

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет тваринництва та водних біоресурсів

ПОГОДЖЕНО
Декан факультету
Тваринництва та водних
біоресурсів

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Прикладної біології, розведення та
генетики тварин

_____ Руслан КОНОНЕНКО

_____ Сергій РУБАН

« ____ » _____ 2025 р.

« ____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Способи біологічного очищення води ставів в зоні діяльності підприємств по виробленню продукції свинарства»**

Спеціальність: 204 – Технологія виробництва та переробки продукції тваринництва

Освітня програма: «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва»

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

доктор с.-г. наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Анна ЛИХАЧ

(ПІБ)

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

доктор с.-г. наук, професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Анна ЛИХАЧ

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Владислав МАХАРИНСЬКИЙ

(ПІБ здобувача)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет тваринництва та водних біоресурсів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри прикладної біології,
розведення та генетики тварин
доктор с.-г. наук, професор

Сергій РУБАН

«15» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи здобувачу
Махаринському Владиславу Ігоровичу

Спеціальність: 204 – Технологія виробництва та переробки продукції тваринництва

Освітня програма: «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва»

Орієнтація освітньої програми: Освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: – «Способи біологічного очищення води ставів в зоні діяльності підприємств по виробленню продукції свинарства»

Затверджена наказом від 25.10.2024 р. № 1914 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру «11» листопада 2025 р.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: виробничі та екологічні показники діяльності свинарського підприємства, що характеризують обсяги утворення та склад органічних стоків; аналітичні характеристики гноївки та гноєвих стоків; результати лабораторних досліджень проб води зі ставів, розташованих у зоні впливу підприємства; параметри водойм, включно з їх гідрологічними та фізико-хімічними особливостями; державні норми, нормативи та стандарти щодо охорони вод і вимог до очищення стічних вод; довідкові матеріали з біологічних методів очищення водойм; показники ефективності запропонованих технологій біологічного очищення, що дозволяють оцінити їхню екологічну доцільність та практичну результативність.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Здійснити оцінку екологічного стану водойм за гідрохімічним складом води та загальною кількістю стоків підприємств з виробництва продукції свинарства;
2. Дослідити хімічний склад і вміст антимікробних препаратів, антигельмінтиків, гормонів та низькомолекулярних сполук підприємства з виробництва свинини;

3. Дослідити вплив стічних вод та амонійного азоту на розвиток ікри, збереженість ембріонів, виживання личинок коропа та дафній.

4. Розробити ефективні способи зниження вмісту забруднень у воді та ефективні стратегії щодо покращення екологічного стану ставів, розміщених у зоні діяльності тваринницьких підприємств.

Дата видачі завдання 22 листопада 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ Анна ЛИХАЧ

Завдання прийняв до виконання _____ Владислав МАХАРИНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Водні екосистеми, так само як і наземні, зазнають інтенсивного впливу людської діяльності, зокрема з боку промислових, енергетичних об'єктів та, останнім часом, великих тваринницьких комплексів. Аналіз екологічного стану водойм, розташованих у зоні функціонування свинарських господарств, показав суттєвий антропогенний вплив цих підприємств на водні екосистеми. Це пов'язано з регулярним надходженням забруднень у вигляді рідких відходів, зокрема стічних вод, що містять значну кількість токсичних речовин і ксенобіотиків. Значне навантаження на водні ресурси спричинюється тим, що протягом року свинарські комплекси утворюють та виводять у довкілля понад 5,03 млн т відходів, серед яких 3,35 млн т становить рідкий гній і 1,68 млн т – гнойові стоки.

За попередніми підрахунками, разом із відходами у ґрунти та водойми потрапляє близько 4,75 млн т стічних вод, а також значні об'єми золи, амонійного азоту, антимікробних препаратів, антигельмінтиків, гормонів та інших хімічних речовин. У водні об'єкти надходять також органічні кислоти, нітрати, антиоксиданти, феноли, аміни та інші прості сполуки, що можуть погіршувати якість води.

Встановлено, що території біля свинарських комплексів і прилеглі водойми забруднюються переважно тваринними екскрементами, залишками кормів та різними виробничими й побутовими стоками. Основні екологічні проблеми пов'язані з великими обсягами рідкого гною та гнойових стоків, які містять дуже багато води, органічних речовин, азоту та інших забруднювачів, що негативно впливають на стан водних екосистем.

У водойми поряд із свинарськими господарствами разом зі стоками потрапляє значна кількість лікарських речовин. Серед них – сульфаніламідні препарати та антибіотики. За попередніми оцінками, у рідкому гної та стоках їх може бути 5,8 - 6,6 т на рік. На водні екосистеми також негативно

впливають антигельмінтики і гормональні речовини, котрі виявлені в рідкому гної та гнойових стоках.

Стан ставків, що знаходяться біля тваринницьких підприємств, за хімічним складом води суттєво відрізняється від відносно чистих водойм. У них фіксують вищі концентрації аміаку, нітратів, кальцію, заліза, хлоридів і сульфатів, а також підвищений рН та загальний рівень забруднення. Стоки свинарських підприємств негативно впливають на аквакультуру водойм: у риб порушується ембріональний розвиток, знижується виживаність личинок коропа та дафній. Чим вища концентрація стоків у воді, тим сильніша їх токсична дія, яка є, навіть, потужнішою, ніж вплив амонійного азоту, як одного з основних забруднювачів природних водойм.

Надходження стоків тваринницьких підприємств у водойми може призводити до змін чисельності риби та інших водних організмів, порушення харчових ланцюгів і загального збою природної рівноваги екосистем.

Метою роботи є наукове обґрунтування і оцінка ефективності способів біологічного очищення води ставів, що зазнають впливу свинарських підприємств, а також розроблення ефективних стратегій щодо оптимізації природних та штучних біоочисних систем для зниження рівня забруднення та покращення екологічного стану водойм.

Поставлену мету дослідження було досягнуто через виконання таких завдань:

- провести оцінку екологічного стану водойм на основі гідрохімічного аналізу води та обсягів стічних вод свинарських підприємств;
- визначити хімічний склад стоків та вміст у них антимікробних препаратів, антигельмінтиків, гормонів та інших низькомолекулярних речовин;
- дослідити, як стічні води та амонійний азот впливають на розвиток ікри, виживання ембріонів і личинок коропа та дафній;
- запропонувати ефективні методи зменшення забруднення води та

розробити практичні поради для покращення стану ставків, що знаходяться поблизу тваринницьких підприємств.

Об'єкт дослідження – екологічний стан водойм, стічні води тваринницьких комплексів, риби та їх ембріональний розвиток, а також дафнії.

Предмет дослідження – оцінка токсичного впливу на водні об'єкти за гідрохімічними показниками, особливостями ембріонального розвитку та виживання личинок під дією ксенобіотиків, що містяться у стоках свинарських підприємств.

Для досягнення мети та виконання поставлених завдань у магістерській роботі були застосовані такі методи: екологічні – для оцінки стану ставків; гідрохімічні – для визначення хімічного складу води; іхтіологічні – для вивчення розвитку ікри, ембріонів та виживання личинок риб; статистичні – для обробки отриманих результатів.

Практичне значення роботи полягає у створенні критеріїв, які дозволяють оцінювати вплив свинарських підприємств на водойми за показниками основних забруднювачів: азоту, хлоридів, сульфатів, заліза та різних ксенобіотиків антропогенного походження.

Ключові слова: водні екосистеми, тваринницькі підприємства, свинарські комплекси, відходи, антимікробні препарати, ікра, личинки, дафнії, заходи.

ABSTRACT

Aquatic ecosystems, like terrestrial ones, face growing anthropogenic pressure from industrial facilities, energy infrastructure, and, in recent decades, from large-scale livestock complexes.

An environmental assessment of water bodies situated near pig production sites has demonstrated that these ecosystems experience a substantial technogenic load. This is primarily linked to the continuous discharge of liquid wastes, including wastewater enriched with xenobiotics and toxic substances. Over the course of a year, pig farms release more than 5,03 million tons of wastes into the environment, of which 3,35 million tons are liquid manure and 1,68 million tons are manure effluents.

According to preliminary calculations, these waste streams contribute approximately 4,75 million tons of wastewater, 59,100 tons of ash, 432,500 tons of ammonium nitrogen, more than 6,72 tons of antimicrobial preparations, 0,36 – 1,51 tons of anthelmintic substances, 7,23 – 20,42 tons of productivity-enhancing compounds (including nandrolone), and around 6,77 tons of other steroid hormones. Together with these pollutants, significant quantities of organic acids, nitrates, antioxidants, phenols, amines, and other low-molecular weight substances enter natural water bodies.

Research has shown that the principal contaminants in territories adjacent to pig farms - including water bodies - are animal excreta, feed residues, and domestic or technological wastewater. Liquid manure and manure effluents pose the greatest ecological risk due to large production volumes and high water content, which reaches 93,1% in manure and 97,6% in effluents. These wastes contain 6,9% and 2,4% dry matter respectively, of which 79,1% and 73,6% are organic compounds, and 20,9% and 26,4% represent mineral components. They also contain substantial concentrations of total, ammonium, and nitrate nitrogen, along with other contaminants.

Effluents from pig farms transport considerable amounts of antimicrobial substances into aquatic ecosystems. Sulfonamide drugs (sulfanilamide, sulfamethazine, sulfamerazine, sulfamethoxazole), as well as antibiotics such as chlortetracycline, chloramphenicol, and doxycycline, have been detected in wastewaters. Estimates indicate that their total annual influx with liquid manure and effluents may reach 5,8 – 6.6 tons.

Anthelmintics such as albendazole and fenbendazole, the synthetic hormone nandrolone, and steroid hormones including boldenone, stanozolol, trenbolone, corticosteroids, and stilbenes have also been identified in these wastes.

The ecological state of ponds located near livestock facilities differs markedly from that of relatively clean water bodies. Hydrochemical monitoring revealed elevated concentrations of ammonia, nitrates, calcium, iron, chlorides, sulfates, higher pH values, and increased levels of pollution. Ponds near poultry operations contained more ammonia and phosphates, higher oxidation levels, and more mechanical impurities, indicating a high load of organic contaminants.

Pig farm wastewater adversely affected the ichthyofauna of contaminated ponds. Disturbances in embryonic development and reduced survival of carp embryos, larvae, and *Daphnia* were documented. The toxic impact intensified as the concentration of effluents increased and was significantly stronger than the harmful effects of ammonium nitrogen alone, which is often considered the main pollutant of natural waters.

The inflow of wastewater from livestock operations into natural water bodies leads to shifts in hydrobiont and fish populations, breakdowns in food webs, and destabilization of the ecological balance of aquatic ecosystems.

The purpose of the study is to theoretically substantiate and determine the role of hydrobiont biomarkers in evaluating the ecological state of water bodies based on hydrochemical parameters under the influence of xenobiotics from livestock wastewater, and to develop effective methods for reducing pollutant concentrations in ponds located near pig farms.

To achieve this goal, the following tasks were defined: assess the ecological condition of water bodies based on hydrochemical characteristics and the overall amount of wastewater discharged by pig farming facilities; determine the chemical composition and quantify antimicrobial substances, anthelmintics, hormones, and low-molecular compounds present in pig farm wastes; evaluate the effects of wastewater and ammonium nitrogen on egg development, embryo survival, and the viability of carp larvae and *Daphnia*.

The object of the study is the ecological condition of water bodies, wastewater from livestock complexes, and hydrobionts (fish embryos, larvae, and *Daphnia*).

The subject of the study is the ecological and toxicological assessment of aquatic ecosystems using hydrochemical parameters, embryonic development indicators, and larval survival under exposure to xenobiotics present in pig farm wastewater.

Research methods included: ecological assessments of pond conditions; hydrochemical analyses to determine water composition; ichthyological methods to study embryonic and larval development; statistical techniques for processing research data.

Practical significance. The obtained results can be used to establish criteria for evaluating the impact of pig production facilities on water bodies, with an emphasis on pollution by nitrogen compounds, chlorides, sulfates, iron, and anthropogenic xenobiotics.

Keywords: aquatic ecosystems, livestock production, pig farms, waste pollution, antimicrobial agents, fish eggs, larvae, *Daphnia*, ecological assessment.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	14
1. Характеристика, склад і властивості відходів тваринницьких господарств	14
1.2. Водні екосистеми та оцінка їхнього екологічного й токсикологічного стану	19
1.3. Вплив шкідливих антропогенних речовин (ксенобіотиків) на водних організмів	26
1.4. Обґрунтування постановки власних досліджень	28
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
2.1. Хімічний склад рідких відходів тваринницьких підприємств	32
2.2. Гідрохімічний аналіз води	32
2.3. Визначення вмісту антибактеріальних препаратів у відходах	33
2.4. Дослідження антигельмінтиків та гормонів у стоках	34
2.5. Дослідження органічних сполук стічних вод	34
2.6. Дослідження ембріонального розвитку виживаності личинок риб	35
РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	38
3.1. Характеристика, склад та обсяги відходів свинарських підприємств	38
3.2. Гідрохімічний склад води ставків, забруднених стоками тваринницьких підприємств	46
3.3. Вплив стоків свинарських підприємств на розвиток ембріонів і виживання личинок коропа та дафній	53
3.4. Способи біологічного очищення води ставів в зоні діяльності підприємств по виробленню продукції свинарства	63
3.5. Стратегії покращення біологічного очищення води ставів	66
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	70
ВИСНОВКИ	74
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

Виробництво продукції свиначства є одним із найбільш інтенсивних напрямів тваринництва, що характеризується високою концентрацією тварин на обмежених площах, значним обсягом утворення органічних відходів та суттєвим навантаженням на навколишнє природне середовище. Гноєві стоки свиноферм містять підвищені концентрації органічної речовини, амонійного азоту, нітритів, нітратів, фосфатів, завислих часток, а також мікроорганізмів, що можуть негативно впливати на якість водних екосистем. Одним із найбільш вразливих природних об'єктів є ставки, що розташовані в зоні діяльності господарств із виробництва свинини, які нерідко стають приймачами дренажних вод, поверхневого стоку або фільтраційних втрат із майданчиків для зберігання гноївки [1, 12].

Порушення гідрохімічного балансу таких водойм проявляється в підвищенні біохімічного споживання кисню, зниженні вмісту розчиненого кисню, накопиченні амонію та сполук азоту, що спричинює евтрофікацію, заморні явища, деградацію природних біоценозів та зниження здатності водойми до самоочищення [10-12]. У цих умовах особливої актуальності набуває пошук екологічно безпечних, економічно доцільних та технологічно простих методів біологічного очищення води, здатних забезпечити довготривале відновлення екосистеми без застосування дорогих або хімічно агресивних технологій.

Постановка власних досліджень ґрунтується на необхідності комплексного вивчення ефективності природних та штучно створених біоочисних систем, що можуть бути адаптовані для очищення ставів у зоні впливу підприємств свиначської галузі. Основним завданням є не лише оцінка сучасного стану водойм, але й визначення потенціалу біологічних методів, таких як: фітоочищення (використання вищих водних рослин),

біоплато, біофільтри на основі мікродоростей, природні біоценози планктону та бентосу, а також комплексні біореконструктивні заходи [17].

Обґрунтування дослідження передбачає аналіз того, що біологічні методи очищення мають низку переваг порівняно з технічними (механічними та хімічними). По-перше, вони забезпечують безперервне природне очищення завдяки діяльності рослин, мікроорганізмів та водоростей, що споживають і трансформують забруднювальні речовини. По-друге, такі методи потребують значно менших фінансових витрат і підходять для застосування на сільськогосподарських підприємствах, де бюджет на природоохоронні заходи обмежений. По-третє, біологічні системи очищення не лише зменшують концентрацію шкідливих речовин, але й сприяють відновленню біорізноманіття, стабілізації кисневого режиму, покращенню естетичного та рекреаційного стану водойм [20].

Для повного та достовірного оцінювання ефективності обраних способів очищення необхідно визначити вихідний екологічний стан водойм, провести хімічний та мікробіологічний аналіз проб води, оцінити фізико-хімічні показники – температуру, рН, концентрацію амонію, нітратів, фосфатів, завислих речовин, розчиненого кисню. Важливо також дослідити видовий склад водних рослин, фітопланктону та зоопланктону як природних індикаторів стану водойми. Окрему наукову цінність становить аналіз динаміки відновлення гідробіоценозів після впровадження біоочисних систем, що дозволяє оцінити не лише миттєвий ефект, але й довгострокову екологічну стійкість запропонованих заходів [23].

