

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально - науковий інститут екології
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД Р. ХОРОЛ У МЕЖАХ М. МИРГОРОД

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕ-
41 спеціальності :101 «Екологія»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

ПІ автора  Іван АЧКАСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник _____ / проф. Олексій КРАЙНЮКОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент _____ / Михайло ЛУКАШ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри/ _____ проф. Алла НЕКОС
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль _____ / Вікторія КОШЕЛЬКОВСЬКА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК _____ / Світлана БУРЧЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр
Спеціальність 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____/проф. Алла НЕКОС

підпис ім'я та прізвище

20 травня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Івану АЧКАСОВУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Оцінка еколого-токсикологічного стану поверхневих вод р.
Хорол у межах м. Миргород

Керівник роботи Олексій КРАЙНЮКОВ, д-р геогр. наук, професор

(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджене наказом по університету від 16.04.2025 р. № 4301-5/967

2. Строк подання студентом роботи 07 травня 2025 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз літературних джерел з питання оцінки якості поверхневих водних об'єктів за допомогою методу біотестування;
2. Опрацювати та використати для експериментальних досліджень методику біотестування на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg з визначення хронічної токсичності поверхневих вод;
3. Узагальнити результати експериментальних та польових досліджень;
4. Визначити динаміку змін властивостей та рівнів хронічної токсичності зразків води, які було відібрано з р. Хорол у межах м. Миргород.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Історичний генезис токсикогенного забруднення води.
2	Загальні питання щодо використання екотоксикологічних тестів для оцінки стану водних екосистем.
3	Оцінка еколого-токсикологічного стану поверхневих вод р. Хорол у межах м. Миргород

5. Дата видачі завдання 20 травня 2024 р.

Студент



підпис

Іван АЧКАСОВ

ім'я і прізвище

Керівник роботи

підпис

проф. Олексій КРАЙНЮКОВ

посада, ім'я і прізвище

АНОТАЦІЯ

**ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД Р.
ХОРОЛ У МЕЖАХ М. МИРГОРОД**

Іван АЧКАСОВ

Кваліфікаційна робота «Оцінка еколого-токсикологічного стану поверхневих вод р. Хорол у межах м. Миргород» містить 33 сторінки, 3 розділи, 1 таблицю, 6 рисунків, та 20 використаних джерел.

*Мета роботи:*Провести еколого-токсикологічну оцінку якості поверхневих вод р. Хорол у межах міста Миргород та класифікувати її за рівнями хронічної токсичності.

Актуальність дослідження пов'язана з експериментальними дослідженнями токсичних властивостей води поверхневих водних об'єктів. Біотестування є найбільш якісним рішенням для визначення токсичних властивостей води водних об'єктів, хоча за їх допомогою не завжди можливо ідентифікувати хімічні сполуки, які присутні у воді.

Завдання дослідження було спрямовано на проведення експериментального визначення токсичних властивостей поверхневих вод р. Хорол у межах міста Миргород.

Методи. Встановлення токсичних властивостей води поверхневих водних об'єктів, а саме хронічної токсичності води водного об'єкту у навчально-дослідній лабораторії еколого-токсикологічних досліджень за допомогою методики біотестування на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg.

Результати. В результаті експериментальних досліджень зразків поверхневих вод, які було відібрано у різні пори року з р. Хорол у межах міста Миргород встановлено, що більш прийнятна якість води досліджуваної водойми була визначена навесні 2025 року.

ТОКСИКОГЕННЕ ЗАБРУДНЕННЯ, ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ,
БІОТЕСТУВАННЯ, РІВЕНЬ ХРОНІЧНОЇ ТОКСИЧНОСТІ

ABSTRACT

**ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL-TOXICOLOGICAL STATE OF
SURFACE WATERS OF THE KHOROL RIVER WITHIN THE
BOUNDARIES OF THE CITY OF MYRGOROD**

Ivan ACHKASOV

The qualification work "Assessment of the ecological-toxicological state of surface waters of the Khorol River within the city of Myrgorod" contains 33 pages, 3 sections, 1 table, 6 figures, and 20 sources used.

Purpose of the work: To conduct an ecological-toxicological assessment of the quality of surface waters of the Khorol River within the city of Myrgorod and classify it by levels of chronic toxicity.

The relevance of the study is associated with experimental studies of the toxic properties of water of surface water bodies. Biotesting is the most qualitative solution for determining the toxic properties of water of water bodies, although it is not always possible to identify chemical compounds present in water with their help.

The research task was aimed at conducting an experimental determination of the toxic properties of surface waters of the Khorol River within the city of Myrhorod.

Methods. Determination of the toxic properties of surface water bodies, namely the chronic toxicity of water of a water body in the educational and research laboratory of ecological and toxicological research using the biotesting method on the crustacean *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg.

Results. As a result of experimental studies of surface water samples taken at different times of the year from the Khorol River within the city of Myrhorod, it was found that the more acceptable water quality of the studied reservoir was determined in the spring of 2025.

TOXICOGENIC POLLUTION, SURFACE WATER, BIOTESTING, CHRONIC TOXICITY LEVEL

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. ІСТОРИЧНИЙ ГЕНЕЗИС ТОКСИКОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ... ..	9
РОЗДІЛ 2. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНИХ ТЕСТІВ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ.....	14
2.1 Світовий досвід застосування токсикологічних тестових систем при дослідженні та оцінки негативного впливу забруднювачів на водні екосистеми.....	14
2.2 Методика біотестування з визначення рівнів хронічної токсичності поверхневих вод водних об'єктів на ракоподібних <i>Ceriodaphnia affinis</i> Lilljeborg.....	18
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД Р. ХОРОЛ У МЕЖАХ М. МИРГОРОД.....	19
3.1 Гідрографічна характеристика річки Хорол.....	19
3.2 Оцінка еколого-токсикологічного стану поверхневих вод р. Хорол у межах міста Миргород.....	20
ВИСНОВКИ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

Зростання населення та необхідність досягнення економічних моделей, пов'язаних з урбанізацією, створюють додаткове навантаження на запаси прісної води. Це впливає на місцеві водні системи, призводячи до екологічного, гідрологічного та екологічного стресу: наслідки використання водних систем на благо населення протягом тисячоліть, чи то для виробництва їжі, транспорту чи сільськогосподарської діяльності. Отже, економічний прогрес за будь-яку ціну завдав шкоди здоров'ю екосистем у всьому світі.

Стічні води, що потрапляють у водне середовище, можуть містити кілька забруднювачів, які можуть спричинити серйозні біологічні та екологічні наслідки. Ці стічні води містять різні хімічні речовини та можуть бути непередбачуваними за допомогою окремо проведених хімічних аналізів, тобто їх неможливо проаналізувати, виявити та кількісно визначити, що призводить до зниження якості даних.

Різноманітні речовини можуть потрапляти у водні системи, розташовані поблизу житлових районів, створюючи ризики для людей та здоров'я екосистем, створюючи небезпечні зони середовища існування. Що стосується водної екосистеми, то осади є основними геосорбентами забруднювачів і можуть накопичувати речовини, рівні яких досягають набагато вищих, ніж у воді. Отже, зростає занепокоєння щодо сучасних лінійних моделей управління міськими водними системами.

Таким чином, фізичні та хімічні оцінки були включені до біологічної оцінки вод, що свідчить про те, наскільки важливо розробити ефективний план управління водними ресурсами. Це відбувається після того, як управління водними ресурсами зосереджено на використанні, видобутку та утилізації, що є наслідком централізованих інфраструктур і технологій, що працюють у великих масштабах.

Вимірювання рівня токсичності також має вирішальне значення для визначення якості води. Тести на токсичність широко застосовується при дослідженні донних відкладів, оскільки він дозволяє ідентифікувати та вказувати на різноманітний вплив хімічних речовин, що потрапляють у воду. Тести на токсичність надають дані щодо конкретних областей токсичності та найбільш значних наслідків для подальшого розвитку методів відновлення.

