

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет ветеринарної медицини

Кафедра біоресурсів, тваринництва та аквакультури

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

СТАДНИК ВОЛОДИМИР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 639.3.083:575.224(043.3)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**АНАЛІЗ УМОВ УТРИМАННЯ ТА РОЗВЕДЕННЯ ТРАНСГЕННОГО
ДАНІО-РЕРІО GLOFISH (DANIO RERIO GLOFISH) В УМОВАХ
ДЕКОРАТИВНОГО АКВАРІУМА**

207 «Водні біоресурси та аквакультура»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
Володимир СТАДНИК

**Керівник роботи:
Дмитро ВИСКУШЕНКО,
кандидат біол. наук, доцент**

Житомир – 2025

Висновок кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури

за результатами попереднього захисту:

Протокол засідання кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури
№ __ від «__» _____ 2025 р.

Завідувач кафедри біоресурсів, тваринництва

та аквакультури

Діна ЛІСОГУРСЬКА

«__» _____ 2025 р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти **Володимир СТАДНИК** захистив кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за шкалою ECTS _____

за національною шкалою _____

Секретар ЕК

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Стадник В.О. Аналіз умов утримання та розведення трансгенного даніо-реріо GloFish (*Danio rerio* GloFish) в умовах декоративного акваріума. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 207 «Водні біоресурси та аквакультура». – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У роботі досліджено біологічні особливості утримання та розведення *Danio rerio* GloFish — генетично модифікованої форми акваріумних риб із флуоресцентним забарвленням. Встановлено, що найкращі результати репродукції досягаються за температури води 25–27 °C, pH 6,8–7,2 і жорсткості 6–8 °dH. За таких умов відзначено високу активність нересту, короткий інкубаційний період (30–36 годин) і виживаність личинок до 90%.

Ключові слова: *Danio rerio*, GloFish, акваріумне рибництво, трансгенні риби, нерест.

ANNOTATION

Stadnik V.O. Analysis of the conditions for keeping and breeding transgenic zebrafish GloFish (*Danio rerio* GloFish) in a decorative aquarium. – Qualification paper manuscript copyrights.

Qualification work for obtaining a Bachelor's degree in the specialty 207 «Aquatic Bioresources and Aquaculture». – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

This paper explores the biological aspects of keeping and breeding *Danio rerio* GloFish, a genetically modified aquarium fish with fluorescent coloration. It was found that optimal reproduction occurs at a water temperature of 25–27 °C, pH 6.8–7.2, and hardness of 6–8 °dH. Under these conditions, high spawning activity, a short incubation period (30–36 hours), and larval survival of up to 90% were recorded.

Key words: *Danio rerio*, GloFish, ornamental fish farming, transgenic fish, spawning.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	5
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	7
1.1. Стан вивчення трансгенних форм <i>Danio rerio</i> у світовій і вітчизняній акваріумістиці	7
1.2. Біологічні та генетичні передумови для використання даніо-періо GloFish в акваріумному рибництві	9
2. МАТЕРІАЛ, МЕТОДИКА, МІСЦЕ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	12
2.1. Характеристика об'єкта дослідження та умов утримання в акваріумі	12
2.2. Методичні підходи до вивчення розмноження та раннього розвитку потомства	15
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	19
3.1. Вплив факторів водного середовища на інтенсивність нересту та виживаність личинок	19
3.2. Динаміка росту молоді даніо-періо GloFish та формування у них флуоресцентних ознак	21
ВИСНОВКИ	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	27

ВСТУП

Останні десятиліття характеризуються стрімким розвитком акваріумістики, що перетворилася з елементу хобі на окремий напрям у декоративному рибистві. Водночас, інтенсивне впровадження біотехнологій у галузь акваріумного розведення сприяло появі нових генетично модифікованих форм риб, які відзначаються не лише високою декоративністю, але й перспективністю для наукових досліджень [4]. Одним із яскравих прикладів цього є *Danio rerio* GloFish – трансгенна форма популярного представника родини *Cyprinidae*, яка була отримана шляхом інтеграції до геному фрагментів ДНК, відповідальних за флуоресценцію [7].

Завдяки яскравому та стабільному забарвленню, що проявляється у різних кольорових варіаціях (від червоного до зеленого і синього), даніо реріо GloFish здобули широку популярність серед акваріумістів у всьому світі. Однак, на відміну від класичних форм *Danio rerio*, особливості біології трансгенних риб залишаються недостатньо вивченими, особливо у контексті їх утримання та відтворення в умовах декоративного акваріума [5].

Актуальність теми зумовлена потребою в удосконаленні технологій розведення даніо реріо GloFish з урахуванням їх специфіки як трансгенних організмів, а також необхідністю створення чітких рекомендацій для практичного застосування у сфері декоративного рибиства.

Метою роботи є з'ясування особливостей утримання та біології розмноження *Danio rerio* GloFish в умовах декоративного акваріума, визначення оптимальних параметрів водного середовища для стимуляції нересту та аналіз життєздатності личинок.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначено такі **завдання**:

- ✓ охарактеризувати умови утримання статевозрілих особин *Danio rerio* GloFish;
- ✓ дослідити ефективність нересту за різних біотичних і абіотичних параметрів;
- ✓ встановити тривалість інкубації ікри та рівень виживаності личинок;

✓ проаналізувати динаміку росту мальків і формування флуоресцентного забарвлення.

Об'єктом дослідження виступали статевозрілі трансгенні риби *Danio rerio* GloFish віком 5–6 місяців.

Предмет дослідження: процеси репродукції, інкубації ікри та раннього постембріонального розвитку потомства в контрольованому середовищі.

Методи дослідження. У дослідженні застосовано низку методів, зокрема спостереження, порівняльний аналіз, візуальну оцінку життєдіяльності потомства, біометричні вимірювання та опис морфофізіологічних ознак. Також використовувались методи кількісного обліку ікри та личинок, визначення виживаності та виведення середніх показників росту.

Перелік публікацій автора за темою дослідження.