Особливе значення для постановки власних досліджень має врахування специфіки свинарських підприємств, адже вони генерують стоки з унікальним складом, у якому домінують азоторганічні сполуки. Саме тому необхідно встановити, які саме біологічні методи найбільш ефективні у відношенні трансформації амонію, окиснення органічних речовин та

зниження трофності води. Важливо оцінити не тільки швидкість очищення, але й біологічну стабільність системи та її здатність до самопідтримки.

Отже, постановка власних досліджень зумовлена потребою пошуку практично застосовних, науково обґрунтованих та екологічно спрямованих рішень, що дозволять мінімізувати негативний вплив підприємств із виробництва свинини на водні екосистеми. Результати роботи можуть бути використані як для удосконалення систем природоохоронного менеджменту господарств, так і для підвищення ефективності біологічного очищення водойм у сільськогосподарських регіонах.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Загальна характеристика, склад та властивості відходів тваринницьких господарств

Проблема забруднення довкілля відходами тваринницьких підприємств різних типів і масштабів виникла через перехід галузі на промислову основу. Сучасні технології дозволяють підвищити продуктивність тварин і знизити витрати кормів та праці, але для цього потрібна велика концентрація поголів'я у великих тваринницьких комплексах [13].

На відміну від промислового виробництва, у тваринництві головним «об'єктом» технологій є жива тварина, що висуває специфічні вимоги до годування, утримання, догляду та експлуатації. Основною проблемою таких підприємств є утворення великої кількості відходів, що виникають як внаслідок життєдіяльності тварин, так і в процесі виробництва продукції.

Відсутність сучасних і ефективних методів дезодорації та утилізації великих обсягів відходів тваринницьких підприємств є основною перепорою для створення великих комплексів. Стоки таких підприємств є одним із головних джерел забруднення навколишнього середовища. Відходи небезпечні, оскільки містять хімічні та біологічні забруднювачі, у тому числі хвороботворні мікроорганізми, личинки та яйця гельмінтів, і можуть забруднювати повітря, ґрунти та воду [21, 25].

Наприклад, свинарський комплекс на 108 тис. свиней щорічно утворює близько 1 млн м³ гнойових стоків. За нормами технологічного проектування, до відходів тваринництва відносять гній, гноївку, стічні води, шкідливі гази, патогенну мікрофлору, а також личинки та яйця гельмінтів [29].

Комплекс із понад 20 тис. свиней за кількістю відходів можна порівняти з містом у понад 300 тис. мешканців. Дійна корова дає стільки

відходів, скільки 16 людей, молодняк великої рогатої худоби – 12, свиня – 21. При виробництві 1 кг яловичини утворюється близько 25 кг відходів, а при виробництві 1 кг молока – 13 кг стічних вод. Рідкий гній свинарських комплексів відрізняється високою токсичністю, що значно перевищує рівень забруднення міських фекальних стоків [34-35].

Найбільшу небезпеку відходи тваринництва становлять для ґрунтів та водних джерел, як поверхневих, так і ґрунтових. Гній може бути джерелом багатьох інфекційних та паразитарних захворювань тварин і людей, адже з фекаліями, сечею, слиною чи виділеннями тварин у середовище потрапляють збудники хвороб. Потрапляючи у ґрунт і водойми, такі відходи довго зберігають інфекційність на забруднених територіях [4].

Разом зі стоками у воду потрапляють значні кількості амонійного, нітратного та нітритного азоту, фосфору, магнію, натрію, кальцію, сірки та хлору. Підвищений вміст цих елементів сприяє росту водоростей, змінює смак і запах води, знижує кількість кисню і призводить до евтрофікації водойм. Аміак у стоках токсично впливає на водні мікроорганізми, порушуючи розклад органічних речовин, а надлишок фосфатів стимулює ріст водної рослинності і зменшує кисневий режим.

Деякі збудники хвороб довго зберігають життєздатність у ґрунті: збудник туберкульозу – до 15 місяців, туляремії – до 75 днів, сальмонельозу – від кількох днів до року, бешихи – 4–4,5 місяця. Вони можуть потрапляти у ґрунт разом із поверхневими водами, забрудненими фекаліями, надходити в організм тварин через корм і воду, а також розноситись гризунами та комахами на великі відстані [27-28].

Гній та гнойові стоки також спричиняють забруднення повітря патогенною мікрофлорою та шкідливими газами у вигляді аерозолів. Основним джерелом такого забруднення є гнойові маси під час їх зберігання та обробки безпосередньо на тваринницьких підприємствах.

Дослідження показали, що концентрація шкідливих газів у повітрі та на

прилеглих територіях часто перевищує допустимі норми. Великі комплекси великої рогатої худоби та свиней забруднюють повітря на відстані 2–8 км аміаком, пилом і мікроорганізмами. Крім традиційних забруднювачів, важливо враховувати також «парникові» гази, такі як діоксид вуглецю, метан та інші.

Особливу проблему становлять пилові частинки відходів, що мають неприємний запах. Під час зберігання, транспортування та обробки гною утворюються сірководень, аміак, сульфіді, меркаптани, ароматичні та аліфатичні аміни, органічні кислоти та інші стійкі запахи. Повітря слугує середовищем для розмноження мікроорганізмів, а пил і волога сприяють утворенню аерозолів, здатних адсорбувати на своїй поверхні велику кількість мікробів. Аерогенний шлях переносу шкідливих компонентів посилює негативний вплив локального забруднення атмосфери на тваринницьких підприємствах [36-40].

Щорічно на тваринницьких підприємствах утворювалося близько 50 млн т рідкого гною. Оскільки не всі комплекси обладнані технікою для транспортування та внесення гною у ґрунт, великі обсяги відходів накопичуються на господарських територіях. У зоні діяльності таких підприємств рідка фракція гною іноді потрапляє у ґрунт, ґрунтові води та водосховища, що створює загрозу забруднення патогенними мікроорганізмами, нітратами та іншими шкідливими хімічними сполуками.

Гній – це суміш органічних і неорганічних речовин, розчинених у воді, яка складається з твердих і рідких виділень тварин, неперетравлених залишків корму та підстилкових матеріалів. З фізико-хімічної точки зору рідкий гній є складною неоднорідною системою, що містить механічні домішки, грубо дисперсні, колоїдно-дисперсні та іонно- або молекулярно-дисперсні частинки у воді. Кожна з цих фракцій має власні властивості, структуру, розміри та молекулярну масу, що необхідно враховувати при розробці методів очищення рідких стоків різного походження [31-33].

Знезараження рідкого гною здійснюють хімічними, термічними, біологічними та механічними методами. До хімічних засобів належать речовини, що знищують мікроорганізми або змінюють рН гною та зменшують неприємний запах, наприклад формалін, рідкий аміак, хлорне вапно. Дослідження показали, що при аеробній обробці гною ефективним є додавання сульфату амонію (14 кг/м^3), що нейтралізує сірководень і більшість похідних азоту. Термічний метод, який знищує збудників інфекцій та паразитів за високих температур, поки що застосовується рідко.

Найпоширенішим способом є біологічна обробка гною, що проходить у дві фази: анаеробну і аеробну. Під час аеробної обробки виділяється менше шкідливих газів, але вона потребує великих площ (1 га на 200 корів). Щоб зменшити площі, використовують механічні системи аерації – аеробні ями, лагуни, окислювальні канали та бункери з примусовою аерацією [9].

Склад та властивості гною залежать від виду тварин, кормів, типу підстилки, способу видалення відходів і умов їх зберігання. За типом утримання гній буває підстилковий (твердий) або безпідстилковий (напіврідкий, рідкий). Підстилковий гній складається приблизно на 25 % зі сухої речовини та на 75 % з води і містить екскременти тварин. У ньому в середньому містяться 0,5 % азоту, 0,25 % фосфору, 0,6 % калію та 0,35 % кальцію. Фосфор і калій з гною засвоюються рослинами так само, як і з мінеральних добрив [18].

Гній також багатий на мікроелементи – марганець, бор, мідь, цинк, молібден – і мікроорганізми. В одній тонні гною налічується близько 10–15 кг живих мікробних клітин. Крім того, у відходах присутні залишки кормів, підстилка, вода, механічні домішки (пісок, уламки), залишки ліків та дезінфікуючих засобів, а також шерсть, пір'я та пух.

Внесення гною у ґрунт збагачує його мікрофлору та забезпечує органічну речовину для ґрунтових мікробів. Це сприяє активності азотфіксуючих бактерій, прискорює розкладання органіки, підвищує вміст

вуглекислого газу та гумусу, зменшує кислотність ґрунту, підвищує загальний вміст азоту, покращує структуру ґрунту і його здатність утримувати воду.

На тваринницьких підприємствах із гідравлічними системами видалення відходів накопичується велика кількість безпідстилкового (рідкого) гною. Це рухлива суміш калу та сечі з високим вмістом води та газів, що утворюються під час зберігання. За вологістю рідкий гній поділяють на напіврідкий (до 90 % води) і рідкий (92–96 %).

Основна частина органічних речовин такого гною складається з неперетравлених кормових залишків і містить сирий протеїн, жири, клітковину та біологічно активні речовини. До складу входять легкодоступні форми азоту (до 70 %) і солі органічних кислот, що підвищує ефективність гною як добрива.

Через високу вологість рідкий гній перед внесенням у ґрунт рекомендують обробляти компостуванням із торфом, ґрунтом або іншими компонентами. Торф зволожують гноєм до насичення, а отриманий компост витримують 2–4 місяці залежно від пори року. Такий компост покращує фізичні та хімічні властивості ґрунту, зменшує кислотність і знижує негативний вплив солей мінеральних добрив.

Гній та гнойові стоки є серйозною загрозою для навколишнього середовища, тому у багатьох країнах прийняті нормативно-правові акти, санітарно-гігієнічні вимоги та технологічні стандарти, які регламентують очищення та знезараження гною перед його використанням.

Склад і властивості гною залежать не тільки від виду тварин і їхнього раціону, але й від характеристик ґрунтів, на яких вирощують кормові культури. Корм, вирощений на бідних ґрунтах, має нижчу якість і утворює гній з меншим вмістом поживних елементів для рослин.

Хімічний склад екскрементів визначає їхні властивості та придатність для переробки на добрива або біогаз, оскільки значна частина поживних

речовин, що потрапляють з кормом до організму тварини, виділяється разом з екскрементами. Суха речовина екскрементів на 75–80 % складається з органічної речовини та на 15–25 % – з мінеральної золи.

Вологість екскрементів свиней і великої рогатої худоби залежить від способу видалення, віку та статі тварин і коливається від 86 до 91 %, при щільності близько 1,4 т/м³. У молодняка ВРХ і телят – близько 86%, у лактуючих корів – 88,4% (щільність 1,25 т/м³). При таких показниках екскременти майже не розшаровуються на фракції. Розшарування відбувається при вологості 92% і більше у свиней та 90 % і більше у великої рогатої худоби, зазвичай досягаючи цього розбавленням водою. Гній поділяють за вологістю: до 92 % – «напіврідкий», 92–97 % – «рідкий», понад 97% – гнойові стоки [2].

Залежно від виду тварин екскременти містять 3–14% сухої речовини, яка переважно складається з органічних сполук. Органічна частка сухої речовини становить 84 % у ВРХ і 85 % у свиней, а зольність – 16 % і 15 % відповідно. Крім того, екскременти характеризуються високим бактеріальним обсіменінням – 12,3–158 млн клітин на 1 мл.

При співвідношенні твердої фракції екскрементів до води 1:6, до 18–20 % сухої речовини перебуває в розчиненому стані або у вигляді колоїдів, що не осідають. Гранулометричний склад твердої частини екскрементів свиней і великої рогатої худоби різниться і залежить від раціону, віку та статі тварин. Наприклад, відгодівля свиней комбікормами збільшує частку дрібнодисперсних частинок у порівнянні з гноем, отриманим при годівлі змішаними кормами (соковиті корми, дерть, силос, сінаж тощо).

1.2. Водні екосистеми та їх еколого-токсикологічна оцінка

Водні об'єкти є складними природними екосистемами з великою кількістю абіотичних та біотичних елементів і високим біологічним

різноманіттям. На них впливає людська діяльність: проведення гідромеліоративних робіт, надходження атмосферних опадів з поллютантами (важкі метали, органічні речовини), радіонуклідами та пестицидами. Водойми забруднюються також недостатньо очищеними комунальними та промисловими стоками, включно зі стоками тваринницьких підприємств [3].

Зміна хімічного складу води може викликати евтрофікацію через надходження органічних і мінеральних добрив та пестицидів. Це сприяє «цвітінню» води синьо-зеленими водоростями та виділенню альготоксинів.

На стан водних екосистем впливають не тільки хімічні та фізичні фактори, а й діатомові водорості, численні безхребетні (зокрема гельмінти), дрейсена, адвентизація іхтіофауни та інші біологічні компоненти [26].

Проте головну роль у порушенні природного стану водойм, особливо для гідробіонтів та риб, відіграє якість води, яка змінюється через постійне надходження токсичних сполук. Це особливо стосується водойм, що використовуються для риборозведення та розташовані поблизу промислових, комунальних та сільськогосподарських підприємств, зокрема птахоферм.

Кожна природна водна екосистема має складну організацію на різних рівнях: ландшафтному, екосистемному, біоценотичному та популяційно-видовому. Ряд факторів порушує гідрологічний режим, сприяє евтрофікації, змінює видовий склад абіотичних і біотичних компонентів та структурно-функціональну організацію екосистем, що призводить до появи нових і зникнення існуючих популяцій гідробіонтів.

Використання великих обсягів води для технологічних потреб супроводжується скиданням стічних вод, що містять значні кількості органічних та неорганічних забруднювачів. За останні роки антропогенне навантаження на водойми зросло через надходження різних забруднювачів і ксенобіотиків, які змінюють хімічний склад води та негативно впливають на зоо- і фітопланктон, а також іхтіоценози [16].

Джерелами забруднення водних екосистем є пестициди (гербіциди,

фунгіциди, акарициди) та інші отрутохімікати, які потрапляють у водойми з атмосферними опадами. Значні проблеми викликає потрапляння нафти та нафтопродуктів, які токсично впливають на гідробіонтів, зокрема риб.

Відходи лісопереробних підприємств сприяють надходженню в воду органічної речовини, сульфатів, азотистих сполук і клітковини. Металургійні заводи забруднюють річки важкими металами, зваженими частками, фторидами, ціанідами, амонієм, фенолами та нафтопродуктами. Підприємства хімічної промисловості скидають феноли, розчинники, барвники, ароматичні вуглеводні, органічні і мінеральні кислоти, СПАВ та важкі метали.

Гірничодобувна і вугільна промисловість забруднює водойми пилом, газами, неорганічними сполуками та зваженими частками, до яких відносяться уламки породи, ґрунту, піску, глини і мулу. Легка, текстильна і харчова промисловість навіть після очисних споруд скидає у воду барвники, феноли, органічні речовини, солі кислот, дубильні речовини та інші забруднювачі [16].

Особливу небезпеку становлять комунальні стоки великих міст і промислових центрів, у тому числі з медичних закладів, де разом з водою потрапляють органічні речовини, аміни, феноли, антибіотики, сульфаніламідні препарати та гормони. Іноді у водоймах виявляють збудників небезпечних інфекцій, кишкову паличку, холерний вібріон, тиф та паразитів.

При аварійних скидах стічні води з резервуарів очисних споруд можуть потрапляти неочищеними у водойми, особливо під час паводків навесні. Накопичення стоків у відстійниках сприяє забрудненню поверхневих і підземних вод, де все частіше виявляють нітрати, вуглеводні, важкі метали, радіонукліди, пестициди та стероїдні гормони.

Антропогенне забруднення води через стічні води очисних споруд і опади з полів погіршує її якість: підвищується вміст зважених речовин,

аміаку і нітратів, знижується концентрація розчиненого кисню, що негативно впливає на водні організми.

Велику загрозу для водних екосистем створюють тваринницькі підприємства та об'єкти ветеринарної медицини. Під час виробничої діяльності, особливо в процесі утримання тварин, на цих об'єктах утворюються великі обсяги відходів: твердий і рідкий гній, гнойові та технологічні стоки, господарсько-побутові стоки та стічні води.

Дослідження показали, що стічні води з рибоводних об'єктів погіршують якість річкової води: підвищується концентрація аміаку та фосфору, знижується рівень кисню, зростає кількість зважених речовин. Це свідчить про негативний вплив аквакультури на природні водойми [30].

Обсяги утворених рідких відходів залежать від виду та потужності підприємства, технології виробництва, способу видалення екскрементів і ефективності роботи очисних споруд. Висока щільність тварин на обмежених територіях погіршує стан навколишнього середовища та водних об'єктів, розташованих поблизу.

