

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТОКСИКСИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ РІЧКИ УДИ У МЕЖАХ М. ХАРКОВА

Крайнюков О.М., Кривицька І.А.

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна  
майд. Свободи, 4, 61022, м. Харків  
[alkraynukov@gmail.com](mailto:alkraynukov@gmail.com)

У роботі представлено результати еколого-токсикологічної оцінки якості води річки Уди в межах міста Харкова на основі сезонного моніторингу та біотестування з використанням *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Дослідження виконувалися навесні, влітку та восени 2025 року у чотирьох створах, що охоплюють ключові ділянки річки, включно з зонами впливу Жовтневого водосховища та місцем впадіння р. Лопань. Наведено аналіз природних та антропогенних факторів, які формують екологічний стан водотоку, зокрема вплив сільськогосподарського стоку, побутових і промислових забруднень, транспорту, а також особливостей урбанізованої частини басейну.

За результатами біотестування встановлено наявність хронічної токсичності у всіх досліджених зразках. Навесні спостерігали погіршення якості води, що зумовлено таненням снігу, активним поверхневим зливом і низькою інтенсивністю самоочищення. У літній період відмічено покращення показників завдяки підвищенню температури, активізації фотосинтезу, збільшенню мікробіологічної деструкції та зниженню обсягів стоку. Восени якість води знову зменшувалася через уповільнення біохімічних процесів, зниження концентрації розчиненого кисню, надходження органічних і техногенних забруднень з поверхневим стоком.

Класифікація якості води за токсикологічними показниками показала, що у створах у межах Жовтневого водосховища та в місці впадіння Лопані води належать переважно до 2 класу (слабко забруднені), тоді як нижче за течією фіксувався 3 клас – помірно забруднена вода. Річка характеризується високою чутливістю до антропогенних навантажень і обмеженим потенціалом самоочищення в умовах урбанізованого впливу. Отримані результати підтверджують необхідність регулярного еколого-токсикологічного моніторингу та інтеграції біотестування у систему оцінки якості поверхневих вод для своєчасного виявлення екологічних загроз і підвищення ефективності природоохоронних заходів. *Ключові слова:* забруднення вод, токсичні властивості води, тест-об'єкт, біологічний моніторинг, біотестування.

### Study of the toxic properties of the Udy river water within the city of Kharkiv. Krainiukov O., Kryvytska I.

This study presents the results of an ecotoxicological assessment of water quality in the Udy River within the city of Kharkiv, based on seasonal monitoring and chronic toxicity testing using *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Water samples were collected in spring, summer, and autumn of 2025 at four monitoring stations representing key hydrological sections, including the inflow and outflow zones of the Zhovtneve Reservoir and the confluence with the Lopan River. The study analyzes the combined influence of natural and anthropogenic factors determining the chemical and biological status of the river, with particular emphasis on agricultural runoff, domestic and industrial pollution, and inputs from urbanized catchment areas.

Chronic toxicity was detected in all examined samples. In spring, water quality deteriorated due to snowmelt, intensive surface runoff enriched with mineral and organic pollutants, and reduced microbial activity caused by low temperatures. During summer, water quality improved, driven by enhanced photosynthetic activity, elevated temperatures that stimulate microbial degradation of organic substances, higher dissolved oxygen concentrations, and reduced runoff. In autumn, water quality declined again as a result of lower temperatures, reduced photosynthesis, decreased oxygen levels, and increased inflow of organic matter, nutrients, petroleum products, and heavy metals during rainfall events.

According to toxicological classification, water quality in the upper river sections and around the Zhovtneve Reservoir was predominantly assessed as Class 2 (slightly polluted), while downstream sections near the Lopan confluence showed Class 3 characteristics (moderately polluted). The Udy River demonstrates high sensitivity to anthropogenic pressures and limited self-purification capacity under conditions of urban influence. The findings underscore the importance of continuous ecotoxicological monitoring and the integration of bioassays into surface-water quality assessment systems to identify ecological risks promptly and improve the effectiveness of environmental protection measures. *Key words:* water pollution, toxic properties of water, test object, biological monitoring, biotesting.