Стадник В.О. Біологічні аспекти розведення даніо реріо GLOFISH в умовах акваріумного середовища. ЕКОЛОГІЯ. НАУКА. ПРАКТИКА-2025 : мат. XXI Всеукр. наук.-практ. конф. Житомир : Поліський національний університет, 2025. С. 94-96

Вискушенко Д.А., Салаяєв Б.К., Стадник В.О. Особливості утримання декоративних риб GLOFISH в домашньому акваріумі. ЕКОЛОГІЯ. НАУКА. ПРАКТИКА-2025 : мат. XXI Всеукр. наук.-практ. конф. Житомир : Поліський національний університет, 2025. С. 77-80

Практичне значення роботи полягає у розробці прикладних рекомендацій щодо ефективного утримання і розведення *Danio rerio* GloFish у неволі. Встановлені залежності між параметрами середовища і показниками репродуктивної активності можуть бути використані акваріумістами, біотехнологами та фахівцями у сфері декоративного рибництва для підвищення продуктивності та якості потомства.

Структура та обсяг роботи. Робота викладена на 30 сторінках комп'ютерного тексту, кількість таблиць – 2, кількість рисунків – 4. Список використаної літератури – 40 джерел.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Стан вивчення трансгенних форм *Danio rerio* у світовій і вітчизняній акваріумістиці.

Упродовж останніх двох десятиліть трансгенні форми *Danio rerio*, відомі під комерційною назвою GloFish, стали об'єктом підвищеної уваги як у науковій спільноті, так і серед аматорів декоративного рибицтва. Їхня популярність зумовлена не лише унікальним зовнішнім виглядом, а й широкими можливостями для експериментального моделювання в генетиці, екотоксикології та біотехнології. Однак системні підходи до вивчення умов їхнього утримання, репродукції та вирощування досі перебувають на стадії становлення, що створює певні труднощі у впровадженні ефективних технологій розведення в практику акваріумістики.

На світовому рівні перші трансгенні форми *Danio rerio* були отримані на початку 2000-х років в рамках міждисциплінарного проєкту, що об'єднував молекулярну біологію, генну інженерію та акваріумне рибицтво. Одним із ключових моментів стало впровадження генів флуоресцентних білків (наприклад, GFP – green fluorescent protein) у геном риби з метою виявлення впливу забруднення водного середовища або для візуалізації клітинних процесів [33, 34]. Пізніше ці ж технології були адаптовані для комерційного використання, і вже у 2003 році GloFish офіційно з'явилися у продажу в США, ставши першими генетично модифікованими тваринами, дозволеними до розповсюдження у роздрібній торгівлі [8].

Інтерес науковців до цих організмів швидко зріс. У багатьох дослідницьких центрах США, Китаю, Сінгапуру, Німеччини та Ізраїлю було проведено низку експериментів, пов'язаних із вивченням впливу трансгенів на розвиток, поведінку, відтворення і стійкість до факторів навколишнього середовища. Зокрема, встановлено, що за умови збереження стабільного

генетичного фону та відсутності впливу мутагенних агентів, флуоресцентна ознака є стійкою й передається у спадок згідно з законами Менделя [27]. Разом з тим, надмірне освітлення, коливання температури та інтенсивне схрещування між особинами різних кольорових форм можуть призводити до часткового пригнічення або втрати флуоресценції в наступних поколіннях.

Варто відзначити, що поряд з вивченням морфо-фізіологічних особливостей трансгенних даніо, багато авторів приділяють увагу етичним і біоекологічним аспектам їхнього використання. Досі точаться дискусії щодо безпеки випуску таких риб у природні водойми, хоча виробники GloFish стверджують, що ці форми не здатні до тривалого виживання у дикій природі й не становлять загрози для аборигенної іхтіофауни [38].

У вітчизняній науці трансгенні *Danio rerio* почали вивчатися дещо пізніше, переважно як модельний об'єкт для лабораторних досліджень. Науковці з вищих навчальних закладах України останніми роками оприлюднюють окремі наукові публікації та кваліфікаційні роботи, присвячені вивченню адаптаційних механізмів GloFish, їхній поведінці у груповому середовищі, а також специфіці репродуктивних процесів у неволі. З огляду на обмеженість спеціалізованої літератури українською мовою, більшість дослідників спирається на закордонні джерела та практичний досвід.

Особливо актуальним є питання адаптації технологій утримання до умов пересічного акваріума. У наукових колах визнається, що стандартні підходи, ефективні для звичайних даніо, не завжди підходять для GloFish, особливо у фазі ембріонального розвитку та інтенсивного росту молоді. Тому з'являється тенденція до створення експериментальних методик розведення з урахуванням кольорової форми, віку плідників, складу кормів та якості води.

Одним із перспективних напрямів дослідження є також селекційна робота, спрямована на отримання нових варіантів флуоресцентного забарвлення та стійкіших до зовнішніх впливів форм. У цьому контексті

Danio rerio GloFish можуть виступати не лише як об'єкти для декору, але й як платформи для апробації нових підходів у рибницькій біотехнології.

Таким чином, у світовій акваріумістиці трансгенні форми *Danio rerio* вже набули чіткого статусу як інноваційних декоративних об'єктів із високою адаптивністю, а у вітчизняній сфері лише формується комплексне бачення їхнього розведення. Водночас потенціал використання GloFish в освітній та науково-дослідній діяльності є значним, що вимагає подальших глибоких досліджень у галузі акваріумної гідробіології.

1.2. Біологічні та генетичні передумови для використання даніо-періо GloFish в акваріумному рибництві.

Трансгенні організми дедалі частіше стають об'єктами уваги як науковців, так і практиків, що працюють у сфері акваріумного рибництва. З-поміж численних об'єктів біотехнологічної модифікації особливе місце посідає *Danio rerio*, який став основою для створення флуоресцентних ліній GloFish. Ці риби є продуктом спрямованого генетичного втручання, що передбачає вбудовування у геном специфічних флуоресцентних білків, отриманих переважно з медуз (*Aequorea victoria*) або коралів (*Discosoma sp.*), і візуалізуються завдяки ультрафіолетовому чи синьому освітленню. Від моменту появи перших GloFish у 2003 році їх біологічні та поведінкові характеристики стали предметом численних досліджень, особливо у контексті можливості стабільного розмноження в умовах штучного середовища [40].