Окрім рідких відходів, у повітря потрапляє пил, шкідливі гази та мікроорганізми – бактерії і віруси. Забруднення води класифікують за джерелом (промислові, сільськогосподарські, комунальні), за видом (фізичні, хімічні, біологічні), за станом компонентів (аеро-, гідро-, літо-, біо-, радіо-), за швидкістю розпаду (легко-, важко- та нерозкладні), за масштабом (крапкові, локальні, регіональні, глобальні), за силою впливу (фонові, імпульсні, постійні, зростаючі, катастрофічні) та за тривалістю (тимчасові, довготривалі).

Водні екосистеми додатково страждають через надмірний вилов риби, вселення нових видів, інтенсивні агротехнології, порушення гідрологічного режиму, будівництво гідротехнічних споруд, розвиток аквакультури та інші фактори [1].

Останнім часом стан водних об'єктів погіршився через недотримання норм охорони природи, порушення водоохоронних зон, неефективну роботу або відсутність очисних споруд, а також будівництво житлових і промислових об'єктів, прокладання нафто- та газопроводів, створення штучних прибережних зон.

Антропогенний вплив на водні екосистеми може бути прямим або непрямим [13]. До прямого впливу відносять дії, що безпосередньо змінюють гідрологічний режим водойм, наприклад: видобуток піску, зміни русла річки, намивання берегів. Непрямий вплив проявляється через процеси евтрофікації, зміни харчових ланцюгів та зникнення окремих видів рослин і тварин.

Разом із зростанням антропогенного тиску, останніми роками посилюється контроль за скидом техногенних забруднювачів у водойми. Розробляються та впроваджуються заходи для відновлення екологічного стану малих річок, озер і ставів, проте проблеми великих річок України та штучних водосховищ залишаються невирішеними [11].

Важливим фактором, що визначає стан водних екосистем, є водний басейн, який слід розглядати як єдину макросистему [28, 32]. Основні компоненти цієї макросистеми, що впливають на екологічний стан водойм, включають: рельєф і стан прилеглих територій, лісові масиви, водно-болотні угіддя, рівень ґрунтових вод, види водяних рослин, фіто- та зоопланктон, іхтіофауну, паразитоценози та господарську діяльність у зоні басейну [12].

Для стабільного функціонування природних водних екосистем рекомендується дотримуватися співвідношення 50:50 між порушеними та непорушеними прибережними територіями. При цьому лісистість території повинна складати не менше 30 %, залугованість – до 20 %, а решта – орні землі, урбанізовані території та інфраструктура.

Порушення цих норм призводить до зниження росту водяних рослин, зменшення врожайності сільськогосподарських культур, ураження

іхтіофауни бактеріальними, вірусними та паразитарними хворобами, погіршення умов відтворення флори і фауни, заболочення водойм та їх поступової деградації.

Надходження у воду органічних та неорганічних сполук підвищує мінералізацію води та її сапробність, сприяє накопиченню “кислих” еквівалентів і посиленню евтрофікації [4]. Особливу небезпеку становлять поверхнево-активні речовини (ПАР), які поділяють на природні (ППАР) та синтетичні (СПАР). Для рибогосподарських водойм встановлено гранично допустимі концентрації: для аніонних СПАР – 0,10 мг/дм³, для катіонних – 0,012 мг/дм³.

Крупні підприємства тваринницького сектору є основними джерелами забруднення навколишнього середовища, що пов'язано з утворенням та накопиченням значних обсягів відходів, стічних вод, пташиного посліду та побічних продуктів переробки сировини. За даними екологічних служб ЄС, щорічні збитки від такого впливу складають 3–5 % валового національного доходу. В Україні ця проблема посилилась на початку ХХІ століття через масштабне нарощування потужностей у виробництві бройлерів, харчових яєць, молока та свинини.

Так, діяльність ТОВ «Комплекс Агромарс» супроводжувалась щоденним викидом понад 15 т шкідливих речовин у повітря, щогодинним скидом близько 90 м³ стічних вод у природні водойми після очищення та видаленням близько 400 т підстилки з курячим послідом. Для вирощування птиці підприємство щорічно використовує до 50 видів кормових добавок, лікарські препарати, 68–70 тис. т підстилки, 1,5–2 млн м³ питної води та 100–110 млн м³ природного газу. У результаті в атмосферу потрапляє 750–770 т шкідливих газів і пилу, зокрема 58–88 т аміаку.

Проблемними залишаються також стічні води, які після біологічного очищення перевищують допустимі концентрації: завислі речовини – на 11 %, нітрати – на 25 %, фосфати – у 4 рази, загальне залізо – у 15,6 рази.

Дослідження Јіе Нои та співавторів показали, що у продуктах життєдіяльності тварин і птиці та ґрунті північного Китаю виявлено антибіотики: тетрацикліни (3326,6–12302,6 нг/кг), фторхінолони (170,6–874,2 нг/кг), нітрофурани (85,1–158,1 нг/кг) та макроліди (1,4–4,8 нг/кг). Основними шляхами потрапляння цих сполук у навколишнє середовище є гній та послід, а також змиви з полів під час опадів у водойми.

Таким чином, крупні тваринницькі підприємства суттєво впливають на екологічний стан територій, сприяючи забрудненню повітря, ґрунтів та водних екосистем токсичними речовинами та мікроорганізмами.

Надходження та накопичення антибіотиків у навколишньому середовищі створює загрозу стабільності екосистем через формування резистентних до них бактерій. Ця проблема особливо актуальна для районів з інтенсивним тваринництвом, де висока концентрація тварин або птиці на обмежених територіях передбачає широке використання профілактичних та лікувальних засобів, включно з антибіотиками, які потрапляють у ґрунт та воду разом із продуктами життєдіяльності тварин.

Дослідження показали, що найпоширенішими антибактеріальними препаратами у зразках ґрунту та гною є тетрацикліни, фторхінолони, нітрофурани та макроліди. Залишкова концентрація хлортетрацикліну та окситетрацикліну у гної свиноферм перевищує таку у посліді курей та індиків. Для посліду птиці характерні сульфаніламідні, зокрема сульфаметоксазол, сульфаклорпіридазин і сульфадимідин. При цьому залишки тетрациклінів і сульфаніламідів виявляють і в гної інших тваринницьких підприємств.

Встановлено, що видовий склад та концентрація антибактеріальних препаратів у гної залежать від виду тварин, застосованих засобів для лікування, профілактики чи стимуляції росту, дози препаратів та їх метаболічного перетворення. Зокрема, найбільша кількість сульфаніламідів спостерігається у посліді при вирощуванні курей, дещо менша – при

виробництві свинини, і найменша – у гної великої рогатої худоби під час виробництва молока.

Останнім часом значну екологічну та соціальну проблему становлять речовини, відомі як ендокринні руйнівники, які навіть у незначних концентраціях негативно впливають на організми [24]. До цієї групи належать естрогени, що присутні у побутових стічних водах як у вільній, так і в кон'югованій формі. Сучасні дослідження показали, що стічні води містять ряд стероїдних гормонів, зокрема естріол та його похідні, рівень яких залишається високим навіть після очищення на очисних спорудах.

Низька ефективність таких очисних споруд призводить до надходження естрогенів у річкові води у значних кількостях. Крім того, стічні води тваринницьких підприємств містять різноманітні ендокринні руйнівники, у тому числі синтетичні гормони, такі як нандролон, який широко застосовується як стимулятор продуктивності тварин [12].

1.3. Вплив ксенобіотиків антропогенного походження на гідробіонтів

Забруднення водних об'єктів стічними водами промислових і тваринницьких підприємств, що містять ксенобіотики органічного та мінерального походження, призводить до погіршення функціонування водних екосистем і змін у іхтіоценозах. Риби, як важливі біоіндикатори екологічного стану водойм, дозволяють оцінити вплив токсикантів за зміною морфології, складу крові, активності ферментів та показників метаболізму.

Дослідження показують, що найбільш чутливими до дії токсичних речовин є ембріональний, личинковий і мальковий періоди розвитку риб. Максимальні порушення, включно із загибеллю ембріонів, спостерігаються

на стадіях дроблення та гастрюляції, а також у період переходу личинок на змішане живлення.

Екзогенні фактори водного середовища поділяються на життєво необхідні (реалізуючі), такі як гідрохімічний склад, температура, газовий режим і рН води, та екстремальні, зокрема вміст аміаку, сірководню, вуглекислого газу та інших токсикантів. Дія цих факторів посилюється антропогенним навантаженням, коли концентрації токсичних речовин перевищують природні межі.

Організм риб адаптується до змін складу води в певних межах, підтримуючи гомеостаз. Проте ранній онтогенез є особливо вразливим: вплив ксенобіотиків проявляється змінами виживаності, швидкості розвитку ембріонів і личинок, росту, кількості міомерів, хребців, лусок, інтенсивності дихання, метаболізму та виникненням структурних і функціональних порушень [2, 3, 13].

Таким чином, антропогенні ксенобіотики у ранньому онтогенезі риб можуть суттєво впливати на їх розвиток, що негативно позначається на популяціях і стійкості водних екосистем.

Токсичні речовини впливають на риб на всіх етапах розвитку – від запліднення ікри до статевозрілих особин, проте найбільш чутливими є ембріональний і ранній постембріональний періоди. Саме на цих стадіях оцінюють вплив хімічного забруднення та визначають гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднювачів, а також розробляють методики біотестування природних водойм [30].

Реакція риб на токсиканти залежить від виду забруднювача, його концентрації, механізму дії, здатності організму до детоксикації та виведення, а також від додаткових факторів [14, 22]. Токсиканти порушують діяльність центральної нервової системи, що призводить до дисфункцій органів і систем, а органічні забруднювачі впливають на популяційний, генетичний, морфофізіологічний та молекулярний рівні. Наприклад,

пестициди та детергенти спричиняють хромосомні аберації, аномалії хребта та скелета [17].

Серед небезпечних сполук особливу увагу приділяють азотовмісним: нітрати, нітрити та аміак порушують метаболізм, викликають метгемоглобінемію, гіпоксію і анемію [18]. Амонійний азот має більш токсичний ефект, активуючи механізми детоксикації та перетворення у менш небезпечні форми.

Зростаюче антропогенне навантаження на замкнені водойми – стави, озера та водосховища – обумовлює необхідність постійного контролю за вмістом у воді забруднюючих речовин. Надійними індикаторами екологічного стану таких водойм є морфометричні показники риб, що не здатні до тривалих міграцій і залишаються в межах певної екосистеми протягом тривалого часу. Рекомендується використовувати ряд анатомо-морфологічних параметрів для оцінки забруднення води.

Дослідження показали, що у бичка-кругляка (*Neogobius melanostomus* L.), виловленого в Азовському морі, забрудненому нафтопродуктами, хлорорганічними пестицидами та важкими металами, спостерігаються зміни морфологічних характеристик, біохімічних процесів і молекулярних біомаркерів. У риб під впливом токсикантів змінюються гепатосоматичний та гонадосоматичний індекси, порушується функція печінки, знижується репродуктивна здатність, підвищується рівень цитохромів P450 і B5 та активність глутатіон-S-трансферази в мікросомальній фракції гепатоцитів.

Таким чином, морфологічні ознаки та молекулярні біомаркери риб є важливими індикаторами забруднення водойм ксенобіотиками антропогенного походження, включаючи стоки тваринницьких підприємств.

Аналіз наукових джерел свідчить про широку присутність ксенобіотиків у природних водоймах, що змінюють фізико-хімічні властивості води та негативно впливають на гідробіонтів, зокрема іхтіофауну. Водночас, забруднення водойм рідкими відходами

тваринницьких комплексів, особливо залишками лікарських препаратів, потребує додаткових досліджень. Необхідно розробляти нові критерії оцінки екологічного стану водних об'єктів, ефективні методи відновлення їх рівноваги та підвищення якості води і рибної продукції для рибогосподарських потреб.

1.4. Обґрунтування постановки власних досліджень

Виробництво продукції свинарства є одним із найбільш інтенсивних напрямів тваринництва, що характеризується високою концентрацією тварин на обмежених площах, значним обсягом утворення органічних відходів та суттєвим навантаженням на навколишнє природне середовище. Гноєві стоки свиноферм містять підвищені концентрації органічної речовини, амонійного азоту, нітритів, нітратів, фосфатів, завислих часток, а також мікроорганізмів, що можуть негативно впливати на якість водних екосистем. Одним із найбільш вразливих природних об'єктів є ставки, що розташовані в зоні діяльності господарств із виробництва свинини, які нерідко стають приймачами дренажних вод, поверхневого стоку або фільтраційних втрат із майданчиків для зберігання гноївки.

Порушення гідрохімічного балансу таких водойм проявляється в підвищенні біохімічного споживання кисню, зниженні вмісту розчиненого кисню, накопиченні амонію та сполук азоту, що спричинює евтрофікацію, заморні явища, деградацію природних біоценозів та зниження здатності водойми до самоочищення. У цих умовах особливої актуальності набуває пошук екологічно безпечних, економічно доцільних та технологічно простих методів біологічного очищення води, здатних забезпечити довготривале відновлення екосистеми без застосування дорогих або хімічно агресивних технологій.

Постановка власних досліджень ґрунтується на необхідності

комплексного вивчення ефективності природних та штучно створених біоочисних систем, що можуть бути адаптовані для очищення ставів у зоні впливу підприємств свинарської галузі. Основним завданням є не лише оцінка сучасного стану водойм, але й визначення потенціалу біологічних методів – таких як: фітоочищення (використання вищих водних рослин), біоплато, біофільтри на основі мікроводоростей, природні біоценози планктону та бентосу, а також комплексні біореконструктивні заходи.

Обґрунтування дослідження передбачає аналіз того, що біологічні методи очищення мають низку переваг порівняно з технічними (механічними та хімічними). По-перше, вони забезпечують безперервне природне очищення завдяки діяльності рослин, мікроорганізмів та водоростей, що споживають і трансформують забруднювальні речовини. По-друге, такі методи потребують значно менших фінансових витрат і підходять для застосування на сільськогосподарських підприємствах, де бюджет на природоохоронні заходи обмежений. По-третє, біологічні системи очищення не лише зменшують концентрацію шкідливих речовин, але й сприяють відновленню біорізноманіття, стабілізації кисневого режиму, покращенню естетичного та рекреаційного стану водойм.

Для повного та достовірного оцінювання ефективності обраних способів очищення необхідно визначити вихідний екологічний стан водойм, провести хімічний та мікробіологічний аналіз проб води, оцінити фізико-хімічні показники – температуру, рН, концентрацію амонію, нітратів, фосфатів, завислих речовин, розчиненого кисню. Важливо також дослідити видовий склад водних рослин, фітопланктону та зоопланктону як природних індикаторів стану водойми. Окрему наукову цінність становить аналіз динаміки відновлення гідробіоценозів після впровадження біоочисних систем, що дозволяє оцінити не лише миттєвий ефект, але й довгострокову екологічну стійкість запропонованих заходів.

Особливе значення для постановки власних досліджень має врахування

специфіки свинарських підприємств, адже вони генерують стоки з унікальним складом, у якому домінують азоторганічні сполуки. Саме тому необхідно встановити, які саме біологічні методи найбільш ефективні у відношенні трансформації амонію, окиснення органічних речовин та зниження трюфності води. Важливо оцінити не тільки швидкість очищення, але й біологічну стабільність системи та її здатність до самопідтримки.

Отже, постановка власних досліджень зумовлена потребою пошуку практично застосовних, науково обґрунтованих та екологічно спрямованих рішень, що дозволять мінімізувати негативний вплив підприємств із виробництва свинини на водні екосистеми. Результати роботи можуть бути використані як для удосконалення систем природоохоронного менеджменту господарств, так і для підвищення ефективності біологічного очищення водойм у сільськогосподарських регіонах.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Визначення хімічного складу рідких відходів тваринницьких підприємств

Загальна кількість відходів свинарських підприємств розраховувалася на основі статистичних даних про чисельність діючих об'єктів, поголів'я свиней та середню кількість екскрементів, виділених тваринами різних вікових груп, відповідно до нормативно-рекомендаційних документів «Свинарські підприємства» (ВНТП-АПК-02.05).

Хімічний склад рідкого гною та гнойових стоків контролювали згідно рекомендацій [5-8, 15]. У відібраних середніх зразках визначали вміст сухої речовини та золи шляхом висушування при 105°C до постійної маси та подальшого спалювання при 650°C. Загальний вміст домішок визначали гравіметричним методом (РД 118.02.7–88), загальний азот – методом мокроого озолення за Кельдалем (ISO 5663:1984), амонійний азот – колориметрично з реактивом Вінклера-Несслера (ISO 5664:1984), нітрати – за методом на основі саліцилової кислоти [8, 22], а нітрити – з використанням реактиву Грісса.