Також важливо знати, що такі фактори, як джерела забруднення та механізми хімічної токсичності, мають значення для розробки аналізу, заснованого на відтворюваності організмів. Наприклад, використання *Daphnia magna* було науково обґрунтовано з початку 1940-х років як модельного організму для цього аналізу завдяки його короткому репродуктивному циклу та сильній реакції плідності на екзогенні токсиканти. Крім того, *Daphnia magna* відіграє фундаментальну роль у прісноводних системах, оскільки залежно від змін у їхній популяції можуть відбуватися зміни в структурі або функції екосистеми.

Крім того, поєднання даних, таких як кількісні показники видового різноманіття та якісні дослідження, пов'язані з окремими таксонами в різних географічних районах, може допомогти усвідомити толерантні види та їхню екологічну чутливість. Присвоєння значення окремим групам, сума яких дає індекс забруднення для ділянки, надає додаткове розуміння сталості біорізноманіття та продуктивності екосистеми.

Відповідно до цього встановлення токсичних властивостей води поверхневих водних об'єктів за допомогою ракоподібних *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborge вкрай необхідною процедурою, яка необхідна при проведенні природоохоронної діяльності у будь-якій країні.

Виходячи з вищезначеного, наші експериментальні дослідження були спрямовані на оцінку якості води р. Хорол у межах м. Миргород, тому що саме якісне водне середовище є основною запорукою стійкості та якості водної екосистеми та мешканців водних об'єктів.

РОЗДІЛ 1.

ІСТОРИЧНИЙ ГЕНЕЗИС ТОКСИКОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ

Чиста вода є фундаментальною потребою людини та основою здорової екосистеми. Однак світ стикається з величезною проблемою забруднення води токсичними хімікатами[1,2]. У статті [3] підраховали, що лише в Сполучених Штатах 18–80 мільйонів людей можуть отримувати водопровідну воду, забруднену пер- та поліфторалкільними речовинами (PFAS) у рівнях, які можуть спричинити довгострокові ризики для здоров'я. Що стосується впливу на екосистеми, дослідження 2022 року показало, що 26% річок ($n = 258$) у 104 країнах містили принаймні один фармацевтичний забруднювач, що перевищує безпечні рівні для водних організмів [4]. Насправді забруднення, включно з забрудненням води, разом зі зміною клімату та втратою біорізноманіття було визнано Екологічною програмою ООН як «три самі спричинені планетарні кризи, які тісно взаємопов'язані та піддають неприйнятному ризику добробут нинішнього та майбутніх поколінь»[5].

Забруднення води токсичними хімічними речовинами в основному виникає внаслідок антропогенної діяльності, як промислової, так і побутової, з деяким внеском природної діяльності [6]. Іншими словами, під час придбання, виробництва, використання та утилізації хімічних речовин і пов'язаних з ними продуктів багато хімічних сполук викидалися і вивільняються як з точкових джерел, так і з дифузних джерел[7]. В ідеальному світі такі викиди були б передбачені, із своєчасним вжиттям відповідних заходів для проактивної мінімізації негативного впливу на здоров'я людини та навколишнє середовище. Однак насправді існує обмежений зв'язок між кожною стадією життєвого циклу, від початкових хімічних інновацій до подальшого розвитку технологій водоочищення.

У той час як у XX столітті відбувся значний зсув, від невдалого «вирішення забруднення шляхом розведення» до будівництва та розвитку централізованих водоочисних споруд, ідентифікація та розуміння хімічних

забруднювачів і подальший розвиток технологій очищення відбувалися спорадично, часто лише після того, як відбувалися екологічні проблеми. Наприклад, евтрофікація в озерах, річках і прибережних водах була широко визнана проблемою забруднення води в середині XX століття, спонукаючи технологічні розробки для видалення надмірної кількості поживних речовин (наприклад, азоту, фосфору) зі стічних вод у 1950-1970-х роках. Тим часом швидке розширення індустріалізації та комерційного сільського господарства призвело до появи широкого спектру нових забруднювачів води, які здебільшого неможливо видалити традиційними технологіями очищення поживних речовин[8]. Через їх часто нижчий рівень присутності порівняно із забрудненням поживними речовинами та металами, такі забруднювачі води зазвичай називають «мікрозабруднювачами». Їх присутність, навіть у невеликих кількостях, може порушити водні екосистеми та пов'язана з різними негативними наслідками для здоров'я. З удосконаленням аналітичних приладів мікрозабруднювачі отримали широке визнання як серйозна проблема забруднення води лише на початку 2000-х років, що спонукало до постійного розвитку більш досконалих технологій очищення води [9].

Досягнуто прогресу у визначенні присутності мікрозабруднювачів у навколишньому середовищі та розробці технологій для їх обробки, але покладатися лише на реактивний підхід далеко недостатньо. Незважаючи на прогрес у аналітичних можливостях, поточні методи можуть вимірювати лише частину з понад 350 000 зареєстрованих хімічних речовин і сумішей, присутніх на світовому ринку. Крім того, наявність численних продуктів перетворення ще більше ускладнює виявлення всіх забруднювачів води протягом розумного періоду часу. Наші знання про мікрозабруднювачі також все ще розвиваються, як з точки зору їх небезпеки, так і з точки зору лікування. Нещодавні досягнення в екотоксикології, екології та аналітичній хімії, ймовірно, ще більше розширять сферу ряду цікавих сполук, а також типи взаємопов'язаних впливів на навколишнє середовище, які залишаються недостатньо вивченими.

Нещодавно це було продемонстровано запровадженням нових класифікацій небезпеки стійких, мобільних і токсичних (PMT) і дуже стійких і дуже мобільних (vPvM) речовин у Європейському Союзі (ЄС), видалення яких із води є технічно складним і дорогим. Можна очікувати, що в майбутньому ми визначимо додаткові мікрозабруднювачі, які можуть вимагати нових хімічних технологій очищення. Покладатися виключно на рішення для обробки води наприкінці труби дорого й ефективно лише до певної міри. Наприклад, Швейцарія інвестує 1,2 мільярда \$ в модернізацію 100 великих очисних споруд до 2040 року, щоб видалити понад 80% мікрозабруднювачів зі стічних вод.

Таким чином, важливо прийняти додаткові проактивні підходи до скринінгу існуючих хімічних речовин на глобальних ринках, виявлення потенційних мікрозабруднювачів та інформування технологій водоочищення. Крім того, вирішальним є проактивний дизайн нових хімічних речовин, які є доброякісними та легко піддаються лікуванню. Щоб досягти цього, ми закликаємо дослідників і практиків у всіх відповідних сферах життєвого циклу хімікатів (наприклад, придбання сировини, виробництво хімікатів, використання, кінець терміну служби, включаючи очищення води та дослідження навколишнього середовища), які наразі відокремлені, працювати разом, використовуючи нову інтегровану структуру, керовану даними. Ця перспектива починається з аналізу того, як окремі домени наразі розділені. Вивчаючи історичні недоліки, ми детально пояснюємо, як інтегровану структуру, керовану даними, можна побудувати на основі наявних зусиль в окремих доменах і яку користь кожна область може отримати від запропонованої інтегрованої структури.

