

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет агротехнологій та природокористування
Кафедра біотехнології та хімії

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
біотехнології та хімії
_____ **Владислав КОВАЛЕНКО**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за бакалаврським рівнем вищої освіти

**На тему : «БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ІОНІВ
АМОНІЮ У АКВАКУЛЬТУРАХ»**

Виконав: Олександр ШИМЧЕНКО

Група: БІО 2101-2

Науковий керівник: Вікторія ІВЧЕНКО

Рецензент: Вікторія СКЛЯР

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет агротехнологій та природокористування

Кафедра біотехнології та хімії
Освітній ступінь - "Бакалавр"
Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”:
Завідувач кафедри
_____ В.М. Коваленко
" ____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
Шимченко Олександра Петровича
ПІБ студента

1. Тема роботи "Біологічне очищення води від іонів амонію у аквакультурах"
Затверджено наказом по університету від “ ____ ” _____ 2025 р. № _____
2. Керівник кваліфікаційної роботи к.т.н., доцент Івченко В.Д.
3. Строк подання здобувачем роботи _____.
4. Вихідні дані до роботи:

- *місце проведення досліджень:* кафедра біотехнології та хімії
- *методичне забезпечення:* Методичні рекомендації до кваліфікаційної (дипломної) роботи; МВВ №081/12-0106-03, Методика виконання вимірювань масової концентрації амоній-іонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера. Київ, 2003; інструкції з техніки безпеки при роботі в хімічній лабораторії.

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: огляд наукової літератури з обґрунтуванням актуальності теми, підбір методики виконання дослідження, виконання досліджень, формулювання висновків, пропозицій для практичного використання, оформлення списку використаних джерел та додатків.

6. Перелік графічного матеріалу: таблиці з результатами досліджень – 4, рисунки з результатами досліджень – 8.

Керівник роботи _____
підпис

Вікторія ІВЧЕНКО

Завдання прийняв до виконання _____
підпис

Олександр ШИМЧЕНКО

Дата отримання завдання « ____ » _____ 202__ р.

АНОТАЦІЯ

Шимченко О.П. "Біологічне очищення води від іонів амонію у аквакультурах"

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю (162 – Біотехнології та біоінженерія). – Сумський національний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2025.

У дипломній роботі досліджено ефективність біопрепарату «Водограй Чистий Ставок» для біологічного очищення води. Це особливо важливо для водних систем, що страждають від амонійного забруднення, яке стає дедалі гострішою проблемою в аквакультурі через зростаючий вплив глобального потепління.

Мета дослідження полягала у експериментальній оцінці біоремедіаційного потенціалу біопрепарату для біологічного очищення води від амонійного забруднення та з'ясування механізмів його дії.

Отримані результати свідчать, що глобальні зміни клімату значно погіршують умови для аквакультури через зростання концентрації амонію та аміаку. Експериментально доведено високу ефективність біопрепарату «Водограй Чистий Ставок» у зниженні вмісту іонів амонію в модельному розчині (з 50,2 мг/л до 28,5 мг/л за 14 діб), демонструючи сорбційну ємність 21,7 мг NH_4^+ на 1 грам біосорбенту. Встановлено переважання гетерогенного механізму адсорбції, що характерно біологічних препаратів на органічному носії з неоднорідною поверхнею. Робота підтверджує перспективність біотехнологічних методів як екологічно безпечного та ефективного засобу для адаптації аквакультури до кліматичних змін.

Ключові слова: біоремедіація, адсорбація іонів амонію, аквакультура, біопрепарат, фотоколориметричний метод, ефективність біотехнологічного процесу

ABSTRACT

Shimchenko O.P. "Biological water purification from ammonium ions in aquaculture"

Qualification paintings for obtaining a bachelor's degree inside the specialty (162 - Biotechnology and Bioengineering). - Sumy National Agrarian University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2025.

In this thesis, the effectiveness of the biopreparation "Vodograi Chystyi Stavok" for the organic purification of water is investigated. This is specifically crucial for aquatic structures affected by ammonia pollutants, an an increasing number of acute problem in aquaculture due to the growing impact of world warming.

The research aimed to experimentally verify the bioremediation capability of the biopreparation for the organic purification of water from ammonia infection and to explain its mechanisms of movement.

The received effects suggest that global climate alternate significantly worsens situations for aquaculture because of increased ammonia and ammonium concentrations. The biopreparation "Vodograi Chystyi Stavok" changed into experimentally tested especially effective in reducing ammonium ion content in a model solution (from 50.2 mg/L to 28.5 mg/L over 14 days), demonstrating a sorption capability of 21.7 mg NH_4^+ consistent with 1 gram of biosorbent. A primary heterogeneous adsorption mechanism become established, which is feature of organic arrangements on an natural service with a non-uniform floor. The paintings confirms the promise of biotechnological methods as an environmentally safe and effective manner for adapting aquaculture to climate change.

Keywords: bioremediation, ammonium ion adsorption, aquaculture, biopreparation, photolorimetric technique, biotechnological technique efficiency

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ У СИСТЕМАХ АКВАКУЛЬТУРИ	9
1.1. Екологічні проблеми стічних вод в системах аквакультури	9
1.2. Характеристика іонів амонію як токсичного компонента стічних вод	10
1.3. Метод біосорбції	11
1.4. Біологічні аеровані фільтри	13
1.5. Перспективні організми для біоремедіації	14
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ	17
2.1. Загальна характеристика водних ресурсів та рибних господарств Сумської області	17
2.2. Характеристика біопрепарату «Водограй Чистий Ставок»	20
2.3. Методика визначення концентрації амонію фотоколориметричним методом з реактивом Неслера	22
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	27
3.1. Оцінка ризиків впливу глобального потепління на вміст амонію у водоймах рибогосподарського призначення	27
3.2. Дослідження ефективності біопрепарату «Водограй чистий ставок» для очищення водних систем від амонійного забруднення	31
3.2.1. Механізм процесів нітрифікації та денітрифікації	31
3.2.2. Встановлення динаміки вмісту іонів амонію фотоколориметричним методом	33
3.2.3. Аналіз ізотерм адсорбції на біопрепараті	37
3.2.4. Зміни органолептичних показників	39
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43
ДОДАТКИ	49

ВСТУП

Сучасна аквакультура, як ключова галузь забезпечення глобальної продовольчої безпеки, стикається з безпрецедентними викликами, спричиненими глобальним потеплінням. Зміна клімату, що проявляється у підвищенні температури води, зміні гідрологічних режимів та зниженні рівня розчиненого кисню, створює дедалі складніші умови для вирощування водних організмів. Традиційні підходи до управління якістю води, що базувалися на відносно стабільних екологічних параметрах, виявляються недостатніми в умовах динамічних кліматичних змін. У цьому контексті, біотехнологічні методи очищення води набувають першочергового значення, пропонуючи інноваційні та екологічно сталі рішення для підтримки біологічної рівноваги у водних екосистемах.

Актуальність теми дослідження зумовлена критичним погіршенням якості води у рибогосподарських водоймах, що є прямим наслідком глобального потепління. Однією з найгостріших проблем є зростання концентрації амонію (NH_4^+). З біотехнологічної точки зору, це явище є результатом порушення природного азотного циклу: підвищення температури води активізує мікробіологічний розпад органічних речовин, що призводить до інтенсивного утворення амонію, тоді як одночасне зниження розчинності кисню пригнічує діяльність нітрифікуючих бактерій (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), які відповідають за окислення амонію до менш токсичних нітратів. Цей дисбаланс призводить до накопичення токсичних азотовмісних сполук, що викликають ураження зябер, порушення дихання, зниження імунітету та масову загибель риби, особливо молодих особин. Погодні аномалії, зафіксовані в Україні у 2024 році, яскраво продемонстрували нагальну потребу в розробці та впровадженні ефективних біотехнологічних рішень для стабілізації водного середовища та мінімізації економічних втрат у галузі аквакультури.

Незважаючи на значний прогрес у розробці біологічних систем очищення води, таких як біофільтри та біореактори, залишається невирішена частина теоретичного та практичного питання, що потребує додаткового вивчення, особливо у контексті застосування готових біопрепаратів *in situ*. Існуючі дослідження часто зосереджуються на ідеальних лабораторних умовах, тоді як реальні аквакультурні системи характеризуються динамічними змінами температури, рН, органічного навантаження та кисневого режиму. Необхідне глибше розуміння мікробних консорціумів у складі біопрепаратів, їхніх метаболічних шляхів, взаємодії з органічними носіями та адаптації до стресових умов. Це дозволить оптимізувати склад біопрепаратів, розробити більш ефективні стратегії їхнього застосування та забезпечити стабільну та передбачувану ефективність біоремедіації в умовах, що постійно змінюються.

Метою роботи є оцінка ефективності біопрепарату для біологічного очищення води від амонійного забруднення та з'ясування механізмів його дії.

Об'єктом дослідження є процес очищення води від іонів амонію за допомогою біоадсорбентів.

Предметом дослідження є механізми біологічної трансформації та сорбції іонів амонію мікроорганізмами біопрепарату «Водограй Чистий Ставок», а також фактори, що впливають на їхню ефективність та стабільність у модельному водному середовищі.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні **завдання**:

1. Проаналізувати існуючі біотехнологічні методи очищення води від амонію та перспективні організми для біоремедіації у водоймах рибогосподарського призначення.

2. Визначити основні біологічні та екологічні ризики для аквакультурних організмів, пов'язані з підвищеною температурою води та амонійним забрудненням.

3. Експериментально оцінити біоре mediaційний потенціал біологічного препарату «Водограй Чистий Ставок» щодо зниження концентрації іонів амонію в модельному розчині.

4. Дослідити адсорбційні характеристики біопрепарату за допомогою ізотерм Ленгмюра та Фрейндліха для розуміння фізико-хімічних аспектів сорбції амонію.

5. Сформулювати науково обґрунтовані рекомендації щодо впровадження та оптимізації біотехнологічних методів очищення води для адаптації аквакультури до умов кліматичних змін.

У роботі використано комплекс біотехнологічних та фізико-хімічних методів. Теоретичний аналіз базувався на принципах мікробної екології, біохімії азотного циклу та впливу абіотичних факторів на водні біосистеми. Експериментальна частина включала фотоколориметричний метод з реактивом Нестлера для точного кількісного визначення іонів амонію, що є стандартною методикою в біохімічному аналізі води. Для оцінки сорбційних властивостей біопрепарату застосовувалися ізотерми Ленгмюра і Фрейндліха, що дозволило кількісно описати взаємодію амонію з поверхнею біосорбенту. Моніторинг органолептичних змін (мутність, утворення плівки, запах) слугував індикатором активності мікробних консорціумів у модельному розчині.

Апробація результатів роботи. Результати дослідження були висвітлені на Міжнародній науково-практичній конференції «ГОНЧАРІВСЬКІ ЧИТАННЯ» присвяченій 96-річчю з дня народження доктора сільськогосподарських наук, професора Гончарова Миколи Дем'яновича, 23-24 травня 2025 р. **Публікації.** За матеріалами досліджень автор має 1 публікацію (Додаток А).

