільністю гідрохімічного режиму водойм. Коливання рівня розчиненого у воді кисню, зміни активної реакції середовища (pH) та накопичення токсичних продуктів азотистого метаболізму (амонійного азоту, нітритів, нітратів) чинять потужний стресовий вплив на організм риб [15, 36] .

В умовах Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції Інституту гідробіології НАН України вивчення цих процесів набуває особливої актуальності, оскільки дозволяє оцінити адаптивні можливості гідробіонтів до антропогенного та евтрофікаційного навантаження.

Вибір теми «Фізіолого-екологічні особливості адаптації риб до гідрохімічного режиму ставів Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції Інституту гідробіології НАН України» зумовлений необхідністю поглибленого вивчення механізмів гомеостазу та неспецифічної резистентності ставкових риб у динамічних умовах середовища. Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри водних біоресурсів та аквакультури Білоцерківського національного аграрного університету у межах спеціальності H5 «Водні біоресурси та аквакультура» [20, 22, 38]

У ході виконання роботи узагальнено теоретичні підходи до вивчення адаптаційних реакцій риб. Проведено комплексні гідрохімічні та гематологічні дослідження безпосередньо у ставках експериментальної станції. Наукова новизна полягає у встановленні нових закономірностей змін фізіолого-біохімічних і гематологічних показників риб (кількість еритроцитів, лейкоцитів, рівень гемоглобіну) залежно від коливань кисневого режиму та концентрації азотистих метаболітів. Виявлено рівень неспецифічної резистентності організму риб у середовищі із різними еколого-гідробіологічними характеристиками.

Мета і завдання досліджень.

Метою дослідження: є дослідження фізіолого-екологічних особливостей адаптації ставкових риб до гідрохімічного режиму та стану екосистем ставків Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції ІГБ НАН України.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі *завдання*:

1. Вивчити фізіолого-біохімічні механізми адаптації риб до коливань гідрохімічних чинників (кисневий режим, pH, азотисті метаболіти).
2. Дослідити вплив гідрохімічного середовища на гематологічні показники та неспецифічну резистентність ставкових риб.
3. Провести еколого-гідробіологічну характеристику ставків Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції ІГБ НАН України на основі аналізу наукових публікацій та власних спостережень.
4. Здійснити статистичну обробку та аналіз отриманих експериментальних даних.
5. Розробити пропозиції щодо оптимізації умов вирощування риби та оцінити економічну ефективність запропонованих заходів.

Мету та завдання роботи обґрунтовано на основі детального аналізу сучасних літературних джерел, що підкреслює їхню практичну цінність для подальшого застосування в аквакультурі[20, 21, 22].

Об’єкт дослідження: процеси фізіолого-екологічної адаптації ставкових риб до гідрохімічного режиму ставів БЕГС ІГБ НАН України.

Предмет дослідження: фізіолого-біохімічні, гематологічні показники та рівень неспецифічної резистентності риб залежно від еколого-гідробіологічних характеристик і гідрохімічного режиму водойм.

Методи дослідження: ретроспективний аналіз літературних джерел, загальноприйняті гідрохімічні та гематологічні методи, фізіологічні тести на визначення резистентності, а також порівняльно-аналітичний і статистичний методи обробки даних.

Практичне значення: отримані результати та висновки можуть бути безпосередньо використані для прогнозування екологічного стану водойм,

оптимізації технологічних процесів у ставковому рибництві, а також для підвищення стійкості та рибопродуктивності гідробіонтів у господарствах аквакультури.

РОЗДІЛ 1.
ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Фізіолого-біохімічні механізми адаптації риб до коливань гідрохімічних чинників (кисневий режим, pH, азотисті метаболіти)

Багато природних водойм історично мають бідний рибний світ або населені малоцінними видами риб. Деякі водойми збідніли через погіршення екологічних умов і надмірний вилов риби, тож тепер потребують відновлення. Що ж до штучних водойм, то тут не обійтися без науково обґрунтованого плану: потрібно заздалегідь визначити, які рослини та риби мають у них жити, щоб сформувати здорову екосистему [31, 40].

Ставові екосистеми Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції Інституту гідробіології НАН України характеризуються коливаннями гідрохімічних показників, зокрема вмісту розчиненого кисню, величини pH та концентрації азотистих метаболітів та накопичення токсичних продуктів азотного обміну зачіпають усі рівні організації організму — від молекулярних каскадів до цілісних фізіологічних систем [2, 31, 39].

Промислове рибництво зазвичай орієнтується на стабільні, незмінні параметри середовища. Проте риби, як і більшість водних організмів, еволюціонували та продовжують існувати в умовах постійної природної динаміки.

Саме тому реакції гідробіонтів на змінні чинники є критично важливими для розуміння їхньої адаптації.

Дуже гостро це питання постає на ранніх етапах онтогенезу. Ембріонально-личинковий період є найчутливішим і найуразливішим етапом життєвого циклу риб. Водночас помірні періодичні коливання температури, солоності та водневого показника (pH) нерідко сприяють поліпшенню показників розвитку й виживання порівняно з утриманням за суворо сталих, ідеальних значень цих параметрів [9, 10, 37].

Підтримання постійної температури води під час інкубації ікри, зокрема коропа, суперечить природним біологічним потребам риби. У природі температура води змінюється протягом доби, і для розвитку ембріонів такий

ритм є нормою, а не відхиленням. Добові температурні коливання в межах 8–18 °C помітно прискорюють розвиток личинок коропових і сигових риб та підвищують їхню виживаність.

За поступової зміни температури ікра дозрівала швидше — за 33–45 днів замість 60, а виживаність мальків була значно вищою: 73–95% проти 56% за стабільних умов.

Водне середовище постійно змінюється, спонукаючи риб розвивати багаторівневі адаптивні реакції.

З біологічного погляду, адаптація гідробіонтів — це процес пристосування водних організмів до нових умов середовища після їхнього природного або штучного переміщення в інше місце. Якщо вони успішно пристосовуються, починають розмножуватися й дають життєздатне потомство, формується нова популяція [20, 22, 38].

Окремий випадок — реакліматизація. Це повернення виду на територію в межах його природного ареалу, де він колись мешкав, але з певних причин зник, і його повторне приживання там.

Коли склад води змінюється — коливається рівень кисню, змінюється кислотність або з’являються токсичні домішки, — риба реагує комплексно, залучаючи багаторівневу систему захисту. Цей процес охоплює чотири основні рівні: від швидких поведінкових реакцій до глибоких змін на рівні генів [13, 20, 22, 45].

Поведінковий рівень (найшвидша реакція)

Це перша лінія захисту, яка спрацьовує миттєво, щойно риба відчуває дискомфорт. Відбувається:

Уникнення несприятливих зон : Риби просто пливуть туди, де вода чистіша, кисню більше, а pH ближчий до норми. Вони можуть залишати мілководдя або ділянки біля дна з анаеробними процесами.

Зміна поведінки дихання: При нестачі кисню риби піднімаються до поверхневої плівки води, де концентрація газу вища, або починають активно триматися біля струмів свіжої води (наприклад, біля джерел чи гирл приток).

Гальмування активності: Риба знижує рухову активність, щоб менше споживати енергії та кисню.

Фізіологічний рівень (налаштування систем органів)

Якщо втекти неможливо, вмикаються робочі системи організму — змінюється робота зябер, серця, крові та нирок.

- *Зяброва та легенева вентиляція*: Частота дихальних рухів зябрових кришок різко зростає, щоб через зябра проходило більше води й організм міг витягти з неї залишки кисню [20, 22].
- *Перерозподіл кровотоку*: Кров починає активніше постачати життєво важливі органи — мозок і серце, тимчасово обмежуючи кровопостачання менш критичних тканин.
- Осморегуляція: При різких змінах pH або солоності включаються нирки та спеціалізовані клітини зябер, які регулюють виведення зайвих іонів або, навпаки, їх утримання всередині тіла.

Біохімічний рівень (хімічна перебудова тканин)

На цьому етапі змінюється перебіг хімічних реакцій у клітинах і рідинах організму.

- *Зміна метаболічних шляхів*: коли кисню бракує, клітини частково переходять на анаеробне розщеплення глюкози — гліколіз. Це допомагає їм вижити протягом короткого часу, але призводить до накопичення молочної кислоти [8, 10, 20, 22].
- *Буферні системи крові*: Спеціальні біохімічні сполуки у крові нейтралізують надлишок іонів водню (H^+) при зміні pH, не даючи внутрішньому середовищу закиснути чи залужити [20, 22].
- *Знешкодження токсинів*: Якщо у воді росте рівень азотистих сполук (аміаку), ферментні системи печінки перетворюють їх на менш небезпечні форми або організм намагається швидше зв'язати їх у тканинах.

Молекулярно-генетичний рівень (глибокий захист)

Найглибший рівень, який відповідає за довгострокову стійкість і запуск програм виживання.

- *Активація специфічних генів:* За стресових умов (наприклад, гіпоксії) у ДНК активуються так звані генні «перемикачі» — зокрема фактор, що індукується гіпоксією (HIF). Він дає команду клітинам синтезувати захисні білки [13, 45].
- *Синтез білків теплового шоку (шаперонів):* Клітини починають масово виробляти білки, які захищають інші білкові структури від руйнування під дією токсинів чи кисневого голодування [42, 45].
- *Епігенетична адаптація:* Якщо несприятливі умови тримаються довго, це може змінювати активність генів без зміни самої ДНК, допомагаючи рибі (а іноді й її потомству) краще переносити цей фактор у майбутньому.

Адаптація до коливань кисневого режиму

Як і всім живим істотам, рибам потрібен кисень, щоб дихати. Він потрапляє у воду з повітря або виробляється водоростями, причому зверху його завжди більше, а на глибині — менше (іноді там взагалі немає кисню). Через це рибам доводиться постійно шукати, де його більше, адже без кисню вони слабшають і гинуть. Часом це набирає масштабів справжнього лиха, яке називають задухою [1, 20, 38].

Задуха трапляється і взимку, і влітку. У спеку вода втрачає кисень через високу температуру, до того ж вона починає «цвісти» через розмноження водоростей, які виділяють токсини [2, 21, 31, 41].



Рис1. Результати задухи риби

Адаптація до коливань pH

Рівень pH (концентрація іонів водню) — це ключовий фактор неживої природи для будь-якої водойми. Від нього напряму залежить, наскільки швидко і правильно в організмі риби протікають внутрішні біохімічні процеси та обмін речовин[2, 20, 22].

При цьому стійкість риб до занадто кислого чи лужного середовища змінюється протягом усього їхнього життя. Найбільш уразливими вони є в ранньому віці (на стадії малька). У цей період зябровий апарат риби ще тільки формується, а внутрішні системи, які відповідають за підтримку кислотно-лужної рівноваги та сольового балансу, ще не працюють на повну силу, через що будь-які гострі коливання pH переносяться особливо важко [9, 10, 37].