**Постановка проблеми.** Забруднення поверхневих водних об'єктів є критичною та нагальною глобальною проблемою, яка потребує повсякденної уваги. Поверхневі води відіграють вирішальну роль у підтримці та збереженні життя на Землі, але, на жаль, досі ми маємо менше розуміння їх просторової

та часової динаміки скидів та накопичень на глобальному рівні. Забруднення поверхневих вод відбувається з різних джерел, які класифікуються на точкові та неточкові. Точкові джерела – це специфічні, ідентифіковані джерела забруднення, які викидають забруднюючі речовини безпосередньо у водойми



через труби або канали, що дозволяє легше їх ідентифікувати та керувати ними, наприклад, промислові скиди, очисні споруди та звалища. Однак неточкові джерела походять від широко розповсюдженої діяльності на великих територіях та створюють проблеми через свою дифузну природу та численні шляхи забруднення, наприклад, сільськогосподарські стоки, міські зливові стоки та атмосферні осадки. Надмірне накопичення важких металів, стійких органічних забруднювачів, пестицидів, побічних продуктів хлорування, фармацевтичної продукції у поверхневих водах різними шляхами загрожує якості та безпеці харчових продуктів. Як наслідок, існує нагальна потреба в розробці та проектуванні нових інструментів для ідентифікації та кількісної оцінки різних забруднювачів навколишнього середовища. У цьому контексті біологічні сенсори постають як необхідні пристрої, що добре підходять для різних екологічних застосувань.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Авторський доробок має чітко виражений міждисциплінарний та прикладний характер, поєднуючи фундаментальні наукові дослідження з практичними завданнями екологічної безпеки. Він спрямований на вирішення актуальних проблем оцінки якості поверхневих вод, мінімізації екологічних ризиків та забезпечення сталого розвитку урбанізованих територій. Проведені дослідження токсичних властивостей поверхневих вод річки Уди в межах м. Харкова спрямовані на вирішення однієї з ключових екологічних проблем сучасності – оцінки реального впливу антропогенного забруднення на водні екосистеми.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Важкі метали, що потрапляють у поверхневі води внаслідок різної соціально-економічної діяльності, можуть створювати небезпечні властивості тривалий час. Їхні екотоксичні, канцерогенні та біоаккумулятивні властивості, навіть у слідових кількостях, можуть серйозно погіршити регіональну екологічну ситуацію [1]. Основні зареєстровані наслідки включають зниження врожайності сільськогосподарських культур, порушення безпеки харчових продуктів, зниження здатності води до самоочищення та негативний вплив на здоров'я рослин, тварин і людей [2]. У дослідженні [3] підкреслюють, що токсичні метали, такі як кадмій (Cd), ртуть (Hg), мідь (Cu), миш'як (As), хром (Cr) та свинець (Pb), потрапляють у водні системи як промислові побічні продукти, спричиняючи серйозні проблеми зі здоров'ям, включаючи пошкодження мозку та нирок. Хоча річки є основними шляхами руху води, насиченої важкими металами, внутрішні водойми, такі як канали та стоки стічних вод, також сприяють забрудненню, особливо в сільських районах, де переважає агропромислова діяльність [4]. Ці джерела поверхневих вод залежать від сезонних гідрологічних процесів, що створює труднощі для точного вимірювання мобіль-

ності важких металів у польових умовах. Мінливість річкового стоку, інтенсивність атмосферних опадів, коливання ґрунтових вод та взаємодія поверхневих і ґрунтових вод – це лише деякі з факторів, що впливають на польові вимірювання показників якості води [5]. Наприклад, під час інтенсивних мусонних опадів раптове збільшення річкового стоку викликає швидку мобілізацію розчинених важких металів і тимчасово розбавляє їх концентрації в поверхневих водах. Тому розуміння динаміки важких металів під регіональними гідрологічними впливами є важливим для постійного моніторингу та ефективного управління впливом на навколишнє середовище.