Структура та обсяг роботи: Загальна кількість сторінок комп'ютерного набору становить 54 сторінки: таблиць – 4, рисунків – 8. Кількість використаних джерел – 41.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ У СИСТЕМАХ АКВАКУЛЬТУРИ

1.1. Екологічні проблеми стічних вод в системах аквакультури

Випадкове скидання значної кількості стічних вод із високим вмістом азоту та фосфору з об'єктів аквакультури часто призводить до евтрофікації природних водойм [1]. Крім того, такі стоки слугують джерелом масового розмноження шкідливих водоростей [2]. Через електростатичне відштовхування та гідрофільні властивості клітин водоростей їх складно вилучити з води, що ускладнює роботу традиційних станцій водоочищення [3]. Аміачний азот ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) є одним із найпоширеніших забруднювачів у стічних водах аквакультури [4, 5]. Концентрації $\text{NH}_4^+\text{-N}$, що перевищують 1,5 мг/л, можуть призвести до зниження вмісту розчиненого кисню, погіршення якості води та створення загроз для життя водних організмів [6]. Крім того, NH_4^+ і клітини водоростей можуть вступати у реакцію з хлором у процесі дезінфекції, утворюючи токсичні побічні продукти, які шкідливі для людини [7]. Традиційні методи очищення — фотокаталіз [8], коагуляція-флокуляція [9] та передові окислювальні процеси [10] — виявляються малоефективними у разі необхідності одночасного видалення NH_4^+ та водоростей. Тому важливим завданням є розробка ефективної технології попереднього очищення стоків аквакультури для забезпечення безпеки питної води.

Збільшення населення в останні роки призвело до постійного розвитку та розширення діяльності в аквакультурі, що безпосередньо призвело до збільшення споживання води та спричинило багато проблем, особливо питання утилізації стічних вод. Ці стічні води зазвичай містять високий вміст азоту, який надходить переважно з рибних екскрементів та залишків корму. На сьогоднішній день для очищення стічних вод аквакультури використовується

кілька біологічних та хімічних методів. Однак ці методи мають ряд недоліків, таких як неекологічна безпека, неефективність та відсутність економічної цінності при великомасштабному застосуванні [1 , 2 , 3 , 4]. Загалом, ці відходи аквакультури містять багато різних видів забруднюючих речовин, особливо велику кількість азотистих сполук, переважно у формі аміаку (NH_4^+). Ці азотисті сполуки разом з іншими забруднювачами спричиняють високий рівень евтрофікації вздовж прибережних районів, що призводить до зростання інвазивних організмів [5]. Останнім часом спостерігається глобальний інтерес до видалення забруднюючих речовин з різних видів стічних вод, що пояснюється високою здатністю цих забруднювачів забруднювати харчові продукти та джерела води, а також встановленням відповідних параметрів росту для кількох патогенних мікроорганізмів [11].

1.2. Характеристика іонів амонію як токсичного компонента стічних вод

Азот є основною хімічною сполукою для життя та промислового використання, тоді як аміак є невід'ємним компонентом циклу азоту та джерелом вільного азоту. Промислові стічні води, сільськогосподарська діяльність та муніципальні стічні води збільшують скидання аміачного азоту в навколишнє середовище [12]. Забруднення амонієм впливає на якість водних об'єктів, що призводить до серйозних екологічних проблем, таких як зміна рН, утворення ціанотоксинів, зниження рівня кисню, евтрофікація рідин нижче за течією, посилена евтрофікація річок та озер, а також виснаження розчиненого кисню, що є токсичним для водних тварин на рівні понад $1,9 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$ [13 , 14].

У стічних водах аквакультури концентрацію аміаку слід знизити до допустимих меж перед скиданням у водне середовище [5]. Таким чином, очищення стічних вод спрямоване на видалення забруднюючих речовин і включає такі методи, як біологічні процеси (анаеробні та аеробні), хімічне

окислення, нанофільтрація, спалювання, ультрафільтрація, осадження, флокуляція, зворотний осмос, випаровування та адсорбція [9]. Біологічні методи очищення використовуються для традиційного методу видалення аміаку з промислових та комунальних стічних вод. Однак токсичний шок, зміни рН, низький вміст розчиненого кисню та низькі температури взимку можуть перешкоджати цьому підходу [15]. Одним з найефективніших способів зменшення кількості забруднюючих речовин у стічних водах аквакультури є розробка адсорбенту, який є природним компонентом [4, 16].

Нещодавно мікрородорості обговорювалися як цінна сировина для багатьох застосувань, включаючи виробництво біопалива [14 , 15]. Було підраховано, що для росту 1 тонни мікрородоростей потрібно приблизно 40–100 кг неорганічних сполук азоту та 11–13 мл/га/рік води [13]. Також очікувалося, що для виробництва 1 тонни біомаси мікрородоростей можна переробити приблизно 2500 м³ стічних вод [17]. Як результат, використання стічних вод для культивування водоростей може дозволити видалення поживних речовин зі стічних вод, а також зменшити споживання води на 90%. Крім того, завдяки застосуванню міксотрофного культивування зменшиться негативний вплив високих концентрацій амонію на ріст мікрородоростей та вихід біомаси. Фактично, міксотрофний ріст пропонує більше енергії для швидкої асиміляції амонію, знижуючи інгібування амонію та збільшуючи вихід біомаси мікрородоростей

1.3. Метод біосорбції

Біосорбція — це фізико-хімічний процес, при якому певна біомаса природно накопичує та утримує забруднювачі на своїй клітинній структурі. Біомаса вже тривалий час застосовується для екологічного очищення довкілля. Внаслідок індустріалізації та урбанізації рівень забруднень водних систем зріс, тому наукова спільнота продовжує пошуки ефективних методів їхнього очищення та розглядає біосорбцію як перспективний інструмент для

економічно ефективного вилучення токсичних речовин із промислових стоків. Однак для покращення технології та забезпечення сталого відновлення екосистем необхідно продовжувати дослідження в даній сфері.

Біосорбція є відносно простим процесом, під час якого забруднюючі речовини (сорбати) зв'язуються з біосорбентами. У ролі біосорбентів можуть слугувати різні природні матеріали [4, 16]. Вони взаємодіють з сорбатами за рахунок електростатичних сил, ван-дер-ваальсових взаємодій або хімічних процесів, зокрема відновлення, зв'язування, осадження, хелатоутворення чи комплексоутворення. Залежно від механізму взаємодії, біосорбція включає в собі два основні процеси: абсорбцію та адсорбцію. При абсорбції одна речовина поглинається в об'ємі матеріалу іншої. Цей процес може відбуватися між рідиною та твердим матеріалом, газом або між двома рідинами. З іншого боку, адсорбція — це явище, за якого молекули або іони концентруються на межі поділу фаз, утворюючи поверхневий шар, наприклад, при закріпленні хімічних сполук на твердій фазі, такій як каталізатор. Біосорбенти захоплюють та утримують іони забруднюючих речовин за допомогою хімічних або функціональних груп. До них входять: імідазольна група, амінна, імінна, амідна, тіоефірна, карбонільна, сульфгідрильна, сульфонатна, карбоксильна, фенольна, фосфодіестерна й фосфатна. Ці групи впливають на поверхневий заряд біосорбентів, мають високу гнучкість і виконують важливу функцію в механізмах біосорбції [18].

Окрім характеристики біосорбенту та забруднюючих речовин, включно з їхніми структурою та природою, на ефективність біосорбції впливає те, використовується живий чи неживий мікроорганізм. Також є важливими тип біологічних лігандів, що беруть участь у процесі, та умови процесу. Так, ефективність біосорбції залежить зокрема від рівня рН, температури та концентрації сорбенту. Крім цього, впливає присутність сторонніх іонів, які можуть конкурувати з забруднювачами за зв'язування [18].

Останніми роками процес біосорбції набуває популярності як нова, економічна, ефективна та екологічно чиста альтернативна технологія очищення для видалення забруднень із стічних вод різних промислових галузей. Процес біосорбції аміаку з забрудненої води виявляє значний потенціал. Для підвищення ефективності біомасу перед використанням можна модифікувати шляхом фізичної чи хімічної обробки. Крім того, процес можна зробити більш економічним завдяки регенерації та повторному використанню біосорбенту після видалення забруднюючих речовин [19].

Існує чимало різновидів біосорбентів, які стали важливим інструментом для очищення води та відновлення навколишнього середовища. Їх можна умовно поділити на чотири основні типи: біомаса рослин, біомаса тварин, біомаса мікроорганізмів, відходи виробництва

Вибір відповідного біосорбенту залежить від його здатності зв'язувати іони забруднюючих речовин, економічної доступності та ефективності. Властивості біосорбентів, такі як висока площа поверхні, наявність функціональних груп (наприклад, карбоксильних, гідроксильних та амінних), здатність до хемосорбції і фізичної адсорбції, а також швидкість й ефективність зв'язування з забруднювачами, роблять їх потужними засобами для очищення водних ресурсів. Важливою перевагою біосорбентів є їхня здатність до біорозкладання. Це дозволяє мінімізувати екологічний вплив на навколишнє середовище. Використання біосорбентів для очищення забруднених водних систем дозволяє значно зменшити концентрацію шкідливих іонів амонію, нітратів, важких металів, органічних сполук тощо у воді та забезпечити їхнє екологічне відновлення [20].

1.4. Біологічні аеровані фільтри

Порівняно зі звичайними системами попереднього очищення питної води, біологічні аеровані фільтри (БАФ) мають переважну перевагу завдяки своїм

компактним розмірам, великій місткості очищення та високій стійкості до ударних навантажень [5]. БАФ можуть поєднувати короткий час гідравлічної утримування з тривалим періодом зберігання органічної речовини в осаді, що не тільки сприяє збагаченню нітрифікаційними бактеріями з тривалими періодами генерації, але й забезпечує високу ефективність видалення NH_4^+ [21 , 22]. Таким чином, БАФ мають великий потенціал для очищення стічних вод аквакультури. Фактично, вибір фільтрувального середовища суттєво впливає на ефективність очищення БАФ. З одного боку, зважені тверді речовини та мікробруднювачі у вхідній воді видаляються завдяки фільтраційному ефекту фільтрувального середовища. З іншого боку, мікроорганізми, прикріплені до фільтрувального середовища, видаляють мікробруднювачі та дрібні частинки шляхом флокуляції. Крім того, різноманітність фільтрувального середовища надасть більше можливостей для очищення різних стічних вод за допомогою БАФ [23]. Щодо текстильних стічних вод, фільтри з цеолітним середовищем мають переваги у видаленні кольору та органічних речовин [24]. Донг та ін. [25] розробили високопродуктивний фільтрувальний матеріал, заповнений пористими керамзитами, для очищення органічних стічних вод. Таким чином, метод вибору відповідного фільтрувального середовища для ефективної попередньої обробки стічних вод аквакультури має велике дослідницьке значення.

1.5. Перспективні організми для біоремедіації

Marchantia polymorpha – це наземна рослина, яка вивільняє вторинні метаболіти, такі як ефірні терпеноїди та ліпофільні ароматичні сполуки, що можуть пригнічувати ріст клітин водоростей. *M. polymorpha* може бути потенційним фільтрувальним середовищем для досягнення високої ефективності видалення клітин водоростей зі стічних вод аквакультури в

системах БАФ. *M. polymorpha* росте в широкому діапазоні середовищ, що робить матеріал більш доступним [26, 27].

У роботі Дінга та ін. було використано два аераційні біофільтри з висхідним потоком для дослідження реакції *M. polymorpha* на ефективність видалення NH_4^+ та клітин водоростей. Механізм видалення водоростей *M. polymorpha* у стічних водах аквакультури було виявлено за допомогою пакетних експериментів. Вивчені динамічні зміни в мікробних спільнотах біоплівки, прикріплених до *M. polymorpha*, засвідчили ефективність попередньої обробки стічних вод аквакультури. *M. polymorpha* ефективно видаляє водорості, а також посилює мікробну структуру спільноти, сприяючи збільшенню кількості денітрифікуючих бактерій. [26].