Наявність хімічної речовини у воді та її потенційний вплив на екосистему можна частково оцінити за допомогою даних про виробництво та продаж у поєднанні з токсикологічною інформацією, якщо вона існує, або якщо її можна надійно передбачити. Однак точні хімічні інгредієнти у проданих продуктах не завжди доступні або відкрито доступні (наприклад, для захисту комерційних

інтересів), що іноді ускладнює це. Доказом є фактичні вимірювання у воді. Це залишається суттєвою проблемою, оскільки у слідових концентраціях може бути багато різних хімічних речовин та сумішей. Потужності лабораторії помітно покращилися, особливо в галузях економіки, щоб зробити аналіз більш ефективним і всебічним для тисяч речовин нових синтезованих речовин. Зберігаючи якість, аналітичні експресні методи дослідження зменшили залежність від виснажливих лабораторних процедур підготовки зразків і збору великих зразків, тим самим спростивши вимоги до логістики та навчання спеціалістів. Перехід із лабораторії на польову роботу недорогий автономний відбір проб і визначення слідів хімічних забруднювачів також відкриває чудові можливості для розширення та отримує переваги від інструментів швидкого створення прототипів, таких як 3D-друк. Їхня головна проблема полягає в забезпеченні високоякісних даних майже в реальному часі, витримуючи при цьому зміну умов навколишнього середовища протягом тривалого часу. Крім того, поєднання дешевших можливостей біологічного та хімічного аналізу в таких пристроях, безсумнівно, зробить оцінку впливу набагато доступнішою та кориснішою.

Що стосується (еко)токсикологічного тестування хімічних речовин, «методології нового підходу» спрямовані на вирішення тестування на тваринах, зменшення, заміни та вдосконалення, і включають підходи *ex vivo*, *in vitro*, *in chemico* та *in silico*. У багатьох країнах є суттєвий прогрес у прийнятті «методології нового підходу» для заміни тварин у процесі прийняття регуляторних рішень. В епоху «великих даних» стався помітний сплеск у розробці керованих ресурсів і підходів до моделювання для «методології нового підходу», що включає машинне навчання. Існують відомі проблеми щодо їх прийняття, зокрема, обмежена впевненість у їхній здатності передбачити клас небезпеки для деяких кінцевих точок і валідації. Хоча якість доказів, які вони надають, ще потребує ретельної оцінки, деякі з них уже перевершили підходи до тестування на тваринах щодо хімічної небезпеки [10].

Досвідчені дослідники скоординували свої зусилля, щоб уможливити та прискорити міжнародний обмін знаннями між групами, консорціумами та мережами, які мають на меті координувати та гармонізувати дослідження та розробки, а також обмінюватися, оцінювати та просувати «найкращий досвід» і представляти «колективний голос». Обмін даними, зокрема, є ключовим «живим» ресурсом, який допомагає йти в ногу з великою кількістю забруднюючих речовин, що постійно примножуються. Прикладом є мережа NORMAN, яка повідомила про понад 4553 унікальних хімічних речовини в різних середовищах навколишнього середовища (>96 мільйонів записів даних). У Європі було зареєстровано 1474 хімічні речовини у воді, що перевищують межу виявлення аналізу, і для яких доступна підтверджувальна інформація про якість.

РОЗДІЛ 2.

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ЕКОТОКСИКОЛОГІЧНИХ ТЕСТІВ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

2.1 Світовий досвід застосування токсикологічних тестових систем при дослідженні та оцінці негативного впливу забруднювачів на водні екосистеми

Вода має вирішальне значення для сталого розвитку, соціально-економічного прогресу, здорових екосистем і виживання людини. Забезпечення якості води зменшує глобальне навантаження хворобами та покращує здоров'я, добробут і продуктивність. Дефіцит і якість води є актуальними глобальними проблемами в ХХІ столітті, особливо впливаючи на здоров'я людини через захворювання, що передаються через воду, і порушення екосистеми [11]. Тестування води має вирішальне значення для підтримки безпечної питної води, дослідження спалахів захворювань і перевірки процесів очищення води.

Збереження якості води сприяє сталому використанню ресурсів, зменшує забруднення, захищає природні середовища існування та приносить користь навколишньому середовищу як на місцевому рівні, так і в усьому світі. У країнах, що розвиваються, таких як Гана, хороша якість води сприяє розвитку туризму, економічному зростанню та якості життя, одночасно знижуючи витрати на медичне обслуговування [12]. Якість річкової води має вирішальне значення для цілісності навколишнього середовища та здоров'я тварин і людей. Існує доведений зв'язок між якістю річкової води та її впливом на здоров'я населення, що робить річкову воду важливим природним ресурсом [13].

Не можна нехтувати роллю поверхневих вод у забезпеченні добробуту людини. Відповідно, у всьому світі здійснюється регулярний моніторинг їх фізико-хімічних властивостей. Основними параметрами моніторингу є біохімічна потреба в кисні, розчинений кисень, електропровідність, загальна кількість розчинених і зважених твердих речовин, запах), іони/біогенні елементи, наприклад метали, амоній, нітрати, фосфати, силікати, сульфати,

хлориди, загальний фосфор, загальний азот і біологічні показники. Параметри, пов'язані з осадами, рідко включаються в аналіз якості навколишнього середовища, навіть якщо оцінка осадів включена в нормативні рамки для окремих випадків, таких як оцінка якості води для питного та сільськогосподарського використання. Крім того, все більше визнається, що фізико-хімічні параметри поверхневих вод можуть бути недостатніми для оцінки екологічного ризику для біоти, і їх слід інтегрувати з екотоксикологічними результатами для розуміння стану забруднення природних водойм і оцінки ризику [14].

Крім того, екологічна якість річок (оцінка стану бентосних/водних угруповань, біооцінка) ще не широко включена в програми моніторингу. Наприклад, гідробіоти, такі як фітопланктон, бентосні макробезхребетні, риба та флора, не розглядалися в більш ніж тисячі робіт, пов'язаних з моніторингом, опублікованих до кінця 2017 року. Тим не менш, деякі країни використовують бентосних макробезхребетних у своїх програмах моніторингу якості води [15], оскільки бентосні організми дуже чутливі до умов навколишнього середовища і мають відносно низьку мобільність, що робить їх хорошими індикаторами змін навколишнього середовища. Для цього широко використовуються хірономіди та олігохети, індикатори органічного забруднення та безкисневих умов. У малих гірських річках Вірменії бентосні макробезхребетні є найбільш переважними біоіндикаторами якості річки [16].

З іншого боку, екотоксикологічне дослідження на основі ефекту (біотестування) дозволяє визначити шкідливі концентрації токсикантів для біоти. Крім того, тестування на природних зразках, таких як вода або донні відклади, може виявити кумулятивний ефект суміші сполук, знайдених у зразку навколишнього середовища, навіть якщо синергетичні або антагоністичні дії, що відбуваються в цих матрицях, можуть бути пропущені. Це також дозволяє продемонструвати дію токсикантів, які можуть бути виявлені навіть у концентраціях, нижчих за межі інструментального виявлення, або не є цільовими. Наприклад, біотест A-YES (з використанням дріжджів *Archula*

adeninivorans для виявлення естрогенної активності) дозволяє виявити сполуки, що порушують роботу ендокринної системи, навіть не знаючи їх концентрації в зразках навколишнього середовища, які часто нижчі за інструментальну межу виявлення [17]. Огляд усього осаду вважається більш екологічно реалістичним, ніж використання лише частки осаду – порової води чи твердої фази. Наприклад, аналіз цілого осаду на бентосних безхребетних враховує різні шляхи впливу (поглинання з їжею та шкірою як проковтнутих, так і розчинених хімікатів) на відміну від шляху поглинання лише розчинених хімікатів, якщо розглядається лише вода. У більшості біоаналізів, проведених як на воді, так і на цілих осадах, перший не міг адекватно відобразити токсичність, визначену останнім, і, отже, не може використовуватися як предиктор токсичності осадів. В іншому дослідженні вода була більш токсичною для амфіпод, що будує бентосну трубку, ніж весь осад, оскільки в воді організми піддаються впливу більш концентрованих хімічних речовин, ніж у всьому осаді, коли труби постійно промиваються новою водою, що призводить до розрідження вмісту в трубках.