У світі багато річкових басейнів зазнали інтенсивного забруднення важкими металами, що дає цінну інформацію про гідродинаміку цих забруднювачів. Наприклад, басейн річки Янцзи в Китаї зіткнувся із забрудненням важкими металами через швидку індустріалізацію та урбанізацію [6]. Аналогічно, басейн річки Міссісіпі у Сполучених Штатах постраждав від промислових скидів [7]. У Європі, басейн річки Дунай потерпає від забруднення важкими металами, що впливає на якість води [8]. В Індії річкові басейни, такі як Ямуна, Маханаді, Брахмані та Дамодар, сильно забруднені через промислові скиди, неочищені стічні води та гірничодобувну промисловість [9]. Більшість цих досліджень зосереджені на дослідженні якості поверхневих вод навколо міських районів. Басейн річки Хіндона, частина басейну річки Ганг, є прикладом агроекосистеми, де спостерігається суттєве забруднення поверхневих вод важкими металами (Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Cr, Pb, Cd та Co) [10]. У дослідженні [11] наголошено до термінового втручання уряду для зменшення ризику забруднення в регіоні після аналізу впливу важких металів на воду, осадові породи, ґрунти та зразки рослин. Однак зусилля щодо пом'якшення наслідків будуть ефективними лише за умови глибокого розуміння гідродинамічного процесу, який регулює рухливості забруднюючих речовин.

Гідрологічні моделі виявилися важливими для оцінки компонентів водного балансу та прогнозування руху забруднюючих речовин у річкових басейнах. Незважаючи на досягнення, залишаються проблеми з точним вимірюванням та прогнозуванням річкових потоків на частих перетинах, особливо в регіонах з обмеженими даними та басейнах без вимірювань, таких як басейн Хіндона, який є частиною класифікованої мережі річкових басейнів Індії [12].

Основними джерелами нових забруднювачів є побутові скиди, стічні води лікарень, промислові стічні води, стічні води від сільського господарства, тваринництва та аквакультури, а також фільтрати зі звалищ. Зокрема, стічні води з міських очисних споруд є основними факторами, що сприяють присутності нових забруднювачів у водах. Хоча багато хімічних речовин нещодавно були регульовані як при-

оритетні небезпечні речовини, звичайні установки для очищення стічних вод та питної води не були розроблені для видалення більшості нових забруднювачів. Прикладами є стійкі органічні забруднювачі, такі як поліхлоровані біфеніли, дибензофурані та полібромовані дифенілові ефіри, в озерних та океанічних екосистемах Китаю; нові забруднювачі, такі як алкілфеноли, природні та синтетичні естрогени, антибіотики та антидепресанти, у португальських річках [13], а також фармацевтичні препарати, гормони, косметика, засоби особистої гігієни та пестициди у водах Мексики, Бразилії та Колумбії [14-16]. Усі континенти страждають від цих забруднювачів. Тому дослідження якості води водних об'єктів є вкрай актуальною проблемою.

У світовому масштабі присутність забруднювачів антропогенного походження у водному середовищі добре задокументована [17-19]. З огляду на десятки тисяч забруднювачів, що використовуються сьогодні (плюс продукти їх перетворення), важко кількісно оцінити потенційний вплив на здоров'я людини внаслідок впливу на навколишнє середовище. Однак багато забруднювачів навколишнього середовища є відомими або підозрюваними ендокринними руйнівниками та/або мають такі наслідки для здоров'я, як підвищений ризик раку, порушення метаболізму або інші сублетальні наслідки [20]. Відповідно до рекомендацій Закону про безпечну питну воду Агентства з охорони навколишнього середовища США [21], очищення питної води та моніторинг дотримання вимог проводяться для забезпечення доступності безпечної питної води для населення. Однак моніторинг зазвичай зосереджений на регульованих забруднювачах (наприклад, нітратах, миш'яку) і не встигає за виробництвом інших забруднювачів [22]. Наразі існує обмежена кількість даних про поширеність, масштаби та токсикологію нерегульованих забруднювачів, а також фактори (гідрогеологічні, гідрологічні, очищення тощо), пов'язані з впливом та ризиком у питній воді [23].