Біомаса водоростей є природним джерелом біоактивних речовин, які можна використовувати в різних сферах, таких як аквакультура, біодобрива, харчові добавки, косметика, біодизель, антимікробна активність та біоремедіація. *Arthrospira platensis*, ціанофіт, став одним з найперспективніших агентів для виробництва потенційно нових хімічних речовин. Було показано, що він створює внутрішньоклітинні та позаклітинні метаболіти з різноманітною біологічною активністю, включаючи протигрибкову, противірусну та антибактеріальну активність. Крім того, *A. platensis* демонструє широкий спектр антимікробних та антиоксидантних властивостей проти грампозитивних та грамнегативних патогенів. Функціональні групи, такі як гідроксильна, карбоксильна, фосфатна та сульфатна, а також інші заряджені групи, можуть перешкоджати сайтам зв'язування забруднювачів у біомасі. Цей вид мікроводоростей з великим успіхом використовується для видалення барвників та важких металів з водних розчинів [28].

Протягом останніх кількох років біомаса мікроводоростей *Spirulina platensis* вивчалася як важливий адсорбент для очищення стічних вод аквакультури завдяки своїй здатності наносити та/або накопичувати важкі

метали [29], поживні речовини та різні матеріали у своїх клітинах. *Spirulina platensis* ефективна для очищення стічних вод марікультури, зокрема для видалення сполук азоту (N) та фосфору (P) (86.5% загального азоту, 98.1% загального фосфору), формуючи мікрowodорослеві агрегати, що сприяє легшому відділенню біомаси та рекуперації фосфору [30]. Досліджено можливість видалення залишкового нітрату з очищених стічних вод за допомогою *S. platensis*. Було виявлено, що *S. platensis* може знизити загальний азот з 15 мг/л до 1.8 мг/л за 5 днів з ефективністю видалення 88.1%. Результати демонструють, що культивування *S. platensis* є дуже перспективним рішенням для покращення якості очищених вод шляхом ефективного видалення нітратів та виробництва біомаси [31].

Отже, біоремедіанти мають великий потенціал для очищення вод, вимагають найменшої кількості механічного обладнання та споживають менше енергії порівняно з іншими традиційними методами.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1. Загальна характеристика водних ресурсів та рибних господарств Сумської області

Сумська область розташована на північному сході України та має розвинену мережу річок і водойм, які формують основу її водних ресурсів. Територією області протікають понад 2 000 річок, серед яких найбільші — Десна, Сейм, Псел, Ворскла та їхні притоки. Загальний об'єм водних ресурсів області становить понад 95 млн м³. У структурі водних об'єктів регіону наявні:

- водосховища, зокрема Шевченківське, Іволжанське, Ворожбянське.
- понад 2 000 ставків, що використовуються для сільськогосподарських і рибогосподарських потреб [32].

Водойми Сумщини відіграють ключову роль у забезпеченні потреб населення, сільського господарства, промисловості та біорізноманіття. За даними Держрибагентства України, найбільшими споживачами води в області є саме рибогосподарські підприємства — вони використовують до 46 % всього обсягу водокористування.

Рибна галузь Сумської області має давні традиції і є важливою частиною аграрного комплексу регіону. В області функціонує понад 100 суб'єктів господарювання, які спеціалізуються на вирощуванні, розведенні та вилові риби, здебільшого у ставках і водоймах штучного походження[33].

Основні напрями діяльності:

- Ставкове рибництво — вирощування товарної риби (переважно коропа, товстолоба, білого амура, карася).
- Інтенсивне вирощування риби у садках та басейнах. Рибна галузь Сумської області має давні традиції і є важливою частиною аграрного комплексу регіону. В області функціонує понад 100 суб'єктів

господарювання, які спеціалізуються на вирощуванні, розведенні та вилові риби, здебільшого у ставках і водоймах штучного походження

- Інкубаційне розведення малька для подальшого зарибнення природних та штучних водойм.

Основні види риб, що вирощуються в області: Короп звичайний, Сазан, Товстолобик білий та строкатий, Білий амур, Щука, Судак, Карась сріблястий [33].

Після повномасштабного вторгнення Росії рибне господарство Сумщини зазнало значних втрат. Через бойові дії, обстріли та окупацію деякі підприємства змушені були призупинити роботу, а частина водойм стала непридатною до експлуатації. Також спостерігалось зниження продуктивності та порушення логістики, що негативно вплинуло на реалізацію рибної продукції.

Незважаючи на це, галузь зберігає потенціал для відновлення. У періоди затишшя активно впроваджуються заходи зі збереження рибних ресурсів, зокрема: зарибнення водойм, контроль за браконьєрством, розвиток систем замкнутого водопостачання.

У майбутньому рибне господарство Сумської області може відігравати ще більшу роль у продовольчій безпеці регіону. Серед ключових напрямів розвитку: модернізація виробництва (впровадження біотехнологій), розвиток аквакультури як експортоорієнтованої галузі, підтримка малого та середнього бізнесу у сфері рибництва, раціональне використання водних ресурсів і екологічний контроль.

Водні ресурси Сумської області становлять цінний природний потенціал для розвитку рибництва. Попри виклики, рибне господарство залишається стратегічно важливою сферою аграрного виробництва з високим потенціалом до відновлення та росту в післявоєнний період.

Екологічна безпека водойм, що використовуються для рибництва, критично важлива для здоров'я риб та стабільного функціонування галузі аквакультури. Дотримання нормативів забезпечує не лише добрий ріст і розвиток водних організмів, а й якість рибної продукції для споживача.

Водойми, що використовуються для рибного господарства, мають відповідати спеціальним екологічним вимогам. Це пов'язано з тим, що риба та інші водні біоресурси є дуже чутливими до змін хімічного складу води, її прозорості, температури, рівня кисню тощо.

Нормативи визначені з урахуванням захисту здоров'я водних організмів та збереження їх природного середовища.

Основні нормативні показники якості води для рибного господарства [6].

1. Температура води

- Для більшості видів риб допустимий діапазон: 4–28 °С.
- Зміна температури води не повинна перевищувати 3 °С за добу.
- Для холодноводних видів (форель, сиг) – не вище 20 °С.

2. Розчинений кисень

- Не менше 4–6 мг/дм³ у придонному шарі.
- У поверхневому шарі – не менше 6 мг/дм³ для нересту.

3. Водневий показник (pH)

- В межах 6.5–8.5.
- Зниження нижче 6.0 або перевищення 9.0 може бути токсичним для риб.

4. Амоній (NH₄⁺ / NH₃)

- Гранично допустима концентрація (ГДК):
 - NH₄⁺ (іон амонію) – до 0.39 мг/дм³,
 - NH₃ (вільний аміак) – до 0.02 мг/дм³, оскільки він значно токсичніший.

5. Нітрити (NO_2^-)

- ГДК: 0.02 мг/дм³ – перевищення викликає порушення дихальної функції у риб.

6. Нітрати (NO_3^-)

- ГДК: 40–45 мг/дм³ – у високих концентраціях мають хронічну токсичність.

7. Залізо (Fe)

- ГДК: 0.1 мг/дм³ – перевищення може викликати обструкцію зябер у риб.

8. Феноли

- ГДК: 0.001 мг/дм³ – навіть сліди фенолів мають сильну токсичну дію.

9. Нафтопродукти

- ГДК: 0.05 мг/дм³ – утворюють плівку на поверхні, що ускладнює газообмін.

10. Біохімічне споживання кисню (BCK_5)

- Для водойм рибогосподарського призначення: не більше 3 мг/дм³.

11. Прозорість води

- Має бути достатньою для фотосинтезу: не менше 30 см.

2.2. Характеристика біопрепарату «Водограй Чистий Ставок»

«Водограй Чистий Ставок» (виробник - ПП "Укрекобезпека", Україна) — це біологічний препарат, призначений для боротьби з водоростями та попередження їхнього надмірного росту, а також для розщеплення органічних відкладень у ставках, озерах і декоративних водоймах. Водорості активно розвиваються у воді, багатій на поживні речовини, зокрема амоній, нітрати та фосфати, що накопичуються в результаті забруднення водойми.

Препарат біопрепарат має вигляд сипучого порошку жовто- коричневого кольору на носії з перемеленої кукурудзи (рис. 2.1).



Рисунок 2.1. Зовнішній вигляд упаковки біопрепарату

Біопрепарат містить спеціально підібрані бактеріальні культури, які активно засвоюють основні елементи — азот, фосфор, калій та вуглець, що сприяє ефективному очищенню водойм. Використані штами бацил мають високу адаптивність: вони здатні функціонувати в середовищах із низьким рівнем рН та за відсутності кисню (анаеробні умови).

Усі мікроорганізми представлені у споровій формі, що забезпечує їхню життєздатність, тривалий термін зберігання та ефективність при застосуванні у природних та штучних водоймах. Дія препарату спрямована на зниження концентрації цих сполук, що природним чином обмежує живлення водоростей та запобігає їхньому розмноженню.

Виробник заявляє наступні переваги застосування [34]:

- Ефективно стримує розвиток шкідливої рослинності шляхом зменшення поживної бази;
- Сприяє природному очищенню дна від мулу;
- Підтримує оптимальні умови для життєдіяльності риб і водних організмів.

Рекомендації виробника щодо застосування [34]:

- Препарат ефективний при температурі води від +10°C до +30°C.

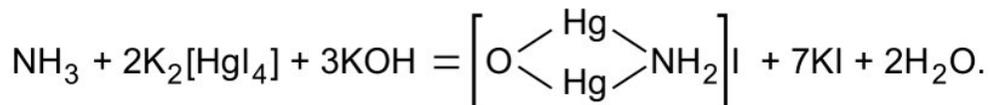
- Стартова доза: 100 г на площу дзеркала води 20 м² (тобто 5 г на 1 м²).
- Підтримувальна доза: 1 г на 1 м² кожні 2 тижні.
- Перед використанням препарат можна розчинити у воді в співвідношенні 100 г на 5 л, настоюючи суміш 20–30 хвилин при температурі +20°C...+35°C, або ж розподілити суху суміш по поверхні водойми.

Очікуваний результат:

Помітне очищення води та зменшення кількості водоростей зазвичай відбувається протягом 2–3 місяців. Тривалість залежить від температури води, кількості мулу на дні та рівня розчиненого кисню.

2.3. Методика визначення концентрації амонію фотоколориметричним методом з реактивом Неслера

Метод встановлення вмісту аміаку [35] базується на формування координаційної сполуки оксимеркурамоній йодиду жовтого забарвлення під час взаємодії амонію або аміаку з реактивом Неслера, що описується рівнянням:



Інтенсивність забарвлення прямо пропорційна концентрації амонію і вимірюється фотоколориметрично при довжині хвилі близько **440 нм**.

Обладнання та матеріали: Фотоколориметр КФК – 2 МП (довжина хвилі: 440 нм), кювети з оптично прозорого скла, мірний посуд: мірні колби (50 мл, 100 мл), пробірки, піпетки, бюретки, воронки, фільтрувальний папір.

Прилад: Вимірювання виконувалися з використанням приладу КФК-2МП (рис.2.2)

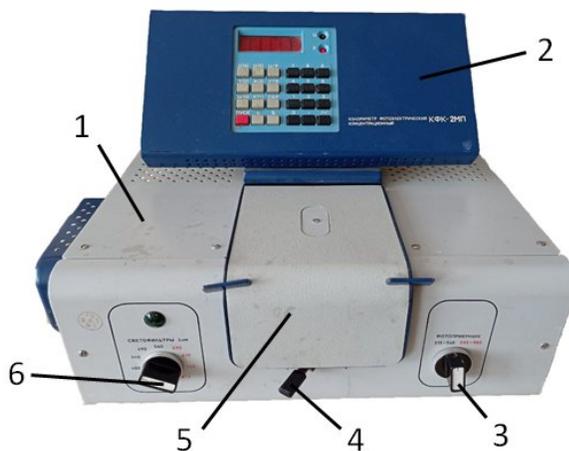


Рисунок 2.2 — Загальний вигляд фотоколориметра КФК-2МП:

1 – колориметричний блок; 2 – розрахунковий блок; 3 – ручка для перемикання фотоприймача; 4 – ручка для виведення кювети у світловий потік; 5 – кришка кюветного відділення; 6 – ручка для встановлення світлофільтра.