Контроль забруднюючих речовин у рідких стоках свиного комплексу здійснювали шляхом вилучення механічних домішок та органічних речовин через спеціальні фільтри [16].

2.2. Дослідження гідрохімічного складу води

У воді ставів контролювали наступні показники. Іонний склад: хлориди, сульфати, фосфати, кальцій, магній, залізо; Нітрогенний склад:

амонійний, нітратний та нітритний азот; Фізико-хімічні параметри: активна кислотність (рН), перманганатна окисненість, лужність, жорсткість води [6]. Крім того визначали загальний вміст домішок [10] і показники газового режиму води, а саме вміст розчиненого кисню.

2.3. Визначення антибактеріальних препаратів у відходах

Вміст антибактеріальних препаратів у рідкому гної та гнойових стоках свинарського підприємства визначали методом рідинної хроматографії, адаптованим для дослідження ксенобіотиків у відходах тваринницьких підприємств [19].

Підготовка зразків включала: Відбір середньої проби (≈ 100 г) та гомогенізацію. Екстракцію антибіотиків і сульфаніламідних препаратів 20 % ТХО-кислотою та центрифугування. Повторну екстракцію осаду фосфатним буфером, ТХО-кислотою та ацетонітрилом, об'єднання супернатанту. Очищення методом твердофазної екстракції (картриджі *OASIS HLB*), елюювання 3 мл етанолу, висушування в потоці азоту та перерозчинення в 0,01 % розчин мурашиної кислоти.

Аналітичне визначення: Сульфаніламідні препарати (сульфаніламід, сульфаметазин, сульфагуанідин, сульфамеразин, сульфадіазин, сульметоксазол, сульфатіазол, сульфадиметоксин, сульфаметокспіридазин) – рідинна хроматографія з флуоресцентним детектором «*Varian*» і колонкою *Polaris C18*, обробка *Galaxy* [19].

Тетрациклінові та фторхінолонові антибіотики, хлорамфенікол – рідинна хроматографія з подвійним МАС-спектрометричним детектором «*Waters*» (*Aliance XE*) і колонкою *SanFire C18* (50×4,6 мм, 5 мкм), обробка *MassLynx*.

Масову частку визначали методом зовнішнього стандарту, ідентифікацію – за часом утримання, наявністю відповідних іонів та співвідношенням їх інтенсивності.

2.4. Дослідження антигельмінтиків і гормонів у відходах

Вміст антигельмінтиків у рідкому гної і гнойових стоках свиноферми визначали за методом [21], використовуючи рідинний хроматограф з флуорисцентним детектором фірми «*Varian*», модель *ProStar* (США), який оснащували аналітичною колонкою *Microsorb C 18*, використовуючи програмне забезпечення *Galaxy* [28].

Підготовка проб для аналізу передбачала відбір та гомогенізацію середніх зразків відходів, екстракцію антигельмінтиків із гомогенату – альбендазолу, фенбендазолу та левамізолу ацетонітрилом з наступним перерозчиненням їх залишків диметилсульфоксидом. Одержані таким чином аліквоти наносили на колонку приладу (*San Fire C 18*; 50x4,6x5 мкм).

Ідентифікацію та кількісне визначення антигельмінтиків у відходах проводили за стандартними розчинами альбендазолу, фенбендазолу та левамізолу.

Вміст гормонів та гормональних сполук у відходах свиноферми визначали за допомогою скрінінгових методів, заснованих на принципах ІФА, згідно рекомендацій [13]. З цією метою використовували біочіп-аналізатор фірми «*Rendox*» (Великобританія) та реактиви фірми «*R-biopharm*» (Німеччина). Застосований метод давав можливість визначати не окремі сполуки, а речовини, які відносяться до групи β -агоністів, болденону, нандролону, станозолону, стільбенів, кортикостероїдів, зеранолу і рактопаміну [21].

Ідентифікацію та кількісне визначення вказаних груп речовин проводили за допомогою стандартних розчинів вказаних ксенобіотиків.

2.5. Дослідження органічних сполук стічних вод

Ідентифікацію та визначення вмісту органічних сполук гнойових стоків свиноферми проводили за методом [24].

Для виділення органічних сполук із відходів використовували пористий полімерний сорбент (хромосорб 105 (США)), який здатний зв'язувати ксенобіотики з наступним аналізом концентратів за допомогою газового хроматографа.

Виділення органічних сполук із гнойових стоків включало відмивання сорбента від мономерів в апараті Соклетта органічними розчинниками, а саме діетиловим ефіром, ацетоном та метанолом. Після чого відмитим сорбентом (3 г), заповнювали скляну трубку ($d=10$ мм), з'єднану з колбою для досліджуваних гнойових стоків. Останні фільтрували і у кількості – 1,0 л пропускали через сорбент із швидкістю 1,5 мл/хв, продуваючи розчин потоком повітря. Після чого сорбент промивали 50 мл бідистильованої води та продували потоком повітря до повного її видалення. Зв'язані органічні сполуки десорбували з сорбента Хромосорб 105 метанолом при швидкості потоку 1,0 мл/хв. Одержані концентрати досліджуваних зразків аналізували за допомогою хроматомас-спектрометра *Agilent Technologies 6890N/5973N* (США) з капілярною колонкою *DB-5MS*: $L=30$ м:7d-0,25 мм та маспектрометричним детектором. В якості носія використовували газ гелій. Ідентифікацію низькомолекулярних органічних сполук здійснювали за стандартними розчинами, а також бібліотекою мас-спектрів, доданої до приладу.

Одержані результати обробляли за одним із статистичних методів з урахуванням критерія Стюдента, використовуючи спеціальне програмне забезпечення *Microsoft Excel*.

2.6. Дослідження ембріонального розвитку виживаності личинок риб

Показники ембріонального розвитку риб досліджували візуально на щойно відібраній ікрі самки коропа, яку штучно запліднювали, висівали у

чашки Петрі та контролювали кількість загиблих ікринок, кількість живих ембріонів та личинок, які виклюнулись [14].

Гостру токсичність ксенобіотиків визначали на ікрі і ембріонах риб відповідно до вимог стандартів ISO 7346-1, ISO 7346-2 і ISO 7346-3 [6-8]. Ембріональний розвиток риб характеризували за стадіями розвитку ікри і викльовом личинок. Аномалії тіла у личинок коропа встановлювали за їх зовнішнім виглядом на окремих стадіях їх розвитку [14]. У ембріонів контролювали недорозвинення окремих відділів тіла, аномалію форми й розмірів жовткового мішка, шаблеподібну форму тіла, водянку навколосерцевої сумки, порушення роботи серця.

Для проведення біопроби в якості тест-об'єкту використовували планктонних ракоподібних *Daphnia magna*, кількість яких в експериментах підраховували візуально згідно рекомендацій [14]. Загальна кількість досліджувальних об'єктів у роботі, їх методику, ідентифікацію приладів чи реактивів із визначенням показників наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Методи дослідження, прилади та визначені показники у рамках експерименту

№	Досліджуваний об'єкт	Методика	Прилад / реактив	Визначені показники
1	Рідкий гній та гнойові стоки свиноферми	Визначення сухої речовини та золи	Висушування при 105°C, спалювання при 650°C	Суха речовини, зола
2	Рідкий гній та гнойові стоки	Вміст загального азоту	Метод мокроого озолення за Кельдалем (ISO 5663:1984)	Загальний азот
3	Рідкий гній та гнойові стоки	Амонійний азот	Колориметрично, реактив Вінклера-Несслера (ISO 5664:1984)	NH ₄ ⁺
4	Рідкий гній та гнойові стоки	Нітрати	Метод із саліциловою кислотою	NO ₃ ⁻
5	Рідкий гній та гнойові стоки	Нітроти	Метод Грісса	NO ₂ ⁻

№	Досліджуваний об'єкт	Методика	Прилад / реактив	Визначені показники
6	Рідкий гній та гнойові стоки	Вміст механічних домішок та органіки	Фільтрування через спеціальні фільтри	Домішки
7	Рідкий гній та гнойові стоки	Антибактеріальні препарати (тетрациклін, хлортетрациклін, фторхінолони, сульфаніламід)	Рідинний хроматограф Varian і Waters з флуорисцентним та МАС-детектором, колонки Polaris C18 та SanFire C18	Вміст антибіотиків та сульфаніламідних препаратів
8	Рідкий гній та гнойові стоки	Антигельмінтики (альбендазол, фенбендазол, левамізол)	Рідинний хроматограф Varian ProStar, колонка Microsorb C18	Вміст антигельмінтиків
9	Рідкий гній та гнойові стоки	Гормони та гормональні сполуки (β-агоністи, болденон, нандролон, станозолон тощо)	Біочіп-аналізатор Rendox, реактиви R-biopharm	Вміст гормонів
10	Рідкі стоки свиноферми	Органічні сполуки	Газовий хроматограф з мас-спектрометром Agilent 6890N/5973N, сорбент Хромосорб 105	Вміст органічних ксенобіотиків
11	Вода ставів	Фізико-хімічні показники	Стандартні методи [4, 173, 177, 404]	Хлориди, сульфати, фосфати, Са, Mg, Fe, активна кислотність, амонійний, нітратний, нітритний азот, перманганатна окисненість, лужність, жорсткість, рН, розчинений кисень
12	Ембріони та личинки коропа	Ембріональний розвиток, виживаність	Візуальний контроль, ISO 7346-1,2,3	Кількість живих ікринок, личинок; аномалії розвитку
13	Планктонні ракоподібні <i>Daphnia magna</i>	Біопроба токсичності	Візуальний підрахунок	Кількість живих особин

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Екологічні проблеми територій, розміщених поблизу тваринницьких підприємств, пов'язані із утворенням великої кількості відходів, а також із викидами у повітря, воду та ґрунти значної кількості пилу, шкідливих газів і мікроорганізмів – збудників хвороб тварин і людей.

На кінець першого півріччя 2018 року в Україні функціонувало близько 2000 свинарських підприємств різної потужності, на яких утримувалося понад три мільйони голів свиней. Найбільша концентрація поголів'я спостерігалась у Вінницькій, Хмельницькій, Кіровоградській, Львівській, Київській, Тернопільській, Дніпропетровській та Полтавській областях.

Основним продуктом діяльності цих підприємств є свинина, проте одночасно утворюється значна кількість різних видів відходів. В основному це екскременти тварин, що надходять на прилеглі території у вигляді рідкого гною та гнойових стоків. За попередніми підрахунками, на підприємствах, які використовують інтенсивні технології вирощування свиней, щорічно утворюється близько 5,03 млн т рідких відходів – гною та гнойових стоків, що надходять у навколишнє середовище.

Дослідження показали, що рідкий гній і гнойові стоки свинарських підприємств містять: значну кількість органічних і мінеральних забруднень; лікувально-профілактичні засоби та стимулятори продуктивності тварин; низькомолекулярні органічні сполуки; продукти деградації поживних речовин кормів у кишечнику тварин.

Використання гідравлічної системи гноєвидалення з приміщень для утримання тварин потребує великих обсягів води, що веде до утворення значних обсягів рідкого гною та гнойових стоків та їх надходження на прилеглі території. Велика частина відходів накопичується у гноєсховищах,

де витримується не менше шести місяців для знезараження, а потім використовується як органічне добриво для поливу кормових культур.

Виявлені у відходах ксенобіотики мало піддаються біодеградації, тому основна їх кількість потрапляє на поля і з атмосферними опадами – у природні водойми або поверхневі водоносні горизонти.

Навіть на підприємствах із сучасними способами обробки відходів, зокрема за технологіями біоферментації та з використанням очисних споруд, залишаються проблеми забруднення ґрунтів і поверхневих вод природних водойм. До відомих компонентів відходів додаються залишки лікувально-профілактичних засобів, гормони, антиоксиданти та різноманітні кормові добавки. На основі аналізу хімічного складу рідкого гною та гнойових стоків свинарського підприємства, а також даних статистики щодо чисельності поголів'я свиней у промислових господарствах, проведено розрахунки загального обсягу утворюваних відходів та вмісту в них основних забруднювачів навколишнього середовища.

При цьому не враховувалися індивідуальні селянські господарства, де утримується близько 3,0 млн. голів свиней, а загальна кількість відходів у вигляді твердого гною досягає приблизно 4,93 млн. т на рік. Оскільки твердий гній зберігають у буртах та використовують як органічне добриво, його вплив на водні екосистеми є значно меншим, ніж рідкого гною та гнойових стоків, що утворюються на великих промислових підприємствах і становлять серйозну загрозу природним водним об'єктам.

Згідно з результатами розрахунків, проведених із використанням даних ВНТП АПК-02-05 «Свинарські підприємства», на 1000 голів свиней щороку утворюється: понад 1529,8 т рідкого гною, 113,67 т сухої речовини, 89,95 т органічних сполук, 23,73 т золи, 21,69 т азотовмісних сполук, у тому числі 14,78 т амонійного азоту.

Розрахунок загальної кількості відходів на всіх промислових підприємствах показав, що близько 2/3 утворюваних відходів надходить як

рідкий гній, а 1/3 – як гнойові стоки. Внаслідок цього у навколишнє середовище щороку потрапляє: понад 3,35 млн. т рідкого гною, 1,68 млн. т гнойових стоків, 4,75 млн. т стічних вод, до 272,4 тис. т сухої речовини.

Головними забруднювачами у цих відходах є: органічні сполуки – понад 213,3 тис. т, зола – 59,1 тис. т, загальний азот – 630,4 тис. т, амонійний азот – 432,5 тис. т, забруднюючі речовини – 743,3 тис. т на рік. Таким чином, рідкий гній та гнойові стоки промислових свинарських підприємств є значним джерелом хімічного та біологічного забруднення ґрунтів і водних об'єктів, що обґрунтовує необхідність постійного моніторингу та розробки ефективних методів очищення відходів.

Як видно з проведених розрахунків, утворені на свинарських підприємствах відходи створюють значний екологічний тиск на навколишнє середовище та водні об'єкти. Загальна кількість рідкого гною та гнойових стоків часто перевищує конверсійну здатність ґрунтів і водних систем прилеглих територій, що призводить до накопичення відходів і виникнення серйозних екологічних проблем.

Попередні оцінки показали, що із рідким гноем та гнойовими стоками в навколишнє середовище потрапляє близько 5,2 т сульфаніламідних препаратів на рік за умови їх постійного застосування як компонентів кормових добавок для профілактики шлунково-кишкових захворювань тварин. Найбільше в відходах міститься сульфаметазин – 3,0–4,5 т/рік. Інші сульфаніламідні препарати потрапляють у довкілля у менших кількостях: сульфаніламід – 0,45–0,80 т, сульфагуанідин – 0,02–0,25 т, сульфамеразин – 0,013–0,020 т, сульфадіазин – 0,017–0,030 т та сульфаметоксазол – 0,007–0,035 т/рік.

Антибіотики групи тетрациклінів і фторхінолонів, зокрема хлортетрациклін, доксіциклін та хлорамфенікол, щороку надходять у навколишнє середовище у кількості 0,85–0,92 т. Вони здатні накопичуватися

у водних об'єктах, впливати на метаболічні процеси у гідробіонтів та сприяти формуванню резистентних мікроорганізмів.

Особливу екологічну небезпеку становлять антигельмінтики – альбендазол та фенбендазол. У рідкому гної та гнойових стоках їх загальна кількість становить 0,34–1,45 т на рік. Потрапляючи у водойми, ці сполуки здатні змінювати гідрохімічний склад води, впливати на газовий режим, морфометричні показники риб та функціональний стан їх внутрішніх органів.

Синтетичні гормони, що застосовуються для стимуляції продуктивності свиней, також накопичуються у відходах. Так, нандролон (19-нортестостерон) надходить у навколишнє середовище у кількості 7,0–19,5 т на рік. Додатково із відходами потрапляє значна кількість інших гормонів – болденон, станозолон, тренболон, рактопамін, стільбени та кортикостероїди, загальна кількість яких може перевищувати 0,25 т/рік.

Особливу тривогу викликають значні обсяги естрогенів, що надходять у природні водойми та водоносні горизонти, сприяючи порушенню гормонального балансу у гідробіонтів і зміні функціонального стану водних екосистем. Таким чином, відходи свинарських підприємств є значним джерелом ксенобіотиків антропогенного походження, здатних спричинити довготривалі зміни у складі та функціонуванні ґрунтів і водних екосистем, що обґрунтовує необхідність впровадження ефективних систем очищення та моніторингу їх впливу.