У Сполучених Штатах (США) як підземні, так і поверхневі води використовуються як джерела питної води, і більшість штатів здійснюють прямий контроль за своїми системами водопостачання громад. Антропогенна діяльність на ландшафті впливає на якість як підземних, так і поверхневих водних ресурсів, що використовуються як питна вода, хоча профіль ризику для кожного ресурсу може відрізнятися [23, 24]. На якість поверхневих вод часто безпосередньо впливають скиди з очисних споруд, лікарень та промислових об'єктів [25]. Оскільки методи очищення не розроблені для видалення забруднюючих речовин, таких як фармацевтичні препарати, засоби особистої гігієни, поверхнево-активні речовини та антипірени, вони часто потрапляють у водотоки-приймачі [26, 27]. Крім того, неточкові джерела забруднюючих речовин, такі як стічні води з місь-

ких та/або сільськогосподарських районів, можуть вносити пестициди та інші забруднюючі речовини, що накопичилися на поверхні землі, у водотоки-приймачі [28-30]. Хоча ґрунтові води можуть бути певною мірою захищені від антропогенної діяльності на ландшафті, забруднювачі можуть потрапляти до ґрунтових вод через фільтрати зі звалищ, септичні стічні води та інші методи інфільтрації [31-34], що призводить до подібних профілів забруднювачів, як і в поверхневих водах. Враховуючи ці різноманітні джерела потенційного забруднення поверхневих і ґрунтових вод, важливо розуміти, як кожне з них впливає на них і які наслідки це має для постачання питної води.

У контексті України особливої актуальності набуває проблема дослідження стану водних об'єктів у регіонах із високим антропогенним навантаженням. До таких належить і річка Уди, яка має важливе господарське та екологічне значення для міста Харків. Її якісний стан безпосередньо впливає на біологічне благополуччя водних екосистем і здоров'я населення. Вивчення токсикологічних властивостей води річки Уди за допомогою біотестування на ракоподібних дає можливість оцінити рівень антропогенного навантаження та виявити потенційні ризики для екосистеми та людини.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на значну кількість наукових досліджень, присвячених оцінці якості поверхневих вод, проблема комплексної еколого-токсикологічної оцінки водних об'єктів урбанізованих територій залишається недостатньо вирішеною. Більшість існуючих робіт зосереджена переважно на аналізі окремих гідрохімічних показників та порівнянні їх із гранично допустимими концентраціями, що не завжди дозволяє адекватно оцінити реальний біологічний вплив сумішей забруднювальних речовин на водні екосистеми.

Недостатньо вивченими залишаються питання інтегральної оцінки токсичності поверхневих вод, яка враховує сумарну та кумулятивну дію різних за походженням і механізмами впливу токсикантів. Зокрема, у науковій літературі обмежено представлено дослідження, спрямовані на поєднання традиційного хімічного аналізу з методами біотестування як інструменту виявлення прихованої токсичності водного середовища.

Саме зазначені невирішені аспекти – інтегральна оцінка токсичності, аналіз сумарної дії забруднювачів, вивчення сезонної мінливості токсичних властивостей води та застосування біотестування для урбанізованих водних об'єктів – і зумовили вибір напряму дослідження, представленого в означеній статті.

**Новизна.** Наукова новизна означеної статті полягає в отриманні нових еколого-токсикологічних даних щодо стану поверхневих вод урбанізованої

території на основі застосування методів біотестування. Уперше для умов досліджуваної ділянки річки проведено інтегральну оцінку токсичних властивостей води, яка дозволяє врахувати сумарну дію комплексу забруднювальних речовин, незалежно від їх хімічної природи та механізмів впливу.

Отримані результати розширюють наукові уявлення про еколого-токсикологічну характеристику поверхневих вод урбанізованих територій та створюють наукове підґрунтя для удосконалення системи екологічного моніторингу з урахуванням біологічних критеріїв якості води.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Методологічне або загальнонаукове значення дослідження полягає в обґрунтуванні доцільності комплексного підходу до оцінки якості поверхневих вод, який поєднує традиційні гідрохімічні методи з еколого-токсикологічним біотестуванням, що дозволяє враховувати сумарну та кумулятивну дію забруднювальних речовин і отримувати інтегральну оцінку біологічного ефекту їх впливу на водні екосистеми, розширюючи наукові підходи екологічного моніторингу та управління екологічними ризиками.

**Викладення основного матеріалу.** Річка Уди бере свій початок на Середньоруській височині, у балці поблизу села Безсонівка Белгородської області (РФ) на висоті близько 190 метрів над рівнем моря. На територію України, в межі Харківської області, річка входить північно-східніше села Окоп і впадає в річку Сіверський Донець на відстані 825 км від її витоків. Загальна довжина Уд становить 164 км, з яких 127 км протікають по території Харківської області. Площа водозбірного басейну сягає 3894 км<sup>2</sup>, у тому числі 3460 км<sup>2</sup> в межах області.