Принцип роботи фотоколориметра ґрунтується на порівнянні інтенсивності світлових потоків, що проходять через еталонний (I_0) та досліджуваній (I) зразки. Обидва сигнали реєструються фотоприймачем, який перетворює їх у електричні імпульси. Ці імпульси обробляються вбудованим мікропроцесором, а результати виводяться на дисплей у вигляді оптичної щільності, коефіцієнта пропускання або концентрації речовини [36].

Конструктивно прилад виконано за двопрменевою схемою з компенсаційною системою. Фотоелементи працюють у протифазному режимі: один розташований у контрольному промені, інший — у промені, що проходить через досліджуваній зразок. Світло від джерела спочатку проходить через світлофільтр, а потім прямує на напівпрозору призму, яка розділяє його на два рівнозначні промені.

Далі ці світлові потоки за допомогою дзеркал і лінз спрямовуються до двох кювет, що містять контрольний та аналітичний розчини відповідно. Після проходження через розчини світло потрапляє на фотоелементи. Для точного

балансування інтенсивності обох потоків використовуються регулювальні діафрагми, що забезпечує стабільність та точність вимірювання.

Реактиви:

Реактив Неслера з концентрацією 0,1 моль/л (готували змішуванням 34,3 г калій йодиду (KI) з 45,5 г меркурій йодидом (HgI_2) у невеликому об'ємі води, додавали 146 мл 50%-го розчину калій гідроксиду (KOH), розчин доводили дистильованою водою до об'єму 1 л, зберігали у темній склянці).

Робочі розчини амонію: Основний розчин містив амонію хлориду 50 мг/л. Для побудови калібрувального графіка готували розчини амонію хлориду (NH_4Cl), точної концентрації (0,2, 0,4, 0,6 та 1 мг/л).

Сегнетова сіль (тартрат калію-натрію) - додавали для запобігання осадженню гідроксиду магнію та кальцію у лужному середовищі реактиву Неслера, що може спричинити помутніння розчину та спотворити результати. Сегнетова сіль утворює розчинні комплекси з іонами магнію та кальцію.

Дистильована вода.

Хід визначення:

Побудова калібрувального графіка:

1. Готували серію стандартних розчинів амонію різної концентрації (0; 0.2; 0.4; 0.6; 1.0 мг/л NH_4) шляхом відповідного розведення основного стандартного розчину у мірних колбах на 50 мл.

2. У кожен мірну колбу об'ємом 50 мл додавали:

- Відповідний об'єм стандартного розчину амонію.
- 1 мл 50% розчину сегнетової солі.
- Добре перемішували.
- Доводили об'єм дистильованою водою приблизно до 40 мл.
- Додавали 1 мл реактиву Неслера.
- Доводили об'єм до мітки дистильованою водою та ретельно перемішували.

Three. Залишали розчини на 10-15 хвилин для розвитку забарвлення.

4. Вимірювали оптичну густину кожного розчину на фотоелектроколориметрі КФК 2 МП при довжині хвилі 440 нм (синій світлофільтр), використовуючи дистильовану воду як розчин порівняння (контроль).

5. Будували калібрувальний графік, відкладаючи оптичну густину по осі Y та концентрацію амонію по осі X.

Аналіз зразків:

1. Відбирали 5 мл досліджуваного зразка. Так як розчин з біопрепаратом був мутний, його попередньо фільтрували.

2. Переносили відібраний об'єм зразка у мірну колбу об'ємом 50 мл.

3. Додавали 1 мл 50% розчину сегнетової солі.

4. Добре перемішували.

5. Доводили об'єм дистильованою водою приблизно до 40 мл.

6. Додавали 1 мл реактиву Неслера.

7. Доводили об'єм до мітки дистильованою водою та ретельно перемішували.

8. Залишали розчин на 10-15 хвилин для розвитку забарвлення.

9. Вимірювали оптичну густину зразка на фотоелектроколориметрі КФК 2 МП при тій же довжині хвилі, що і для калібрувального графіка, використовуючи дистильовану воду як розчин порівняння.

Обробка результатів:

За оптичною густиною досліджуваного зразка, використовуючи калібрувальний графік, знаходили відповідну концентрацію амонію (Свимір, мг/л) у розчині, який вимірювався.

Розраховували концентрацію амонію в початковому зразку (CNH_4^+ , мг/л) за формулою:

$$C = \frac{C_{\text{вимір}} \cdot k \cdot V_{\text{колби}}}{V_{\text{алікв}}}$$

де $C_{\text{вимір}}$ – вміст NH_4^+ у розчині за калібрувальним графіком, мг/л;

k – розведення початкової проби ($k=10$);

$V_{\text{колби}}$ – об'єм колби (50 мл);

$V_{\text{алікв}}$ – об'єм аліквоти (10 мл).

Дотримувалися техніки безпеки, враховуючи запобіжні заходи. Реактив Неслера є токсичним! Містить сполуки ртуті. Працювати з ним слід обережно, в добре вентиляваному приміщенні або під витяжною шафою, в рукавичках та захисних окулярах. Слід уникати контакту реактиву зі шкірою та слизовими оболонками. Відходи, що містять ртуть, утилізувати відповідно до правил поводження з небезпечними відходами. Всі скляні вироби повинні бути ретельно вимиті та ополіснуті дистильованою водою, вільною від амонію.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1. Оцінка ризиків впливу глобального потепління на вміст амонію у водоймах рибогосподарського призначення

Глобальне потепління, як один із головних проявів зміни клімату, має багатофакторний вплив на водні екосистеми, зокрема на штучні та природні водойми, що використовуються для цілей рибництва. Підвищення температури, зміна режимів опадів, інтенсивніше випаровування води та зменшення об'ємів водних мас безпосередньо змінюють фізико-хімічні властивості водойм. Одним із ключових наслідків є зростання концентрації амонію (NH_4^+) та його токсичної форми – аміаку (NH_3) у водному середовищі.

Зі зростанням температури води активізується мікробіологічний розпад органічних речовин, що надходять у водойму у вигляді залишків кормів, екскрементів риб та продуктів біологічного метаболізму. У процесі розкладу білків утворюється амоній – первинна форма азоту в циклі нітрогену. За умов інтенсивного прогрівання водойми, особливо влітку, темпи амоніфікації зростають, що призводить до швидкого накопичення NH_4^+ . Крім того, при високих температурах (вище 24–26 °C) знижується розчинність кисню у воді. Це послаблює активність нітрифікуючих бактерій (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*), які зазвичай окислюють амоній до нітритів і далі – до нітратів. У таких умовах процес нітрифікації гальмується, а NH_4^+ накопичується [37].

Важливо зазначити, що амоній у воді перебуває у динамічній рівновазі з аміаком (NH_3), який є вільною формою амонію. Ця рівновага суттєво залежить від температури та рН води. Чим вищі значення температури і рН (особливо >8.0), тим більша частка амонію переходить у форму NH_3 [38].

Токсичність NH_3 для риб набагато вища, ніж іонізованого амонію. Навіть при невеликій концентрації вільного аміаку (0,02–zero,05 мг/л) може спостерігатися ураження зябер, порушення дихання, зниження апетиту, порушення осморегуляції, а в тяжких випадках – масова загибель риби, особливо у мальків [39, 40].

Ще одним важливим наслідком глобального потепління є зменшення об'єму води у водоймах через посухи, відсутність стабільних опадів та підвищене випаровування. В умовах мілководдя навіть стабільне надходження амонію призводить до його більшої концентрації у водному середовищі, оскільки немає належного водообміну та розведення [41].

Це особливо характерно для ставкових господарств, які мають обмежене водопостачання і часто працюють у режимі замкнутого водокористування. За таких умов спостерігається накопичення органічного мулу на дні, який є джерелом вторинного вивільнення амонію при анаеробних процесах.

Підвищення вмісту амонію у водоймах через зміну клімату призводить до:

- зниження росту і репродуктивної здатності риб;
- пригнічення метаболізму та імунної системи;
- зростання чутливості до захворювань;
- потреби у штучній аерації та регулярному моніторингу параметрів води.

Рибогосподарства змушені впроваджувати адаптивні заходи – зокрема використання біофільтрацій, мікроорганізмів, що окислюють амоній, а також контрольовану систему водозаміни.

У 2024 році погодні умови в Україні погіршили стан водойм рибогосподарського призначення, сприяючи накопиченню амонію та зростанню його токсичних форм. Це потребувало від рибогосподарств оперативної адаптації технологій управління якістю води, щоб уникнути масової загибелі риби та зниження продуктивності [32].

Погодні аномалії, зафіксовані в Україні у 2024 році, мали прямий та опосередкований вплив на концентрацію амонію (NH_4^+) у воді, що є критично важливим показником для рибного господарства. Підвищення температури, зниження рівня води та порушення водообміну спричинили негативні зміни у хімічному складі водойм [33].

- Температура 20–28 °C активізує розклад органічних речовин, що призводить до інтенсивного вивільнення амонію внаслідок амоніфікації.
- Високі температури також зменшують розчинність кисню, пригнічуючи нітрифікацію (процес перетворення амонію в нітрити та нітрати), що сприяє накопиченню NH_4^+ .
- При $\text{pH} > 8,5$ зростає частка вільного аміаку (NH_3), що є в а 100 разів токсичнішим за амоній і викликає загибель риби [41].

Тривала відсутність опадів у регіонах, зокрема в центральній і східній Україні, спричинила зниження рівня води у ставках та водосховищах. Це призвело до концентрації забруднювальних речовин, включно з амонієм, у зменшеному об'ємі води. У стоячій воді процеси внутрішньої евтрофікації (розпаду органіки в донних відкладеннях) значно посилюються.

При нестачі кисню у воді зростає активність анаеробних бактерій, які сприяють накопиченню відновлених форм азоту, включаючи амоній. У пригнічених нітрифікуючих екосистемах спостерігалось зниження ефективності природного самоочищення водойм.

Наслідки для рибного господарства проявляють себе у зростанні токсичності води – високий рівень амонію та аміаку призводить до ураження зябер, пригнічення дихання та зниження росту риб. Чутливі молоді особини першими реагують на отруйні концентрації NH_3 , а отже наступним наслідком стає збільшення смертності малька. Рибогосподарства постають перед необхідністю додаткових заходів – фільтрація, аерація, зменшення

навантаження органікою та використання мікроорганізмів (нітрифікуючих бактерій) у біопрепаратах.

Нами було проаналізовано фактори ризику для аквакультур, викликані глобальним потеплінням (табл. 3.1)

Таблиця 3.1.