Для більшості риб комфортний діапазон — це приблизно 6,5–8,5.

Риби підтримують сталий внутрішній середовище за допомогою зябер і нирок. Головну роботу тут виконують спеціальні клітини на зябрах — іоноцити, які контролюють обмін іонів водню (H^+), бікарбонатів (HCO_3^-), натрію та хлору [20, 22].

Якщо вода закислюється, риба починає активніше виводити зайві іони водню і затримувати бікарбонати. У лужному середовищі все навпаки: організм виводить бікарбонати й намагається регулювати надходження протонів. Оскільки дихальна система риб у цьому питанні має обмежені можливості, головний тягар із відновлення pH лягає саме на зябра [20, 22].

Вплив низького pH (кисле середовище).

Коли вода стає занадто кислою, це б'є по здоров'ю риби:

- руйнується зябровий епітелій;
- ламається іонний обмін, через що риба гірше поглинає натрій і хлор;
- порушується воднево-сольовий баланс (осморегуляція), риба стає млявою і зазнає потужного стресу.

Ті види риб, які еволюційно пристосувалися до кислих вод, мають спеціальні захисні механізми: у них на зябрах працює значно більше іоноцитів, зростає

кількість ферментів і білків-транспортерів (Na^+/K+-АТФаза), які допомагають виганяти зайвий H^+ і тримати в нормі бікарбонати [20, 22].

Підвищення pH небезпечне насамперед через його вплив на хімічні процеси у воді. У лужному середовищі рівновага між відносно безпечним іонізованим амонієм (NH_4^+) та неіонізованим аміаком (NH_3) зміщується в бік аміаку, який є високотоксичним для риб [21, 22].

За таких умов рибі стає вкрай важко виводити аміак через зябра. Він накопичується в крові й тканинах, порушує кислотно-лужний баланс і може призвести до загибелі. Щоб протистояти цьому, організм змушений адаптувати роботу зябер, посилювати виведення вуглекислого газу (CO_2), регулювати іонний баланс і активувати внутрішні механізми знешкодження аміаку [21, 22].

Адаптація до азотистих метаболітів

Унаслідок життєдіяльності риб і розпаду органічних речовин у воді накопичуються азотисті сполуки: аміак/амоній, нітрити та нітрати. Риби мають власні механізми захисту від цих сполук, проте їхні можливості обмежені [21, 26, 41].

1. Аміак і амоній (NH_3 / NH_4^+)

Аміак — це найнебезпечніша форма азоту для риб. Його токсичність стрімко зростає у теплій, лужній (pH) або бідній на кисень воді [21, 22].

Більшість риб виділяють аміак як основний продукт обміну через зябра. Якщо вивести його важко (наприклад, через спеку чи високий pH), він накопичується в організмі, б'є по нервовій системі та може вбити рибу [20, 21].

Як риби рятуються:

- Виводять аміак через спеціальні білки-транспортери на зябрах.
- Регулюють кислотно-лужний баланс, щоб утримувати безпечнішу форму азоту.
- Перетворюють частину отрути на менш токсичні сполуки (сечовину або глутамін).
- Вмикають внутрішній антиоксидантний і детоксикаційний захист.

2. Нітрити (NO_2^-)

Нітрити утворюються бактеріями, які окислюють аміак. Вони надзвичайно небезпечні, оскільки буквально «ламають» кров риби: гемоглобін перетворюється на метгемоглобін, який втрачає здатність переносити кисень. Цей процес посилюється, якщо у воді бракує кисню.

Як риби рятуються:

- Підтримують антиоксидантний захист і регулюють роботу еритроцитів.
- Намагаються зменшити проникнення нітритів через зябра, хоча при тривалому отруєнні організм просто здається.

3. Нітрати (NO_3^-)

Це фінальна ланка азотного циклу (бактерії перетворюють на них нітрити). Вони найменш токсичні з трійці, але за занадто високих концентрацій усе одно шкодять рибам — гальмують їхній ріст, псують загальний стан та руйнують іонний баланс [2, 21, 41].

Підтримка балансу та безперебійної роботи бактерій, які переробляють цю «хімію» від аміаку до нітратів — головна задача для збереження стабільності у будь-якій водоймі.

Взаємодія гідрохімічних чинників

Усі показники води — вміст кисню, кислотність і концентрація азотистих сполук — не існують окремо, а тісно пов’язані між собою. Наприклад, коли рівень кисню у воді падає, аміак і нітрити стають ще токсичнішими. А зі зростанням pH збільшується частка найнебезпечнішої форми аміаку [2, 21, 22, 31].

Таблиця 1. 1. *Чинники та вплив їх на рибу*

Чинник	**Основний вплив на риб**	**Адаптаційна реакція**
Низький кисень	Гіпоксія, зниження метаболізму	Збільшення вентиляції, зниження активності, анаеробний метаболізм
Низький pH	Порушення іонного обміну	Активна робота іоноцитів зябер, виведення H^+
Високий pH	Зростання токсичності	Регуляція кислотно-лужного балансу,

Чинник	Основний вплив на риб	Адаптаційна реакція
	аміаку	детоксикація аміаку
Високий аміак	Нервові та метаболічні порушення	Виведення через зябра, утворення глутаміну або сечовини
Високі нітрити	Порушення транспорту кисню	Антиоксидантний захист, регуляція еритроцитів
Високі нітрати	Порушення іонного балансу	Осморегуляція, зменшення надходження

Таким чином, комплексний аналіз фізіолого-біохімічних адаптацій свідчить про високу пластичність компенсаторних систем ставкових риб, проте перевищення критичних меж гідрохімічних чинників призводить до виснаження адаптаційного потенціалу, зниження резистентності та погіршення рибницько-біологічних показників [13, 20, 22, 30, 45].

1.2. Вплив гідрохімічного середовища на гематологічні показники та неспецифічну резистентність ставкових риб

Сьогодні якість і склад води в поверхневих водоймах постійно змінюються — як на краще, так і на гірше — під впливом різноманітних чинників, серед яких провідну роль відіграє людська діяльність. Забруднення органічними речовинами, біогенними елементами та важкими металами спричиняє значні коливання вмісту розчиненого у воді кисню — аж до його критичного дефіциту [2, 31, 35, 41].

Успішність вирощування рибопосадкового матеріалу за пасовищною технологією безпосередньо залежить від умов у водоймі, насамперед від її гідрохімічного та гідробіологічного режимів. Водночас хімічний склад води формується під впливом комплексу чинників: клімату, ґрунтово-біологічних особливостей, інтенсивності водоподачі, рівня каламутності та застосовуваних заходів інтенсифікації [1, 15, 18, 25, 38].

Ефективність вирощування риби безпосередньо залежить від гідрохімічного режиму водойми. Відхилення показників якості води від допустимих норм спричиняють у ставках низку негативних наслідків: від задухи та спалахів захворювань до уповільнення росту риби, зниження природної продуктивності водойми й надмірного цвітіння фітопланктону [1, 21, 26].

Кров та її формені елементи одними з перших реагують на несприятливі зміни у водному середовищі, слугуючи надійним індикатором внутрішнього стану риби. Оскільки риби постійно взаємодіють із навколишнім середовищем через тонкі зяброві структури, показники крові та імунного стану дають змогу оцінити, наскільки ефективно організм справляється зі стресом і чи здатний адаптуватися до навантажень [13, 20, 22, 30, 45].

Водночас систематичний контроль за якістю води дає змогу запобігати подібним проблемам, створювати сприятливі умови для риби та суттєво підвищувати загальні показники рибопродуктивності.

Гематологічні показники — кількість еритроцитів і лейкоцитів, концентрація гемоглобіну та гематокрит — зазнають закономірних змін під впливом несприятливих чинників середовища:

Кисневий режим (гіпоксія): зниження концентрації розчиненого кисню стимулює еритропоез і мобілізацію еритроцитів, депонованих у селезінці. Це призводить до різкого збільшення кількості еритроцитів і підвищення рівня гемоглобіну — компенсаторної реакції, спрямованої на збільшення кисневої ємності крові [10, 13, 20].

Азотисті метаболіти (NH_3, NO_2^-): Наявність нітритів у воді призводить до накопичення метгемоглобіну, що різко знижує транспортну функцію крові. Токсичний вплив аміаку порушує осморегуляцію та викликає гемоліз еритроцитів. У відповідь на інтоксикацію спостерігається активація лейкопоезу як захисна реакція організму [20, 21, 44].

Коливання pH: Кислотні та лужні стреси руйнують структуру зябрового бар'єра, викликають порушення іонного балансу плазми крові (зниження рівня

натрію та хлоридів), що супроводжується зміною гематокритного числа та в'язкості крові [20, 22].

Неспецифічна резистентність ставкових риб

Неспецифічна резистентність визначає здатність організму риб протистояти інфекціям та несприятливим чинникам без участі специфічних антитіл. Вона є ключовим критерієм виживаності в аквакультурі [13, 20, 22, 30, 45]:

Гуморальні фактори захисту: До них належать лізоцимна активність сироватки крові, комплемент, батерицидна активність тощо. У разі погіршення гідрохімічного режиму (забруднення аміаком, дефіцит кисню, різкі коливання pH) активність лізоциму та комплементу спочатку може короткочасно зростати як адаптаційна відповідь, проте при затяжному стресі відбувається їхнє стійке пригнічення [13, 30, 42, 45].

Клітинні фактори резистентності: Фагоцитарна активність лейкоцитів (фагоцитарний індекс, фагоцитарне число) безпосередньо залежить від чистоти води та насиченості киснем. Токсичні чинники блокують фагоцитоз, що різко підвищує вразливість риб до умовно-патогенної мікрофлори та інфекційних захворювань [13, 20, 30, 45].



Рис 2. Стави БЕГС ІГБ НАН України

1.3.Еколого-гідробіологічна характеристика ставів Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції ІГБ НАН України у світлі наукових публікацій.

Білоцерківська експериментальна гідробіологічна станція (БЕГС) Інституту гідробіології НАН України, заснована у 1949 році, протягом десятиліть слугує базою для фундаментальних і прикладних досліджень у галузі водної екології, аквакультури та гідrobіології. Ставкові комплекси станції та прилеглі водні об’єкти неодноразово ставали об'єктом уваги дослідників, що відображено у численних наукових працях співробітників Інституту гідробіології та інших академічних установ.