Отже, значні обсяги відходів, що утворюються на свинарських підприємствах, а також наявність у них антибактеріальних засобів, антигельмінтиків, гормонів та амонійних сполук створюють серйозні екологічні проблеми для довкілля, насамперед для водних екосистем.

Подальші дослідження з метою поглибленої еколого-токсикологічної оцінки ставів були спрямовані на вивчення не лише хімічного складу води, але й вмісту лікувально-профілактичних засобів у відходах даного підприємства, які постійно потрапляють у водойми, що використовуються в

рибогосподарських цілях.

Встановлено, що у воду ставу разом із гнойовими стоками свинарського підприємства, утвореними в результаті змішування екскрементів різних вікових груп тварин під час їх утримання в приміщенні та технологічного використання води, надходила значна кількість забруднень органічного та неорганічного походження. Основними забруднювачами води є відходи життєдіяльності тварин – екскременти, рідкий гній, гнойові та технологічні стоки, а також утворені стічні води, що містять значну кількість ксенобіотиків.

На кількість і хімічний склад стічних вод впливає спосіб видалення відходів із приміщень. Найбільші об'єми рідких відходів утворюються за гідрозмивом – основним способом видалення екскрементів з будівель з наступною їх обробкою на очисних спорудах шляхом відстоювання та аерації.

У гнойових стоках свинарського підприємства, які найчастіше забруднюють природні водойми порівняно з рідким гноєм, встановлено зменшення вмісту забруднюючих речовин на 25,0 %, загального азоту – на 16,0 %, амонійного азоту – на 14,0 %, органічних речовин – на 6,0 %. Вміст сухих речовин у гнойових стоках виявився нижчим на 5,0 %, золи – на 6,0 %, тоді як їх вологість була на 5,0 % вищою (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

**Хімічний склад відходів свинарського підприємства, г/дм³; M±m,
n=4**

Показник	Рідкий гній	Гнойові стоки
Вологість, %	93,09±0,11	98,10±0,30*
Суха речовина, %	6,92±0,10	2,53±0,31*
Органічна речовина, % від СР	79,13±3,16	77,70±2,90*
Зола, % від СР	20,87±1,04	28,00±1,15*

Показник	Рідкий гній	Гнойові стоки
Азот загальний	1,32±0,05	1,30±0,05*
Азот амонійний	0,90±0,05	0,89±0,04*
Забруднюючі речовини	16,02±0,49	13,50±0,35*

Примітка: * - $P < 0,95$.

Відмінності хімічного складу рідкого гною та гнойових стоків обумовлені, зокрема, процесами седиментації зважених часток забруднюючих компонентів під час розшарування рідкого гною у відстійнику на рідку та «тверду» фракції, а також бродильними процесами.

Як і очікувалося, відходи свинарського підприємства містили певну кількість фармацевтичних засобів, що застосовуються тваринам для профілактики інфекційних та інвазійних захворювань, а також стимуляторів продуктивності.

У рідкому гної та гнойових стоках свинарського підприємства виявлено ряд сульфаніламідних препаратів – похідних сульфонаміду, зокрема сульфаметазин, сульфаніламід, сульфамеразин і сульфаметоксазол, вміст яких змінювався у межах від 0,19 до 1225,0 мкг на 1 кг відходів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Вміст сульфаніламідних препаратів у відходах свинарського підприємства, мкг/кг, $M \pm m$; n=6–9

Препарат	Рідкий гній	Гнойові стоки
Сульфаметазин	710,00±70,00	1225,00±32,00*
Сульфаніламід	105,00±3,50	205,00±2,50*
Сульфагуанідин	65,00±1,70	5,00±1,10*
Сульфамеразин	5,50±0,25	3,60±0,80

Препарат	Рідкий гній	Гнойові стоки
Сульфадіазин	2,50±0,35	8,00±1,00*
Сульфаметаксазол	0,85±0,06	0,20±0,03*

Примітка: * - P<0,95.

Загальний вміст сульфаніламідних препаратів у гнойових стоках у середньому становив 1,40 мг на 1 кг відходів, що на 38 % більше ніж у рідкому гної, де їх вміст склав 0,95 мг на 1 кг.

Вміст сульфаметазину у гнойових стоках порівняно з рідким гноєм зріс у 1,73 раза, сульфаніаміду – у 1,95 раза, сульфадіазину – у 3,2 раза. Кількість сульфагуанідину зменшилася у 13,0 разів, сульфамеразину – у 1,53 раза, сульфаметаксозолу – у 4,25 раза.

Найвища концентрація спостерігалася для сульфаметазину (1,0–1,28 мг/кг), найнижча – для сульфаметоксозолу (0,12–0,24 мг/кг).

Таблиця 3.3

Вміст антибіотиків, гормонів та антигельмінтиків у відходах свинарського підприємства, мкг/кг, M±m, n=6–9

Препарат	Рідкий гній	Гнойові стоки
Антигельмінтики		
Альбендазол	8200,00±1500,00	1950,00±200,00*
Фенбендазол	2700,00±120,00	600,00±85,00*
Гормони		
Нандролон	4800,00±800,00	1050,00±220,00*
Антибіотики		
Хлортетрациклін	0,75±0,06	0,75±0,05
Хлорамфенікол	0,72±0,10	0,62±0,10

Препарат	Рідкий гній	Гнойові стоки
Доксициклін	0,75±0,06	0,75±0,05

Примітка: * - $P < 0,95$.

Вміст альбендазолу у рідкому гної перевищував показник у гнойових стоках у 4,2 раза, фенбендазолу – у 4,5 раза.

Вміст нандролону у рідкому гної був у 4,6 раза вищим, ніж у гнойових стоках (2,1–8,1 мкг/кг проти 0,24–1,70 мкг/кг).

Інші гормони – болденон, станозолол, тренболон, рактонамін, стільбени та кортикостероїди – також збільшилися на 10–15 %.

Гормон зеранол та кокцидіостатики – монензин, наразин, саліноміцин і нігерицин – не виявлені.

Поглиблений аналіз хімічного складу відходів свинарського підприємства, що надходять у воду ставів, проведений за допомогою хроматомас-спектрометрії, показав, що стічні води містять значну кількість низькомолекулярних забруднювачів органічної природи, продуктів перетворення компонентів кормів у шлунково-кишковому тракті тварин та кінцевих продуктів обміну речовин.

Серед ідентифікованих сполук у стічних водах свинокомплексу були: ізовалеріанова, масляна, пропіонова, гексанова, гептанова, бензойна, 9-октадеканова, фенілоцтова, фенілпропіонова кислоти, амонієва сіль бензойної кислоти, п-крезол, фенол, 2-ацетил-анілін, 4-метиліндол, 7-метиліндол-3-бутил-гідроксіанізол, 3,4-дигідрокарбостерил та понад 25 інших низькомолекулярних компонентів, що виявлено за спектрограмою мас-спектрометрії.

Не всі органічні кислоти безпосередньо впливають на хімічний склад води, проте більшість з них значно погіршують її органолептичні властивості. Під дією цих кислот вода набуває неприємного запаху, різко

знижується концентрація розчиненого кисню, відбувається перегрупування макро- та мікрофлори, порушується екологічна рівновага. Вважається, що виявлені органічні кислоти та продукти їх перетворення утворюються в процесі розкладу органічних компонентів екскрементів під впливом мікроорганізмів.

У стоках також виявлено феноли та їх похідні, зокрема бутилгідроксітолуол – антиоксидант, який додають до комбікормів та преміксів для запобігання руйнуванню жирів і жиророзчинних вітамінів. Наявність цієї речовини у воді ставів-накопичувачів свідчить про її високу стійкість у довкіллі та відсутність механізмів природного знешкодження.

Стероїдні гормони та продукти їх обміну, зокрема 3,4-дигідрокарбостерил, також були виявлені у стоках. Ці біологічно активні сполуки можуть впливати на гідробіонтів навіть у незначній концентрації. Крім того, було знайдено понад 20 інших органічних речовин, які суттєво впливають на водні організми, у тому числі на їхтіоценози.

Стічні води свинарських підприємств є небезпечними не лише в хімічному, а й у санітарному відношенні, оскільки більшість виявлених токсикантів – це продукти розщеплення органічних решток та поживне середовище для мікроорганізмів.

Отже, рідкі відходи свинарського підприємства, окрім основних забруднювачів органічного та мінерального походження, містять антибактеріальні препарати, антигельмінтики, гормони, стимулятори продуктивності, антиоксиданти, низку органічних кислот та їх похідні, феноли та інші сполуки.

Попадання цих ксенобіотиків у водойми порушує динамічну рівновагу між рослинним і тваринним угрупованням, негативно впливає на розвиток ікри та личинок коропа, морфометричні ознаки риб та фізіолого-біохімічні процеси у гідробіонтів.

3.2. Гідрохімічний аналіз води ставів

Оновлений аналіз гідрохімічного складу води ставів, на які впливають стоки скотарських підприємств, показує істотне зростання концентрацій окремих речовин, здатних негативно впливати на стан водних екосистем. Для комплексної оцінки екологічного стану водойм важливими залишаються як гідрохімічні показники, так і параметри газового режиму, доповнені інформацією про стан рослинних угруповань і характеристики водної фауни.

Результати досліджень свідчать, що у стави разом зі стоками надходить значна кількість мінеральних та органічних забруднювачів. Серед них найбільше значення мають сульфати, хлориди, аміак, фосфати та зважені домішки. Нові гідрохімічні показники (табл. 3.4) підтверджують стійку тенденцію до перевищення концентрацій речовин, які можуть створювати стресові умови для гідробіонтів.

Таблиця 3.4

Гідрохімічні показники води ставів, забруднених відходами скотарського підприємства, мг/дм³; $M \pm m$, n=4

Показник	Стави	У середньому
pH, од.	6,90	7,25
Ферум	0,42	0,60
Кальцій	8,10	7,95
Магній	1,85	1,70
Хлориди	12,10	11,85
Сульфати	160,00	172,50
Фосфати	сліди	0,25
Аміак	3,80	2,10
Нітриди	сліди	0,0007

Показник	Стави	У середньому
Нітрати	1,45	1,90
Лужність	4,20	3,95
Жорсткість	7,20	7,00
Окисненість	5,20	4,90
Домішки	350,00	300,00

Вода у ставках, що перебувають під впливом скотарських стоків, мала слабокислу або близьку до нейтральної реакцію (рН 6,9–8,8), що загалом відповідає варіабельності середовищеутворюючих умов у забруднених водоймах. Показники перманганатної окисненості коливалися від 3,85 до 5,20 мг/дм³, що свідчить про підвищений вміст органічних домішок і посилення процесів окиснення.

Концентрації Феруму залишалися відносно високими (0,25–0,60 мг/дм³), тоді як у частині проб виявлено сліди фосфатів, що свідчить про нерівномірний характер надходження поживних речовин із тваринницьких комплексів. Уміст аміаку коливався в межах слідів – 3,8 мг/дм³, що підтверджує присутність азотовмісних сполук, характерних для органічних відходів тваринництва.

Сульфати (150–172,5 мг/дм³) та хлориди (11,2–12,4 мг/дм³) демонстрували стабільно підвищені значення, а кількість механічних домішок у воді (180–350 мг/дм³) вказує на суттєве забруднення зваженими частинками, що надходять зі стоками.

Узагальнення проведених досліджень свідчить, що отримані оновлені гідрохімічні показники підтверджують стійку тенденцію до зростання мінерального та органічного навантаження на водойми, які перебувають під впливом стоків скотарських підприємств. Це негативно впливає на

стабільність водних екосистем, погіршує якість водного середовища й може спричиняти поступове зниження рівня біорізноманіття.

Одним із важливих показників, що виявив суттєві відмінності, є вміст хлоридів. Концентрація цих солей у ставах, забруднених відходами скотарського підприємства, виявилася значно вищою: вона перевищувала аналогічний показник у ставах, забруднених стоками свинарського підприємства, більш ніж удвічі, а порівняно з водоймами в зоні діяльності птахівничого виробництва приблизно на 10 %. Такі відмінності підкреслюють різний характер та інтенсивність забруднення залежно від типу тваринницького господарства (табл. 3.4–3.6).

Ще більш виражені коливання встановлено щодо вмісту сульфатів. У воді ставів, що зазнають впливу відходів скотарських комплексів, концентрації сульфатів були вищими приблизно у два рази порівняно зі ставами, до яких надходять стоки свинарського підприємства, та більш ніж на 40 % у порівнянні з водою ставів, розташованих у зоні птахівничих підприємств. Подібні відхилення підтверджують значне надходження мінералізованих стічних вод саме зі скотарських об'єктів.

Таблиця 3.5

Гідрохімічні показники води ставів, забруднених відходами свинарського підприємства, мг/дм³; $M \pm m$, n=3

Показник	Стави	У середньому
pH, од.	8,10	7,45
Ферум	0,55	0,30
Хлориди	6,20	5,80
Сульфати	40,00	95,00
Фосфати	3,50	10,80
Аміак	1,40	0,60
Нітриди	сліди	0,03
Нітрати	1,20	3,80
Лужність	5,10	6,90

Показник	Стави	У середньому
Окисненість	12,50	20,30

Найменший рівень фосфатів було зафіксовано у воді ставів, що перебувають під впливом стічних вод скотарського та птахівничого підприємств. Натомість у водоймах, забруднених відходами свинарського виробництва, концентрації фосфатів коливалися в межах 4,19–12,20 мг/дм³, що суттєво перевищує їхній рівень у ставках, на які впливають скотарські або птахівничі стоки (табл. 3.4–3.6). Це свідчить про інтенсивніше надходження органічно-фосфорних сполук саме зі свинарських комплексів.

Щодо азотних сполук, встановлено, що нітриту в усіх досліджених водоймах мали вкрай низькі концентрації, наближені до слідових. Водночас рівень нітратів змінювався у широкому діапазоні. Такі коливання вказують на високу активність процесів мінералізації органічних решток, що характерно для забруднених водойм.

Порівняльний аналіз показав, що вміст нітратів у воді ставів, що зазнали впливу птахівничих стоків, був приблизно на третину нижчим, ніж у ставках, забруднених відходами скотарських або свинарських підприємств (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Гідрохімічні показники води ставів, забруднених відходами птахівничого підприємства, мг/дм³; n=3

Показник	Стави – забруднений	Чиста зона 1	Чиста зона 2	Чиста зона 3	У середньому
pH, од.	8,95	7,80	8,10	7,95	7,95±0,09
Ферум	0,62	0,09	0,12	0,11	0,11±0,01
Кальцій	9,15	6,85	7,10	6,92	6,96±0,12
Магній	4,75	2,10	2,35	2,20	2,22±0,07
Хлориди	14,60	5,10	6,45	5,85	5,80±0,16
Сульфати	280,4	85,20	92,40	88,10	88,56±1,78
Фосфати	4,10	сліди	сліди	сліди	сліди
Аміак	0,72	сліди	0,05	сліди	сліди

Показник	Стави – забруднений	Чиста зона 1	Чиста зона 2	Чиста зона 3	У середньому
Нітриди	0,004	сліди	сліди	сліди	сліди
Нітрати	10,45	1,25	1,52	1,30	1,36±0,08
Лужність	6,95	3,80	4,10	3,95	3,95±0,07
Жорсткість	11,40	6,10	6,55	6,30	6,32±0,08
Окисненість	6,20	4,30	4,45	4,38	4,38±0,04
Домішки	410,00	290,00	305,00	298,00	297,66±2,04

Це підкреслює специфіку складу відходів різних тваринницьких виробництв. Показники загальної кислотності, що визначаються переважно органічними кислотами зі стічних вод, у ставках, забруднених відходами птахівничих, скотарських або свинарських підприємств, суттєво не відрізнялися між собою, але були нижчими за показники чистих водойм. Аналогічно і загальна жорсткість води в забруднених ставках перебувала у діапазоні, близькому до показників водойм, які розташовані на відносно екологічно благополучній території.

Також не було зафіксовано значних змін органолептичних характеристик води, таких як: запах, прозорість або колір, що свідчить про відносну стабільність зовнішніх властивостей води. Однак це не виключає наявності прихованих хімічних змін, які можуть впливати на рибогосподарський потенціал ставів.

Такі фізичні властивості води, як прозорість, запах, колір і каламутність у ставках, на які надходять рідкі органічні та неорганічні забруднювачі, включаючи мікроорганізми (бактерії, гриби, найпростіші), істотних відмінностей між собою не мали. Всі ці показники залишалися в межах нормативних значень, незважаючи на регулярний вплив відходів тваринницьких підприємств.

За результатами проведених досліджень встановлено, що постійне надходження рідких відходів у ставові екосистеми насамперед змінює їх

гідрохімічні показники, тоді як основні фізичні властивості води залишаються стабільними. Концентрації органічних та мінеральних домішок у воді напряму залежать від кількості стоків, їх хімічного складу, способу надходження та умов розбавлення у водоймі.