Біологічні особливості *Danio rerio*, зокрема їх невибагливість, короткий життєвий цикл, висока плодючість та яскраво виражена поведінка при нересті, стали важливими передумовами для їх використання як моделі в генетичних експериментах і комерційному біотехнологічному виробництві [26, 32]. Успішна інкорпорація трансгенних конструкцій до геному цих риб зумовлена також високим рівнем регенеративної здатності клітин зародків

Danio rerio, що забезпечує ефективне експресування чужорідного гену без значного порушення фізіологічних процесів.

З генетичної точки зору, флуоресценція у GloFish є результатом стабільної інтеграції трансгену в соматичні та гермінативні клітини, що гарантує спадкову передачу ознаки протягом кількох поколінь [35]. Це дозволяє не лише формувати постійні селекційні лінії, але й здійснювати контрольоване розведення в умовах акваріумного господарства [37]. У комерційній практиці це дає змогу гарантувати стабільність фенотипу та прогнозованість результатів схрещування.

Окрім яскравої зовнішності, яка є головним чинником привабливості для акваріумістів-аматорів, важливою перевагою GloFish є відсутність суттєвих змін у базових фізіолого-біологічних параметрах у порівнянні з природними формами *Danio rerio* [25]. Дослідження не виявили статистично значущої різниці у темпах росту, тривалості життя, репродуктивній здатності чи показниках виживаності мальків. Це дозволяє застосовувати наявні рибницькі технології без необхідності суттєвих адаптацій або створення спеціалізованих умов.

У світлі сучасних досліджень, трансгенні форми *Danio rerio* розглядаються також як перспективний об'єкт для подальшого функціонального моделювання [15], у тому числі для моніторингу якості водного середовища, дослідження токсикологічних ефектів, аналізу експресії генів та розробки нових підходів у біоіндикації. Утім, попри зростаючу кількість публікацій, вітчизняна акваріумістика все ще недостатньо активно інтегрує такі біотехнологічні форми, що частково пов'язано з обмеженим доступом до якісного племінного матеріалу, відсутністю спеціалізованих методичних напрацювань і стриманим ставленням до трансгенних організмів у суспільстві.

Слід також зазначити, що створення та підтримання флуоресцентного фенотипу вимагає високої стабільності трансгену, що ставить перед рибоводами завдання постійного контролю якості та моніторингу

генетичного фону популяцій. У ряді випадків при схрещуванні GloFish з дикотиповими формами відзначено появу часткової втрати флуоресценції у потомства, що вказує на необхідність ведення розведення в межах чистих ліній.

Отже, біологічні та генетичні характеристики даніо-репіо GloFish відкривають широкі можливості для їх ефективного використання в умовах акваріумного рибництва. Поєднання естетичної привабливості, спадкової стабільності ознак та адаптованості до стандартних умов утримання робить ці риби перспективним об'єктом для подальшої інтеграції у технологічні процеси декоративного рибництва, з урахуванням етичних, екологічних і правових аспектів.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛ, МЕТОДИКА, МІСЦЕ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика об'єкта дослідження та умов утримання в акваріумі.

Об'єктом дослідження у даній роботі є трансгенна форма прісноводної риби даніо-реріо (*Danio rerio*), відома під комерційною назвою GloFish. Ці риби є яскравим прикладом застосування генної інженерії в декоративному акваріумному рибництві, адже завдяки вбудованим у їх геном флуоресцентним білкам, вони демонструють стійке світіння у видимому спектрі [39]. Така властивість робить їх не лише привабливими з естетичної точки зору, а й зручними для вивчення фізіологічних та поведінкових характеристик у лабораторних і напівприродних умовах [23, 36].



Рис. 2.1.1. Транспортування даніо реріо GloFish

Основою для створення трансгенних форм послужив природний вид *Danio rerio*, який належить до родини *Cyprinidae* і походить з Південно-Східної Азії, зокрема з водойм Індії, Пакистану, Непалу, Бангладешу та М'янми [28, 29]. У природному середовищі даніо мешкають у повільно текучих або стоячих водоймах із густою рослинністю, де утворюють великі

зграйні скупчення [19]. Вони характеризуються високою екологічною пластичністю, швидким ростом, ранньою статевую зрілістю (у 3–4 місяці) та порівняно невибагливістю до умов утримання.

Даніо rerіо GloFish зберігають основні біологічні ознаки даніо-rerіо, але відрізняються кольоровими варіаціями, зумовленими наявністю генів флуоресценції. Найпоширенішими є особини з червоним, зеленим, синім, жовтим та помаранчевим світінням, що забезпечується експресією білків GFP (green fluorescent protein), RFP (red fluorescent protein) та їх похідних. Важливо зазначити, що ці білки вбудовані у геном риб на стадії ембріонального розвитку, тому успадковуються наступними поколіннями, забезпечуючи стабільність фенотипу.



Рис. 2.1.2. Тест-смужки для вимірювання жорсткості (А) та рН (Б) водного середовища

У рамках нашого дослідження використовувалися статевозрілі особини віком 5-6 місяців, середньою довжиною тіла 3,2-3,5 см (рис. 2.1.1). Співвідношення самців і самок у зграї становило приблизно 1:1 [30]. Попри генетичну модифікацію, ці риби не демонстрували жодних відхилень у поведінці чи морфології, що могло би свідчити про негативний вплив трансгенних вставок. Їхня активність, апетит і здатність до нересту перебували в межах норми, прийнятої для виду.

Утримання риб здійснювалося в акваріумах об'ємом 60 літрів,

обладнаних фільтраційною системою, які забезпечувала фільтрацію та аерацію, обігрівачем із терморегулятором та джерелом освітлення [1, 2]. Температурний режим підтримувався в межах 25–27 °C, що відповідає оптимальним умовам для репродуктивної активності даніо [6]. Реакція води була слабкокислою або нейтральною (рН 6,8-7,2), а загальна жорсткість: 6-8 °dH (рис. 2.1.2) [11, 12]. Аерація здійснювалася постійно, з помірною інтенсивністю, аби уникнути застійних зон та забезпечити рівномірне насичення води киснем [24].