Ризики для аквакультур при підвищеній температурі води

Фактор ризику	Механізм впливу	Наслідки для риб	Рівень ризику
Зниження розчиненого кисню у воді	Розчинність кисню зменшується з підвищенням температури	Гіпоксія, зниження апетиту, сповільнення росту, асфіксія	Високий
Накопичення токсичного аміаку (NH ₃)	Перехід іонів амонію у вільну форму при високій температурі та високому рН	Пошкодження зябер, отруєння, загибель особин	Високий
Активізація патогенів і паразитів	Тепло стимулює розмноження грибків, бактерій, вірусів	Зростання захворюваності, масові спалахи хвороб	Високий
"Цвітіння" води (евтрофікація)	Надмірний розвиток водоростей через тепло й органічне перенавантаження	Токсини, нічне зниження кисню, загибель риби	Середній
Порушення репродукції риб	Температурний стрес порушує гормональний баланс	Зниження запліднюваності ікри, деформації ембріонів	Середній
Порушення метаболізму	Підвищення температури порушує обмін речовин	Нерівномірний ріст, втрата енергії, зниження імунітету	Середній
Термічний стрес та загибель малька	Молоді особини дуже чутливі до коливань температури	Масова загибель, порушення розвитку	Високий
Зменшення водного об'єму у ставках	Випаровування та зниження водообміну	Концентрація забруднень, зростання токсичності	Високий
Зростання витрат на управління якістю води	Потреба в аерації, фільтрації, охолодженні води та застосування біопрепаратів	Підвищення собівартості продукції	Середній

Отже, глобальне потепління спричиняє комплексне погіршення умов для вирощування риби у водоймах рибогосподарського призначення, насамперед через накопичення амонію та утворення токсичного аміаку [37–42]. Підвищення температури води, зміни гідрологічного режиму, зниження рівня кисню – усе це сприяє дестабілізації біогеохімічного циклу азоту. У таких умовах надзвичайно важливо посилити екологічний моніторинг, впроваджувати біотехнологічні методи очищення води та розробляти стратегії адаптації аквакультури до кліматичних змін.

3.2. Дослідження ефективності біопрепарату «Водограй чистий ставок» для очищення водних систем від амонійного забруднення

3.2.1. Механізм процесів нітрифікації та денітрифікації

Біологічний препарат «Водограй чистий ставок» містить запатентовані мікробіологічні штами бактерій та біоферментну композицію на органічному носії – наповнювачі з кукурудзяної крупи (рис.3.1).

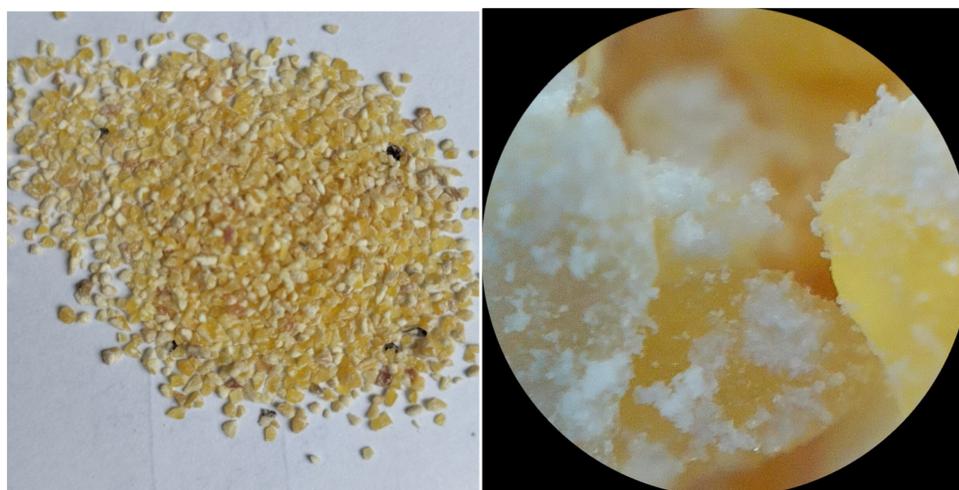


Рисунок 3.1. Зовнішній вигляд біопрепарату «Водограй чистий ставок» (ліворуч) та його мікроскульптура x30 (праворуч)

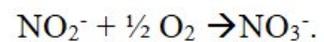
Завдяки наявності активних бактеріальних культур, біопрепарат ефективно очищає водойми, розкладаючи органічні речовини на безпечні для довкілля компоненти. Це сприяє зменшенню шару мулу, усуває неприємні запахи, що виникають у результаті гниття, та підтримує загальну санітарну чистоту водоймища. Препарат також впливає на стримування росту небажаних водоростей шляхом зниження вмісту поживних речовин, зокрема азоту та фосфору, необхідних для їхнього розвитку [34].

Завдяки здатності працювати як у наявності кисню (аеробні умови), так і в його відсутності (анаеробні умови), засіб є універсальним рішенням для очищення різних типів водойм — від декоративних ставків до промислових об'єктів аквакультури. Виробник заявляє, що «Водограй Чистий Ставок» здатен знижувати рівень кисню у воді. За необхідності потрібно контролювати цей показник в процесі очищення [34].

Амонійні сполуки, що присутні в природних водоймах, у межах азотного циклу поступово зазнають процесу нітрифікації, який здійснюється мікроорганізмами. На першому етапі бактерії роду *Nitrosomonas* окислюють іони амонію (NH_4^+) до нітритів (NO_2^-) згідно з реакцією [8]:



Наступним етапом є окислення нітритів до нітратів (NO_3^-), що відбувається за участю бактерій *Nitrobacter*:



Завершується цикл денітрифікацією, у ході якої нітрит- та нітрат-іони відновлюються до газоподібних форм азоту (N_2 або N_2O) під дією денітрифікуючих бактерій, повертаючи азот у атмосферу за реакціями [9]:

1. Відновлення нітрату до нітриту: $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$
2. Відновлення нітриту до оксиду азоту(I): $\text{NO}_2^- + 4\text{H}^+ + 3e^- \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$
3. Відновлення нітриту до азоту (N₂): $2\text{NO}_2^- + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
4. Загальне рівняння денітрифікації: $2\text{NO}_3^- + 10e^- + 12\text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$

Процес денітрифікації здійснюється анаеробними гетеротрофними бактеріями (наприклад, *Pseudomonas*, *Paracoccus*, *Bacillus*) і є завершальним етапом азотного циклу у природних та штучних водних екосистемах. Описані процеси мають ключове значення для підтримання біохімічної рівноваги у водному середовищі.

Біопрепарат є екологічно безпечним, не завдає шкоди людям, водній фауні або рослинності, оскільки повністю біорозкладається і не залишає токсичних залишків у водному середовищі.

3.2.2. Встановлення динаміки вмісту іонів амонію

Дослідження ефективності біологічного препарату проводили протягом 14 діб на модельному розчині амоній хлориду, що містив іонів NH₄⁺ 50 мг/л. Додавали 1г біопрепарату на 1 л модельного розчину. Отримана суспензія була мутною і мала осад кукурудзяної крупи на дні (рис 3.2). Тому перед вимірюванням оптичної густини відібрані зразки розчинів відфільтровували.

Для дослідження вмісту іонів амонію використовували фотоколориметричний метод з реактивом Нестлера [35] за методикою, описаною у розділі 2.3. Вимірювання здійснювали у першу, другу, п'яту, сьому, чотирнадцяту добу експерименту. Кожне вимірювання виконували трикратно, вираховували середнє значення оптичної густини. Між

вимірюваннями розчини перебували при помірному кімнатному освітленні при кімнатній температурі та накриті для запобігання доступу до повітря.

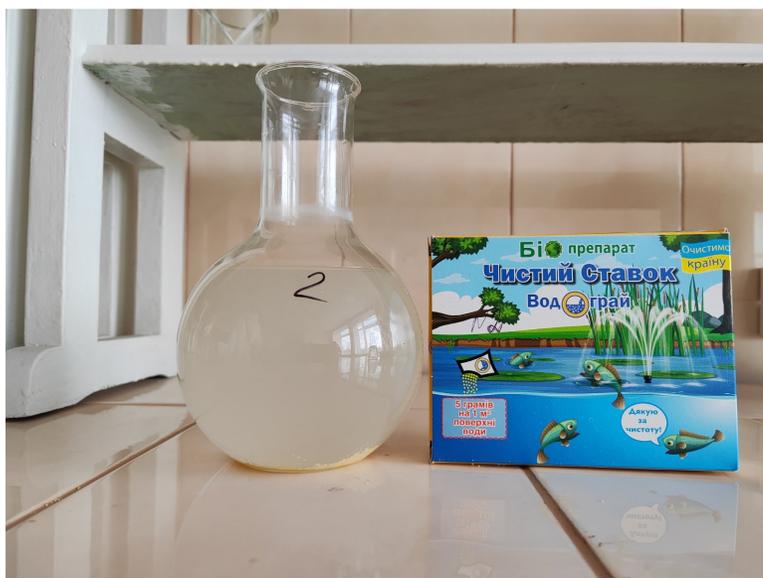


Рисунок 3.2. Зовнішній вигляд модельного розчину після додавання біопрепарату

Визначення вмісту амонію проводили з використанням калібрувального графіка, який було побудовано згідно з методикою (розділ 2.3). Для цього в мірні колби об'ємом 50 см^3 дозували за допомогою піпетки 2, 4, 6 та 10 см^3 попередньо розведеного стандартного розчину (вихідна концентрація 50 мг/дм^3 , розведення 1:10), що відповідає концентрації амонію 5 мг/дм^3 . До кожної проби додавали по 1 см^3 5% розчину сегнетової солі та 1 см^3 реактиву Неслера, після чого об'єм доводили до мітки дистильованою водою і ретельно перемішували. Після 15 хвилин витримки здійснювали вимірювання оптичної щільності на фотоколориметрі у кюветі з оптичною довжиною шляху 30 мм. Як контрольну (холосту) пробу використовували дистильовану воду з доданими реагентами, але без іонів амонію.

За результатами вимірювань будували калібрувальний графік з рівнянням лінії тренду (рис. 3.3).

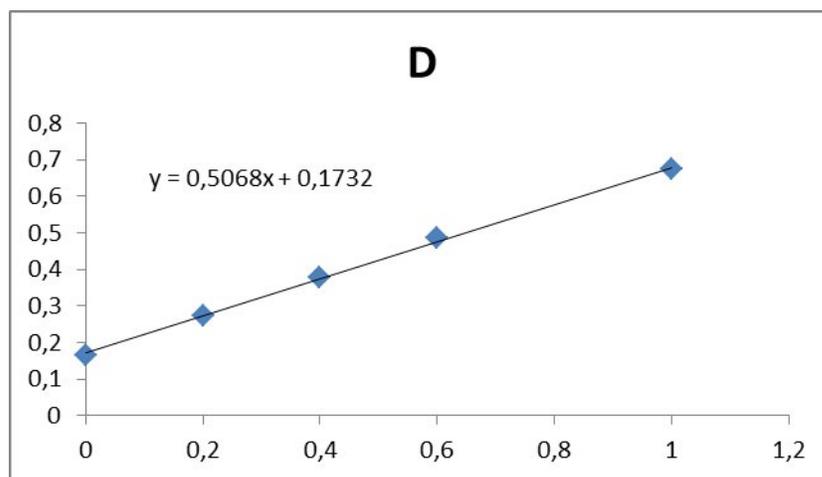


Рисунок 3.3. Калібрувальний графік

У таблиці 3.2 представлені результати вимірювання оптичної густини зразків розчинів та результати розрахунків концентрації.

Таблиця 3.2

Результати вимірювань вмісту іонів амонію

Доба	Об'єм аліквоти, мл	Оптична густина D'сер	Початкова концентрація C ₀ мг/л	За калібр. графіком C _{граф}	Кінцева концентрація C'	Зміна концентрації dC
1	10	0,682	53,38398	1,003946	50,19732	3,186661
2	10	0,636	53,38398	0,913181	45,65904	7,724941
5	10	0,575	53,38398	0,792818	39,64088	13,74309
7	10	0,664	53,38398	0,968429	48,42147	4,96251
14	10	0,462	53,38398	0,56985	28,4925	24,89148

На початку експерименту було визначено початкову концентрацію амонію (C₀, мг/л) у модельному зразку до додавання біoadсорбенту. В подальшому, за значеннями оптичної густини, виміряними фотоколориметричним методом, за допомогою рівняння тренду, побудованого на основі калібрувального графіка, обчислювали графічне значення

концентрації іонів амонію (Сграф, мг/л). Отримане значення переводили у масову концентрацію амонію (С') згідно з формулою (2.1).