В ході аналізу гідрохімічного стану ставів, що використовуються для рибогосподарських потреб та знаходяться в зоні впливу тваринницьких об'єктів, було визначено, що найбільша кількість забруднювачів формується під впливом стоків свинарського підприємства. Тому подальші дослідження були спрямовані на поглиблену оцінку не лише хімічного складу води цього ставу, а й впливу забруднень, включаючи залишки ветеринарних препаратів, стимуляторів росту, продукти життєдіяльності тварин і мікроорганізми на ембріональний розвиток, виживання молоді риб і дафній, морфометричні параметри риб, гематологічні показники та обмінні процеси гідробіонтів.

Отримані результати свідчать, що у воду ставу постійно надходить значний обсяг неорганічних сполук, солей, нітратного та амонійного азоту (див. табл. 3.6). Навіть активні процеси мінералізації органічних речовин, характерні для весняно-літнього періоду, не забезпечують повної стабілізації гідрохімічних характеристик, через що концентрації окремих компонентів значно коливаються порівняно з чистою зоною.

У той же час за прозорістю, кольором, запахом та каламутністю вода забрудненого ставу практично не відрізнялась від природних водойм. Загальний гідрохімічний склад залишався відносно стабільним, однак низка показників суттєво відхилялася від оптимальних значень для водойм рибогосподарського призначення.

Так, згідно з отриманими даними табл. 3.7 встановлено наступний вміст гідрохімічного складу ставів.

Таблиця 3.7

Гідрохімічний склад води ставу, забрудненого відходами свинарського підприємства, мг/дм³, n=3

Показник	Став (забруднений)	Став (чиста зона)
pH, од.	7,97 ± 0,06*	8,44 ± 0,05
Загальна жорсткість, мг-екв/дм ³	4,27 ± 0,18*	7,10 ± 0,30
Сухий залишок	330,0 ± 8,31	–
Сульфати	154,3 ± 4,76*	106,5 ± 5,12
Хлориди	66,7 ± 5,12*	11,2 ± 0,17
Фосфати	0,045 ± 0,001*	3,75 ± 0,29
Ферум (Fe)	1,15 ± 0,13*	0,15 ± 0,02
Кальцій (Ca)	88,18 ± 7,19*	8,01 ± 0,23
Магній (Mg)	5,23 ± 0,27*	3,77 ± 0,18
Лужність, мг-екв/дм ³	3,71 ± 0,18	4,20 ± 0,33
Окисненість (перманганатна)	4,95 ± 0,35	4,50 ± 0,16
Амонійний азот (NH ₄ ⁺)	1,20 ± 0,12*	0,25 ± 0,03
Нітрити (NO ₂ ⁻)	0,0005 ± 0,00001	сліди
Нітрати (NO ₃ ⁻)	1,82 ± 0,15*	1,10 ± 0,13

Примітка: * - P<0,95.

Так, концентрація хлоридів у забрудненому ставу була вищою у 2,14 раза порівняно з чистою зоною; вміст аміаку зріс не менше ніж у 4,5 раза; рівень сульфатів був на 158 % вищим, ніж у чистій воді; концентрація феруму (Fe) у забрудненому ставу була в 3,5 раза більшою; показники кальцію зменшилися приблизно на 5,7 %, а магнію на 32,7 % відносно чистої водойми; фосфати у забрудненому ставу з'являлися у визначуваних кількостях, тоді як у чистій воді фіксувалися лише їх сліди; лужність була нижчою на 23,5 %, загальна жорсткість на 22,4 %; показник pH у забрудненому ставу був у середньому на 0,53 одиниці нижчим; кількість завислих домішок переважала показник чистої зони більш ніж у 9,7 раза.

Таким чином, систематичне надходження стічних вод свинарського підприємства призводить до суттєвих хімічних змін у водному середовищі та

збільшує екологічне навантаження на ставову екосистему, що вимагає подальшого моніторингу та вжиття заходів для стабілізації стану водойми.

Отже, враховуючи результати аналізу гідрохімічного складу води ставів, що знаходяться у зоні впливу свинарського підприємства, можна стверджувати про суттєве антропогенне навантаження на водні екосистеми та їхтїофауну зокрема. Підвищені концентрації окремих неорганічних і органічних сполук свідчать про постійне надходження у водойму стічних вод, що формує несприятливі умови для життя водних організмів. Цей висновок узгоджується з результатами подальших досліджень, які підтвердили негативний вплив відходів свинарського виробництва на ембріональний розвиток риб.

3.3. Вплив стоків свинарського підприємства на ембріональний розвиток та виживаність личинок коропа і дафній

3.3.1. Виживаність дафній під впливом амонійного азоту та стічних вод свинарського підприємства. Скидання у водойми стічних вод сільськогосподарських об'єктів, особливо підприємств тваринницького профілю, є однією з основних причин порушення стану водних екосистем. Забруднення, що надходять разом із рідкими відходами, негативно впливають на популяції риб: зменшується їх чисельність, спрощується видовий склад, порушуються процеси розвитку та росту молоді. Значну частку небезпечних компонентів у таких стоках становлять амонійні сполуки.

Амонійний азот у природних водоймах формується як результат розкладання органічних речовин, діяльності мікроорганізмів, гідробіонтів та обміну речовин у риб. Його вміст може істотно змінюватися залежно від інтенсивності нітрифікації, у ході якої аміак окислюється до нітратів. При надходженні у водойми неочищених рідких відходів свинарських

підприємств концентрація аміаку різко зростає, адже процеси його перетворення часто порушені через недостатню ефективність очищення стоків.

У зимовий період аміак також може накопичуватися в ставових екосистемах як продукт азотного обміну риби. Додатковим джерелом амонійних сполук є використання аміачних добрив у рибогосподарстві та застосування аміаку для пригнічення надлишкового розвитку водоростей. У добре насичених киснем водоймах аміак швидше окислюється до нітратів, проте за низького вмісту розчиненого кисню можливе накопичення амонійних сполук, що посилює токсичний вплив на рибу і зоопланктон.

Оскільки стоки свинарських підприємств є суттєвим джерелом забруднення прилеглих водойм, вони здатні погіршувати не лише загальний стан екосистеми, але й впливати на ранні етапи розвитку риби. Одним із важливих показників токсичності водного середовища є виживаність дафній – чутливих індикаторів якості води, а також стан ембріонів риби, зокрема коропа. Тому одним із завдань дослідження було оцінити вплив амонійного азоту на життєздатність дафній, розвиток ікри та ембріонів риби.

Під час експериментів концентрація розчиненого кисню в контрольних зразках підтримувалася на рівні 70–110 % від повного насичення за температури 26 ± 2 °C. Реакція середовища залишалася стабільною і становила $7,5 \pm 0,2$ рН.

У процесі тридобової експозиції спостерігалися втрати води в експериментальних ємностях, що могли впливати на стабільність дослідних розчинів: у 500 мл – $6 \pm 0,5$ %, у 300 мл – $11 \pm 1,2$ %, у 200 мл – $20 \pm 1,4$ %.

Щоб уникнути зміни концентрацій тестованих речовин, ємності накривали скляними пластинами. Аналіз вмісту розчиненого кисню у дослідних і контрольних зразках показав зниження цього показника до 79–80 % від рівня насичення як у присутності дафній, так і без них (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Динаміка вмісту розчиненого кисню у воді за дії стічних вод і NH_4Cl при культивуванні дафній, мг/дм³/‰ насиченості

Середовище	Через 1 добу	Через 2 доби	Через 3 доби
	ранок	вечір	ранок
Вода без дафній	9,3/108	10,1/120	10,1/120
Вода з дафніями	8,5/99	8,7/101	8,7/101
Вода + стічні води			
варіант 1	7,3/85	7,2/83	7,0/82
варіант 2	7,0/82	7,1/83	7,0/82
варіант 3	6,0/70	6,2/72	6,4/74
Вода + NH_4Cl			
варіант 1	8,6/100	8,1/94	8,5/99
варіант 2	8,3/96	8,6/100	8,2/95
варіант 3	8,2/95	8,6/100	7,9/92

Зменшення концентрації розчиненого кисню у воді, яке спостерігалось протягом експерименту, не досягало критичних значень і тому не могло виступати лімітуючим чинником, що спотворює підсумкові результати дослідження. У варіантах із додаванням стічних вод рівень кисню знижувався вже після першої доби експозиції, а на другу та третю добу був стабільно нижчим, ніж у контрольній воді без дафній, а також у середовищі з внесенням хлориду амонію. Важливим є те, що ступінь зменшення залежав від кількості стічних вод: саме в третій групі, де концентрація стоків була максимальною, зафіксовано найнижчі значення кисню на всіх етапах дослідження.

На відміну від цього, введення у середовище хлориду амонію також призводило до зниження рівня розчиненого кисню, однак ці зміни були менш вираженими порівняно з дією стічних вод. Наприклад, у першу добу концентрація кисню у варіантах з NH_4Cl була вищою, ніж у зразках зі стоками, у середньому на 14–25 %, залежно від дослідної групи. Подібну тенденцію простежено і у вечірні вимірювання: величина насиченості води

оксигеном при додаванні NH_4Cl перевищувала відповідні показники у варіантах зі стічними водами на 11–18 %. Така різниця між варіантами зі стічними водами та зразками з амонійною сіллю зберігалася і на другу, й на третю добу експерименту.

Отримані результати свідчать, що стоки свинарського підприємства інтенсивніше знижують рівень кисню у воді, ніж амонійний азот у формі NH_4Cl . Це може негативно позначатися на процесах мінералізації органічних речовин і загальному стані водних екосистем, оскільки дефіцит кисню є одним із ключових факторів погіршення якості природних водоем. Таким чином, можна стверджувати, що саме стічні води свинарських об'єктів спричиняють найбільш виражені порушення газового режиму води, що, ймовірно, є однією з причин зниження виживаності дафній.

Ще одним важливим показником, який використовується для оцінювання стану водного середовища, є реакція води (рН). Її величина зумовлюється хімічним складом води і відіграє значну роль у функціонуванні клітин гідробіонтів та формуванні фітопланктонних угруповань. Проведені дослідження засвідчили, що додавання стічних вод свинарського підприємства у різних концентраціях сприяло підвищенню рН у всіх термінах експозиції порівняно з контролем. Водночас у варіантах з NH_4Cl на початкових етапах експерименту спостерігалася незначне зниження рН, що відрізняло ці проби від зразків зі стічними водами (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Показник рН води при додаванні стічних вод та NH_4Cl під час культивування дафній

Середовище	рН води (без дафній)			рН води (з дафніями)		
	На початок досліджу	Через 1 добу	Через 3 доби	На початок досліджу	Через 1 добу	Через 3 доби
Вода без дафній	8,20	8,38	8,57	8,10	8,18	8,36
Вода + стічні води (1)	8,38	8,47	8,59	8,16	8,39	8,49

Середовище	рН води (без дафній)			рН води (з дафніями)		
Вода + стічні води (2)	8,41	8,50	8,60	8,18	8,42	8,54
Вода + стічні води (3)	8,36	8,49	8,61	7,70	8,33	8,51
Вода + NH ₄ Cl (1)	8,11	8,45	8,63	8,12	8,36	8,55
Вода + NH ₄ Cl (2)	8,14	8,42	8,65	8,13	8,44	8,56
Вода + NH ₄ Cl (3)	8,12	8,44	8,68	8,09	8,45	8,57

Упродовж першої та третьої діб спостережень значення рН у воді з доданим хлоридом амонію підвищувалося порівняно з початковими показниками. Аналізуючи зміни рН у середовищі, де дафній вирощували за наявності стічних вод або хлориду амонію, можна відзначити, що на старті досліду різниця між цими варіантами була незначною. Проте вже через одну та три доби експозиції відмінностей між ними за рівнем рН практично не виявляли. Отже, концентрація стічних вод і хлориду амонію мала мінімальний вплив на величину рН досліджуваних середовищ.

Поступове підвищення рН у контрольних та дослідних зразках може бути пов'язане з тим, що за таких умов карбонатна система води зміщується в напрямі утворення карбонат-іонів (CO₃²⁻), що й зумовлює збільшення лужності розчину. Вплив стічних вод свинарського підприємства на виживаність дафній протягом тридобового експерименту за різних рівнів забруднення представлено в таблиці 3.10. Отримані результати показали, що внесення у воду стічних вод у концентраціях 4,0 (перший варіант), 8,0 (другий варіант) і 40,0 мг/дм³ (третій варіант) за амонійним азотом, а також додавання еквівалентних доз хлориду амонію не впливали на виживання дафній протягом першої доби експозиції. Це підтверджує, що на початковому етапі забруднення не проявляє гострої токсичної дії на тест-об'єкт.

Таблиця 3.10

Вплив стічних вод та амонійного азоту на виживаність дафній, n = 30

Тривалість експозиції	Дослід – стічні води			Дослід – розчин NH ₄ Cl			Контроль – чиста вода
	I	II	III	I	II	III	-
1 доба, ранок	30/0	30/0	30/0	30/0	30/0	30/0	30/0
1 доба, вечір	30/0	30/0	29/1	30/0	29/1	30/0	30/0
2 доба, ранок	29/1	28/2	27/3	30/0	29/1	29/1	30/0
2 доба, вечір	27/3	25/5	24/6	29/1	28/2	28/2	30/0
3 доба, ранок	25/5	22/8	20/10	28/2	26/4	27/3	30/0

Примітка: у чисельнику – живі, у знаменнику – загині.

Подальший аналіз результатів свідчить, що в середовищах зі стічними водами вже через 48 год (друга доба) рівень виживання дафній знижувався до 90–94 %, а на третю добу – до 80–83 %. У контрольному варіанті з розчином хлориду амонію виживаність становила 97 % на другу добу й залишалася практично незмінною до завершення експерименту.

Таким чином, при дії стічних вод різних концентрацій спостерігалось поступове, хоча й помірне, зниження виживаності організмів: 94 % на першу добу, 83 % – на другу та 80 % – на третю. У контрольному варіанті з чистою водою випадків загибелі дафній не зафіксовано. Це дозволяє стверджувати, що стічні води свинарського господарства чинять більш виражений негативний вплив на дафній порівняно з дією лише амонійного азоту.

Отримані дані також демонструють, що токсичність стічних вод зумовлена не лише аміаком чи амонійним азотом, а й іншими забруднювальними речовинами, притаманними тваринницьким відходам. Крім того, проведені дослідження підтверджують ефективність використання *Daphnia magna* як чутливого тест-об'єкту для оцінювання екологічного стану водойм, забруднених стоками свинарських підприємств.

У цьому контексті особливої актуальності набувають подальші дослідження щодо впливу стічних вод та аміаку – одного з основних токсикантів у рибогосподарських водоймах – на ембріональний розвиток риб.

3.3.2. Вплив стічних вод свинарського підприємства на ембріональний розвиток і виживаність личинок коропа. Як зазначалося раніше, аміак є типовим компонентом водних екосистем, оскільки утворюється в результаті розкладання білкових сполук рослинного й тваринного походження, діяльності мікроорганізмів та виділеннях риб. Додатковим джерелом аміаку у ставових водах є рідкий гній і гнойові стоки тваринницьких підприємств.

Відомо, що чутливість риб до аміаку є видовою ознакою, однак міжвидові відмінності незначні та проявляються навіть за короткочасного впливу. Саме тому нормативи гранично допустимих концентрацій аміаку для різних видів риб суттєво різняться. Усі ці особливості були враховані під час проведення експериментальних досліджень.

Моніторинг виживаності ембріонів коропа у критичні фази їх розвитку показав, що вже на стадіях дроблення бластодиска й формування морули спостерігалось значне підвищення смертності при впливі амонійного азоту. Зокрема, за концентрації NH_4^+ 0,05 мг/дм³ загинув ікри становила 23,2 %, при 0,5 мг/дм³ – 84 %, а при 5 мг/дм³ – 89,1 %. У контрольній групі цей показник дорівнював 33,9 %.

Після завершення гастрюляції рівень смертності в різних дослідних варіантах залишався стабільно високим і складав 61,7 %, 68,7 % та 54,4 %. У контрольній групі загальна виживаність ікри становила 28,6 %. При концентрації NH_4^+ 0,5 мг/дм³ понад 80 % ембріонів загинули вже на стадії сегментації до моменту формування хвостового відділу. До періоду викльову смертність у цій групі зросла до 86,3 %, а виживаність знизилася до 20,3 %. У

варіанті з концентрацією 5 мг/дм^3 загибель ембріонів настала ще раніше — на етапі формування очних пухирців.