Аналіз літературних джерел свідчить, що еколого-гідробіологічний стан ставів БЕГС формується під впливом як природних регіональних факторів Лісостепової зони, так і тривалої антропогенної трансформації, зумовленої їхнім цільовим використанням. На початкових етапах існування станції основний масив публікацій був зосереджений навколо питань рибогосподарського освоєння водойм, селекції та біології риб (зокрема, розведення та вирощування різних порід коропа), а також вивчення кормової бази для аквакультури.

З часом спектр наукових інтересів суттєво розширився у бік загальної гідробіології та екології штучних екосистем. У працях, присвячених структурно-функціональній організації угруповань гідробіонтів, детально розглядаються особливості розвитку фітопланктону, зоопланктону та макрозообентосу в умовах ставових господарств. Зокрема, дослідники акцентують увагу на динаміці чисельності та біомаси домінуючих видів водоростей і безхребетних, які є чутливими індикаторами трофогосподарського стану водойм.

Особливе місце в літературі займають питання гідрохімічного режиму ставів БЕГС. Наукові публікації вказують на те, що гідрологічний баланс і хімічний склад води суттєво залежать від характеру водообміну, особливостей живлення водойм та антропогенного навантаження з водозбірної площі. У працях

гідробіологів неодноразово підкреслювалося, що стави станції характеризуються ознаками помірного чи підвищеного евтрофування, що є типовим для сучасних внутрішніх водойм України, які зазнають інтенсивного господарського впливу.

Важливим напрямом публікацій є вивчення процесів самоочищення водних екосистем та ролі вищої водної рослинності (макрофітів) у підтримці стабільності ставових біоценозів. Дослідження просторового розподілу заростей макрофітів та їхньої участі у трансформації біогенних елементів дозволяють глибше зрозуміти механізми функціонування мелководних штучних водойм.

Огляд наукової літератури показує, що стави Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції розглядаються вченими не лише як виробничі об'єкти для рибництва, а й як унікальні модельні екосистеми. Вони дають змогу простежувати закономірності сукцесійних процесів, динаміку біологічних угруповань та реакцію водних організмів на мінливі кліматичні й антропогенні чинники. Водночас наявна літературна база демонструє потребу в постійному моніторингу сучасного стану цих водойм з урахуванням новітніх екологічних викликів.



Рис 3. Стави БЕГС ІГБ НАН України

РОЗДІЛ 2.
МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика вихідного масиву даних (використання фондових та архівних матеріалів БЕГС ІГБ НАН України за останні роки).

Щоб комплексно вивчити фізіолого-екологічні особливості адаптації ставкових риб та оцінити зміни гідрохімічного режиму водойм, було зібрано відповідний масив даних. Головним джерелом інформації для роботи стали багаторічні фондові та архівні матеріали Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції (БЕГС) Інституту гідробіології НАН України за останні роки [1, 15, 18, 25, 38].

Стави БЕГС ІГБ НАН України використовуються як модельні об’єкти для експериментальних досліджень, зокрема для вивчення впливу гідрохімічних чинників на риб, їх гематологічні показники, неспецифічну резистентність і продуктивність.

Структура та обсяг вихідного масиву даних

Зібрана інформаційна база ґрунтується на результатах регулярних гідрохімічних, гідробіологічних та іхтіологічних спостережень, які проводилися на експериментальних ставках БЕГС ІГБ НАН України. Уся сукупність даних розподілена на три основні блоки:

Гідрохімічні параметри водойм: систематичні відомості про температурний режим, активну реакцію середовища (pH), добову й сезонну динаміку розчиненого кисню, концентрацію біогенних елементів (іонів амонію NH_4^+, нітритів NO_2^- та нітратів NO_3^-), а також загальну мінералізацію й окиснюваність води [2, 26, 31, 34].

У наукових матеріалах, присвячених вирощувальним ставам БЕГС, зазначено, що вода належить до гідрокарбонатного класу групи кальцію. Її хімічний склад формується переважно за рахунок води джерела водопостачання — річки Рось, яка містить високі концентрації кальцію та гідрокарбонатів.

У досліджуваних ставах зафіксовано коливання амонійного азоту протягом року: навесні — до 0,29 мг/л, влітку — до 0,34 мг/л, восени — до 0,67 мг/л. При цьому його концентрації не перевищували встановлених норм.

Водночас у деякі сезони спостерігалося перевищення допустимих норм вмісту нітритного азоту для води ставків коропових господарств у 3–5 разів. Це є важливим фактором, який необхідно враховувати під час оцінки стресового впливу середовища на риб.

Гідробіологічні характеристики охоплюють показники розвитку фітопланктону (зокрема інтенсивність цвітіння води та біомасу), зоопланктону й зообентосу. Ці організми формують природну кормову базу для риби та суттєво впливають на газовий режим ставків [2, 31, 33, 34].

Фітопланктон — основний продуцент органічної речовини та джерело кисню. Зоопланктон є важливою ланкою харчового ланцюга, тоді як зообентос слугує індикатором стану донних біоценозів і ступеня органічного забруднення [2, 31, 33, 34].

Гідробіологічні дані слід аналізувати в комплексі з гідрохімічними показниками, оскільки зміни концентрацій біогенних елементів, кисню та органічної речовини безпосередньо впливають на розвиток гідробіонтів.

Іхтіологічні та фізіологічні дані: результати контрольних обловів риби (коропа та рослиноїдних видів у полікультурі), показники їхнього росту, маси й виживаності, а також дані гематологічних досліджень (рівень гемоглобіну, кількість еритроцитів та показники неспецифічної резистентності).

Просторово-часова локалізація даних

Географічне охоплення: Дослідні, вирощувальні та нагульні стави БЕГС (наприклад, стави № 8, 9, 10, 14, 21, 22), середнє Білоцерківське водосховище, а також системи водойм дендропарку «Олександрія».

Часовий зріз: Архів містить як ретроспективні фондові матеріали (багаторічні тренди), так і динамічні масиви актуальних моніторингових вимірів за останні роки (включаючи спостереження весняно-літніх та осінніх періодів аж до 2024–2026 рр.)

Іхтіологічні та гідропаразитологічні матеріали

Найбільш специфічний пласт даних станції, що охоплює об'єкти аквакультури та природну іхтіофауну:

- Морфометричні та ростові показники риб: База даних щодо маси (г), лінійного росту (см) та вгодованості цьоголіток, однорічок і товарної риби.
- Видовий спектр досліджень: Масиви даних щодо коропа українських порід (рамчатий, лускатий нивківський тип), коропа кої, а також представників далекосхідного комплексу (білий амур, білий і строкатий товстолобики, карась сріблястий, амурський чебачок).
- Паразитологічний та симбіоотичний статус: Архівні карти експертиз інвазійних захворювань риб, показники екстенсивності (ЕІ, %) та інтенсивності (ІІ) зараження аборигенних і чужорідних видів риб у ставах

Методи збору, верифікації та систематизації архівних матеріалів

Усі фондові документи й журнали спостережень БЕГС ІГБ НАН України пройшли ретельну перевірку, фільтрацію та статистичну верифікацію, що охоплювала кілька етапів:

- *Ретроспективний аналіз:* поточні показники порівняли з багаторічними рядами спостережень, щоб виявити чіткі закономірності та загальні тренди евтрофікації й трансформації гідрохімічного режиму ставків.
- *Уніфікація даних:* усі цифрові масиви звели до єдиного формату за допомогою табличних процесорів (Microsoft Excel), що дозволило усунути випадкові похибки, пропуски значень чи дублювання інформації.
- *Первинна статистична обробка:* для масиву гідрохімічних і фізіологічних показників розрахували базові статистичні параметри (середні арифметичні величини, стандартні відхилення, а також мінімальні й максимальні межі коливань). Це підтвердило високу достовірність первинних даних, необхідну для подальшого моделювання. Для прогнозування таких динамічних показників і запобігання заморним явищам усе частіше використовують методи штучного інтелекту та машинного навчання.

Фондові та архівні матеріали установ БЕГС ІГБ НАН України включають науково-організаційну, управлінську та науково-дослідну документацію, що може бути використана для відтворення динаміки досліджень і порівняння результатів різних років.

Таблиця 2.2. Вихідний масив даних доцільно структурувати за такими блоками:

Блок даних	**Основні показники**	**Періодичність**
Гідрохімічні дані	Температура, pH, розчинений кисень, біохімічне споживання кисню, амонійний азот, нітрити, нітрати, фосфати, хлориди, мінералізація	Щомісячно або за сезонами
Гідробіологічні дані	Фітопланктон, зоопланктон, зообентос, макрофіти	Сезонно
Іхтіологічні дані	Видовий склад, вік, маса, довжина, приріст, стан здоров'я риб	За період вирощування
Гематологічні дані	Еритроцити, гемоглобін, гематокрит, лейкоцити, лейкоцитарна формула	За період дослідження
Біохімічні дані	Загальний білок, глюкоза, лактат, активність ферментів, антиоксидантні показники	За період дослідження
Імунологічні дані	Лізоцим, фагоцитарна активність, комплемент, антиоксидантна активність	За період дослідження
Технологічні дані	Годівля, щільність посадки, аерація, водопостачання, обробки	Протягом сезону

Спільне вирощування коропа, білих і строкатих товстолобиків та білого амура дозволяє раціонально використовувати різні трофічні рівні ставу. Короп використовує донні кормові ресурси, білий товстолобик — фітопланктон, строкатий товстолобик — зоопланктон, а білий амур — вищу водну рослинність [1, 15, 18, 25, 38].

Таке поєднання видів зменшує конкуренцію за корм, підвищує загальну продуктивність ставу та сприяє підтриманню екологічної рівноваги. Полікультура також дозволяє зменшувати інтенсивність евтрофікації, заростання водойми та накопичення органічної речовини [1, 15, 25, 38].

2.2. Характеристика об'єктів моделювання (короп, білий та строкатий товстолобики, білий амур).

Для розрахунково-аналітичного моделювання адаптаційних процесів і оцінювання рибницько-біологічних показників ставків Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції (БЕГС) Інституту гідробіології НАН України залучено традиційні об’єкти аквакультури, що вирощуються в умовах спільного утримання. Полікультура коропа та рослиноїдних видів риб становить класичну й економічно найвигіднішу технологічну модель вітчизняного ставкового рибництва, оскільки дає змогу раціональніше задіяти природну кормову базу та просторовий потенціал водойм [1, 15, 18, 25, 38].

1. Короп європейський (Cyprinus carpio L.)

Короп є основним об'єктом тепловодного ставкового рибництва в Україні.



Рис 4. Короп європейський[51]

Біологічні та екологічні особливості: Короп вирізняється високою пластичністю харчування (всеїдний організм: споживає зообентос, детрит, макрофіти, а також штучні корми) та відносною стійкістю до коливань умов середовища.