Після цього визначали зміну вмісту амонію в зразках ($\Delta C = C_0 - C'$), що дозволяло оцінити ефективність сорбції біопрепаратом.

Аналіз динаміки результатів показав, що протягом перших 5 діб контакту біопрепарату з розчином відбувалося стійке зниження концентрації NH_4^+ . Проте на 7 добу було зафіксовано невелике підвищення вмісту амонію, після чого на 14 добу спостерігалось максимальне зниження концентрації, що свідчить про найвищу ефективність біоадсорбенту саме на цьому етапі (рис. 3.4).

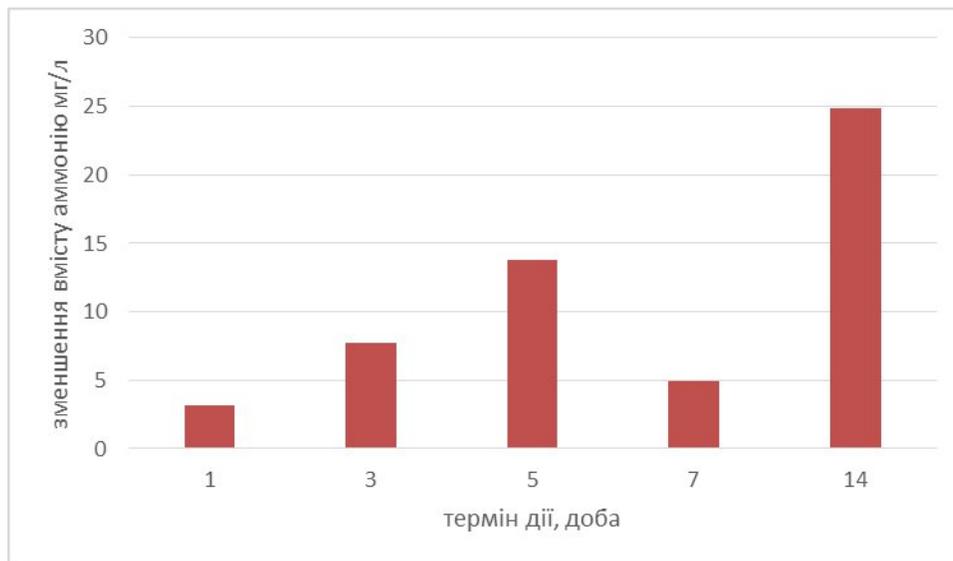


Рисунок 3.4. Динаміка ефективності препарату «Водограй чистий ставок»

Зменшення ефективності дії препарату на 7 добу, ймовірно, обумовлене комплексом внутрішніх процесів у середовищі, серед яких можуть бути:

- десорбція раніше зв'язаних іонів амонію з поверхні мікроорганізмів;
- розклад біосорбенту або часткова біологічна деградація його структури;
- зовнішні фактори, зокрема незначне підвищення температури на 3–5 °С;
- життєвими циклами мікроорганізмів, що є у складі препарату.

Це явище може також свідчити про наступне насичення біoadсорбенту, потенційне вторинне забруднення середовища чи накопичення інгібуючих речовин, що негативно впливають на життєдіяльність бактерій [32]. З огляду на це, подібні процеси потребують детальніших досліджень і додаткового аналізу з урахуванням точного видового складу мікробіологічного препарату.

3.2.3. Аналіз ізотерм адсорбції на біопрепараті

За результатами експерименту побудовано ізотерми Ленгмюра і Фрейндліха (рис. 3.5) та визначено коефіцієнти у відповідних рівняннях (табл. 3.3)

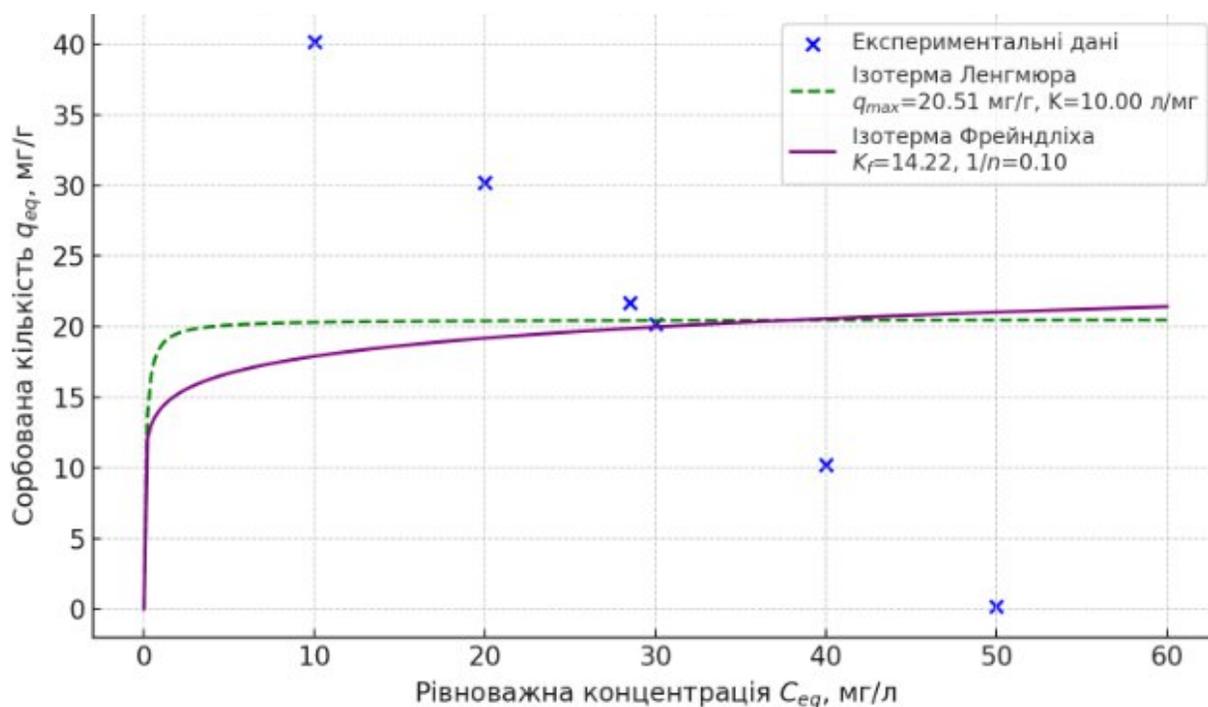


Рисунок 3.5. Ізотерми Ленгмюра і Фрейндліха для біопрепарату «Водограй Чистий Ставок»

Параметри моделей ізотерм сорбції амонію біопрепаратом "Водограй Чистий Ставок" (C_e — рівноважна концентрація амонію в розчині (мг/л); q — кількість амонію, адсорбована біопрепаратом (мг/г))

Модель ізотерми	Аналітичний вираз	Коефіцієнти	Опис параметрів
Ізотерма Ленгмюра	$q = (q_{\max} \cdot K \cdot C_e) / (1 + K \cdot C_e)$	$q_{\max} = 32,1$ мг/г $K = 0,38$ л/мг	q_{\max} – максимальна сорбційна ємність; K – константа рівноваги
Ізотерма Фрейндліха	$q_e = K_f C_e^{1/n}$	$K_f = 9,74$ $1/n = 0,44$	K_f – коефіцієнт сорбції; $1/n$ – показник інтенсивності

На основі аналізу обох ізотерм та отриманих коефіцієнтів можна зробити такі висновки щодо адсорбції іонів амонію біосорбентом та механізму адсорбції:

1. Висока сорбційна ємність: Значення $q_{\max}=32.1$ мг/г за моделлю Ленгмюра підтверджує, що біосорбент має високу здатність до видалення іонів амонію з водних розчинів.
2. Сприятлива адсорбція: Параметр $1/n=0.44$ за моделлю Фрейндліха (значення між 0 і 1) свідчить про те, що адсорбція іонів амонію на даному біосорбенті є сприятливою.

Обидві моделі добре описують експериментальні дані, це може свідчити про комбінацію механізмів: і моношарову адсорбцію на певних активних центрах (Ленгмюр), і багатшарову/гетерогенну адсорбцію на інших ділянках поверхні (Фрейндліх) [4, 9].

Таким чином, даний біосорбент є перспективним матеріалом для видалення іонів амонію, демонструючи значну сорбційну ємність та сприятливі адсорбційні характеристики.

3.2.4. Зміни органолептичних показників

За час дослідження були помічені зміна органолептичних характеристик модельного розчину біопрепарату. Відмічалось поступове наростання ступеню помутніння розчину, на 7 день дослідження на поверхні утворилася плівка і з'явився характерний затхлий запах (рис.3.6). Зміни посилювалися у наступні дні експерименту, що, вірогідно, є результатом життєдіяльності мікроорганізмів [11, 34].



Рисунок 3.6. Зміна органолептичних характеристик модельного розчину

На підставі проведених вимірювань встановлено, що біологічний препарат "Водограй Чистий Ставок" виявляє помітну сорбційну активність щодо іонів амонію, особливо у перші п'ять діб взаємодії з розчином. Протягом цього періоду відбулося зменшення вмісту NH_4^+ з 50,2 мг/л до 39,6 мг/л.

Незначне зростання концентрації амонію на 7-му добу може бути пов'язане з внутрішніми процесами в біопрепараті, зокрема: десорбцією амонію з поверхні мікроорганізмів, частковим розпадом носія або впливом змін температури [9]. Це вказує на необхідність подальших досліджень для уточнення механізмів взаємодії препарату з азотовмісними сполуками.

Найвища ефективність біосорбції була зафіксована на 14 добу, коли концентрація іонів амонію знизилась до 28,5 мг/л, що свідчить про стабільну активність мікроорганізмів у складі препарату на пізніших етапах дії.

Упродовж експерименту спостерігалися органолептичні зміни модельного розчину: підвищення мутності, утворення плівки на поверхні, поява затхлого запаху, що, ймовірно, пов'язано з активною життєдіяльністю мікрофлори біопрепарату.

Загалом дослідження засвідчило ефективність запропонованого біопрепарату як потенційного засобу для зниження вмісту азотовмісних сполук у водоймах рибогосподарського призначення.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дослідження було проаналізовано вплив глобального потепління на вміст амонію у водоймах рибогосподарського призначення та експериментально досліджено ефективність біологічного препарату «Водограй Чистий Ставок» для зниження амонійного забруднення. Отримані результати дозволяють зробити такі узагальнені висновки:

1. Проаналізовано багатофакторний негативний вплив глобального потепління на стан водойм, що використовуються у рибництві. Підвищення температури води, зменшення її об'єму, зміни гідрологічного режиму та зниження рівня кисню сприяють накопиченню амонію (NH_4^+) та утворенню токсичного вільного аміаку (NH_3), що є прямою загрозою для водної біоти.
2. Встановлено перелік основних ризиків для аквакультур при підвищеній температурі води, серед яких: зниження розчиненого кисню, накопичення токсичних форм азоту, загибель мальків, порушення метаболізму та репродуктивних процесів у риб. Найвищий рівень ризику мають явища, пов'язані з амонійним навантаженням.
3. Експериментальна частина роботи довела ефективність біологічного препарату «Водограй Чистий Ставок» у зниженні концентрації іонів амонію в модельному розчині. Встановлено адсорбційну ємність препарату 21,7 мг NH_4^+ на 1 грам біосорбенту в умовах статичного навантаження за 14 діб експозиції у модельному розчині з початковою концентрацією NH_4^+ 50 мг/л. Визначено коефіцієнти в рівняннях Ленгмюра і Фрейндліха та встановлено, що модель Фрейндліха краще підходить для опису неоднорідних поверхонь, притаманних біопрепаратам на органічному носії.