Тим не менш, слід дотримуватися обережності: хоча деякі види зі схожими життєвими стратегіями (наприклад, риючі організми) можуть бути взаємозамінними в дослідженнях екотоксичності, необхідно враховувати чутливість аналізів, що використовуються для біомоніторингу. Наприклад, аналізи на основі *Tradescantia* чутливі до низьких концентрацій хімічних речовин у зразках компонентів навколишнього середовища, тоді як організми, що накопичують біологічні властивості, можуть демонструвати високу стійкість до забруднення через їх специфічні стратегії секвестрації токсичних речовин, і тому аналізи з їх використанням можуть бути непридатними для цілей моніторингу.

У Вірменії якість поверхневих вод контролюється шляхом фізико-хімічного аналізу води та порівняння результатів з нормами, визначеними для традиційних забруднюючих речовин. Біооцінка та біотестування не включені до національної програми моніторингу поверхневих вод. Проте біотестування

та біооцінка є важливими інструментами, які можуть отримати комплексну оцінку стану поверхневих вод. Крім того, ці інструменти є особливо важливими, оскільки цілі моніторингу зазвичай не включають нові забруднювачі, для яких нормативні норми ще не визначені. Зокрема, опублікована література про забруднення мікропластиком у водних системах вражає величезною сукупністю наукових даних про токсичний потенціал частинок мікропластику або їхніх добавок для різних організмів. Було показано, що частинки мікропластику (≤ 5 мм) поглинають організми, що живуть у відкладеннях. Наприклад, 83 % проаналізованих бентосних макробезхребетних з антарктичного узбережжя в морі Росса містили мікрочастинки пластику розміром від 50 до 100 мкм, з яких 86 % становили нейлон і 5 % поліетилен[18]. *Chironomus sp.* личинки та їхні трубки в двох місцях відбору проб стічних вод в Єгипті містили кольорові поліефірні волокна довжиною 500–1000 мкм [19]. Аналіз доступних дослідницьких даних демонструє, що швидкість потрапляння всередину може не залежати прямо від концентрації частинок у середовищі або дози, застосованої в лабораторних дослідженнях, а потрапляння частинок всередину не обов'язково призводить до несприятливих наслідків для організму в довгостроковій перспективі. Тим не менш, поглинання та накопичення частинок мікропластику в організмах може спричинити нейротоксичність, пошкодження кишечника, клітинний окислювальний стрес, затримку росту, поведінкові зміни та смертність, хоча механізми токсичного впливу мікропластику на організми в основному невідомі. Тим часом більшість даних отримано в результаті контрольованих лабораторних експериментів, тоді як екотоксичність частинок мікропластику, вбудованих у матрицю навколишнього середовища (наприклад, природний осад), майже не розглядається. Як наслідок, взаємодія частинок мікропластику з іншими забруднювачами в матриці опадів на водні організми в основному незрозуміла.

Очевидно, для комплексної оцінки та моніторингу стану довкілля необхідне поєднання фізико-хімічних, біологічних (біооцінка) та екотоксикологічних (біотестування) даних.

2.2 Методика біотестування з визначення рівнів хронічної токсичності поверхневих вод водних об'єктів на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg

В наведеній кваліфікаційній роботі, для визначення рівнів хронічної токсичності води з річки Хорол було використано методику біотестування з визначення рівнів хронічної токсичності води водних об'єктів на представниках ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, яка на даний час ґрунтується на встановленні достовірної різниці між виживаністю і плодючістю ракоподібних у воді, що представлена для аналізу (експеримент) та у воді, в якій ракоподібні культивуються (контроль).

Критерієм рівнів хронічної токсичності води з водного об'єкта є визначаємо сучасними статистичними інструментами значиме зменшення виживаності і плодючості ракоподібних у експериментів порівнянні з контролем впродовж усього терміну проведення алгоритму біотестування.

Тривалість біотестування становила 7 діб, або до появи в 95 % вихідних ракоподібних або 3 пометів [20].

Якість досліджуваної води з р. Хорол оцінювали за рівнем її хронічної токсичності та ступенем забрудненості відповідно до наведеної нижче класифікаційної шкали (таблиця 2.1)[20].

Таблиця 2.1

Класифікація якості води за рівнями хронічної токсичності [20]

Клас якості води	Ступінь забрудненості	Рівень хронічної токсичності, OT_x
I	чиста	1,0
II	слабко забруднена	1,1-2,0
III	помірно забруднена	2,1-4,0
IV	брудна	4,1-8,0
V	дуже брудна	більше 8,0

Експериментальні дослідження проводились у навчально-дослідній лабораторії еколого-токсикологічних досліджень навчально-наукового інституту екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

РОЗДІЛ 3.

ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД Р.
ХОРОЛ У МЕЖАХ М. МИРГОРОД

3.1 Гідрографічна характеристика р. Хорол

Хорол – найбільша права притока Псла, тече територією Сумської та Полтавської областей. Довжина р. Хорол 308 км., площа басейну 3870 км². Бере початок із джерел на півночі від с. Червоної Слободи, тече Придніпровською низовиною.

Основною проблемою цього водного об'єкта є водосховища, які уповільнює рух води й водообмін. Це позначається на зміні температурного режиму та протіканні гідрофізичних, гідробіологічних та гідрохімічних процесів у воді.



Рис. 3.1 - Місця відбору зразків поверхневих вод з р. Хорол у межах м. Миргород

Відбір зразків поверхневих вод з р. Хорол у межах м. Миргород було здійснено влітку і восени 2024 року та взимку і навесні 2025 року (рис. 3.1).

Зразки відбирались у 7 створах зр. Хорол у межах м. Миргород:

- 1 – м. Миргород, вул. Київська, міст через р. Хорол;
- 2 – м. Миргород, місцевий ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст;
- 3 – м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через р. Хорол;
- 4 - м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол;
- 5 - м. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол;
- 6 - м. Миргород, міст Третьєцького
- 7 – м. Миргород, залізничний міст

Всі зразки поверхневих вод було досліджено на наявність токсичних властивостей у навчально-дослідній лабораторії еколого-токсикологічних досліджень ННІ екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

3.2 Оцінка еколого-токсикологічного стану поверхневих вод р. Хорол у межах міста Миргород

У роботі, для визначення хронічної токсичності води з річки Хорол у межах м. Миргород було використано методику біотестування з визначення хронічної токсичності води водних об'єктів на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, яка ґрунтується на встановленні різниці між виживаністю або плодючістю ракоподібних церіодафній у експериментальній воді, та у воді, в якій ракоподібні церіодафнії культивуються.

Критерієм хронічної токсичності води з водного об'єкта є статистично значиме зменшення виживаності або плодючості ракоподібних церіодафній у досліді порівняно з контролем впродовж усього терміну процесу біотестування. Тривалість процесу біотестування становила 6 діб, або до появи у 90 % вихідних ракоподібних церіодафній трьох пометів.

Для проведення процедури біотестування використовували ракоподібні церіодафнії віком до 24 годин.

В результаті проведених еколого-токсикологічних досліджень влітку 2024 року, токсичні властивості було визначено у 5 зразках поверхневих вод, які було відібрано з р. Хорол: м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол; м. Миргород, міст Третьєцького; м. Миргород, залізничний міст.

У створах м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол було визначено 2 клас якості води – вода слабо забруднена, а у створах м. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол; м. Миргород, міст Третьєцького; м. Миргород, залізничний міст - 3 клас якості води – вода помірно забруднена. Зразки води зі створів м. Миргород, вул. Київська, міст через р. Хорол та м. Миргород, міський ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст не виявили токсичних властивостей (рис. 3.2).