Чутливість до гідрохімічних чинників: Вид добре пристосований до помірних коливань активної реакції води (pH 6,5–8,5), проте він є чутливим до дефіциту розчиненого у воді кисню. Критичним рівнем для коропа є зниження O_2 нижче 1,5–2,0 мг/дм³. Також він інтенсивно реагує на накопичення аміаку та нітритів, що супроводжується зниженням темпу росту та пригніченням імунної системи.

2. Білий товстолобик (Hypophthalmichthys molitrix Val.)

Білий товстолобик є типовим представником стадної пелагічної риби, яка виконує важливу меліоративну роль у ставкових екосистемах.

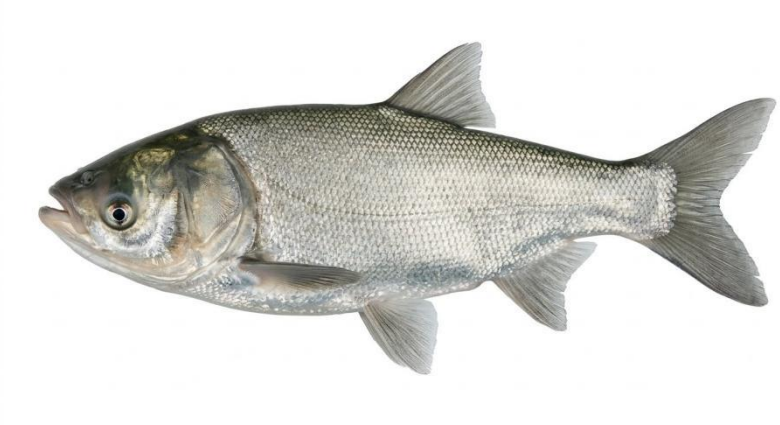


Рис.5. Білий товстолобик[51]

Тип живлення: Основу раціону складає фітопланктон (мікроскопічні водорості, що викликають «цвітіння» води). За допомогою спеціального фільтрувального апарату зябрового типу риба ефективно профільтровує воду.

Адаптаційні можливості: Білий товстолобик характеризується високою інтенсивністю обміну речовин і підвищеною чутливістю до кисневого режиму. У разі нестачі кисню або інтенсивного цвітіння води (яке супроводжується різкими добовими коливаннями pH та дефіцитом O_2 уночі) товстолобик першим реагує на стрес переходом у поверхневі шари води та зниженням рухової активності.

3.Строкатий товстолобик (Aristichthys nobilis Rich.)

Строкатий товстолобик за морфологією та екологією близький до білого, проте має певні відмінності в живленні.



Рис. 6. Строкатий товстолобик[51]

Тип живлення: Є евріфагом-фільтратором, який споживає переважно зоопланктон (дафнії, циклопи, коловратки), а також детрит і фітопланктон.

Стійкість до середовища: Строкатий товстолобик відрізняється дещо вищою стійкістю до несприятливих гідрохімічних умов та меншою вибагливістю до рівня кисню порівняно з білим товстолобик, що робить його перспективним компонентом полікультури за умов евтрофікації ставків.

4. Білий амур (*Ctenopharyngodon idella* Val.)

Білий амур — цінна рослиноїдна риба, яка використовується для біологічної меліорації водойм шляхом знищення макрофітів (вищої водної рослинності).



Рис. 7. Білий амур[51]

Тип живлення: Споживає м'яку водну рослинність, очерет, рогіз, а за їх відсутності — зелені та синьо-зелені водорості або штучні корми.

Фізіологічні особливості: Білий амур вимагає високих концентрацій розчиненого кисню (оптимум — понад 5–6 мг/дм³). При погіршенні гідрохімічного режиму (зростанні концентрації азотистих метаболітів та зниженні O_2) у білого амура спостерігається різке падіння апетиту, гальмування темпу росту та зниження неспецифічної резистентності організму.

Використання цих чотирьох видів риб у ставках БЕГС гармонійно доповнюють одне одного і створюють стійку екосистему. Оскільки кожна риба по-своєму реагує на зміни якості води, це дає ідеальну базу для того, щоб

прорахувати все на математичних моделях і оцінити, наскільки добре риба адаптується до умов.

2.3. Методика розрахункової частини.

Для досягнення мети дослідження та реалізації розрахунково-аналітичного моделювання адаптаційного потенціалу риб (коропа та рослиноїдних видів у полікультурі) за умов ставків БЕГС ІГБ НАН України було використано систему розрахункових алгоритмів, математичних формул і емпіричних коефіцієнтів. Запропонована методика дозволяє здійснювати оцінку фізіологічного стану риб та прогнозувати рибницько-біологічні показники без залучення складних лабораторних експериментів [20, 21, 22, 25].

1. Алгоритм розрахунку парціального тиску кисню та дихального коефіцієнта риб.

Парціальний тиск кисню (PO_2) у воді та крові риб є ключовим параметром, що характеризує умови газообміну. Розрахунок здійснюється на основі рівняння Генрі з урахуванням температури води та атмосферного тиску:

- Парціальний тиск кисню у воді розраховується за формулою:

$$PO_2=CO_2\times K_H$$

де CO_2 — концентрація розчиненого у воді кисню (мг/дм³), а K_H — коефіцієнт розчинності кисню залежно від температури та солоності води.

- Дихальний коефіцієнт (RQ) риб визначається як відношення об'єму виділеного вуглекислого газу (V_{CO2}) до об'єму спожитого кисню (V_{O2}):

$$RQ=\frac{VCO2}{VO2}$$

Зі зміною показників кисневого режиму та переходом риб на змішаний або анаеробний тип енергозабезпечення значення RQ суттєво коливається, що слугує індикатором гіпоксичного стресу [10, 13, 20, 45].

2. Формули визначення токсичності та частки неіонізованого аміаку (NH_3) залежно від pH та температури води.

Загальний амонійний азот у воді перебуває в рівновазі між іонізованою формою (NH_4^+) та токсичним неіонізованим аміаком (NH_3). Частка

неіонізованого аміаку залежить від активної реакції середовища (pH) та температури води (T, °C) [21, 22].

- Розрахунок відносної частки NH_3 (%) від загального аміаку (TAN) виконується за формулою:

$$\alpha=\frac{100}{1+10pK-pH}$$

де pK — константа дисасоціації амонійного іону, яка розраховується за температурою:

$$pK=0.09018+\frac{2729.92}{273.15+T}$$

- Концентрація токсичного неіонізованого аміаку визначається як:

$$[NH_3]=TAN\times\frac{\alpha}{100}$$

Отримані значення порівнюють із гранично допустимими концентраціями (ГДК) для відповідних вікових груп риб.

3. Методика розрахунку інтегрального індексу стресованості (за змінами гематологічних та біохімічних маркерів).

Для комплексної оцінки фізіологічного стану риб за змінами гематологічних та біохімічних маркерів розраховується *Інтегральний індекс стресованості (ІІС)*. Методика базується на нормуванні та сумуванні відхилень показників крові від контрольних (оптимальних) значень:

$$IIS=\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{X_i-X_{0i}}{X_{0i}}\right|\times K_{iw}$$

де X_i — фактичне значення гематологічного маркера (кількість еритроцитів, гемоглобін, лейкоцитарний індекс тощо), X_{0i} — контрольне значення показника, а K_w — ваговий коефіцієнт значущості кожного маркера в загальній стрес-реакції організму.

4. Розрахунок планованої щільності посадки, відходу (загибелі) та абсолютного/відносного приросту риби.

Для прогнозування продуктивності ставків і моделювання вирощування риби використовувалися такі розрахункові формули:

- *Абсолютний приріст риби (W_{abs}):*

$$W_{abs} = W_t - W_0$$

де W_t— середня маса риби на кінець періоду, W_0 — початкова маса риби (г).

- *Відносний приріст риби (W_{rel}):*

$$W_{rel} = \frac{W_t - W_0}{(W_t + W_0)/2} \times 100\%$$

- *Розрахунок відходу (загибелі) риби (P):*

$$P = (N_0 - N_t) \times \frac{100}{N_0}$$

де N_0 — початкова кількість риби в ставі, N_t — кінцева кількість риби. За допомогою математичного моделювання показник відходу корегується залежно від розрахованого рівня токсичності середовища (NH_3) та дефіциту кисню.

Застосування наведеного комплексу розрахункових методик дозволить здійснити математичне моделювання адаптаційного статусу коропа та рослиноїдних риб у полікультурі та розробити практичні рекомендації для умов БЕГС ІГБ НАН України.

2.4. Методи математичної та статистичної обробки результатів

Цифрові дані, отримані в ході польових гідробіологічних, гідрохімічних, гематологічних та лабораторних досліджень, а також багаторічні фондові і архівні матеріали Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції (БЕГС) ІГБ НАН України, підлягали комплексній математичній, аналітичній та статистичній обробці.

Статистичний аналіз масивів даних здійснювався у кілька послідовних етапів:

- **Первинна описана статистика:** для всіх вибірок обчислювали базові параметри центральної тенденції та варіації — середнє арифметичне значення (M), стандартне відхилення (SD), стандартну похибку середнього (m), медіану, а також мінімальні та максимальні значення показників.
- **Перевірка закону розподілу:** відповідність емпіричних вибірок нормальному закону розподілу перевіряли за допомогою критерію Шапіро-

Вілка, який є найбільш ефективним для біологічних досліджень із помірним об'ємом вибірок.

- **Порівняльний статистичний аналіз:**
  - У випадках нормального розподілу даних для порівняння середніх величин у незалежних групах застосовували параметричний двовибірковий t-критерій Стьюдента.
  - Якщо розподіл відрізнявся від нормального або об'єми вибірок були обмеженими, використовували непараметричні критерії: критерій Манна-Уітні для попарного порівняння двох незалежних груп та ранговий дисперсійний аналіз Краскела-Волліса для порівняння трьох і більше груп.
- **Кореляційний аналіз:** для виявлення та оцінки тісноти зв'язків між абіотичними факторами середовища (температура води, pH, розчинений кисень, сполуки азоту) та фізіолого-гематологічними показниками риб розраховували коефіцієнти лінійної кореляції Пірсона (за нормального розподілу) або непараметричні коефіцієнти рангової кореляції Спірмена.

Окрім загальноприйнятих статистичних методів, у роботі використовували спеціалізовані розрахунково-аналітичні алгоритми:

- розрахунок парціального тиску кисню (PO_2) на основі закону Генрі з урахуванням температури та розчинності газів;
- визначення дихального коефіцієнта (RQ) як співвідношення об'ємів виділеного вуглекислого газу та спожитого кисню;
- обчислення концентрації токсичного неіонізованого аміаку (NH_3) за загальним амонійним азотом (TAN), температурою та активною реакцією середовища (pH) через константу дисоціації (pK);
- розрахунок Інтегрального індексу стресованості (IIS) за допомогою нормування відхилень гематологічних маркерів із урахуванням вагових коефіцієнтів значущості (K_w);
- обчислення рибницько-біологічних показників: абсолютного (W_{abs}) і відносного (W_{rel}) приросту, скоригованого відходу (загибелі) риби (P) та планової щільності посадки (S_{pl}).