Серед основних джерел антропогенного впливу особливу роль відіграють **стічні води міських очисних споруд – Диканівського та Безлюдівського комплексів.** У зонах їхнього впливу зафіксовано пікові відхилення від типових гідрохімічних показників, що свідчить про періодичне перевищення гранично допустимих концентрацій окремих забруднювачів. У цілому стан вод у цій частині річки оцінюється як «слабко забруднений», тобто близький до задовільного.

Якість води річки Уди формується під впливом поєднання природних та антропогенних факторів, що визначають хімічний склад і гідробіологічний стан водотоку. Аналіз гідрохімічних показників свідчить, що у воді переважають **гідрокарбонатно-кальцієві та сульфатно-гідрокарбонатні типи мінералізації**, характерні для річок Лісостепової зони України.

У дослідженні для визначення хронічної токсичності води з річки Уди було застосовано методику біотестування на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Методика ґрунтується на порівнянні показників виживаності та/або плодючості церіо-

дафній у зразках досліджуваної води (експеримент) і у воді, в якій вони утримуються в нормальних умовах культивування (контроль).

Показником наявності хронічної токсичності води вважається статистично достовірне зниження рівня виживаності або плодючості церіодафній у досліджуваному зразку порівняно з контрольним протягом усього періоду біотестування [35].

Експериментальні дослідження виконувалися в лабораторії еколого-токсикологічних досліджень навчально-наукового інституту екології, зеленої енергетики та сталого розвитку Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна.

Відбір зразків поверхневих вод з річки Уди було здійснено навесні, влітку та восени 2025 року. Метою досліджень було визначення токсичних властивостей зразків води з річки Уди у межах м. Харків.

Зразки відбирались у 4 створах з р. Уди:

1. р. Уди, впадіння до Жовтневого водосховища, 49.963724, 36.147223;
2. р. Уди, витік з Жовтневого водосховища, (гребля) 49.957958, 36.164751;
3. р. Уди, до впадіння р. Лопань, 49.941275, 36.206614;
4. р. Лопань, після впадіння р. Лопань (міст по вул. Свистунівської), 49.934878, 36.204232

Аналіз отриманих результатів показав, що токсичні властивості визначено у всіх зразках поверхневих вод, які було відібрано з р. Уди у створах впадіння та витік з Жовтневого водосховища, до та після впадіння р. Лопань. У створах впадіння та витік з Жовтневого водосховища та до впадіння р. Лопань було визначено 2 клас якості води – вода слабозабруднена, а в створі р. Уди, після впадіння р. Лопань 3 клас якості води – вода помірно забруднена. Спостережувану динаміку токсичних властивостей можна пояснити комплексним впливом урбанізованого басейну, з території якого у річку Уди надходить поверхневий стік, збагачений побутовими, транспортними та промисловими забрудненнями. Це зумовлює зростання концентрації токсичних сполук та погіршення якості водного середовища.

Влітку 2025 року було проведено другий етап досліджень, відповідно до яких було отримано наступні результати – токсичні властивості було визначено у всіх чотирьох створах дослідження. У створах впадіння та витік з Жовтневого водосховища та до і після впадіння р. Лопань до р. Уди було визначено 2 клас якості води – вода слабко забруднена.

Покращення якості води в р. Уди у літній сезон може бути зумовлене комплексом природних та біологічних факторів, що сприяють активізації процесів самоочищення водного середовища.

По-перше – інтенсифікація фотосинтезу та біологічної продукції.

По-друге – підвищення швидкості біохімічних процесів.

По-третє – інтенсифікація газообміну.

По-четверте – седиментаційні процеси.

В умовах уповільненого течії влітку активізується осадження завислих часток і сполук важких металів на дно, що тимчасово покращує гідрохімічні показники у поверхневих шарах води.

Восени 2025 року відбір зразків з р. Уди було здійснено у жовтні. У зразках поверхневих вод, які було відібрано з р. Уди, а саме у створах впадіння та витік з Жовтневого водосховища було визначено 2 клас якості води – вода слабозабруднена. У створах р. Уди, після і до впадіння р. Лопань 3 клас якості води – вода помірно забруднена.