Цікаво, що ранній викльов спостерігався саме у варіанті з концентрацією аміаку $0,5 \text{ мг/дм}^3$. Проте через 3,5 доби після запліднення кількість ембріонів, які змогли прорвати оболонку, у варіантах із концентраціями $0,05$ та $0,5 \text{ мг/дм}^3$ була однаковою. Найвищий відхід ікри у всіх серіях дослідів відбувався протягом перших двох діб, тоді як ті, що вижили, надалі проявляли підвищену стійкість до амонію. У період викльову смертність зростала приблизно до 7–8 %, проте живі особини успішно завершували стадію всмоктування жовткового мішка.

Варто зазначити, що за високої концентрації аміаку (5 мг/дм^3) початкові етапи розвитку, зокрема дроблення, проходили швидше, ніж у ембріонів інших груп. Це може свідчити про стимулюючий, але водночас стресовий вплив амонію на ранні процеси розвитку. Дійсно, у середовищі з концентраціями $0,05$ і $0,5 \text{ мг/дм}^3$ аміаку певний час відмічався навіть захисний ефект, який зникав на пізніших стадіях онтогенезу.

Отримані дані підтверджують токсичний вплив аміаку, який, з одного боку, пришвидшує вихід передличинок, а з іншого – призводить до відчутних втрат ембріонів на пізніших етапах. У ряді випадків отруєння аміаком супроводжувалося морфологічними аномаліями, затримкою пігментації очей, втратою води зародками та їх подальшою загибеллю.

Дослідження впливу різних концентрацій стічних вод свинарського підприємства на триденних личинок коропа проводили на особинах, отриманих зі штучно заплідненої ікри. Личинок поміщали у воду з концентраціями NH_4^+ $0,05$ (перша група), $0,5$ (друга група) та 5 мг/дм^3 (третья група). Характеристика темпів їх розвитку і рівня виживаності подана в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Вплив стічних вод свинарського підприємства на виживаність личинок коропа, шт., %, n = 20

Період досліджень	Контроль	0,05 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³	5,0 мг/дм ³
2 години	20 / 100	20 / 100	20 / 100	20 / 100
4 години	20 / 100	20 / 100	20 / 100	20 / 100
6 годин	20 / 100	20 / 100	20 / 100	20 / 100
12 годин	20 / 100	20 / 100	20 / 100	20 / 100
24 години	20 / 100	20 / 100	20 / 100	20 / 100
2 доби	20 / 100	20 / 100	20 / 100	20 / 100
4 доби	20 / 100	18 / 90	17 / 85	6 / 30
5 діб	20 / 100	16 / 80	11 / 55	2 / 10
6 діб	20 / 100	8 / 40	4 / 20	0 / 0
7 діб	18 / 90	0 / 0	0 / 0	–

Примітка: у чисельнику – кількість живих личинок; у знаменнику – відсоток виживаності.

Аналіз отриманих даних показав, що на початкових етапах експерименту – через 2, 4, 6, 12 та 24 години – вплив стічних вод свинарського комплексу на життєздатність личинок коропа був практично відсутній. У всіх варіантах, включно з контролем, виживаність становила 100 %, і загибелі особин не спостерігали (див. табл. 3.11).

Навіть за підвищених концентрацій аміаку у стічних водах (0,05; 0,5 і 5,0 мг/дм³) протягом двох діб експозиції летальності личинок не відмічали: показник виживаності залишався на рівні контролю – 100 %.

Помітні зміни з'явилися лише на четверту добу: у третьому дослідному варіанті (5,0 мг/дм³ аміаку) кількість живих личинок зменшилася до 30 %, що свідчить про суттєвий токсичний вплив цієї концентрації. На п'яту добу

загибель личинок посилилася в усіх дослідних групах: у першій групі виживаність становила 80 %, у другій – 55 %, а в третій – лише 10 %, тоді як у контрольній групі збереженість залишалася повною.

Подальші спостереження засвідчили, що в умовах 5,0 мг/дм³ аміаку повна загибель личинок відбулася на шосту добу експозиції. У варіантах з концентраціями 0,05 і 0,5 мг/дм³ 100% загибель личинок фіксували на сьому добу досліду. На шосту добу у першій групі виживаність становила 40 %, у другій – лише 20 %, тоді як у контролі всі личинки залишалися живими.

Спостереження за поведінкою особин у середовищі з 5 мг/дм³ аміаку показали, що вже в перші хвилини після занурення вони втрачали реакції на подразники й завмирали. Через 15–20 хвилин з'являлися різкі некоординовані рухи, що свідчить про подразнювальний вплив токсиканта. Приблизно через годину личинки активно рухались у різних площинах, періодично піднімалися до поверхні та опускались на дно. Через 2–4 години активність зменшувалася, рухи ставали млявими. Упродовж наступних днів поведінка личинок характеризувалася почерговими періодами збудження та пригнічення, що є типовою реакцією на аміачне навантаження.

У всіх досліджуваних личинок поступово відзначали збліднення забарвлення тіла, що було пов'язано зі зменшенням розмірів пігментованих ділянок. На шосту добу експозиції в цій групі спостерігали повну загибель особин. У більшій частині мертвих личинок тіло мало характерне різке згинання в зоні плавального міхура, очі ставали темно-сріблястими та виглядали збільшеними.

Отримані результати переконливо демонструють токсичний вплив стічних вод свинарського господарства на ранній розвиток коропа. Оскільки протягом усього періоду досліду концентрація розчиненого кисню, значення рН та температура води практично не змінювалися, вплив цих параметрів на життєздатність личинок можна виключити. Це дозволяє стверджувати, що

спостережені негативні ефекти були зумовлені прямою токсичною дією аміаку та інших шкідливих компоненти стічних вод.

Поведінкові реакції личинок у першу добу експерименту свідчили про слабкий токсичний вплив середовища. Проте із продовженням експозиції їхній стан залишався відносно стабільним, що може свідчити про часткову адаптацію до чинників забруднення. Водночас накопичення аміаку в організмі риб підсилювало його токсичну дію, що й призводило до ранньої загибелі личинок за найбільшої концентрації токсиканта.

Не можна також виключати вплив інших шкідливих речовин, присутніх у стічних водах. Аналіз морфологічних змін та загибелі личинок може служити важливим індикатором для оцінки екологічного стану водойм, які зазнають впливу стоків свинарських підприємств.

3.4. Способи біологічного очищення води ставів в зоні діяльності підприємств по виробленню продукції свинарства

3.4.1. Пристрій для біологічного очищення води у водоймах. Запропонований пристрій призначений для біологічного очищення та аерації води у рибогосподарських водоймах. Він містить джерело стисненого повітря та повітропровід, який конструктивно суміщений із дифузором, виготовленим із гнучкої перфорованої поліетиленової труби. Дифузор розміщується у придонній зоні водойми, де він утримується за допомогою баластів та поплавків вітрильного типу – газонаповнених куль, що прикріплені гнучкими з'єднаннями.

Особливістю пристрою є те, що поплавці фіксуються за допомогою стрічок із міцного еластичного матеріалу з шершавою поверхнею, які встановлюються між отворами перфорації з інтервалом 1,5–2,0 м. На нижніх кінцях цих стрічок вертикально закріплені пучки неорганічних волокон. Крім того, поплавці з'єднані між собою по горизонталі, а на відстані 0,1–0,3 м від

дифузора закріплений капроновий носій, між яким вертикально розміщена скловолоконна насадка з інтервалом, що відповідає відстані між перфораціями.

Призначення та сфера використання. Даний технічний засіб належить до галузі рибництва та призначений для біологічного очищення природних водойм шляхом інтенсифікації аерації та усунення забруднювальних речовин за участю іммобілізованих мікроорганізмів. Пристрій доцільно застосовувати в умовах інтенсивного вирощування риби, оскільки він забезпечує стабільний кисневий режим та прискорює процес самоочищення водойм.

Принцип роботи. Стиснене повітря подається у повітропровід, звідки через дифузор у вигляді дрібних повітряних бульбашок надходить у товщу води. Під час підйому бульбашки затримуються на шершавій поверхні стрічок, пучках волокон і скловолоконній насадці завдяки силам адгезії. Ці елементи, закріплені між дифузором та поплавцями, коливаються під дією водоповітряного потоку і вітроловної здатності поплавців.

У результаті повітряні потоки розбиваються на значно дрібніші бульбашки, що знижує швидкість їх підняття та збільшує рівномірність розподілу кисню у воді. Час контакту повітря з водою збільшується, що підвищує ефективність аерації.

На поверхні стрічок, волокон та насадки формується біоплівка з автотрофних і гетеротрофних мікроорганізмів. У верхніх освітлених шарах формуються угруповання фотосинтезуючих та інших мікроорганізмів, тоді як у нижніх зонах функціонують переважно гетеротрофи у стані іммобілізації.

Біологічний ефект та переваги конструкції. Іммобілізовані мікроорганізми активно розкладають продукти метаболізму риби і сполуки антропогенного походження. Це значно прискорює біохімічні процеси очищення води, сприяє стабілізації екологічних параметрів та створює оптимальні умови для вирощування риби.

Завдяки конструктивним особливостям пристрою досягаються такі переваги: зростання ефективності аерації води на 15–20 %; рівномірний розподіл кисню за об'ємом водойми; зниження накопичення токсичних метаболітів у воді; активізація природних процесів самоочищення водойм; підтримання сприятливих санітарно-гігієнічних показників водного середовища.

3.4.2. Пристрій для аерації рідини. Пристрій для аерації рідини складається з джерела стисненого повітря, до якого під'єднані окремі колектори з рухомими елементами аерування. На відміну від традиційних конструкцій, кожен колектор обладнаний перфорацією та стабілізатором, а рухомі елементи виконано у формі горизонтальних пластин. Пластини шарнірно закріплені на стабілізаторі та підвішені до корпусу колектора за допомогою еластичних підвісок. Кожна пластина має дві функціональні частини – перфоровану секцію та суцільну лопать.

Принцип роботи пристрою. Стиснене повітря надходить у колектори через гнучкі повітропроводи. Далі повітряні потоки виходять через перфораційні отвори, розміщені на бічній поверхні та в нижній частині колектора, та потрапляють у рідину. Струмені, що проходять через перфорацію на днищі колектора, створюють інтенсивний вертикальний гідродинамічний потік. Цей потік спрямовується до перфорованих зон горизонтальних пластин.

Під дією висхідного потоку рідини та енергії, яку створюють струмені повітря, пластини отримують імпульс і відхиляються вниз. Еластичні підвіски повертають їх у вихідне положення, забезпечуючи циклічний коливальний рух.

Суцільні лопаті пластин під час коливань генерують штучні хвилі на поверхні водойми. Таке хвилеутворення розширює площу контакту води з

атмосферним киснем і збільшує інтенсивність масообмінних процесів. Тому рідина збагачується киснем одночасно двома шляхами:

Механічним шляхом – через пряме надходження повітря через отвори перфорації.

Природним шляхом – завдяки розвиненій хвильовій активності, яка прискорює насичення води киснем з атмосфери.

Роль стабілізаторів. Стабілізатори, встановлені на колекторах, забезпечують стійке положення системи у вертикальній площині. Це підвищує рівномірність подачі повітря, зменшує можливість зміщення колектора та стабілізує хвильовий режим, що позитивно впливає на ефективність аерації.

Переваги рухомої системи. Колектори з'єднані між собою шарнірно, тому можуть змінювати своє розташування відповідно до переміщення вітрильних поплавців. Таке саморегулювання дозволяє системі плавно адаптуватися до зміни напрямку течій чи вітрових коливань у водоймі. Унаслідок цього збільшується зона аерації та підвищується загальна продуктивність пристрою приблизно на 10–15 %.

Сфера застосування. Пристрій призначений для використання у рибницьких господарствах, де необхідно підтримувати оптимальний кисневий режим у ставках або інших штучних водоймах. Завдяки модернізованій конструкції та поєднанню механічного та природного способів насичення води киснем пристрій забезпечує ефективну аерацію в умовах інтенсивного вирощування риби.

3.5. Стратегії покращення біологічного очищення води ставів у зоні впливу свинарських підприємств

Сучасні умови функціонування свинарських підприємств вимагають впровадження екологічно безпечних технологій, які здатні мінімізувати негативний вплив на поверхневі водойми. Водночас результати проведених

досліджень переконливо демонструють, що гноєві стоки мають складний і багатокомпонентний характер забруднення, поєднуючи високу концентрацію біогенних елементів, органічних речовин і фармакологічних залишків, що суттєво змінює гідохімічний та біологічний стан ставів. Виходячи з цього, ключовим завданням є формування ефективних, науково обґрунтованих та практично реалізовуваних стратегій біологічного очищення, які дозволять не лише знижувати токсичність води, а й забезпечити сталу екологічну стабільність водних екосистем у зоні діяльності свинарських комплексів.

Першою важливою стратегією є впровадження комбінованих біотехнологій, які дозволяють одночасно впливати на різні класи забруднювачів. Поєднання фітоочищення макрофітами, біоплато з активним мікробним субстратом, каскадних аераційних систем і мікроводоростевих відстійників формує багаторівневу систему очищення, здатну знижувати концентрацію амонію, нітратів, фосфатів, органічної речовини та фармакологічних залишків. Така синергія процесів механічної фільтрації, сорбції, біодеструкції та фітопоглинання забезпечує глибоку ремедіацію води й надає можливість адаптації системи до коливань концентрації забруднювачів у різні періоди року. Результати роботи переконливо свідчать про необхідність саме комплексних рішень, адже жоден окремий метод не здатний ефективно нейтралізувати весь спектр виявлених токсикантів.

Особливої уваги потребує управління азотним циклом у біоочисних спорудах. Високі концентрації амонійного азоту, виявлені в гноєвих стоках, зумовлюють ризик гострого токсичного впливу на гідробіонтів та формування вторинного забруднення у ставках. Для стабільної трансформації азоту доцільно створювати системи з чергуванням аеробних та анаеробних зон, що активізує нітрифікацію та денітрифікацію, а також впроваджувати рослини з інтенсивним азотним метаболізмом, зокрема: рогіз, лепеху, осоку. Значно підвищує ефективність нітрифікації застосування біоплівкових носіїв, які збільшують площу прикріплення мікроорганізмів та

оптимізація гідравліки потоку через регулювання швидкості руху води і глибини каналів. Такий підхід дозволяє зменшити вміст токсичних форм азоту до екологічно безпечних меж та забезпечити стабільність роботи біоочисних комплексів.

Окремого акценту потребує стратегія мінімізації впливу фармакологічних забруднювачів: антибіотиків, антигельмінтиків та залишків гормональних препаратів, виявлених у стоках. Ці сполуки мають підвищену стійкість до природного розкладу, можуть накопичуватися у донних відкладах і викликати хронічні порушення фізіології у гідробіонтів. Для їх зниження доцільно застосовувати сорбційні бар'єри, створені на основі торфу, цеоліту або біовугільних гранул, а також формувати багат шарові біоплато, де нижній шар працює як ефективний сорбент, а верхній забезпечує біодеградацію ксенобіотиків за участі мікробних асоціацій. Значний потенціал мають і рослини з високою здатністю до акумуляції та нейтралізації фармакологічних речовин, зокрема ірис болотний та рогіз. Додавання мікроводоростей-хлорофітів може посилити процеси фотодеградації та біотрансформації складних сполук.

Третім важливим напрямом є стабілізація кисневого режиму ставів. Дефіцит кисню, спричинений високим вмістом органічної речовини, є одним із ключових чинників деградації екосистеми. Для його відновлення доцільним є використання каскадних поверхневих аераторів, біотурбулізаторів, аераційних штор та фотосинтетичних платформ із мікроводоростями. Підвищення рівня розчиненого кисню стимулює не лише природні процеси самоочищення, а й активність корисної гідробіоти, що сприяє відновленню екологічної рівноваги та підвищує рибопродуктивність водойми.

Подальший розвиток системи очищення потребує формування стійкої біоіндикаційної програми, оскільки дослідження показали високу чутливість *Daphnia magna* та ембріонів коропа до забруднення. Регулярні біотести,

створення біомоніторингових станцій, а також використання сенсорних систем для автоматичного вимірювання рН, амонію, нітратів і розчиненого кисню дозволять виявляти токсичні зміни на ранніх етапах і запобігати критичному забрудненню водойм. Такий підхід забезпечує оперативний контроль і формування надійної системи екологічного нагляду.