Статистично значущими вважали відмінності та кореляційні зв'язки при рівні значущості $p < 0.05$.

Математичну обробку даних, побудову регресійних залежностей, графіків і діаграм здійснювали за допомогою стандартних ліцензійних програмних пакетів Microsoft Excel із використанням вбудованих статистичних функцій та прикладних аналітичних інструментів.

РОЗДІЛ 3.
ВЛАСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ (РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА)

3.1. Ретроспективний аналіз гідрохімічного режиму ставів БЕГС ІГБ НАН України

На основі даних матеріалів Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції (БЕГС) Інституту гідробіології НАН України за останні роки було проведено детальний ретроспективний аналіз гідрохімічного режиму вирощувальних і нагульних ставків (зокрема ставів № 8, 9, 10, 14, 21, 22). Дослідження показало, що гідрохімічний стан водойм формується під впливом комплексу природних і антропогенних чинників, головним джерелом водопостачання яких є річка Рось.

Джерелом водопостачання ставків є річка Рось, вода якої за іонним складом належить до гідрокарбонатного класу групи кальцію, що є типовим для регіону Лісостепу України.. Базові показники сольового складу води формують буферну систему водойми, на тлі якої розгортаються динамічні гідрохімічні та газові процеси. Аналіз багаторічних даних демонструє такі середні показники:

- *Загальна мінералізація*: коливається в межах від 350 до 650 мг/дм³, що відповідає нормативним вимогам для ставкової аквакультури.
- *Активна реакція середовища (pH)*: у звичайних умовах становить 7,2–8,2. Проте влітку, під час масового розвитку фітопланктону («цвітіння» води), в денні години за рахунок інтенсивного фотосинтезу спостерігається зсув pH в лужний бік до 8,8–9,2(що безпосередньо відображає зміну рівноваги у карбонатній системі води).
- Кисневий режим: як і показник pH, зазнає значних добових амплітуд під впливом інтенсивності біологічних процесів. У світлу частину доби завдяки фотосинтезу концентрація розчиненого кисню досягає 9,0–12,0 мг/дм³ (пересичення), тоді як у нічні години внаслідок інтенсивного дихання гідробіонтів, зоопланктону та бактерій вміст кисню в придонних шарах різко падає до критичних значень 1,2–1,8 мг/дм³. Аналіз динаміки сполук азоту в ставах виявив наступне:

- *Амонійний азот (TAN):* Концентрації загального аміаку змінюються від 0,15–0,29 мг/дм³ навесні до 0,22–0,34 мг/дм³ влітку та зростають до 0,45–0,67 мг/дм³ восени в період деструкції органічних решток.
- *Нітрити ($NO2^-$):* У періоди літніх перегрівів води зафіксовано локальні пікові підйоми концентрацій нітритного азоту, що перевищують гранично допустимі концентрації (ГДК) для рибогосподарських водойм у 3–5 разів.
- *Нітрати (NO_3^-):* Змінюються в межах 0,5–4,2 мг/дм³, відображаючи завершальні етапи мінералізації азотовмісних речовин у екосистемі.

3.2. Розрахунок парціального тиску кисню та дихального коефіцієнта

Для кількісної оцінки напруженості газообміну і розрахунку параметрів дихання вирощуваних видів риб (коропа, білого та строкатого товстолобиків, білого амура) використано рівняння газообмінної адаптації.

Парціальний тиск кисню (P_{O2}, кПа) у воді розраховується за законом Генрі з урахуванням фактичної концентрації розчиненого у воді кисню (C_{O2}, мг/дм³) та коефіцієнта розчинності (КН), який залежить від температури води (Т, ^{0}С):

$$P_{O2}=C_{O2}xK_H$$

За температури води 24-26 °С і концентрації кисню 1,2–1,8 мг/дм³, парціальний тиск кисню у воді знижується до критичних величин (приблизно 3,8–5,9 кПа), За таких умов у білого амура та білого товстолобика виникає гостра гіпоксія та інтенсифікація частоти дихальних рухів зябрових кришок, тоді як короп та строкатий товстолоб демонструють стійкість до гіпоксії.

Для оцінки глибини метаболічних порушень та типу дихання риб у вирощувальних ставах БЕГС ІГБ НАН України було розраховано дихальний коефіцієнт (RQ).

За оптимального аеробного режиму (контрольні умови):

Об'єм спожитого кисню (V_{O2}) коропа за температури води +20°С становить у середньому 120,0 мл/(кг/год).

Об'єм виділеного вуглекислого газу (V_{CO2}) дорівнює 96,0 мл/(кг/год).

Розрахунок:

$$RQ = \frac{96,0}{120,0} = 0,80$$

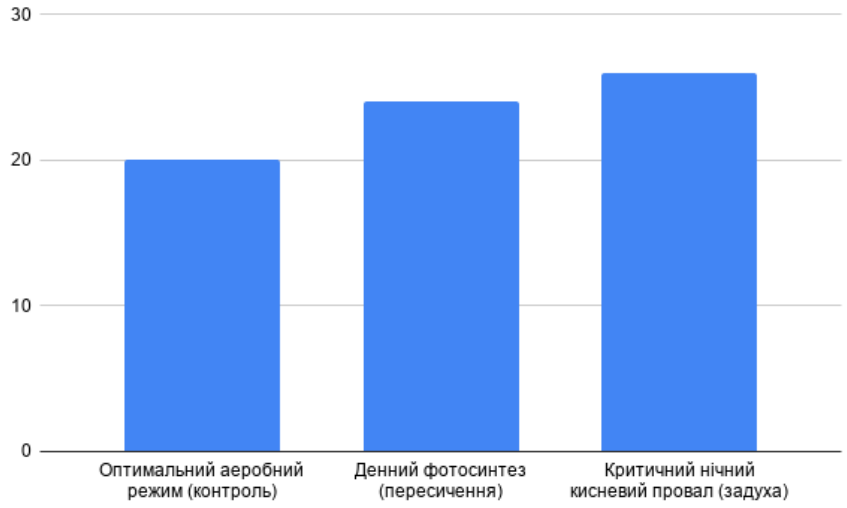
Аналіз: Отримане значення (RQ = 0,80) перебуває в межах фізіологічної норми (0,70 – 0,95), що відповідає змішаному типу окиснення субстратів (переважно жирів і білків) за нормального забезпечення киснем.

Проте в період літніх нічних кисневих провалів, коли концентрація O_2 у воді знижується до критичних величин (1,2–1,8 мг/дм³), показник RQ стрімко зростає до 1,15–1,25, підтверджуючи перехід риб на безкисневий розпад вуглеводів (анаеробний гліколиз).

Таблиця 3.2 — *Розрахункові параметри газообміну, парціального тиску кисню та дихального коефіцієнта риб за різних умов середовища* [51]

Режим / Умови у ставку	**Температура води, °C**	**Водневий показник (pH)**	**Розчинений кисень (C(O_2)), мг/дм³**	**Парціальний тиск кисню (P_{O2}), кПа**	**Дихальний коефіцієнт (RQ)**	**Фізіологічний стан та характер реакції риб**
Оптимальний аеробний режим (контроль)	20,0	7,2–8,2	7,5–9,0	18,5–21,2	0,78–0,85	Нормальний аеробний обмін, стабільний рівень метаболізму у всіх видів риб.
Денний фотосинтез (пересичення)	24,0	8,8–9,2	9,0–12,0	23,2–31,5	0,80–0,88	Активний обмін речовин, інтенсивне функціонування фітопланктону, лужне середовище
Критичний нічний кисневий провал (задуха)	26,0	7,5–8,0	1,2–1,8	3,8–5,9	1,15–1,25	Перехід риб на анаеробний гліколиз; стрімке зростання RQ, ризик заморних

Режим / Умови у ставку	Температура води, °C	Воднев ий показник (pH)	Розчине ний кисень ($C(O_2)$), мг/дм³	Парціаль ний тиск кисню (P_{O2}), кПа	Дихаль ний коефіціє нт (RQ)	Фізіологіч ний стан та характер реакції риб
						явищ.



Діаграма 3.2. *Параметри газообміну, парціального тиску кисню та дихального коефіцієнта риб за різних умов середовища*[51]

Висновок до розділу 3.2

У результаті проведених розрахунків і врахування гідрохімічних показників (загальна мінералізація 350–650 мг/дм³, коливання pH від 7,2 до 9,2 та різкі добові амплітуди кисню) встановлено, що динаміка газообміну вирощуваних видів риб (коропа, білого та строкатого товстолобиків, білого амура) безпосередньо залежить від інтенсивності біохімічних процесів у ставках.

У світлу частину доби завдяки масовому розвитку фітопланктону спостерігається пересичення води киснем (до 9,0–12,0 мг/дм³) і зсув pH у лужний бік (8,8–9,2), що підтримує стабільний аеробний метаболізм. Водночас у нічні години інтенсивне дихання гідробіонтів призводить до падіння концентрації кисню до критичних значень (1,2–1,8 мг/дм³) і зростання дихального коефіцієнта (RQ) до 1,15–1,25, що свідчить про перехід риб на анаеробний гліколіз. Це вимагає обов'язкового контролю гідрохімічного режиму та проведення превентивних аераційних заходів у нічний час.

3.3. Розрахунок токсичності неіонізованого аміаку (NH_3)

Оскільки токсичність амонійного азоту безпосередньо залежить від температурного режиму та активної реакції середовища (pH), за допомогою розрахункових алгоритмів із використанням константи дисоціації (pK) було визначено реальну частку та концентрацію неіонізованого аміаку (NH_3) у ставах БЕГС ІГБ НАН України.