Для оформлення акваріума використовувалися живі рослини (яванський мох, роголистник, валіснерія спіральна, декілька видів ехінодорусів), які виконували як декоративну, так і практичну функцію: служили укриттям, зменшували стрес у риб та стабілізували якість води. Дно вкривалося дрібним ґравієм (фракція 1–3 мм), що дозволяло забезпечити ефективний дренаж органічних залишків. Освітлення підтримувалося на рівні 10-12 годин на добу, з урахуванням того, що надмірна світлова експозиція у перші тижні життя мальків може негативно вплинути на їхній розвиток [16].

Годування риб проводилося двічі на день: вранці та ввечері. Для живлення використовувалися комбіновані раціони: сухі гранульовані та пластівчасті корми, а також заморожені (мотиль, дафнія, артемія). Такий підхід забезпечував збалансованість харчування, що позитивно позначалося на загальному фізіологічному стані та репродуктивних параметрах. Протягом усього періоду утримання здійснювався щотижневий частковий водообмін (25-30%) з підготовленою відстояною водою тієї ж температури, що й в акваріумі.

Особливу увагу в процесі утримання GloFish приділяли уникненню стресових чинників. Раптові зміни температури, коливання рівня рН, надмірний шум або рух поблизу акваріума здатні викликати порушення нерестового циклу, зниження апетиту або агресивну поведінку в зграї. Усі ці фактори враховувалися під час підготовки до дослідів, а також при

формуванні груп для розведення.

Таким чином, комплекс умов утримання був підібраний з урахуванням як загальних біологічних потреб даніо-реріо, так і специфічних вимог до підтримання стабільного стану трансгенних особин. Створене середовище дозволило забезпечити риbam комфорт, підтримувати їх високу життєздатність та ефективно реалізовувати репродуктивний потенціал у процесі досліджень.

2.2. Методичні підходи до вивчення розмноження та раннього розвитку потомства.

Дослідження репродуктивної біології трансгенних форм *Danio rerio* потребує застосування чітко структурованих методичних підходів, які дозволяють фіксувати динаміку нерестової активності, кількісні та якісні показники ікри, процеси ембріогенезу та виживаності личинок. Основна увага у роботі зосереджувалася на етапах підготовки плідників, організації нересту, інкубації ікри, а також моніторингу розвитку зародків і мальків до стадії вільного плавання (табл. 2.2.1).

Перед початком експериментальної частини здійснювався відбір здорових, активних статевозрілих особин даніо реріо GloFish, вік яких становив 5–6 місяців [20]. Критеріями для вибору служили зовнішній вигляд (відсутність деформацій, рівномірність флуоресценції), поведінкові ознаки (реакція на подразники, зграйність, апетит), а також попередні спостереження за репродуктивною активністю. Риби утримувалися в окремому акваріумі за стандартними умовами (t 25-27 °C, pH 6,8-7,2, GH 6-8°dH) протягом 7-10 днів із поступовою адаптацією до годівлі живими кормами (мотиль, артемія), що стимулює нерестову поведінку.

Таблиця 2.2.1

Етапи дослідження розмноження даніо rerіо GloFish

Етап дослідження	Зміст і методи	Примітки
1. Підготовка особин до нересту	Вибір статевозрілих самців і самок; ізоляція; інтенсивна годівля живими та замороженими кормами	Тривалість: 7-10 діб
2. Формування нерестових пар/груп	Визначення співвідношення статей (1:2 або 2:2); перенесення в окремі акваріуми	Враховується активність і зовнішній стан риб
3. Організація нересту	Використання сітки або рослин як субстрату; поступове підвищення температури до 26-28 °С	Освітлення: м'яке; тривалість: 12-14 годин
4. Вилучення ікри та інкубація	Збір ікри; перенесення в інкубатор; контроль за температурою (26-28 °С) і аерацією	Уникати зараження грибком: використовували метиленовий синій
5. Оцінка виводимості та життєздатності личинок	Підрахунок вилуплених личинок; спостереження за активністю, плаванням, реакцією на подразники	Протоколювання кількісних та якісних показників
6. Первинне годування та умови стартового вирощування	Початок годівлі інфузоріями; контроль якості води	Параметри: t 26 °С, рН 6.8-7.2, NO ₂ ⁻ < 0.1 мг/л
7. Аналіз виживаності та росту	Підрахунок загиблих особин; вимірювання довжини тіла на 3, 7, 14 добу	Статистична обробка результатів

Для стимуляції нересту використовувалися класичні скляні

нерестовики об'ємом 10-15 літрів, заповнені на $\frac{2}{3}$ об'єму підготовленою водою з температурою 26-27 °C. На дні розміщувалися роздільні сітки або яванський мох, що запобігає поїданню ікри плідниками. Нерест відбувався уранці, після перенесення пар або трійок риб (1 самець на 2 самки) у нерестовики ввечері попереднього дня. Риби перебували у нерестовому резервуарі протягом 12-16 годин під контролем освітлення (світловий день тривав 12 годин).

Спостереження за нерестовою поведінкою здійснювалося візуально: фіксувалися ознаки залицяння (пресинг самця до черевця самки, коливальні рухи), активність риб, час початку та тривалість викиду ікри. Ікра данію реріо GloFish, як і у природної форми *D. rerio*, є демерсальною та не клейкою: вона осідає на дно і має напівпрозору оболонку. Відразу після нересту плідники вилучалися з нерестовика для запобігання поїданню ікри.

Інкубація здійснювалася у тих же резервуарах, що й нерест, із заміною частини води (до 50%) для покращення кисневого режиму. Аерація підтримувалася на середньому рівні [21]. Для запобігання розвитку грибкових уражень у перші 24 години до води додавали метиленовий синій (1 крапля на 1 літр). Щодня проводилася візуальна оцінка ікри на предмет прозорості, ознак дроблення та розвитку зародків.