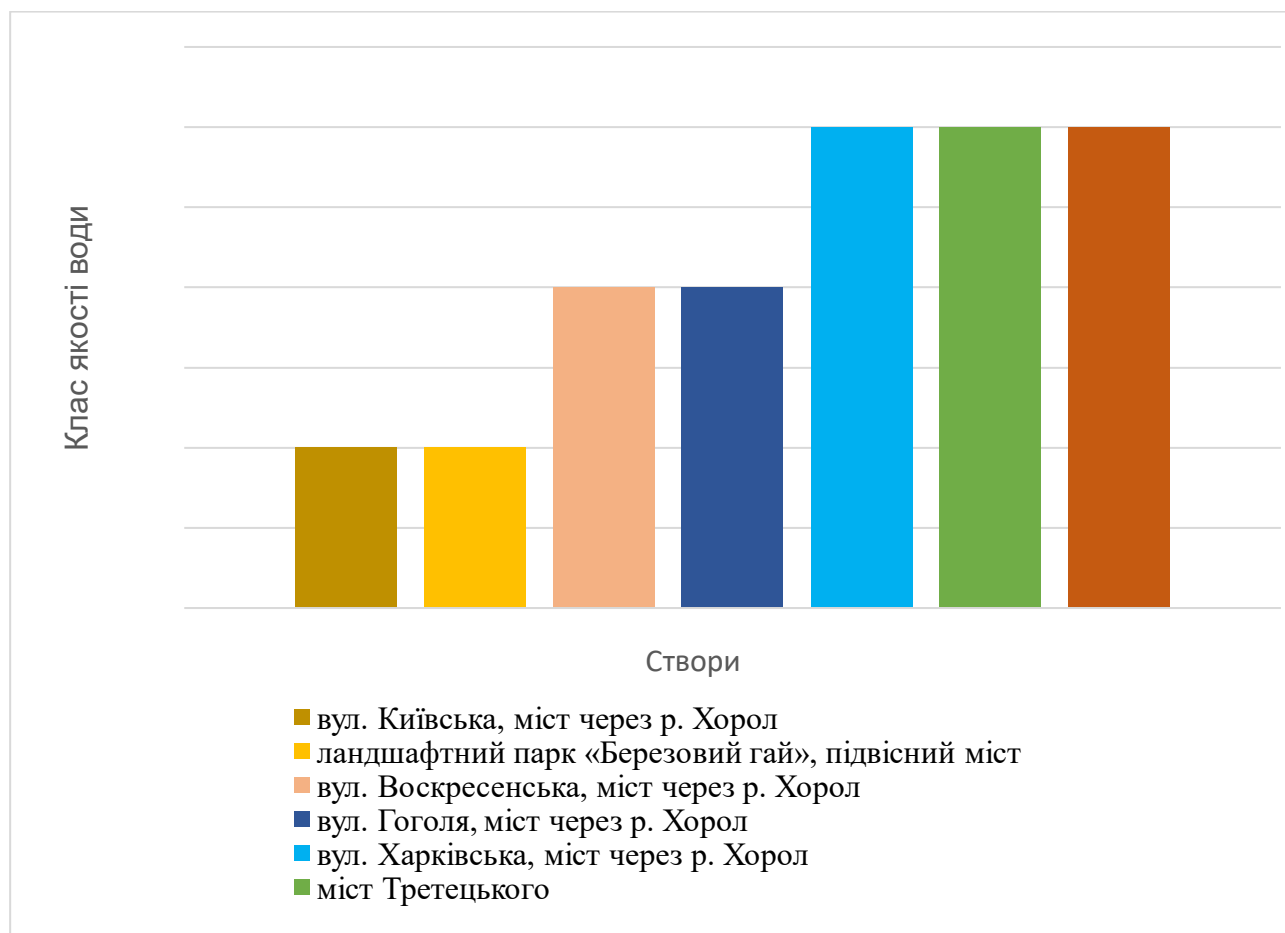


Рис. 3.2- Результати експериментально визначення токсичних властивостей проб поверхневих вод, які було відібрано з р. Хорол у межах м. Миргород влітку 2024 року

Восени 2024 року у створах м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол було визначено 2 клас якості води – вода слабо забруднена; у створі м. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол було визначено 3 клас якості води – вода помірно забруднена та у створах м. Миргород, міст Третього; м. Миргород, залізничний міст – 4 клас якості води (вода брудна). Як і в літку, у зразках води зі створів м. Миргород, вул. Київська, міст через р. Хорол та м. Миргород, міський ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст не було виявлено токсичних властивостей води (рис. 3.3).

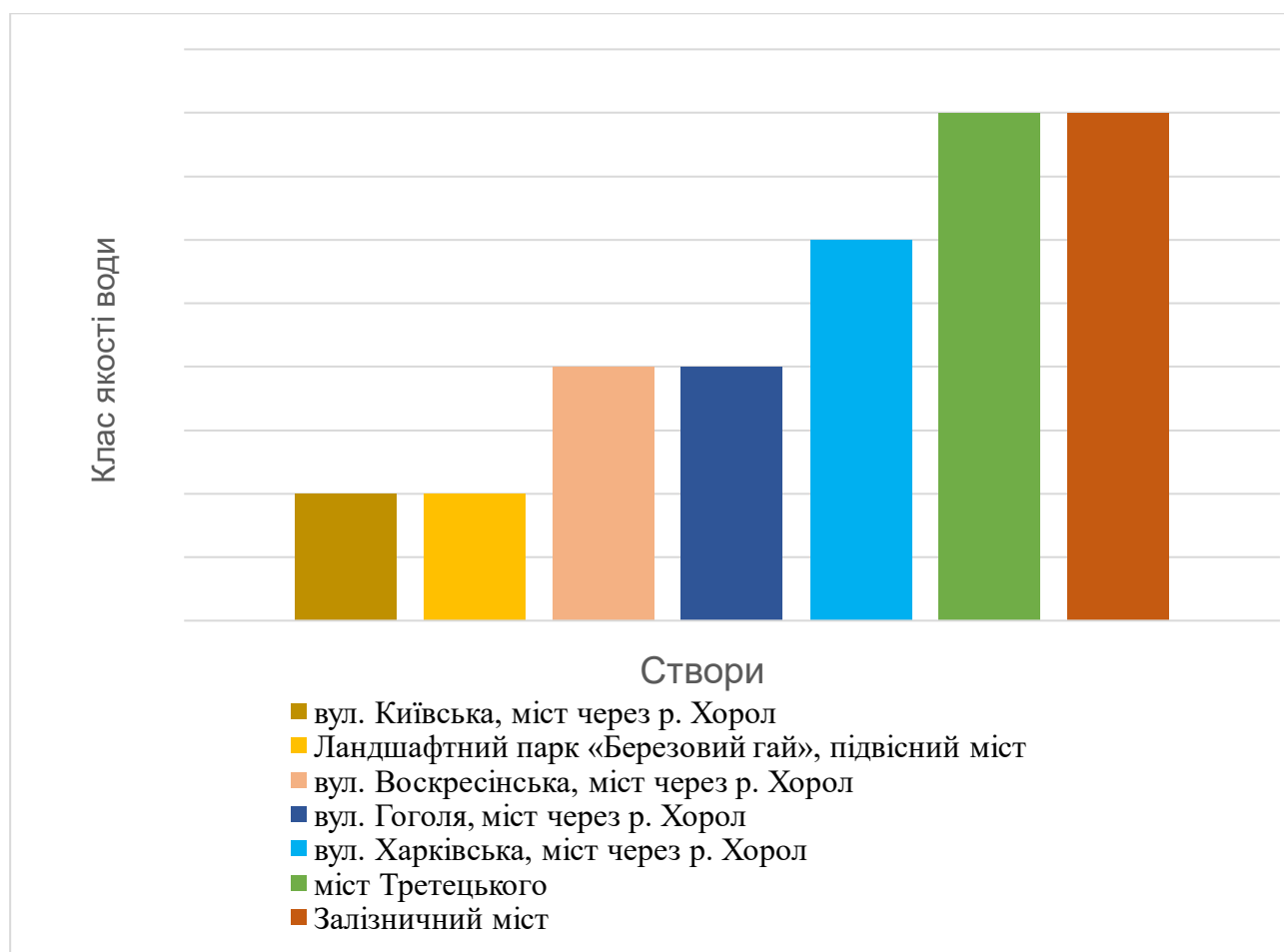


Рис. 3.3 - Результати визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод, які було відібрано з р. Хорол у межах м. Миргород восени 2024 року

Взимку 2025 року у створах м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол там. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол було визначено 3 клас якості води – вода помірно забруднена та у створах м. Миргород, міст Третьцького; м. Миргород, залізничний міст – 4 клас якості води (вода брудна). Як і в інші сезони, зразки води зі створів м. Миргород, вул. Київська, міст через р. Хорол та м. Миргород, міський ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст не виявили токсичних властивостей (рис. 3.4).