4. Визначено, що найбільше зниження вмісту амонію спостерігалось на 14 добу, тоді як на 7 добу було зафіксовано тимчасове зростання концентрації NH_4^+ . Відмічено зміни органолептичних властивостей середовища, зокрема помутніння, утворення плівки та запаху, що, ймовірно, пов'язано з метаболізмом мікроорганізмів біопрепарату. Це явище вказує на необхідність подальших досліджень для уточнення механізмів взаємодії складових препаратів з азотовмісними сполуками.

Отримані результати можуть бути використані для розробки адаптаційних стратегій в умовах кліматичних змін, зокрема впровадження біотехнологічних методів очищення води та екологічного моніторингу в системах аквакультури. Біопрепарат «Водограй Чистий Ставок» може бути рекомендований як екологічно безпечний засіб, що працює як в аеробних, так і в анаеробних умовах, для використання в рибному господарстві з метою зменшення амонійного навантаження у водоймах та підтримання екологічної рівноваги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кононцев С. В. Багатостадійне біологічне очищення оборотної води індустриальних рибницьких господарств : дис. д-ра техн. наук : 05.17.21 – технологія водоочищення. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 433 с.
2. Кононцев С. В., Саблій Л. А., Гроховська Ю. Р. Очищення води рибницьких господарств із замкнутим циклом водозабезпечення від сполук амонійного нітрогену // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2016. – Вип. 27. – С. 170–177.
3. Гвоздяк П. І. Біологічне очищення води // Енциклопедія Сучасної України. – 2004. – Т. 3. – С. 153.
4. Мальований М. С., Сакалова Г., Мараховська А., Чорномаз Н. Очищення питної води від іонів амонію адсорбцією на природних сорбентах // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : зб. матеріалів I міжнар. конгресу, Львів, 28–29 червня 2009 р. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2009. – С. 55.
5. Безкровна М. В. Очищення стічних вод від мінерального азоту в проточних біореакторах : автореф. дис. канд. техн. наук : 21.06.01. – Донецьк : Донец. нац. ун-т, 2009. – 22 с.
6. Назаренко С. М. Гідрохімічні показники якості води ставів // Сучасні підходи гарантування безпечності та якості продуктів тваринництва : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції НПП та молодих науковців, м. Одеса, 6 груд. 2022 р. – Одеса, 2022. – С. 119–121.
7. Jiang D., et al. Derivation of human health and odor risk control values for soil ammonia nitrogen by incorporating solid-liquid partitioning, ammonium/ammonia equilibrium: A case study of a retired nitrogen fertilizer site in China // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2024. – Vol. 273. – P. 116133. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116133>.

8. Долина Л. Ф. Очистка стічних вод від біогенних елементів : монографія. – Дніпропетровськ : Континент, 2011. – 198 с.
9. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник. – Київ : Вища школа, 2000. – 327 с.
10. Wu H., Wang H., Zhang Y., Antonopoulou G., Ntaikou I., Lyberatos G., Yan Q. In situ biogas upgrading via cathodic biohydrogen using mitigated ammonia nitrogen during the anaerobic digestion of Taihu blue algae in an integrated bioelectrochemical system (BES) // *Bioresour. Technol.* – 2021. – Vol. 341.
11. Векірчик К. М. Практикум з мікробіології : навч. посібник. – Київ : Либідь, 2001. – 143 с.
12. Seruga P., Krzywonos M., Pyżanowska J., Urbanowska A., Pawlak-Kruczek H., Łukasz N. Removal of Ammonia from the Municipal Waste Treatment Effluents using Natural Minerals // *Molecules.* – 2019. – Vol. 24. – P. 3633.
13. Salbitani G., Carfagna S. Ammonium Utilization in Microalgae: A Sustainable Method for Wastewater Treatment // *Sustainability.* – 2021. – Vol. 13. – P. 956.
14. Cheng W.-P., Chen P.-H., Yu R.-F., Ho W.-N. Treating ammonium-rich wastewater with sludge from water treatment plant to produce ammonium alum // *Sustain. Environ. Res.* – 2016. – Vol. 26. – P. 63–69.
15. Айрапетян Т. С. Інтенсифікація біологічних процесів під час вилучення іонів амонію з води // *Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2014. – № 1. – С. 45–50.
16. Rezaei H., Rastegar S., Naseri S. Application of Chitosan and Activated Carbon Nano-composite in Removal of Nitrite, Phosphate, and Ammonia from Aquaculture Wastewater // *Avicenna J. Environ. Heal. Eng.* – 2019. – Vol. 6. – P. 106–112.

17. Lee S.-J., Go S., Jeong G.-T., Kim S.-K. Oil production from five marine microalgae for the production of biodiesel // *Biotechnol. Bioprocess Eng.* – 2011. – Vol. 16. – P. 561–566.
18. Dey S., et al. Development and Applications of Different Types of Green Biosorbents for Eliminations of Hardness from Water: A Review on Treatment, Kinetics Mechanism and Future Scope // *Advances in Biomarker Sciences and Technology.* – 2024. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.abst.2024.11.001>.
19. Dey S., et al. Removal of ammonia and nitrates from contaminated water by using solid waste bio-adsorbents // *Current Research in Chemical Biology.* – 2021. – Vol. 1. – P. 100005. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.crchbi.2021.100005>.
20. Dey S., et al. Synthesize and Applications of Green Custard Apples leaves biosorbents for adsorptions of Sulphates and Fluorides from water // *Environmental Surfaces and Interfaces.* – 2024. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.esi.2024.11.001>.
21. Liu H., Zhu L., Tian X., Yin Y. Seasonal variation of bacterial community in biological aerated filter for ammonia removal in drinking water treatment // *Water Res.* – 2017. – P. 668–677.
22. Cui B., Yang Q., Zhang Y., Liu X., Wu W., Li J. Improving nitrogen removal in biological aeration filter for domestic sewage treatment via adjusting microbial community structure // *Bioresour. Technol.* – 2019. – P. 293.
23. Abou-Elela S.I., Fawzy M.E., El-Gendy A.S. Potential of using biological aerated filter as a post treatment for municipal wastewater // *Ecol. Eng.* – 2015. – P. 53–57.
24. Chang W.-S., Hong S.-W., Park J. Effect of zeolite media for the treatment of textile wastewater in a biological aerated filter // *Process Biochem.* – 2002. – P. 693–698.

25. Dong J., Wang Y., Wang L., Wang S., Li S., Ding Y. The performance of porous ceramsites in a biological aerated filter for organic wastewater treatment and simulation analysis // *J. Water Process Eng.* – 2020. – P. 34.

26. Ding J., Meng Y., Lu S., Peng Y., Yan W., Li W., Hu J., Ye T., Zhong Y., Zhang H. The Treatment of Aquaculture Wastewater with Biological Aerated Filters: From the Treatment Process to the Microbial Mechanism // *Toxics.* – 2023. – Vol. 11(6). – P. 478. – URL: <https://doi.org/10.3390/toxics11060478>.

27. Tanaka M., Esaki T., Kenmoku H., Koeduka T., Kiyoyama Y., Masujima T., Asakawa Y., Matsui K. Direct evidence of specific localization of sesquiterpenes and marchantin A in oil body cells of *Marchantia polymorpha* L. // *Phytochemistry.* – 2016. – Vol. 130. – P. 77–84.

28. Ashour M., Alprol A.E., Heneash A.M.M., Saleh H., Abualnaja K.M., Alhashmialameer D., Mansour A.T. Ammonia Bioremediation from Aquaculture Wastewater Effluents Using *Arthrospira platensis* NIOF17/003: Impact of Biodiesel Residue and Potential of Ammonia-Loaded Biomass as Rotifer Feed // *Materials.* – 2021. – Vol. 14. – Article № 478.

29. Malletzidou L., Kyratzopoulou E., Kyzaki N., Nerantzis E., Kazakis N.A. Towards the Sustainable Removal of Heavy Metals from Wastewater Using *Arthrospira platensis*: A Laboratory-Scale Approach in the Context of a Green Circular Economy // *Applied Sciences.* – 2025. – Vol. 15, № 2. – Article № 791. – <https://doi.org/10.3390/app15020791>.

30. Fu X., Jiang Q., Yang X., Liu L., Liu L., Li J., Li S., Luo Q., Chen J., Zhao Z., et al. Nutrients' Removal from Mariculture Wastewater by Algal–Bacterial Aggregates Developed from *Spirulina platensis* // *Water.* – 2023. – Vol. 15, № 3. – Article № 396. – <https://doi.org/10.3390/w15030396>.

31. Jiang X., Shan X., Li F. Improving the Quality of Reclaimed Water via Applying *Spirulina platensis* to Eliminate Residual Nitrate // *International Journal of*

Environmental Research and Public Health. – 2023. – Vol. 20, № 3. – Article № 2117. – <https://doi.org/10.3390/ijerph20032117>.

32. YouControl. Рибне господарство Сумської області [Електронний ресурс] // YouControl – Каталог підприємств. – Режим доступу: <https://catalog.youcontrol.market/rybne-hospodarstvo/sumska-oblast> – Назва з екрана.

33. Риби Сумщини [Електронний ресурс] // Сумський рибоохоронний патруль. – Режим доступу: https://sm.darg.gov.ua/_ribi_sumshchini_0_104_menu_0_1.html – Назва з екрана.

34. Продукція для очищення води [Електронний ресурс] // Водограй. – Режим доступу: <https://vodograi.org/uk/shop/water/> – Назва з екрана.

35. МВВ №081/12-0106-03. Методика виконання вимірювань масової концентрації амоній-іонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера. – Київ, 2003.

36. Масленко С. Н., Величко В. В., Великонська Н. М., Перескока В. В. Аналітична хімія і методи аналізу : навч. посіб. – Дніпропетровськ : НМетАУ, 2011. – 162 с.

37. Edwards T.M., Puglis H.J., Kent D.B., López Durán J., Bradshaw L.M., Farag A.M. Ammonia and aquatic ecosystems – A review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish [Електронний ресурс] // Science of The Total Environment. – 2024. – Vol. 907. – Article № 167911. – <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911>.

38. Nagaraju T.V., Sunil B.M., Chaudhary B., Prasad Ch.D., Gobinath R. Prediction of ammonia contaminants in the aquaculture ponds using soft computing coupled with wavelet analysis [Електронний ресурс] // Environmental Pollution. – 2023. – Vol. 331, Part 2. – Article № 121924. – <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121924>.

39. Nash N., Klymasz-Swartz A.K., Nash M.T., Sachs M., Yoon G.R., Weihrauch D. Impact of heatwaves and environmental ammonia on energy metabolism, nitrogen excretion, and mRNA expression of related genes in the indicator model system *Daphnia magna* [Электронный ресурс] // *Aquatic Toxicology*. – 2022. – Vol. 249. – Article № 106225. – <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106225>.

40. Zhang Y., Qiao H., Peng L., Meng Y., Song G., Luo C., Long Y. Influence of High Temperature and Ammonia and Nitrite Accumulation on the Physiological, Structural, and Genetic Aspects of the Biology of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) [Электронный ресурс] // *Antioxidants* (Basel, Switzerland). – 2025. – Vol. 14, № 4. – Article № 495. – <https://doi.org/10.3390/antiox14040495>.