Фіксація термінів ембріонального розвитку проводилася на основі морфологічних ознак. Особливу увагу приділяли спостереженням за поведінкою личинок у перші дні після вилуплення. Відзначалися ознаки нормального розвитку: орієнтація в просторі, реакція на світло, перші рухи тіла, початок живлення. Стартове годування проводилося на третю-четверту добу після вилуплення живою мікрофауною (інфузорії, артемія науплії). Також у частині дослідів використовувався штучний мікрокорм із високим вмістом білка (понад 50%), що забезпечував добрі результати виживаності на ранніх стадіях.

Для орієнтовного визначення маси тіла мальків *Danio rerio* GloFish у напіваматорських умовах було застосовано метод групового зважування.

Суть підходу полягала у тому, що певна кількість мальків (наприклад, 20 або 30 особин) тимчасово відсідалися в невелику пластикову ємність без води (або з мінімальною кількістю води для запобігання зневодненню) і зважувалися на точних вагах. Після цього зважувалась порожня ємність, а її маса віднімалась від загальної. Отриману різницю ділили на кількість мальків, що дозволяло обчислити середню масу однієї особини. Цей метод є простим у реалізації, не потребує складного обладнання і забезпечує прийнятну точність для цілей порівняльного аналізу динаміки росту.

Для обліку виживаності мальків проводився щоденний підрахунок особин за допомогою ручного підрахункового пристрою. Мальки переносилися у вирощувальні резервуари через 5–7 діб після вилуплення, де утримувалися в групах по 30-50 особин. Відсоток виживаності на 7 добу після вилуплення вважався критерієм ефективності обраних методів інкубації та стартового годування.

Методологія, яка застосовувалася у роботі, дозволила всебічно охарактеризувати ключові етапи розмноження та раннього постембріонального розвитку *Danio rerio* GloFish. Використання класичних акваріумних методів у поєднанні з сучасними інструментами спостереження забезпечило достовірність отриманих результатів та можливість відтворення експерименту в майбутніх дослідженнях.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Вплив факторів водного середовища на інтенсивність нересту та виживаність личинок.

Нерестова активність та ранні етапи онтогенезу прісноводних риб, зокрема трансгенних форм *Danio rerio* GloFish, є вкрай чутливими до параметрів водного середовища [22]. В умовах декоративного акваріумного розведення, де часто відбувається маніпулювання температурним режимом, аерацією та складом води, саме контроль за гідрохімічними показниками є визначальним чинником успішного відтворення.

Одним із найвагоміших параметрів, що впливають на інтенсивність нересту, є температура води [9, 10]. Для індукції нересту в *Danio rerio* GloFish ефективним виявився температурний режим у межах 26-28 °C, що імітує природне підвищення температури в сезон дощів, характерне для ареалу походження вихідного виду. Зниження температури до 22-24 °C або її коливання на 2-3 °C протягом доби помітно зменшує частоту парування та кількість відкладеної ікри. У дослідженнях було підтверджено, що при стабільному температурному фоні (27 °C $\pm$ 0,5) самки відкладають на 20-25% більше ікринок у порівнянні з умовами незначної термальної нестабільності.

Другим критично важливим чинником є рівень рН [13]. Для успішного нересту та інкубації ікри оптимальним вважаємо рН у межах 6,8-7,2 (рис. 3.1.1). Кисле середовище (рН < 6,5) спричиняє дегенеративні зміни на рівні ембріональних клітин, тоді як лужне середовище (рН > 7,5) порушує проникність оболонки ікри, що сприяє передчасному набухання і загибелі ембріонів. У ході експериментальних спостережень було виявлено, що відхилення рН від оптимальних значень навіть на 0,5 одиниці супроводжувалося зниженням виживаності личинок на 15-18%.

Важливою умовою ембріонального розвитку є також рівень розчиненого кисню у воді. Для *Danio rerio* GloFish критично необхідним є рівень не менше ніж 6 мг/л. За умови недостатньої аерації в інкубаційних ємностях знижується швидкість розвитку зародків, підвищується частота деформацій та вроджених аномалій. Наявність помірної фільтрації з одночасною поверхневою аерацією забезпечувала найвищу життєздатність ембріонів (до 92%) та синхронність вилуплення.

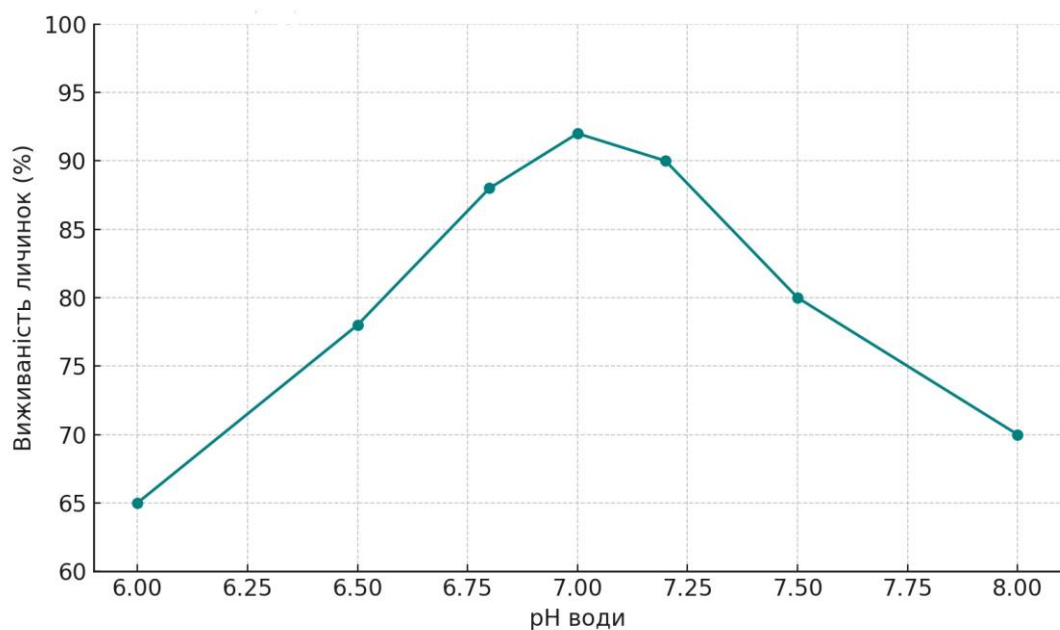


Рис. 3.1.1. Залежність виживаності личинок даніо-періо GloFish від pH водного середовища.