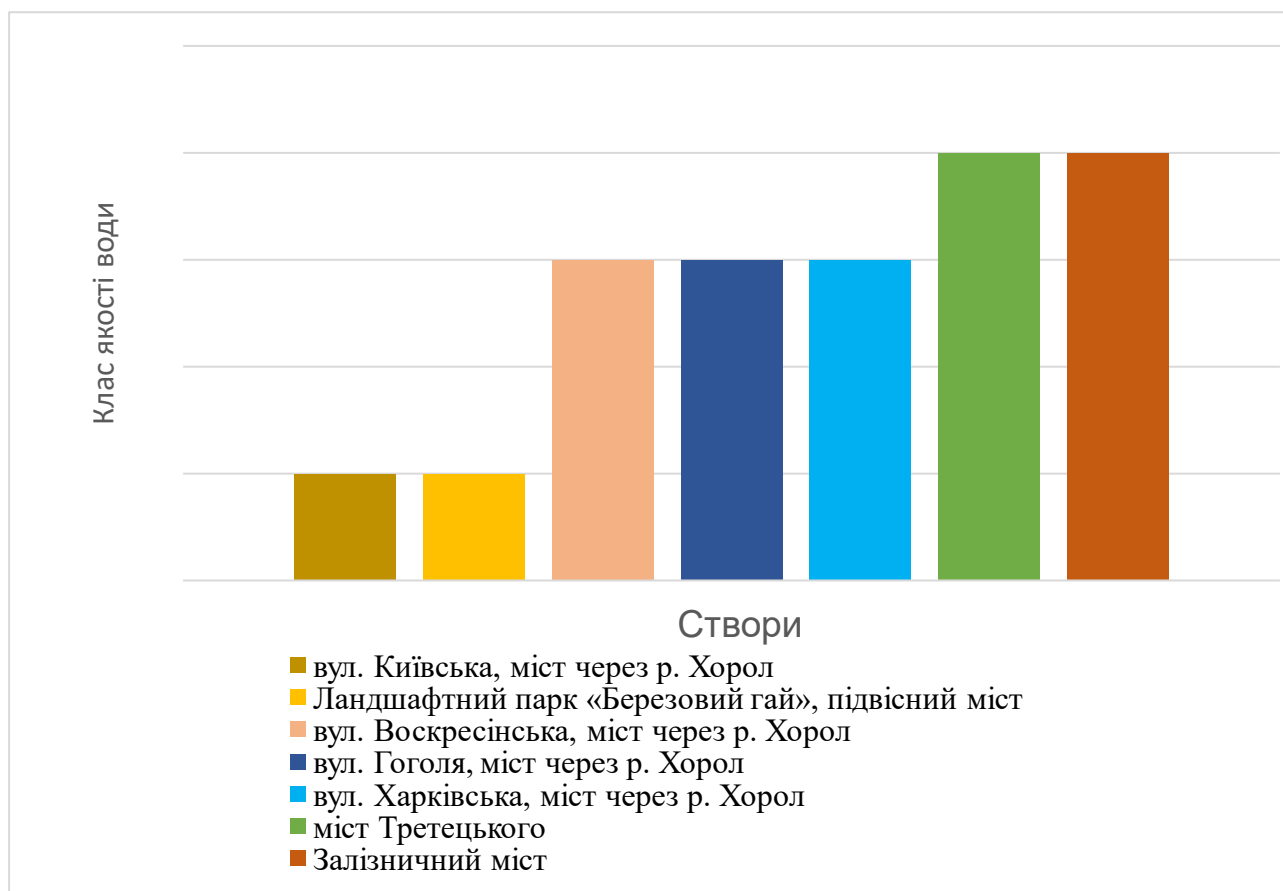


Рис. 3.4 - Результати визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод, які було відібрано з р. Хорол у межах м. Миргород взимку 2025 року

Навесні 2025 року у створах м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол там. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол було визначено 2 клас якості води – вода

слабко забруднена та у створах м. Миргород, міст Третьцького; м. Миргород, залізничний міст – 3 клас якості води - вода помірно забруднена. Як і в інші сезони, зразки води зі створів м. Миргород, вул. Київська, міст через р. Хорол та м. Миргород, міський ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст не виявили токсичних властивостей (рис. 3.5). Така тенденція до покращення якості води пов'язана, на нашу думку, пов'язана із процесами розбавлення води водойми ґрунтовими водами та опадами, що сприяло покращенню якості води. Також слід відмітити практично без льодовий зимовий та весняний сезони 2025 року, що сприяло насиченню водойми киснем, який сприяє процесам самоочищення води водного об'єкту.