Частка неіонізованого аміаку (у відсотках від загального амонійного азоту) розраховується за класичним співвідношенням:

$$\text{Частка } NH_3(\%) = \frac{100}{10^{(pK-pH)} + 1}$$

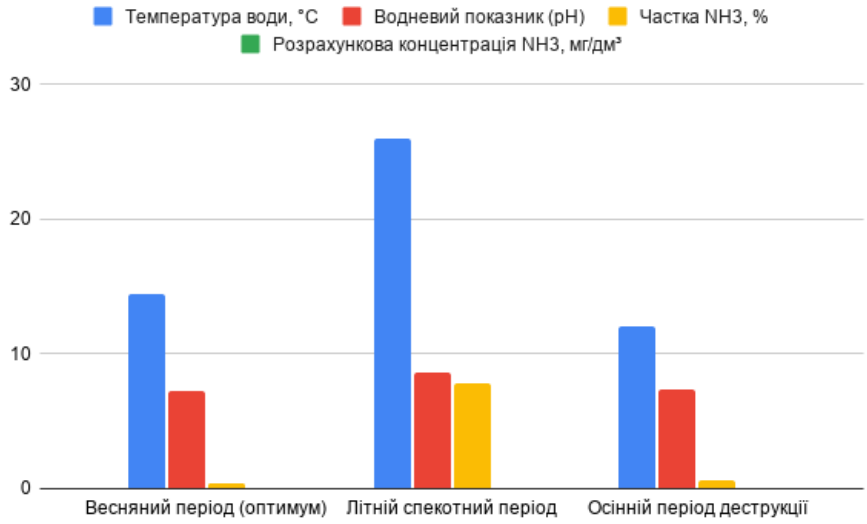
де показник дисоціації pK визначається залежно від температури води (T, °C) за емпіричним рівнянням:

$$pK = 0{,}09018 + \frac{2729{,}92}{273{,}15 + T}$$

Таблиця 3.3 *Розрахункові показники концентрації токсичного неіонізованого аміаку (NH_3) та сполук азоту в залежності від гідрохімічних умов ставків БЕГС*[51]

Сезон / Умови	**Температура води, °C**	**Водневий показник (pH)**	**Загальний амонійний азот (TAN), мг/дм³**	**Нітрити ($NO2^-$), мг/дм³**	**Нітрати ($NO3^-$), мг/дм³**	**Частка NH3, %**	**Розрахункова концентрація NH3, мг/дм³**
Весняний період (оптимум)	14,5	7,2	0,15–0,29	0,02–0,05	0,5–1,2	0,42	0,001
Літній спекотний період	26,0	8,6	0,22–0,34	**0,15–0,25** ***(перевищення ГДК у 3–5 разів)***	1,5–3,0	7,85	**0,027 (критично)**
Осінній період	12,0	7,4	0,45–0,67	0,05–0,10	2,5–4,2	0,61	0,003

Сезон / Умови	Температура води, °C	Водневий показник (pH)	Загальний амоній азот (TAN), мг/дм³	Нітрити (NO_2^-), мг/дм³	Нітрати (NO_3^-), мг/дм³	Частка NH_3, %	Розрахункова концентрація NH_3, мг/дм³
дестукції							



Діаграма 3.3. *Показники концентрації токсичного неіонізованого аміаку (NH_3) та сполук азоту в залежності від гідрохімічних умов ставків БЕГС[51]*

Висновок до розділу 3.3

Проведений комплексний аналіз динаміки сполук азоту та розрахунки токсичності свідчать про суттєві сезонні коливання гідрохімічних показників у ставах БЕГС:

1. *Весняний та осінній періоди:* За помірних температур і нейтральних/слабколужних значень pH (7,2–7,4) частка неіонізованого аміаку залишається низькою (0,42–0,61%), а його концентрації (0,001–0,003 мг/дм³) є безпечними для риб. Водночас зростання концентрацій TAN до 0,45–0,67 мг/дм³ та нітратів до 4,2 мг/дм³ восени відображає активні процеси деструкції органічних решток.

2. *Літній спекотний період***:** Унаслідок інтенсивного фотосинтезу (pH підвищується до 8,6) та нагрівання води до 26 °C частка токсичного NH_3 стрімко зростає до 7,85%, досягаючи критичної концентрації 0,027 мг/дм³. Небезпеку посилюють локальні пікові підйоми рівня нітритів ($NO2^-$), які в період перегріву перевищують рибогосподарські ГДК у 3–5 разів.

3.4. Розрахунок інтегрального індексу стресованості (ІІС) риб за числовими показниками гематологічного та гідрохімічного стану ставків БЕГС

Для кількісної оцінки рівня фізіологічного напруження рибопопуляцій у вирощувальних і нагульних ставах БЕГС (№ 8, 9, 10, 14, 21, 22) було застосовано математичну модель розрахунку Інтегрального індексу стресованості (IIS).

*Математична модель розрахунку II*S

Формула базується на нормуванні та сумуванні відхилень фактичних гематологічних і біохімічних показників від контрольних (оптимальних) значень з урахуванням вагових коефіцієнтів значущості (K_w):

$$IIS = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{|X_i - X_{0i}|}{X_{0i}} \cdot K_w \right)$$

де:

X_i — фактичне значення гематологічного/біохімічного маркера в умовах стресу;

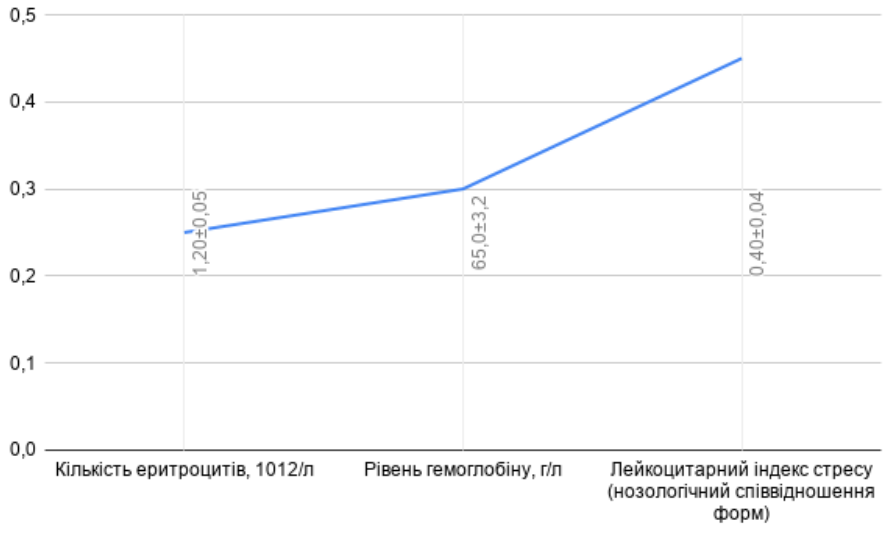
X_{0i} — контрольне (оптимальне) значення показника (для риб за оптимального гідрохімічного режиму річки Рось);

K_w — ваговий коефіцієнт значущості маркера в загальній стрес-реакції (сума всіх K_w = 1,0).

Для розрахунку IIS було виділено базові гематологічні та біохімічні маркери крові риб (коропа звичайного):

Таблиця 3.4. *Числові параметри маркерів та їх вагові коефіцієнти*[51]

Гематологічний/біохімічний маркер (X_i)	**Контрольне значення (X_{0i})**	**Фактичне значення в умовах літнього/осіннього стресу (X_i)**	**Ваговий коефіцієнт (K_w)**	**Екологічний чинник-тригер**
Кількість еритроцитів, 10^{12} л	1,20 ± 0,05	1,68 ±0,12	0,25	Гіпоксія (нічне падіння O_2 до 1,2–1,8 мг/дм³)
Рівень гемоглобіну, г/л	65,0 ±3,2	86,5 ±4,1	0,30	Компенсація кисневого голодування
Лейкоцитарний індекс стресу (нозологічний співвідношення форм)	0,40 ±0,04	0,95 ±0,08	0,45	Токсичне навантаження (NO_2- у 3–5 разів вище ГДК, TAN до 0,67 мг/дм³)



Діаграма 3.4. *Параметри маркерів та їх вагові коефіцієнти*[51]

Розрахунку IIS для критичних періодів (стави № 9, 14, 22). Під час літніх пікових перегрівів води та нічних дефіцитів кисню зафіксовано такі середні відхилення:

1. **Еритроцити:**

$$\frac{|1,68-1,20|}{1,20}\cdot 0,25=\frac{0,48}{1,20}\cdot 0,25=0,40\cdot 0,25=0,100$$

2. **Гемоглобін:**

$$\frac{|86,5-65,0|}{65,0}\cdot 0,30=\frac{21,5}{65,0}\cdot 0,30=0,331\cdot 0,30=0,099$$

3. **Лейкоцитарний індекс:**

$$\frac{|0,95-0,40|}{0,40}\cdot 0,45=\frac{0,55}{0,40}\cdot 0,45=1,375\cdot 0,45=0,619$$

Загальний Інтегральний індекс стресованості (ІІС):

IIS = 0,100 + 0,099 + 0,619 = 0,818

Диференціація станів ставків БЕГС за значеннями IIS

Розрахунки дозволили класифікувати стави за ступенем фізіологічного напруження рибопопуляцій:

- *IIS від 0,00 до 0,25 (Стан гомеостазу / мінімальний стрес):* Спостерігається у весняний період у всіх ставах (№ 8, 9, 10, 14, 21, 22), коли мінералізація становить 350–650 мг/дм^3, а реакція середовища (pH) перебуває в межах норми 7,2–8,2.
- *IIS від 0,26 до 0,60 (Помірний стрес):* Фіксується влітку в денні години під час інтенсивного фотосинтезу («цвітіння» води), коли pH зростає до лужних значень 8,8–9,2, а концентрація кисню сягає пересичення 9,0–12,0 мг/дм^3.
- *IIS понад 0,61 (Виражений хронічний або гострий стрес):* Спостерігається у придонних шарах ставків (зокрема у вирощувальних ставах № 9 та 14) у нічні години через критичне падіння кисню до 1,2–1,8 мг/дм^3, а також восени під час деструкції органіки, коли концентрація амонійного азоту (TAN) досягає 0,45–0,67мг/дм^3, а нітрити (NO_2^-) перевищують ГДК у 3–5 разів.

Висновки до розділу 3.4.

1. *Гідрохімічні чинники ризику:* Комплексний ретроспективний аналіз режиму вирощувальних і нагульних ставків БЕГС (№ 8, 9, 10, 14, 21, 22)

показав, що попри задовільну загальну мінералізацію води річки Рось (350–650 мг/дм³), екосистеми ставків зазнають значних антропогенно-природних навантажень. Головними стресовими чинниками для рибопопуляцій є критичні нічні дефіцити розчиненого кисню (до 1,2–1,8 мг/дм³), лужні зсуви pH до 8,8–9,2 внаслідок інтенсивного фотосинтезу, а також літньо-осінні піки токсичних сполук азоту (TAN та NO_2- вище ГДК у 3–5 разів).

2. Ефективність методики IIS: Застосування Інтегрального індексу стресованості (IIS), що інтегрує гематологічні (еритроцити, гемоглобін) та біохімічні маркери з урахуванням їхніх вагових коефіцієнтів значущості (K_w), довело свою високу інформативність. Вона дозволяє перетворити якісні зміни крові риб на об'єктивні кількісні показники фізіологічного напруження організму.