Особливу увагу у дослідженнях було приділено жорсткості води. При загальній жорсткості 4-6 °dH було зафіксовано найвищу ікрививідність і життєздатність личинок. Висока жорсткість (понад 10 °dH) ускладнювала процес запліднення і впливала на проникність оболонок ікри. У цьому контексті доцільним є використання осмотично відфільтрованої або кондиціонованої води з додаванням мінеральних солей у контрольованих кількостях.

Світловий режим також виявився вагомим чинником, що регулює нерестову активність. Найбільш сприятливим є режим 12-14 годин помірного розсіяного освітлення. Надлишкове освітлення або його коливання у денному циклі знижували показники парування, а також могли спричинити передчасну активацію ікри без успішного запліднення.

Таким чином, отримані результати підтверджують високий ступінь залежності репродуктивних процесів *Danio rerio* GloFish від комплексу фізико-хімічних параметрів води. Оптимізація умов за такими показниками, як температура, рН, вміст розчиненого кисню, рівень токсичних сполук та світловий режим, є ключовою умовою успішного розведення трансгенних форм у штучному середовищі. Результати також підкреслюють доцільність використання систем біофільтрації, постійного моніторингу показників води та автоматизованих систем контролю в умовах як аматорського, так і комерційного акваріумного рибництва.

3.2. Динаміка росту молоді даніо-реріо GloFish та формування у них флуоресцентних ознак.

Особливості росту молоді трансгенних форм *Danio rerio* та розвиток у них флуоресцентного фенотипу є однією з ключових складових при оцінці біологічної та селекційної цінності цих риб у системі акваріумного рибництва. Вивчення цих аспектів дозволяє встановити оптимальні умови вирощування, спрямовані як на забезпечення високих темпів росту, так і на стабільну експресію трансгенних ознак, які є головною комерційною перевагою GloFish.

На ранніх етапах постембріонального розвитку, молодь *Danio rerio* характеризується інтенсивними темпами росту, що є типовим для виду і не змінюється суттєво у трансгенних форм. Проте вже з 5-7 доби після вилуплення спостерігається поява перших ознак флуоресценції, які стають більш вираженими при досягненні розміру тіла понад 6 мм. Як свідчать

результати власних досліджень та доступні наукові джерела, початкова експресія флуоресцентного білка (наприклад, GFP або RFP залежно від лінії) починається у мезенхімальних тканинах, зокрема у хвостовій частині, з подальшим поширенням по тілу.

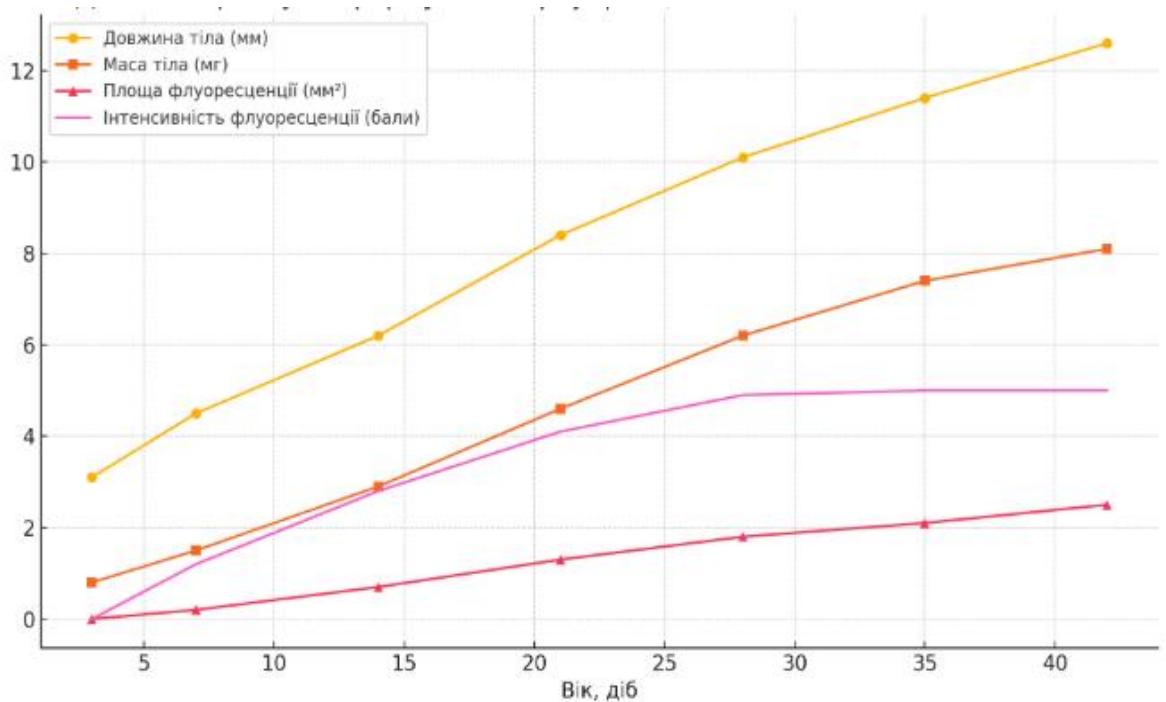


Рис. 3.2.1. Динаміка росту та формування флуоресцентних ознак *Danio rerio* GloFish

Формування флуоресцентного фенотипу є безпосередньо пов'язаним із рівнем метаболічної активності, що залежить від зовнішніх умов, таких як температура води, освітлення, рівень насиченості корму білком та каротиноїдами. Встановлено, що за температури 26-28 °C риби досягають довжини тіла 10-12 мм вже до 21 доби після вилуплення. Саме на цьому етапі експресія флуоресцентного білка набуває максимальної інтенсивності, що робить риб придатними для первинного сортування за декоративною ознакою.

У межах проведеного дослідження була побудована графічна модель динаміки росту молоді *Danio rerio* GloFish протягом перших шести тижнів життя. Як свідчать дані (рис. 3.2.1), у перші 10 діб ріст є повільнішим, що

пов'язано з адаптацією до умов навколишнього середовища та переходом на зовнішнє живлення. У подальшому, за умов згодовання стартового корму з високим вмістом білка (артемія, спеціалізовані сухі корми), середньодобовий приріст довжини сягає 0,3-0,4 мм.