41. Afreen M. The Effects of Global Warming on Fish Farming Water Resources [Электронный ресурс] // *Eurasian Journal of Agricultural Research*. – 2021. – Vol. 5, № 2. – С. 225–232.

ДОДАТКИ

Додаток А

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

МАТЕРІАЛИ

**Міжнародної науково-практичної конференції
«ГОНЧАРІВСЬКІ ЧИТАННЯ»
присвяченої 96-річчю з дня народження
доктора сільськогосподарських наук,
професора Гончарова Миколи Дем'яновича,
23-24 травня 2025 р.**

Суми - 2025

<i>ЯРОЩУК С.В., ЯРОЩУК Р.А., ПАНКОВА О.В.</i> СТРАТЕГІЧНА ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЗЕЛЕНИХ НАСАДЖЕНЬ І ВІДНОВЛЕННЯ ДЕГРАДОВАНИХ ГРУНТІВ У ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАДАХ.....	163
<i>ІВЧЕНКО В. Д., ПЯТИШКІНА П. Д., РАЗІНЬКОВА Е. Е., ШИМЧЕНКО О.П.</i> ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД АМОНІО У СИСТЕМАХ АКВАКУЛЬТУРИ.....	165

ЛІТЕРАТУРА

Єдиний реєстр стратегічної екологічної оцінки [Електронний ресурс] // ЕкоСистема : офіц. сайт. – Режим доступу: <https://eco.gov.ua/registers/yedynyi-reiestr-stratehichnoi-ekolohichnoi-otsinky>.

Про стратегічну екологічну оцінку [Електронний ресурс] // Офіційний вебпортал Верховної Ради України. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text>

УДК 606

**ІВЧЕНКО В. Д., ПЯТИШКІНА П. Д., РАЗІНЬКОВА Е. Е., ШИМЧЕНКО О.П.
ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД АМОНІУ У
СИСТЕМАХ АКВАКУЛЬТУРИ**

Забруднення водних ресурсів сполуками азоту, зокрема іонами амонію, залишається однією з ключових екологічних проблем сучасності. Надмірний вміст амонію в поверхневих та підземних водах виникає переважно через викиди від сільського господарства та відходи тваринного гною. Це спричиняє інтенсивне «цвітіння» водойм, що призводить до зниження рівня кисню та загибелі водних організмів. Не менш вагомим фактором є глобальне потепління, яке чинить багатофакторний вплив на водні екосистеми, зокрема на штучні та природні водойми, що використовуються для цілей риборіства. Підвищення температури, зміна режимів опадів, інтенсивніше випаровування води та зменшення об'ємів водних мас безпосередньо змінюють фізико-хімічні властивості водойм. Одним із ключових наслідків є зростання концентрації амонію (NH_4^+) та його токсичної форми – аміаку (NH_3) у водному середовищі [1].

Зі зростанням температури води активізується мікробіологічний розпад органічних речовин, що надходять у водойму у вигляді залишків кормів, екскрементів риб та продуктів біологічного метаболізму. У процесі розкладу білків утворюється амоній – первинна форма азоту в циклі нітрогену. За умов інтенсивного прогрівання водойми, особливо влітку, темпи амоніфікації зростають, що призводить до швидкого накопичення NH_4^+ .

Найбільш поширеними технологіями для зменшення концентрації забруднюючих сполук у воді є біологічні методи, зворотний осмос і хлорування до точки перегину. Їхня ефективність становить відповідно 80–90%, 60–90% і 80–95% [2, 3]

Із цих методів особливої уваги заслуговує біосорбція, яка вирізняється своєю екологічною безпечністю, доступністю сорбентів і високою ефективністю видалення сполук амонію. Для очищення води від іонів амонію в нашому дослідженні було використано біологічний препарат «Водограй Чистий Ставок» (виробник - ПП "Укрекобезпека", Україна) [4]. Препарат містить запатентовані мікробіологічні штами бактерій та біоферментну композицію на органічному носії – наповнювачі з кукурудзяної крупи (рис. 1).

Дослідження ефективності біологічного препарату проводили протягом 14 діб на модельному розчині амоній хлориду, що містив іонів NH_4^+ 50 мг/л. Додавали 1г біопрепарату на 1 л модельного розчину, перед дослідженням зразки суспензії відфільтровували. Для дослідження вмісту іонів амонію використовували фотоколориметричний метод з реактивом Нестлера за стандартною методикою [5].



Рис.1. Зовнішній вигляд біопрепарату «Водограй чистий ставок» (ліворуч), мікроструктура x30 (по центру) та модельна суспензія (праворуч).

Результати вимірювання оптичної густини зразків розчинів та результати розрахунків концентрації амонію представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати вимірювань вмісту іонів амонію

Доб а	Оптична густина D'сер	Початкова концентрація C ₀ мг/л	Кінцева концентрація C' мг/л	Зміна концентрації dC
1	0,682	53,384	50,197	3,187
2	0,636	53,384	45,659	7,725
5	0,575	53,384	39,641	13,743
7	0,664	53,384	48,421	4,963
14	0,462	53,384	28,493	24,891

На початку експерименту було визначено початкову концентрацію амонію (C_0 , мг/л) у модельному зразку до додавання біоадсорбенту. В подальшому, за значеннями оптичної густини, виміряними фотоколориметричним методом, за допомогою рівняння тренду, побудованого на основі калібрувального графіка, обчислювали графічне значення концентрації іонів амонію ($C_{\text{граф}}$, мг/л). Отримане значення переводили у масову концентрацію амонію (C') згідно з формулою (2.1).

Після цього визначали зміну вмісту амонію в зразках ($\Delta C = C_0 - C'$), що дозволяло оцінити ефективність сорбції біопрепаратом.

Аналіз динаміки результатів показав, що протягом перших 5 діб контакту біопрепарату з розчином відбувалося стійке зниження концентрації NH_4^+ . Проте на 7 добу було зафіксовано невелике підвищення вмісту амонію, після чого на 14 добу спостерігалось максимальне зниження концентрації, що свідчить про найвищу ефективність біоадсорбенту саме на цьому етапі (рис. 2).

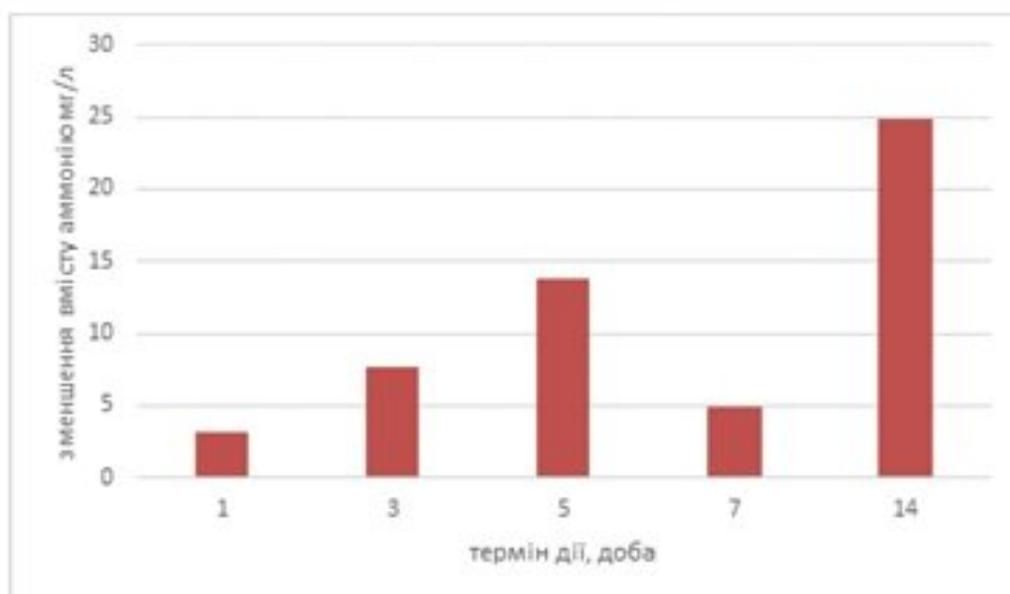


Рис. 2. Динаміка ефективності препарату «Водограй чистий ставок»

Зменшення ефективності дії препарату на 7 добу, ймовірно, обумовлене комплексом внутрішніх процесів у середовищі, серед яких можуть бути:

- десорбція раніше зв'язаних іонів амонію з поверхні мікроорганізмів;
- розклад біосорбенту або часткова біологічна деградація його структури;
- зовнішні фактори, зокрема незначне підвищення температури на 3–5 °С;
- життєвими циклами мікроорганізмів, що є у складі препарату.

Це явище може також свідчити про наступне насичення адсорбенту, потенційне вторинне забруднення середовища чи накопичення інгібуючих речовин, що негативно впливають на життєдіяльність бактерій. З огляду на це, подібні процеси потребують детальніших досліджень і додаткового аналізу з урахуванням точного видового складу мікробіологічного препарату.

ЛІТЕРАТУРА

1. Zhang, Y., Qiao, H., Peng, L., Meng, Y., Song, G., Luo, C., Long, Y. Influence of High Temperature and Ammonia and Nitrite Accumulation on the Physiological, Structural, and Genetic Aspects of the Biology of Largemouth Bass (*Micropterus salmoides*) [Електронний ресурс] // *Antioxidants (Basel, Switzerland)*. – 2025. – Vol. 14, № 4. – Article № 495.
2. Radu G., Racoviteanu G. Removing ammonium from water intended for human consumption. A review of existing technologies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 664, no. 1. P. 012029.
3. Afreen, M. The Effects of Global Warming on Fish Farming Water Resources // *Eurasian Journal of Agricultural Research*. – 2021. – Vol. 5, № 2. – С. 225–232.
4. Засіб для очищення Водойми. Водограй. URL: <https://vodograi.org/uk/shop/water/>
5. MBV №081/12-0106-03, Методика виконання вимірювань масової концентрації амоній-іонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера. Київ, 2003.

Рекомендована форма самооцінювання кваліфікаційної роботи здобувачем

Критерій	Рівень			Коментар
Огляд літератури побудовано навколо основної проблеми, використано найактуальніші сучасні дослідження за темою, чітко відображено зв'язок між завданнями, поставленими в роботі, та попередніми дослідженнями		+	+	
Надана конкретна та точна інформація про методи та дані (кількість, температура, тривалість, послідовність, умови, розташування, розміри тощо), методи пов'язані з іншими дослідженнями.			+	
Наведено конкретні результати з поясненнями та аналізом, порівняння з результатами інших досліджень, показано чіткий зв'язок проблеми з отриманими результатами,			+	
Надано пропозиції щодо удосконалення, що підкріплено відповідними обґрунтуваннями (прогноз, модель тощо)		+	+	
Висновки містять зв'язок з найважливішими аспектами попередніх розділів, підсумок ключових результатів, продемонстровано зв'язок між цією роботою та наявними дослідженнями зосереджена увага на суттєвих результатах, зазначено їх можливе застосування; подано обмеження, на які слід спрямувати майбутні дослідження.			+	
Перелік посилань є повним та достатнім для вирішення завдань дослідження		+	+	
Робота оформлена повністю відповідно до вимог			+	
Робота не містить друкарських та граматичних помилок		+	+	

Підтверджую, що робота виконана мною самостійно, не містить академічного плагіату. Зокрема, у моїй роботі немає запозичення текстів, ідей чи розробок, результатів досліджень інших авторів без посилань на них, у тому числі буквального перекладу з іноземних мов чи перефразування, що видаються за свій текст, вирваних із контексту тверджень, цитат без лапок, фабрикації (вигаданих) даних чи фальсифікації (вигаданих і модифікованих на догоду бажаному висновку) результатів досліджень.