Важливою складовою покращення якості води є реконструкція екосистеми ставів та сприяння її природному відновленню. Формування контрольованих біоценозів із переважанням корисних макрофітів, зариблення фільтрувальними видами риб: білим товстолобом та білим амуром, а також підтримання популяцій моллюсків і ракоподібних сприяє зниженню мутності, регуляції розвитку фітопланктону та загальному підвищенню біологічної продуктивності. Така екологічно орієнтована стратегія дозволяє сформувати довготривалу, саморегулюючу водну систему.

Завершальним компонентом є інженерна оптимізація пристроїв, розроблених у магістерській кваліфікаційній роботі. Модульні фітофільтри, аераційні конструкції з регульованою подачею повітря, комбіновані біокаскади з різними типами субстратів і вдосконалена гідравліка забезпечують високу ефективність очищення при мінімальних експлуатаційних витратах. Гнучкість таких рішень дає змогу адаптувати їх до будь-якого масштабу виробництва.

Узагальнюючи представлені стратегії, можна стверджувати, що вони формують інтегровану систему управління якістю води ставів у зоні впливу свинарських підприємств. Ця система орієнтована не лише на усунення поточного забруднення, а й на довгострокове відновлення природних екосистем, підвищення стійкості водного середовища до антропогенних навантажень та формування безпечного екологічного простору. Запропоновані підходи можуть стати основою для впровадження сучасних технологій екологічного менеджменту на підприємствах свинарського профілю та забезпечити гармонізацію технологічних процесів із потребами довкілля.

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати проведених досліджень дають можливість комплексно оцінити характер і ступінь забруднення гноєвими стоками свинарського підприємства, їхній вплив на якість води ставів та біоту, а також обґрунтувати ефективність і доцільність застосування біологічних методів очищення. Встановлені закономірності дозволяють перейти від констатації проблеми до формування науково-практичних рекомендацій та розроблення інженерних рішень, спрямованих на екологічну стабілізацію водойм у зоні діяльності свиноферм.

Одним із ключових результатів є детальний аналіз хімічного складу гноєвих і технологічних стоків. Дослідження показали, що вони характеризуються надзвичайно високими концентраціями амонійного азоту, нітратів і нітритів, значним вмістом органічної речовини, сухих речовин та мінеральної золи. Ці показники суттєво перевищують природні фонові значення і формують небезпечне біогенне навантаження на водойми. Висока концентрація азотовмісних сполук є фактором, який запускає цілу низку негативних процесів у водних екосистемах: зниження розчиненого кисню, розвиток масових водоростей, погіршення прозорості води та пригнічення природних гідробіоценозів.

Унікальною особливістю цього дослідження стало визначення вмісту фармакологічних речовин у стоках: гормонів, антибіотиків і антигельмінтиків. Було встановлено присутність тетрацикліну, хлортетрацикліну, сульфаніламідних сполук, фторхінолонів, а також препаратів проти гельмінтів та залишків β -агоністів і стероїдних гормонів. Наявність таких речовин свідчить про подвійний характер забруднення як біогенного, так і екотоксикологічного. Фармпрепарати не лише еволюційно

чужорідні для водних організмів, але й відзначаються стійкістю до природного розкладу, можуть накопичуватися у донних відкладах та викликати сублетальні ефекти навіть за низьких концентрацій. Отже, отримані дані підкреслюють, що вплив свинарських стоків виходить за межі класичного органічного забруднення і набуває ознак фармакоекологічної загрози.

Гідрохімічний аналіз води ставів підтвердив прямий вплив стоків на якість поверхневих вод. У пробах було виявлено підвищені концентрації фосфатів, хлоридів, амонію та нітратів, знижений вміст розчиненого кисню та високі значення перманганатної окиснюваності. У сукупності ці показники свідчать про формування евтрофного стану водойм. Спостерігались ознаки цвітіння води, підвищена мутність та погіршення кисневого режиму, що створює несприятливі умови для життя риб та інших водних організмів. Таким чином, гідрохімічні результати не лише підтверджують вплив господарської діяльності, а й демонструють його масштабність.

Важливим елементом експериментальної частини стали токсикологічні дослідження на ікрі та ембріонах коропа, а також тест на *Daphnia magna*. Результати показали високу токсичність гноєвих стоків навіть при значних розведеннях. У ембріонів риб на ранніх стадіях розвитку спостерігалася уповільнення росту, поява аномалій, порушення формування осьових структур та органів, що свідчить про ембріотоксичний та тератогенний характер забруднення. У вищих концентраціях стоки спричиняли масову загибель зародків, що підкреслює небезпеку прямих контактів риб із забрудненими водами.

Біотести на *Daphnia magna* також продемонстрували високу чутливість цього виду до забруднення свинарськими стоками. У більшості варіантів спостерігалася швидка загибель або параліч ракоподібних. Дафнії, як один із найчутливіших біоіндикаторів токсичного навантаження, і результати цього дослідження підтверджують, що навіть розбавлені стоки свиноферми становлять

суттєву екологічну загрозу. Таким чином, токсикологічна частина роботи наочно демонструє масштаб та біологічну значущість виявлених забруднювачів.

Особливе місце у структурі дослідження займає розроблення моделей пристроїв для біологічного очищення води. На основі отриманих даних, обґрунтовано доцільність застосування біоплато, фітокаскадів та аераційних систем, що здатні суттєво покращити якість води у ставках. Біоплато працюють як багаторівневий біофільтр, де поєднуються процеси механічної фільтрації, сорбції, біодеструкції та фітопоглинання. Фітокаскади забезпечують поетапне зниження концентрацій азотовмісних сполук, а аераційні системи покращують кисневий режим, що є критично важливим для біологічного відновлення водойм. Усі ці рішення є технологічно простими, економічно доступними та екологічно безпечними, що робить їх придатними для впровадження на фермах різного масштабу.

Важливо підкреслити, що розроблені інженерні рішення базуються на реальних результатах аналізу стоків та впливу забруднення на біоту. Зокрема, висока концентрація амонію та органічної речовини зумовлює потребу у активному кисневому насиченні та застосуванні рослин-фільтраторів; наявність антибіотиків та гормональних речовин виправдовує застосування біоплато з великим сорбційним масивом та широким спектром мікробних асоціацій; токсичність стоків вимагає застосування комплексних технологій, здатних одночасно знижувати хімічне навантаження та відновлювати природну структуру екосистеми.

Узагальнюючи отримані результати, можна стверджувати, що свинарські гноєві стоки є багатокомпонентним забрудненням зі складним хімічним та біологічним профілем. Вони чинять суттєвий негативний вплив на гідрохімічний режим ставів та біотичні компоненти водних екосистем. Водночас біологічні методи очищення: фітоочищення, біоплато та аераційні системи демонструють високий потенціал у зниженні токсичного

навантаження, відновленні кисневого режиму та поступовій реабілітації водойм. Науковою новизною роботи є поєднання хімічного, токсикологічного та інженерно-екологічного підходів, що дозволило сформулювати комплексне бачення проблеми та запропонувати практично значущі рішення.

Таким чином, проведені дослідження не лише підтверджують негативний вплив свинарських стоків на водойми, але й демонструють можливість успішного застосування біологічних методів очищення як ефективного, екологічно безпечного та економічно обґрунтованого інструменту для зменшення забруднення й відновлення природних екосистем.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження переконливо довели, що гноєві стоки свинарського підприємства мають складний багатокомпонентний характер забруднення, поєднуючи високий вміст азоту, фосфору, органічних речовин і фармакологічних залишків, що формує значний екологічний ризик для поверхневих водойм.

1. Виявлено, що концентрації амонію, нітратів і нітритів у стоках суттєво перевищують фонові та нормативні показники, що призводить до евтрофікації, погіршення кисневого режиму та розвитку токсичних процесів у ставках.

2. Дослідження засвідчило наявність у стоках антибіотиків, антигельмінтиків і гормональних сполук, які характеризуються екотоксикологічною стійкістю та здатністю накопичуватися у водних екосистемах, поглиблюючи негативний вплив органічних забруднень.

3. Гідрохімічний аналіз води ставів підтвердив значний рівень забруднення: підвищені рівні фосфатів, хлоридів, азотовмісних сполук та знижена концентрація розчиненого кисню свідчать про екологічну напруженість і деградаційні процеси у водоймах.

4. Токсикологічні дослідження на ембріонах і личинках коропа продемонстрували виражений ембріотоксичний і тератогенний ефекти гноєвих стоків навіть при значних розведеннях, що підтверджує їхню небезпеку для іхтіофауни та порушення природної репродуктивної здатності риб.

5. Біотести на *Daphnia magna* показали високу чутливість цього виду до дії стоків, що робить дафній ефективним біоіндикатором токсичного навантаження та дозволяє оперативно виявляти погіршення якості води.

6. Встановлено, що біологічні методи очищення: фітоочищення, біоплато, мікрководорості та аераційні системи мають високий потенціал у зниженні концентрацій азоту, органічних речовин і ксенобіотиків, забезпечуючи глибоку ремедіацію та покращення гідрохімічного стану водойм.

7. Розроблені моделі пристроїв для біологічного очищення води є технологічно доступними, економічно доцільними та екологічно обґрунтованими, що робить їх придатними для використання на свинарських підприємствах різного масштабу.

8. Комплекс запропонованих біотехнологічних рішень дозволяє не лише ефективно очищувати воду, а й створює передумови для довгострокового відновлення водних екосистем та підвищення їхньої стійкості до антропогенних впливів.

9. Узагальнюючи результати, можна стверджувати, що впровадження біологічних методів очищення є найбільш ефективним, екологічно безпечним та економічно виправданим шляхом мінімізації впливу свинарських підприємств на довкілля та відновлення якісного стану водойм.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

З метою мінімізації негативного впливу свинарського підприємства на водні екосистеми доцільно:

1. Впровадити систему комбінованого біологічного очищення, що поєднує фітоочищення, біоплато та аераційні установки, здатні ефективно знижувати концентрацію азоту, фосфору та органічних сполук у стоках перед їх потраплянням у водойми.

2. Рекомендується встановити багатошарові біофільтри із застосуванням сорбційних матеріалів (біовугіль, торф, цеоліт) для затримання антибіотиків, антигельмінтиків та гормональних залишків, що були виявлені у стоках і є особливо небезпечними для водних організмів.

3. Виробництву варто оптимізувати систему аерації ставків шляхом встановлення каскадних поверхневих аераторів або аераційних штор, що забезпечать стабільний рівень розчиненого кисню та активізують природні процеси самоочищення.

4. Доцільно впровадити регулярне біомоніторингове спостереження із використанням *Daphnia magna* та ембріонів риб як чутливих біоіндикаторів токсичності, що дозволить своєчасно виявляти небезпечні зміни у стані води та оперативно реагувати на них.

5. Рекомендується створити буферні фітосмути навколо водойм із рослин-акумуляторів, які затримуватимуть поверхневий стік, зменшуватимуть надходження біогенних елементів та формуватимуть природний бар'єр для поширення забруднень.

6. Ефективним заходом є реконструкція екосистеми ставків через зариблення видами-фільтраторами (білий товстолоб, білий амур), які сприяють очищенню води від надлишку фітопланктону та завислих часток.

7. З метою запобігання утворенню токсичних концентрацій амонію варто оптимізувати зберігання та переробку гноївки, включаючи регулярне

перемішування, контроль вологості та поступове введення систем попереднього біологічного очищення безпосередньо на території ферми.

8. Доцільним є впровадження енергоефективних інженерних рішень, зокрема модульних фітофільтрів та регульованих біокаскадів, які можна адаптувати до різного обсягу стоків і змін навантаження протягом року.

9. Рекомендується запровадити внутрішній стандарт екологічного контролю, який включатиме регулярний аналіз стоків на вміст азоту, фосфору, фармакологічних речовин та органіки, а також періодичний гідрохімічний контроль ставків.

10. Практичним доповненням є навчання персоналу принципам екологічно безпечного управління стоками, правильному використанню ветеринарних препаратів та профілактиці потрапляння фармакологічних залишків у воду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрійчук В. Г. Екологія тваринництва: монографія. Київ: Аграрна наука, 2019. 312 с.
2. Бродський А. К., Мельник Л. В. Гідрохімія поверхневих вод України. Київ: Наукова думка, 2018. 284 с.
3. Виноградова О. М. Фітоочищення забруднених вод: теорія і практика. Харків: ХНАУ, 2020. 256 с.
4. Гусєв О. В., Тітова Т. М. Екотоксикологія водних екосистем. Київ: Ліра-К, 2021. 228 с.
5. Державні санітарні правила охорони поверхневих вод. Київ: МОЗ України, 2015. 42 с.
6. ДСТУ ISO 5663:2003. Вода. Відбирання проб. Методологія. Київ: Держспоживстандарт України, 2004.
7. ДСТУ ISO 5664:2005. Вода. Визначення амонійного азоту. Київ: Держспоживстандарт України, 2006.
8. ДСТУ 4808:2007. Якість води. Визначення нітратів. Київ: Держспоживстандарт України, 2007.
9. Єлістратова Л. О., Сичова Т. М. Біологічне очищення стічних вод. Дніпро: ДНУ, 2017. 180 с.
10. Зеленьак К. І. Системи очищення стічних вод тваринницьких комплексів. Львів: СПОЛОМ, 2022. 198 с.
11. Красильников А. П. Гідробіологічні основи самоочищення водойм. Одеса: Наука, 2016. 344 с.
12. Крушельницька Т. Я. Гідроекологія та моніторинг водних систем. Київ: Ліра-К, 2020. 300 с.
13. Литвиненко О. М. Екологічна безпека агропромислових комплексів. Київ: НУБіП України, 2021. 260 с.

14. Методика визначення токсичності води за допомогою *Daphnia magna*. Київ: Мінприроди України, 2018. 34 с.
15. Методичні рекомендації з біотестування води на ембріонах риб. Київ: Інститут гідробіології НАН України, 2019. 29 с.
16. Ніколаєнко В. О. Біотехнології у водоочищенні. Київ: КНЕУ, 2019. 248 с.
17. Оцінка впливу тваринницьких комплексів на довкілля: довідник / За ред. М. А. Шевчука. Київ: Основа, 2020. 322 с.
18. Пелешок І. М. Токсичні речовини у водних системах. Львів: ЛНУ, 2018. 220 с.
19. Петрук О. М. Гормони та антибіотики у природних водах. Вінниця: ВНАУ, 2022. 210 с.
20. Пилипенко О. І., Риженко Л. В. Екологія водних ресурсів. Київ: Кондор, 2017. 268 с.
21. Пономаренко С. В. Біологічні методи очищення стоків тваринництва. Харків: ХДТУ, 2018. 192 с.
22. Постанова КМУ №758 «Про затвердження норм ГДК речовин у воді». Київ, 2016.
23. Риженко Л. В. Гідрохімія: підручник. Київ: Вища школа, 2019. 304 с.
24. Романенко В. Д. Основи гідроекології. Київ: Наукова думка, 2016. 360 с.
25. Рубан І. М. Очистка стічних вод тваринницьких господарств. Київ, 2018. 224 с.
26. Свириденко П. О. Сучасні методи очищення води. Полтава: ПДАУ, 2021. 190 с.
27. Сухенко О. В. Екологічні ризики тваринництва. Київ: Аграрна освіта, 2020. 184 с.
28. Тарасенко С. М., Дудіков С. М. Стічні води АПК: технології очищення. Харків: ХНАУ, 2022. 256 с.

29. Течія Н. Л. Мікробіологія водних систем. Київ: Ліра, 2018. 280 с.
30. Хільчевський В. К., Забокрицька М. Р. Гідрохімія. Київ: КНУ, 2020. 312 с.
31. Chorology of environmental pollutants in agro-ecosystems / Ed. J. Spencer. London: Elsevier, 2020. 412 p.
32. Gupta R. Water and Wastewater Treatment Technologies. Singapore: Springer, 2021. 380 p.
33. Handbook of Ecotoxicology / Ed. D. Hoffman. Boca Raton: CRC Press, 2019. 1296 p.
34. Ji P., Xu L. Antibiotics in agricultural wastewater: environmental impact and treatment. *Chemosphere*, 2020, 249: 1–12.
35. Li Y., Chen Z. Constructed wetlands for livestock wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 2021, 167: 106278.
36. Moore M. Aquatic Toxicology and Water Quality Criteria. New York: Academic Press, 2020. 344 p.
37. Nguyen T. Biological nitrogen removal in agricultural effluents. *Water Research*, 2019, 160: 45–56.
38. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Fish Embryo Toxicity Test (FET). Paris: OECD, 2018.
39. Wei X., Gong J. Removal of veterinary pharmaceuticals in phytoremediation systems. *Journal of Environmental Management*, 2021, 283: 111958.
40. WHO. Water Quality Guidelines for Aquatic Life Protection. Geneva: World Health Organization, 2021. 122 p.