У таблиці 3.2.1 наведено основні морфометричні показники розвитку молоді GloFish залежно від віку. Крім абсолютної довжини та маси, у дослідженні враховувалася також площа флуоресценції.

Таблиця 3.2.1

Показники розвитку молоді *Danio rerio* GloFish

Вік, діб	Середня довжина тіла, мм	Площа флуоресценції, мм ²	Інтенсивність флуоресценції* (балів)
3	3,1	-	-
7	4,5	0,2	1,2
14	6,2	0,7	2,8
21	8,4	1,3	4,1
28	10,1	1,8	4,9
35	11,4	2,1	5,0
42	12,6	2,5	5,0

* Інтенсивність флуоресценції оцінювалась за шкалою від 0 (відсутність світіння) до 5 (максимальна яскравість) при стандартному освітленні синім LED-світлом (450–490 нм)

Флуоресцентні ознаки формуються поступово та не є повністю однорідними у всіх представників одного покоління. Це частково пояснюється природною варіативністю в експресії трансгену, а також різним рівнем його інтеграції в геном. Спостерігалися випадки слабо вираженого флуоресценціювання або його асиметрії у риб із меншими темпами росту, що

може свідчити про зв'язок між трофічним статусом та активністю маркерного гена.

Окрему увагу було приділено аналізу впливу світлового режиму на розвиток флуоресценції. Як показали результати експерименту, молодь, яка утримувалася при світловому режимі 12:12 (світло:темрява), мала вираженіший рівень світіння порівняно з групою, яка перебувала в умовах приглушеного світла або постійного затемнення. Це свідчить про фотозалежну регуляцію експресії маркерного білка, ймовірно, на рівні транскрипції або посттрансляційної модифікації.

Таким чином, динаміка росту молоді *Danio rerio* GloFish та формування у них флуоресцентних ознак мають тісний зв'язок з умовами утримання, рівнем забезпеченості кормами та режимами освітлення. Врахування цих факторів у практиці акваріумного рибництва дозволяє досягти високої декоративності потомства та формувати гомогенну популяцію з прогнозованими властивостями.

ВИСНОВКИ

1. *Danio rerio* GloFish є перспективним об'єктом акваріумного рибицтва завдяки своїм декоративним властивостям, невибагливості до умов утримання та здатності до розмноження в неволі. Трансгенні ознаки не порушують основних біологічних функцій, включно з ростом, розмноженням і поведінковими реакціями.
2. Основними біологічними та генетичними передумовами ефективного використання даніо *rerio* GloFish у декоративному рибицтві є стабільна передача флуоресцентного гена у спадок, відсутність вираженої летальності в потомстві, а також синхронність формування зовнішніх ознак із загальним фізіологічним розвитком риб.
3. Нерестова активність *Danio rerio* GloFish значною мірою залежить від параметрів водного середовища, зокрема температури, освітлення та рівня кисню. Оптимальним було визнано температурний діапазон 26-28 °C, середню жорсткість та слабкокислу реакцію середовища. У цих умовах спостерігалася вища частота нересту й краща виживаність личинок.
4. Найефективнішим у напіваматорських умовах виявився метод стимульованого парного нересту, із подальшим перенесенням ікри в інкубаційний акваріум. Для оцінки життєздатності потомства використовували щоденний моніторинг кількості загиблих та виживших особин, а також визначення коефіцієнта виживаності в динаміці.
5. У ході дослідження встановлено, що формування флуоресцентного забарвлення у молоді *Danio rerio* GloFish відбувається поступово, з перших 7-10 діб після інкубації, з чітким візуальним проявом приблизно з 20-25 дня розвитку, коли молодь досягає довжини 7-8 мм. Повне забарвлення формується протягом першого місяця.
6. Темпи росту молоді були стабільними за умови забезпечення належної годівлі, режиму освітлення й підтримки гідрохімічних параметрів. У віці 30

днів мальки досягали маси тіла 8,5-9,1 мг (у середньому), що свідчить про гарну адаптивність трансгенних форм до умов штучного вирощування.

7. Результати дослідження підтверджують доцільність подальшого використання трансгенних форм *Danio rerio* у декоративному рибництві, зокрема в якості моделі для вивчення впливу зовнішніх факторів на онтогенез, а також як об'єкта з високим комерційним потенціалом для акваріумного бізнесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Альдертон Д. Енциклопедія акваріумних та ставкових рибок. Харків: Вид-во «Клуб сімейного дозвілля», 2008. 400 с.
2. Андрощук І.В., Андрощук І.П. Використання екзотичних риб в дизайні. навч. посіб. Тернопіль: Богдан, 2014. 320 с.
3. Астон К., Паркер С. Природа навколо нас. Харків: Книж. клуб, 2007. 64 с.
4. Буднік С. В., Колосок А.М . Акваріуміст-початківець: навчальний посібник . Луцьк : Вежа-Друк, 2016. 156 с.
5. Буднік С. В., Колосок А.М. Основи акваріумістики та аквадизайну: навчальний посібник. Луцьк, 2024. 174 с.
6. Вербицький В. Історія, проблеми, перспективи одомашнення екзотичних риб. К.: СМП «Аверс», 2003. 304 с.
7. Вискушенко Д.А., Максименко Ю.В., Андрійчук Т.В. , Макаревич Л.В. Генетично модифіковані гідробіонти як об'єкти утримання у шкільному акваріумі Current challenges, trends and transformations : proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference. Boston, 2022. С. 413-414.
8. Вискушенко Д. А., Максименко Ю. В., Ткаченко В. В., Вознюк Л. В. Утримання генетично модифікованих акваріумних риб у шкільному акваріумі Multidisciplinary scientific notes. Theory, history and practice : proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference. Edmonton, 2022. С. 465-467
9. Вискушенко Д.А., Саяєв Б.К., Стадник В.О. Особливості утримання декоративних риб GLOFISH в домашньому акваріумі. Виклики сьогодення та наслідки Чорнобильської катастрофи. ЕКОЛОГІЯ. НАУКА. ПРАКТИКА-2025 : матеріали XXI Всеукр. наук.-практ. конф. (24 квітня 2025 року). Житомир : Поліський національний університет, 2025. С. 77-80
10. Гринжевський М. В. Аквакультура України (організаційно-економічні аспекти) К. : Вільна Україна, 1998. 364 с.