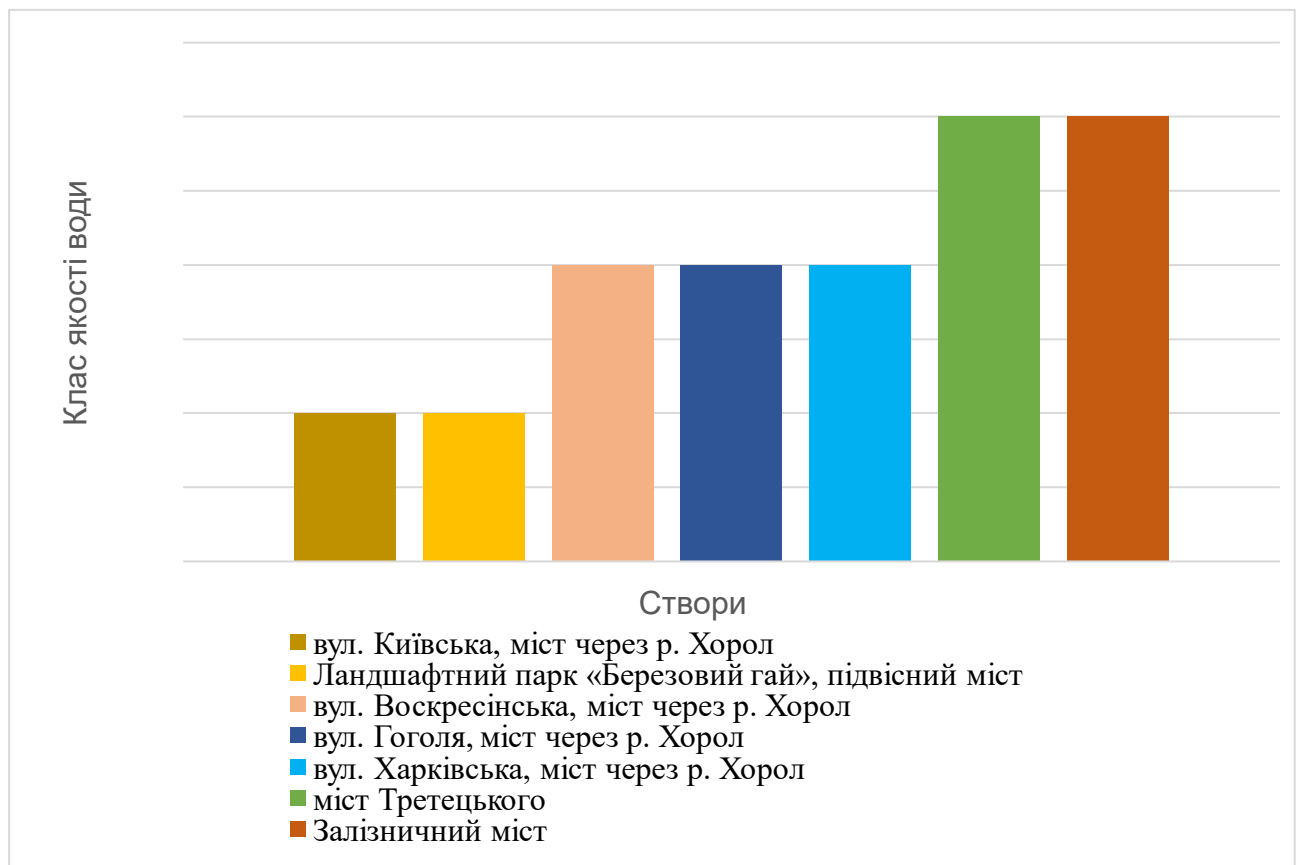


Рис. 3.5 - Результати визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод, які було відібрано з р. Хорол у межах м. Миргород навесні 2025 року

Незадовільний стан якості 5 зразків води з р. Хорол у межах м. Миргород у всі сезони можливо пояснити впливом великої кількості підприємств різних галузей виробництва, зарегульованістю стоку та складними для водних біоценозів кліматичними умовами у період літо 2024 року – весна 2025 року.

Більш прийнятна якість води досліджуваної водойми була визначена навесні 2025 року, що свідчить про найбільш сприятливі умови для водних організмів цього сезону – більш висока водозабезпеченість та без льодовий зимовий та весняний сезони 2025 року, що надало можливість вільного надходження вільного кисню до водного об'єкту (рис. 3.6).

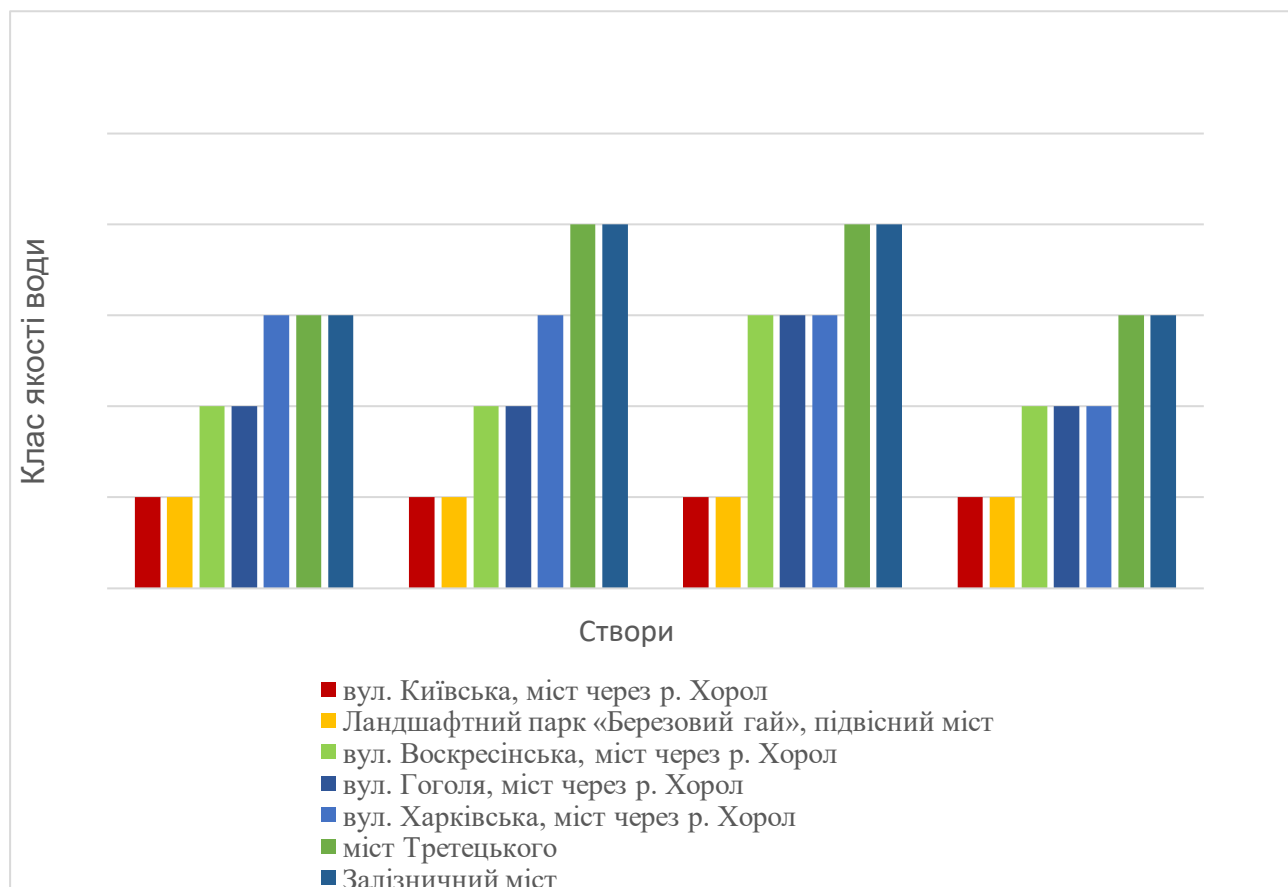


Рис. 3.6 – Сезонна динаміка змін хронічної токсичності у пробах води, які було відібрано з р. Хорол у межах м. Миргород

Однією з головних проблем, яка негативно впливає на якість води р. Хорол є надходження великої кількості біогенних речовин у річку з комунальними та сільськогосподарськими стічними водами із забрудненим поверхневим стоком. Це призводить до евтрофікації річки, що може викликати екологічні зміни з втратою видів водних рослин та риб. І хоча самі по собі фосфор, азот неотруйні, вони призводять до тяжких наслідків, потрапляючи в водні екосистеми, бо сприяють бурхливий розвиток синьо-зелених і бурих водоростей, які споживають велику кількість кисню і таким чином значно зменшують його вміст у воді. Особливо це відчутно для водних організмів у спеку, коли розчинність кисню набагато знижується. Надзвичайно гострою також є проблема з розмноження ціанобактерій, яка тісно пов'язана з евтрофікацією.

ВИСНОВКИ

1. Хорол – найбільша права притока Псла, тече територією Сумської та Полтавської областей. Довжина р. Хорол 308 км., площа басейну 3870 км². Бере початок із джерел на півночі від с. Червоної Слободи, тече Придніпровською низовиною. Долина у вигляді трапеції, часто асиметрична, із підвищеними правими й пологими лівими схилами, ширина долини досягає 10-12 км.

2. Основними забруднювачами води річки є промислові підприємства міста – заводи арматурний, будівельних деталей, будівельних матеріалів, масло й сироробний, плодоовочево-консервний, мінеральних вод, конопляний; комбінати птахо й хлібопродуктів, побутового обслуговування населення; бальнеогрязьовий санаторій.

3. На першому етапі досліджень відбір зразків поверхневих вод з р. Хоролу межах м. Миргород було здійснено влітку та восени 2024 року та взимку і навесні 2025 року. Зразки відбирались у 7 створах: м. Миргород, вул. Київська, міст через р. Хорол; м. Миргород, ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст; м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол; м. Миргород, міст Третьєцького; м. Миргород, залізничний міст.