3. *Диференціація станів за IIS***:** На основі розрахунків виділено три чіткі градації фізіологічного статусу риби у ставах:

- ✓ *Стан гомеостазу (IIS = 0,00–0,25)* — спостерігається у весняний період за оптимальних умов.
- ✓ *Помірний стрес (IIS = 0,26–0,60)* — фіксується влітку в денні години під час інтенсивного «цвітіння» води.
- ✓ *Виражений/гострий стрес (IIS > 0,61)* — виникає в нічні години у придонних шарах та восени під час деструкції органічних решток.

3.5. Розрахунок планованої щільності посадки, відходу (загибелі) та абсолютного/відносного приросту риби.

Для порівняльного розрахунку продукційних показників, планової щільності посадки, відходу та приросту риби за тими ж методологічними підходами Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції (БЕГС), розглянемо ключові види полікультури ставкової аквакультури: Короп звичайний, Білий товстолобик, Строкатий товстолобик та Білий амур.

Для прогнозування продуктивності ставків і моделювання вирощування риби використовувалися такі розрахункові формули та числові параметри:

Основні формули та розрахункові показники

Абсолютний приріст риби (W_{abs}):

$$W_{abs} = W_t - W_0$$

де:

W_t — середня маса риби на кінець періоду вирощування (г);

W_0 — початкова середня маса риби (г).

1. Короп звичайний (Cyprinus carpio)

Початкова маса (W_0): 100 г

Кінцева маса (W_t): 600 г

W_{abs} = 600 - 100 = 500 г

2. Білий товстолобик (Hypophthalmichthys molitrix)

Початкова маса (W_0): 50 г

Кінцева маса (W_t): 750 г

W_{abs} = 750 - 50 = 600 г

3. Строкатий товстолобик (Aristichthys nobilis)

Початкова маса (W_0): 60 г

Кінцева маса (W_t): 900 г

W_{abs} = 900 - 60 = 840 г

4. Білий амур (Ctenopharyngodon idella)

Початкова маса (W_0): 80 г

Кінцева маса (W_t): 800 г

W_{abs} = 800 - 80 = 720 г

Оскільки кожен із цих видів має свої біологічні особливості живлення (фільтратори, макрофітофаги, бентофаги) та по-різному реагує на гідрохімічні стрес-фактори (кисневий режим, pH, сполуки азоту), розрахунки наведено у зведеній таблиці та за ключовими параметрами для кожного виду.

Таблиця 3.5. *Розрахункових показників для риб* [51]

Вид риби	Початкова маса (W_0, г)	Кінцева маса (W_t, г)	Абсолютний приріст (W_{abs}, г)	Відносний приріст (W_{rel}, %)	Коригований відхід (P, %)	Планова щільність посадки (Spl, екз./га) *
Короп (*Cyprinus carpio*)	100	600	500	142,8%	12%	8 523
Білий товстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix*)	50	750	700	175,0%	8%	6 785
Строкатий товстолобик (*Aristichthys nobilis*)	60	900	840	177,4%	10%	5 833
Білий амур (*Ctenopharyngodon idella*)	80	800	720	163,6%	15%	6 521

** Примітка: Розрахунок здійснено за цільовою біомасою риби на кінець сезону B_{target} = 4500 кг/га для кожного виду окремо (або з урахуванням спільного вирощування в полікультурі).*

Особливості розрахунків за видами риб

1. *Короп звичайний (бентофаг):*

- *Специфіка:* Чутливий до дефіциту кисню в придонних шарах (1,2–1,8мг/дм^3) та підвищення рівня амонійного азоту (TAN до 0,67 мг/дм^3 восени).
- *Відхід (P):* 12% (враховує стресове навантаження при донному способі живлення та деструкції органіки).

2. *Білий товстолобик (фітопланктофаг-фільтратор):*

- *Специфіка:* Ефективно споживає дрібний фітопланктон, знижуючи ризик «цвітіння» води та критичного підняття pH до 8,8–9,2 у денні години. Проте чутливий до високих концентрацій нітритів ($NO2^-$).

- *Відхід (P):* 8% (має вищу стійкість до добових коливань кисню завдяки верхнім шарам води, де тримається).

3. *Строкатий товстолобик (зоо- та фітопланктофаг):*

- *Специфіка:* Має вищі темпи росту за рахунок ширшої харчової бази (споживає і фіто-, і зоопланктон). Кінцева маса досягає 900 г за аналогічний період вирощування.
- *Відхід (P):* 10% (з урахуванням адаптації до умов нагульних ставків БЕГС).

4. *Білий амур (макрофітофаг):*

- *Специфіка:* Харчується вищою водною рослинністю. Зростання маси значне (720 г приросту), але чутливий до загального токсичного навантаження водойми під час літніх перегрівів.
- *Відхід (P*): 15% (підвищений показник відходу через специфіку харчування та чутливість до зміни гідрохімічного режиму).

Висновки до розділу 3.5

Оцінка темпів росту та біопродуктивності: Розрахунок абсолютного (W_{abs}) та відносного (W_{rel}) приросту для основних видів риб полікультури (короп звичайний, білий і строкатий товстолобики, білий амур) підтвердив високий біоресурсний потенціал вирощувальних і нагульних ставків БЕГС (№ 8, 9, 10, 14, 21, 22). Найвищі показники абсолютного приросту зафіксовано у строкатого товстолобика (840 г) та білого амура (720 г), що зумовлено специфікою їхнього живлення та ефективним використанням кормової бази водойм.

1. *Корекція показників відходу з урахуванням стрес-факторів***:** Доведено необхідність обов'язкового коригування рівня природної загибелі (P) риби за допомогою математичного моделювання з урахуванням гідрохімічних ризиків (нічні зниження рівня розчиненого кисню до 1,2–1,8 мг/дм^3, підвищення концентрації неіонізованого аміаку NH_3 та нітритів $NO2^-$ вище ГДК). Це дозволяє нівелювати похибки при прогнозуванні виживання рибопопуляцій.
2. *Наукове обґрунтування планової щільності посадки***:** Застосування розробленої моделі розрахунку планової щільності зарибленя (S_{pl}) на основі

цільової біомаси (4500 кг/га) та скоригованого коефіцієнта збереженості забезпечує оптимальне навантаження на екосистеми ставків. Такий підхід запобігає виникненню критичних гіпоксичних станів у придонних шарах у нічні години та гарантує стабільну продуктивність аквакультури в умовах Лісостепу України.

ВИСНОВКИ

На основі проведених комплексних ретроспективних, гідрохімічних, гематологічних та розрахунково-аналітичних досліджень адаптаційних особливостей ставкових риб в умовах Білоцерківської експериментальної гідробіологічної станції (БЕГС) ІГБ НАН України зроблено такі загальні висновки:

1. *Гідрохімічний режим та екологічні ризики ставків***:**

✓ Водопостачання вирощувальних і нагульних ставків (№ 8, 9, 10, 14, 21, 22) здійснюється з річки Рось, вода якої за іонним складом належить до гідрокарбонатного класу групи кальцію із загальною мінералізацією 350–650 мг/дм³, що відповідає нормативним вимогам для аквакультури.

✓ Екосистеми ставків характеризуються значною сезонною та добовою динамікою: активна реакція середовища (pH) коливається від 7,2–8,2 до 8,8–9,2 під час літнього «цвітіння» води. Кисневий режим має амплітуди від пересичення (9,0–12,0 мг/дм³) у світлу частину доби до критичних нічних провалів у придонних шарах до 1,2–1,8 мг/дм³. Концентрації загального амонійного азоту (TAN) зростають до 0,45–0,67 мг/дм³ восени, а в періоди літніх перегрівів зафіксовано локальні піки нітритів (NO_2-), що перевищують рибогосподарські ГДК у 3–5 разів.

2. Фізіолого-гематологічна адаптація та Інтегральний індекс стресованості (IIS):

✓ Зміни гідрохімічних чинників викликають значні перебудови газообміну (зростання дихального коефіцієнта RQ до 1,15–1,25 у нічні години внаслідок переходу на анаеробний гліколіз) та гематологічних показників риб (збільшення кількості еритроцитів і рівня гемоглобіну для компенсації гіпоксії).

✓ Застосування розробленої математичної моделі *Інтегрального індексу стресованості (IIS)* дозволило диференціювати фізіологічний стан рибопопуляцій на три градації: стан гомеостазу / мінімальний стрес (IIS = 0,00–0,25 весною), помірний стрес (IIS = 0,26–0,60 вдень улітку) та виражений/гострий стрес (IIS > 0,61 вночі та восени).

3. Моделювання продукційних показників та щільності посадки:

✓ Розрахунок продукційних характеристик у полікультурі показав високий біоресурсний потенціал ставків: абсолютний приріст (W_{abs}) становить для коропа звичайного 500 г, білого товстолобика — 700 г, строкатого товстолобика — 840 г, білого амура — 720 г.

✓ Математичне моделювання рівня відходу (Р) з урахуванням токсичності неіонізованого аміаку (NH_3) та дефіциту кисню дозволило скоригувати показники загибелі (від 8% у білого товстолобика до 15% у білого амура) та науково обґрунтувати оптимальну планову щільність посадки (S_{pl}) для забезпечення цільової біомаси на рівні 4500 кг/га (короп — 8523 екз./га, білий товстолобик — 6785 екз./га, строкатий товстолобик — 5833 екз./га, білий амур — 6521 екз./га).

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

На основі отриманих результатів досліджень та розрахунково-аналітичного моделювання для рибогосподарських підприємств і ставкових господарств аквакультури рекомендується:

1. *Запровадження системи моніторингу гідрохімічного режиму:* Здійснювати регулярний контроль добової динаміки розчиненого кисню, активної реакції середовища (pH) та концентрацій сполук азоту (TAN, NO_2^-) у критичні літні та осінні періоди з метою попередження заморних явищ і токсичного стресу.

2. *Проведення превентивних аераційних заходів:* У нічні години в періоди інтенсивного «цвітіння» води та високих температур води (понад 24–26 °C) обов'язково застосовувати примусову аерацію у придонних шарах вирощувальних ставків (зокрема у ставах підвищеного ризику № 9, 14, 22) для недопущення падіння концентрації кисню нижче 2,0 мг/дм³.

3. *Оптимізація технологій полікультури та щільності зариблення:* Використовувати розроблені розрахункові моделі планової щільності посадки з урахуванням корекції відходу на токсичність неіонізованого аміаку (NH_3) та кисневий дефіцит, що дозволяє раціонально задіяти природну кормову базу видів-меліораторів (білого та строкатого товстолобиків, білого амура) спільно з коропом без перевантаження екосистеми ставків.

4. *Використання Інтегрального індексу стресованості (IIS):* Задіяти гематологічні маркери (еритроцити, гемоглобін, лейкоцитарний індекс) та розрахунок IIS як експрес-метод ранньої діагностики фізіологічного стану риб задля своєчасного коригування технологічних режимів утримання.