11. Дегтярьов П. А., Євтушенко М. Ю., Шерман І. Й. Фізіологія риб : Аграрна освіта, 2008. 341 с.
12. Кононенко Р.В., Кононенко, Кононенко І. С., Мушит С. О. Технічні засоби в аквакультурі: посібник: КОМПРИНТ, 2018. 310 с.
13. Кононцев С.В., Гороховська Ю. Р. Хвороби декоративних риб та шляхи їх поширення. Таврійський науковий вісник, 2011. № 76.. С. 240-246.
14. Куновський Ю.В., Присяжнюк Н.М., Гриневич Н.Є, Михальський О.Р. Біологія об'єктів декоративної аквакультури : Метод. вказівки до виконання практ. робіт. Біла Церква, 2018. 58 с.
15. Мельник О. П., Костюк В. В., Шевченко П. Г. Анатомія риб. підручник К.: Центр учб. літ-ри, 2008. 624 с.
16. Мушит С.О., Панько В. В. Гідрохімічний та гідробіологічний склад, біомаса та чисельність основних груп гідробіонтів. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Сільськогосподарські науки. 2010. Вип. 4 (44). С.133-138.
17. Пентиліук Р.С. Теоретичні основи рибництва Частина II : конспект лекцій. Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2016. 192 с.
18. Рудь М. Акваріум школяра К. : Рад. шк., 1990. 64 с.
19. Романишин Г. Світ акваріуму К. : Урожай, 1989. 160 с.
20. Стадник В.О. Біологічні аспекти розведення даніо rerіо GLOFISH в умовах акваріумного середовища. Виклики сьогодення та наслідки Чорнобильської катастрофи. ЕКОЛОГІЯ. НАУКА. ПРАКТИКА-2025 : матеріали XXI Всеукр. наук.-практ. конф. (24 квітня 2025 року). Житомир : Поліський національний університет, 2025. С. 94-96
21. Ткаченко Д. А., Вискушенко Д. А., Максименко Ю. В. Утримання та розведення даніо rerіо Glo Fish та її вихідної форми. Біологічні дослідження – 2022 : зб. наук. пр. Житомир, 2022. С. 124-126
22. Ткаченко Д. А., Молчанова М. В., Вискушенко Д. А. Утримання та розведення Danіo rerіo (GLO FISH) в умовах акваріуму. Біологічні дослідження – 2021 : зб. наук. пр. - Житомир, 2021. С. 177-178

23. Хвостик, О. П., Вискушенко, Д. А. Акваріумістика як засіб формування природничої компетентності у школярів. Реалізація наступності в природничій освіті: реалії та перспективи: збірник науково-методичних праць. Житомир Видавництво О.О. Євенок, 2018. С. 113-116.
24. Хільчевський В.К., Осадчий В.І, Курило С.М. Основи гідрохімії: підручник. Київ: Ніка-Центр, 2012. 312 с.
25. Чумак І.М. Мешканці акваріума та догляд за ними. Шепетівка, 2013. 48с.
26. Шереметьєв І. Акваріумні рибки К. : Рад. шк., 1988. 115 с.
27. Шерстобаєва К. А., Вискушенко Д. А. Переваги та недоліки утримання тернеції GLO FISH – трансгенної модифікації *Gymnocorymbus ternetzi* (Boulenger, 1895) в акваріумі. Проблеми та перспективи розвитку сучасної біології та біологічної освіти : зб. наук. пр. за матеріалами І Всеукр. наук.-практ. конф. Житомир, 2021. С. 103-104
28. Шевченко П.Г., Пилипенко Ю.В. Основи систематики рибоподібних і риб. Навчальний посібник. Київ, 2016. 230 с.
29. Шевчук Л.М., Вискушенко Д.А. Робочий зошит для лабораторних робіт із систематики Хордових з основами екології. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2022. 121 с.
30. Щапова О.П. Домашній акваріум. Харків: Фолио, 2005. 351 с.
31. Щербуха А. Я. Українська номенклатура іхтіофауни України К. : Зоомузей ННПМ НАН України, 2003. 50 с.
32. Axelrod H.R., Emmens C., et al. Exotic Tropical Fishes, exp. edition, T.F.H. Publications, USA, 1977. 230 p.
33. Ayşe Cebeci1, İlhan Aydın, Anthony Goddard Bigger, stronger, better: Fish transgenesis applications and methods. Biotech Studies, 2021. 29(2). p. 85-97
34. Betancur R. The Tree of Life and a New Classification of Bony Fishes. PLOS Currents Tree of Life. Edition 1, 2013. 211 p.
35. Stewart C., Neal Jr. Go with the glow: Fluorescent proteins to light transgenic organisms. Trends in Biotechnology. Berlin, 2006. 76 p.

36. Animalia – онлайн-енциклопедія тваринного світу [веб-сайт] 2016-2025
URL: <https://animalia.bio/uk> (Дата перегляду: 23.03.2025)
37. Аква-сервіс. Даніо GloFish [веб-сайт] <https://akva-service.com/uk/danio-glofish/> (дата звернення: 28.03.2025)
38. Блог Тетра. Даніо глофіш – сяючі рибки-зебри [веб-сайт]
<https://blog.tetra.net/uk-ua/danio-hlofish-siaiuchi-rybky-zebry> (дата звернення: 22.03.2025)
39. Блог Тетра. Глофіш (GloFish) – фантастичне світіння [веб-сайт]
<https://blog.tetra.net/uk-ua/hlofish-glofish-fantastychne-svitinnia> (дата звернення: 14.04.2025)
40. НБУВ [веб-сайт] 2013-2025 URL: <http://www.nbuv.gov.ua/> (Дата перегляду: 21.04.2025)