4. Для визначення хронічної токсичності води з р. Хорол було використано методику біотестування з визначення хронічної токсичності води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg, яка ґрунтується на встановленні різниці між виживаністю і (або) плодючістю церіодафній у воді, що аналізується (експеримент) та у воді, в якій церіодафнії культивуються (контроль).

5. В результаті проведених еколого-токсикологічних досліджень влітку 2024 року, токсичні властивості було визначено у 5 зразках поверхневих вод, які було відібрано з р. Хорол: м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через

р. Хорол; м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол; м. Миргород, міст Третього; м. Миргород, залізничний міст.

У створах м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол було визначено 2 клас якості води – вода слабкозабруднена, а у створах м. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол; м. Миргород, міст Третього; м. Миргород, залізничний міст - 3 клас якості води – вода помірно забруднена. Зразки води зі створів м. Миргород, вул. Київська, міст через р. Хорол та м. Миргород, ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст не виявили токсичних властивостей.

6. Восени 2024 року у створах м. Миргород, вул. Воскресенська, міст через р. Хорол; м. Миргород, вул. Гоголя, міст через р. Хорол було визначено 2 клас якості води – вода слабкозабруднена; у створі м. Миргород, вул. Харківська, міст через р. Хорол було визначено 3 клас якості води – вода помірно забруднена та у створах м. Миргород, міст Третього; м. Миргород, залізничний міст– 4 клас якості води (вода брудна). Як і в літку, зразки води зі створів м. Миргород, вул. Київська, міст через р. Хорол та м. Миргород, ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст не виявили токсичних властивостей.

7. Взимку 2025 року у створах вул. Воскресенська, міст через р. Хорол; вул. Гоголя, міст через р. Хорол та вул. Харківська, міст через р. Хорол було визначено 3 клас якості води – вода помірно забруднена та у створах міст Третього; залізничний міст– 4 клас якості води (вода брудна). Як і в інші сезони, зразки води зі створів вул. Київська, міст через р. Хорол та ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст не виявили токсичних властивостей.

8. Навесні 2025 року у створах вул. Воскресінська, міст через р. Хорол; вул. Гоголя, міст через р. Хорол та вул. Харківська, міст через р. Хорол було визначено 2 клас якості води – вода слабкозабруднена та у створах міст Третього; залізничний міст – 3 клас якості води - вода помірно забруднена.

Як і в інші сезони, зразки води зі створів вул. Київська, міст через р. Хорол та ландшафтний парк «Березовий гай», підвісний міст не виявили токсичних властивостей.

9. Незадовільний стан якості 5 зразків води р. Хорол у межах м. Миргород у літній та осінній періоди можливо пояснити впливом великої кількості підприємств різних галузей, зарегульованістю стоку та складними для водних біоценозів кліматичними умовами цього літа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Backhaus T., Snape J., & Lazorchak J. The impact of chemical pollution on biodiversity and ecosystem services: the need for an improved understanding. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 8(4), 2012. pp. 575-576. <https://doi.org/10.1002/ieam.1353>
2. Groh K., Vom Berg C., Schirmer K., & Tlili A. Anthropogenic chemicals as underestimated drivers of biodiversity loss: scientific and societal implications. *Environmental Science & Technology*, 56(2), 2022. pp. 707-710. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c08399>
3. Andrews D. Q., & Naidenko O. V. Population-wide exposure to per-and polyfluoroalkyl substances from drinking water in the United States. *Environmental Science & Technology Letters*, 7(12), 2020. pp. 931-936. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00713>
4. Wilkinson J. L., Boxall A. B., Kolpin D. W., Leung K. M., Lai R. W., Galbán-Malagón C., Teta C. Pharmaceutical pollution of the world's rivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119 (8), 2022. pp. 2113947119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2113947119>
5. Baste I. A. Making peace with nature: a scientific blueprint to tackle the climate, biodiversity and pollution emergencies, 2021. 56 p. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/34948>
6. Podgorski J., Berg M. Global threat of arsenic in groundwater. *Science*, 368(6493), 2020. pp. 845-850. <https://doi.org/10.1126/science.aba1510>
7. Wang Z., Hellweg S. First steps toward sustainable circular uses of chemicals: advancing the assessment and management paradigm. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 9(20), 2021. pp. 6939-6951. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c00243>
8. Schwarzenbach, R. P., Escher, B. I., Fenner, K., Hofstetter, T. B., Johnson, C. A., Von Gunten, U., & Wehrli, B. The challenge of micropollutants in aquatic

systems. *Science*, 313 (5790), 2006. pp. 1072-1077.
<https://doi.org/10.1126/science.1127291>

9. Joss A., Siegrist H., Ternes T. A. Are we about to upgrade wastewater treatment for removing organic micropollutants?. *Water science and technology*, 57(2), 2008. pp. 251-255. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.825>

10. Luechtefeld T., Marsh D., Rowlands C., Hartung T. Machine learning of toxicological big data enables read-across structure activity relationships (RASAR) outperforming animal test reproducibility. *Toxicological Sciences*, 165(1), 2018. pp. 198-212. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy152>

11. Amadi L. O., Berembo B. T., Wemedo S. A. Microbiological and physicochemical properties of Krakrama (Brackish) water in Rivers state, Niger Delta, Nigeria. *Acta Scientific Microbiology*, 3(5), 2020. pp. 123-132.

12. Ashong G. W., Ababio B. A., Kwaansa-Ansah E. E., Koranteng S. K., Muktar G. D. H. Investigation of fluoride concentrations, water quality, and non-carcinogenic health risks of borehole water in bongo district, northern Ghana. *Heliyon*, 10(6), 2024. p.e27554. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27554>

13. Kumar P., Kothari A., Kumar A., Rathi H., Goyal B., Gupta P., Dhingra G. K. Evaluation of physicochemical, heavy metal pollution and microbiological indicators in water samples of Ganges at Uttarakhand India: an impact on public health. *Int. J. Env. Rehab. Conserv*, 2020. pp. 445-466.

14. Caixeta E. S., Bravo J. V. M., Pereira B. B. Ecotoxicological assessment of water and sediment river samples to evaluate the environmental risks of anthropogenic contamination. *Chemosphere*, 306, 2022. p. 135595.

15. Morse J. C., Bae Y. J., Munkhjargal G., Sangpradub N., Tanida K., Vshivkova T. S., Yule C. M. Freshwater biomonitoring with macroinvertebrates in East Asia. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1), 2007. pp. 33-42.

16. Asatryan V., Dallakyan M. Principles to develop a simplified multimetric index for the assessment of the ecological status of Armenian rivers on example of the Arpa River system. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(4), 2021. pp. 195.

17. Itzel F., Gehrmann L., Bielak H., Ebersbach P., Boergers A., Herbst H., Tuerk, J. Investigation of full-scale ozonation at a municipal wastewater treatment plant using a toxicity-based evaluation concept. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 80(23-24), 2017. pp. 1242-1258.
18. Sfriso A. A., Tomio Y., Rosso B., Gambaro A., Sfriso A., Corami F., Munari, C. Microplastic accumulation in benthic invertebrates in Terra Nova bay (Ross Sea, Antarctica). *Environment international*, 137, 2020. pp. 105587.
19. Khedre A. M., Ramadan S. A., Ashry A., & Alaraby M. (2023). Seasonal variations of microplastic in sediment, Chironomus sp. larvae, and chironomid tubes in two wastewater sites in Sohag Governorate, Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(60), 2023. pp. 125846-125865.
20. ДСТУ 4174:2003 Якість води. Визначення хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphniamagna* Straus та *Ceriodaphniaa ffinis* Lilljeborg (Cladosera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). Київ: Держспоживстандарт України, 2004.