СПИСОК ВИККОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ІНТЕРНЕТ ДЖЕРЕЛ

1. Андрющенко А.І., Алимова С.І. Ставове рибництво: підручник. Київ: Видавничий центр НАУ, 2018. 636 с.

2. Боярин М.В., Нетробчук І.М. Основи гідроекології: теорія й практика: навч. пос. Луцьк: Вежа-Друк, 2016. 364 с.

3. Бузевич І. Ю., Макаренко А. В. Хижий іхтіокомплекс Великобурлуцького водосховища як чинник впливу на виживання посадкового матеріалу рослиноїдних риб // Рибогосподарська наука України. 2020. № 3(53). С. 5—18.

4. Бузевич І. Ю., Третяк О. М. Наукові основи спрямованого формування іхтіофауни дніпровських водосховищ // Проблеми відтворення аборигених видів риб. Черкаси, 2005. С. 213—216.

5. Бурлака В. А., Меленівський О. М. Динаміка затрат корму при вирощуванні цьоголіток коропа // Науково-технічний бюлетень НДЦ біобезпеки та екологічного контролю ресурсів АПК ДДАЕУ. 2016. Вип. 4 (1). С. 56–60.

6. Вербельчук С. П., Вербельчук Т. В., Максименк О. Г. Розробка технології вирощування товарної риби в умовах орендних ставів // Вісник Сумського НАУ. Серія «Тваринництво». 2014. Вип. 2/2 (25). С. 34–38.

7. Водяніцький О.М., Гриневич Н.Є., Хом'як О.А., Присяжнюк Н.М. Вплив фізичних показників води на кількість мікроядер у клітинах ембріонів хижих видів риб // Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. Біла Церква, 2020. Вип. 1 (156). С. 142–149. doi: 10.33245/2310-9270-2020-157-1-142-149

8. Водяніцький О.М., Потрохов О.С., Гриневич Н.Є. Зміна активності ферментів енергетичного обміну ембріонів коропа за дії абіотичних чинників водного середовища // Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. БНАУ, 2016. Вип. 1. С. 9–16.

9. Водяніцький О.М., Потрохов О.С., Зіньковський О.Г. Вплив коливань температурного режиму водойми на ембріональний розвиток білого товстолобика // Рибогосподарська наука України. 2015. Вип. 1. С. 96–107.

10. Водяніцький О.М., Прімачов М.Т., Гриневич Н.Є. Вплив температурного та кисневого режимів водного середовища на виживаність та розвиток коропових риб // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Біологія, біотехнологія, екологія. 2016. Вип. 234. С. 70–78.

11. Глєбова Ю. А., Шкарупа О. В. Розвиток реформ у рибній галузі України // Рибогосподарська наука України. 2017. Вип. 4. С. 7–18.

12. Гончарова О. В. Еколого-фізіологічні параметри організму коропа в полікультурі при зарибленні пониззя Дніпра життєстійкою молоддю // Таврійський науковий вісник. 2022. Вип. 127. С. 348—354. DOI: 10.32851/2226-0099.2022.127.44

13. Гончарова О. В., Параняк Р. П., Гутий Б. В. Функціональний стан організму прісноводних риб за умов впливу абіотичних чинників // Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. 2019. Т. 21, № 90. С. 82—87.

14. Гончарова О. В., Тушницька Н. Й. Фізіологічне обґрунтування використання нетрадиційного методу обробки сировини в аквакультурі // Рибогосподарська наука України. 2018. № 1. С. 54—64.

15. Гринжевський М. В., Пекарський А. В. Оптимізація виробництва продукції аквакультури. Київ : ПоліграфКонсалтинг, 2004. 328 с.

16. Гринжевський М.В., Шерман І.І., Грициняк І.І., Василець С.В., Третяк О.М., Томіленко В.Г. Організація селекційно-племінної роботи в рибництві. Київ : Рибка моя, 2016. 352 с.

17. Грициняк І. І., Христенко Д. С., Котовська Г. О. Науково-методичні аспекти розробки науково-біологічних обґрунтувань та режимів спеціальних товарних рибних господарств (СТРГ) // Агросвіт України. 2012. № 1. С. 29—30.

18. Грициняк І.І. Фермерське рибництво / І. І. Грициняк, М. В. Гринжевський, О. М. Третяк [та ін.]. Київ : Герб, 2008. 556 с.

19. Данильчук Г. А. Вплив технологічних параметрів на рибогосподарські показники цьоголіток // Рибогосподарська наука України. 2019. Вип. 2. С. 70–73.

20. Дехтярьов П. А., Євтушенко М. Ю., Шерман І. М. Фізіологія риб. Київ : Аграрна освіта, 2008. 341 с.

21. Дудник С. В., Євтушенко М. Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування: монографія. Київ : Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.

22. Євтушенко М. Ю. Екологічна фізіологія та біохімія гідробіонтів: навчальний посібник. Київ : Видавничий центр НАУ, 2015. 118 с.

23. Козій О. М. Біомоніторинг постстресових адаптивних змін органів травлення стерляді в умовах замкненого водозабезпечення // Рибогосподарська наука України. 2020. № 3 (53). С. 92—108. DOI: https://doi.org/10.15407/fsu2020.03.092

24. Козій М. С., Шерман І. М., Самойлюк В. В., Матвієнко Н. Н. Загальна гістологія та ембріологія риб. — Херсон, 2016. — 484 с.

25. Кононенко Р. В., Шевченко П. Г., Кондратюк В. М., Кононенко І. С. Інтенсивні технології в аквакультурі: навчальний посібник. Київ, 2016. 410 с.

26. Крушельницька О.В., Лобойко Ю.В., Пукало П.Я., Кравець С.І. Санітарно-гігієнічні дослідження води, ґрунту та корму для риб: навчально-методичний посібник. Львів, 2020. 44 с.

27. Мазуркевич А. Й. та ін. Фізіологія тварин. 2-ге вид., доопрацьоване. Київ : Нова книга, 2012. 424 с.

28. Паламарчук Р. А., Дерень О. В., Качай Г. В. Вплив згодовування амаранту (Amaranthus) на рибницькі та деякі фізіолого-біохімічні показники дволіток коропа // Рибогосподарська наука України. 2016. № 2. С. 73—81.

29. Симон М. Ю., Грициняк І. І., Колесник Н. Л. Рибницько-біологічні показники вирощування ранньої молоді російського осетра за умови введення в його раціон інактивованих пекарських дріжджів // Водні біоресурси та аквакультура. 2020. № 1. С. 73—87.

30. Сондак В. В. Особливості формування стресових ситуацій та ризики виживання аборигенної іхтіофауни в поверхневих водах України // Доп. НАН України. 2008. № 7. С. 191—200.

31. Тімченко В. М. Екологічна гідрологія водойм України: Монографія. Київ : Наук. думка, 2006. 384 с.

32. Трофимчук А. М. Розвиток органічної аквакультури в Європі // Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. Біла Церква, 2018. С. 12–14.

33. Трушева С. С. Гідробіологія: конспект лекцій. Рівне : РВЦ Нац. ун-ту водного господарства та природокористування, 2005. 70 с.

34. Уваєва О. І., Коцюба І. Г. Гідробіологія: навч. пос. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. 196 с.

35. Федоненко О. В. Вплив антропогенних факторів на стан промислової іхтіофауни Запорізького водосховища : автореф. дис. докт. біол. наук : спец. 03.00.16. Одеса, 2010. 34 с.

36. Чемерис В. А., Душка В. І., Максим В. Л. Стан та перспективи розвитку аквакультури в Україні // Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Економічні науки. 2016. Т. 18. № 2. С. 169–175.

37. Шекк П. В. Вплив абіотичних і біотичних чинників на ранній онтогенез кефалевих і камбалових риб при штучному відтворенні // Вісник НУВГП. Сер.: Сільськогосподарські науки. 2014. Вип. 2. С. 170–182.

38. Шерман І. М., Євтушенко М. Ю. Теоретичні основи рибництва: підручник. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. 484 с.

39. Щербак В. І. Інтегроване управління водними ресурсами: навчальний посібник. Київ, 2015. 379 с.

40. Щербуха А. Я. Іхтіофауна України у ретроспективі та сучасні проблеми збереження її різноманіття // Вестн. зоол. – 2004. – Т. 38 (3). – С. 3–18.

41. Atanasov V., Staykov J., Petkov G. Hydrobionts. Indicators for pollution of aquatic ecosystems // Handbook of Applied Ecology. Stara Zagora, Bulgaria, 2011. 318 p.

42. Barcellos L. J. et al. Plasmatic levels of cortisol in the response to acute stress in Nile tilapia, Oreochromis niloticus (L.), previously exposed to chronic stress // Aquaculture Research. 1999. Vol. 30 (6). P. 437—444.

43. Dobrianska O. P., Zabytivskyi Y. M., Deren O. V. Digestibility of productive carp feeds under the effect of mannan oligosaccharide // AACL Bioflux. 2021. Vol. 14 (4). P. 2021—2026.

44. Farombi E., Adelowo O., Ajimoko Y. Biomarkers of oxidative stress and heavy metal levels as indicators of environmental pollution in African Cat fish (Clarias gariepinus) from Nigeria ogun river // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2007. № 4. P. 158—165.

45. Guerriero G., Garcia G. Stress biomarkers and reproduction in fish // Fish environ. 2018. Vol. 2. P. 665—692.

46. Honcharova O. V. et al. Biological substantiation of improvement of biotechnological map of production of aquaculture products «eco-direction» // Ukrainian Journal of Ecology. 2020. Vol. 10 (1). P. 261—266. DOI 10.15421/2020_41

47. Hoseinifar S. H., Dadar M., Ringø E. Modulation of nutrient digestibility and digestive enzyme activities in aquatic animals: the functional feed additives scenario // Aquac. Res. 2017. Vol. 48. P. 3987—4000.

48. Korzhov Ye., Honcharova O. Actual problems of natural sciences: modern scientific discussions : Collective monograph. Riga : Baltija Publishing, 2020. 684 p.

49. Ringo E. et al. Prebiotics in aquaculture: a review // Aquaculture Nutrition. 2010. Vol. 16. P. 117—136.

50. Zaykov N. A. Aquaculture. Principles and Technologies. Sofia, Bulgaria : Cabri, 2008. 376 p.

51. Джерело: складене автором із використанням інструментів штучного інтелекту Nano Banana 2 (Рис.4,5,6,7), Gemini (Таблиці 3.2,3.3,3.4,3.5), Excel (Діаграми 3.2,3.3,3.4).

ДОДАТОК А



Рис 8 . Перенесення риби з літніх ставків до зимових



Рис.9. Забір крові на аналізи