У осінній період якість води у більшості річкових екосистем погіршується внаслідок зниження температури, уповільнення біохімічних процесів та збільшення надходження органічних речовин із водозбору, саме така ситуація склалася і з якістю води р. Уди. Основні фактори погіршення якості води наступні: охолодження водного середовища призводить до сповільнення метаболічної активності мікроорганізмів, що беруть участь у процесах біодеструкції органічних сполук. Це, своєю чергою, зменшує ефективність природного самоочищення. Через зниження інтенсивності фотосинтезу у фітопланктоні зменшується виділення розчиненого кисню, а при розкладанні опалого листя, детриту та донних відкладень спостерігається підвищене споживання кисню. Як наслідок – збільшується біохімічне споживання кисню (БСК) і погіршується окисно-відновний потенціал. Осінні дощі змивають із сільськогосподарських угідь і урбанізованих територій органічні залишки, біогенні елементи, нафтопродукти та важкі метали, що підвищує рівень забруд-

нення. Під час дощових періодів відбувається ерозія берегів і донних відкладень, що підвищує мутність води й знижує її прозорість, утруднюючи фотосинтетичні процеси. Через зменшення температури та освітленості уповільнюється розвиток фітопланктону і водоростей, які відіграють ключову роль у підтриманні кисневого балансу.

Загальна тенденція у динаміці якості води р. Уди і взагалі річкових систем наступна: весна – максимальне навантаження на водну систему, погіршення показників; літо – відносна стабілізація та покращення якості за рахунок біологічної активності; осінь – повторне зростання забрудненості через гідрометеорологічні та біохімічні чинники.

**Головні висновки.** Узагальнюючи отримані результати моніторингових досліджень зразків води, які було відібрано у різні пори року з р. Уди можна зробити наступні висновки, навесні у більшості річок спостерігається погіршення якості води, що пов'язано з: таненням снігу та льоду, внаслідок чого у водотоки надходить великий обсяг поверхневого стоку, насиченого мінеральними та органічними забруднювачами (добрива, побутові відходи, нафтопродукти); змиванням ґрунтів та добрив із сільськогосподарських угідь, що спричиняє евтрофікацію (збагачення біогенними елементами, переважно азотом і фосфором); низькою температурою води, яка обмежує активність мікроорганізмів-деструкторів, тому самоочищення відбувається повільно.

У цей період часто фіксують зростання мутності, підвищення БСК, зниження прозорості та загальну нестабільність гідрохімічних показників.

У літній період якість води покращується завдяки:

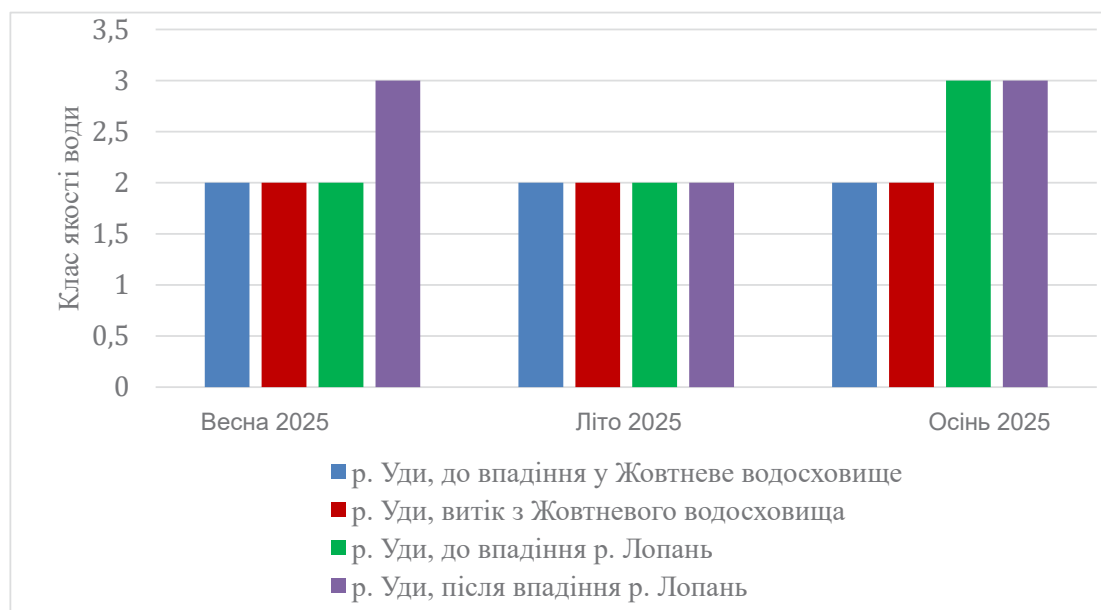


Рис. 1. Узагальнення результату визначення токсичних властивостей зразків поверхневих вод, які було відібрано з р. Уди у різні пори року

- активізації фотосинтезу у фітопланктоні та макрофітах, що підвищує концентрацію розчиненого кисню;

- зростанню температури, яка стимулює мікробіологічні процеси розкладання органічних речовин;
- зменшенню стоку з території водозбору (в суху погоду) та відповідно меншому надходженню забруднень.

Разом із тим, у маловодні роки можливе підвищення концентрації токсикантів через зниження об'єму води, тому позитивний ефект має умовний і сезонний характер.

Восени відбувається поступове погіршення якості води через:

- зниження температури, що уповільнює біохімічні процеси;
- зменшення фотосинтетичної активності, а отже – зниження вмісту розчиненого кисню;

- інтенсивний поверхневий змив під час дощів, який приносить органічні залишки, листя, гумусові сполуки, важкі метали;

- підвищення мутності та БСК, що свідчить про послаблення природного самоочищення.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Перспективи використання результатів дослідження полягають у можливості їх застосування в системі державного та регіонального екологічного моніторингу поверхневих вод, для удосконалення методів оцінки екологічного стану водних об'єктів урбанізованих територій, обґрунтування природоохоронних заходів та прийняття управлінських рішень у сфері охорони довкілля, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців екологічного профілю та подальших наукових дослідженнях, спрямованих на оцінку екологічних ризиків і сталий розвиток водних екосистем.

### Література

1. Singh J., Yadav B.K. Adsorption of Heavy Metal with Aged Microplastic in Groundwater Under Varying Organic Matter Content. *In Ground Water Contamination in India: Adverse Effects on Habitats, Springer Nature Switzerland, Cham*, 2024, pp. 3-10.
2. Meng F., Cao R., Zhu X., Zhang Y., Liu M., Wang J., Geng N. A nationwide investigation on the characteristics and health risk of trace elements in surface water across China. *Water Res.*, 2024, 250, p. 121076. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.121076>
3. Selvam S., Jesuraja K., Roy P.D., Venkatramanan S., Khan R., Shukla S., Muthukumar P. Human health risk assessment of heavy metal and pathogenic contamination in surface water of the Punnakayal estuary, South India. *Chemosphere*, 2022, 298, p. 134027. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134027>
4. Singh J., Yadav B.K., Krause S. Spatiotemporal distribution and ecological hazards of microplastic pollution in soil water resources around a wastewater treatment plant and municipal solid waste site. *J. Contam. Hydrol.*, 2025, p. 104515. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2025.104515>
5. Marques E.A., Junior G.C.S., Eger G.Z., Ilambwetsi A.M., Raphael P., Generoso T.N., Júnior J.N. Analysis of groundwater and river stage fluctuations and their relationship with water use and climate variation effects on Alto Grande watershed, Northeastern Brazil. *J. South Am. Earth Sci.*, 2020, 103, p. 102723. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102723>
6. Zhang K., Chang S., Tu X., Wang E., Yu Y., Liu J., Fu Q. Heavy metals in centralized drinking water sources of the J River: A comprehensive study from a basin-wide perspective. *J. Hazard. Mater.*, 2024, 469, p. 133936 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133936>
7. Reiman J.H., Xu Y.J., He S., DelDuco E.M. Metals geochemistry and mass export from the Mississippi-Atchafalaya River system to the Northern Gulf of Mexico. *Chemosphere*, 2018, 205, pp. 559-569. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.094>
8. Pavlović P., Mitrović M., Đorđević D., Sakan S., Slobodnik J., Liška I., Paunović M. Assessment of the contamination of riparian soil and vegetation by trace metals – A Danube River case study. *Sci. Total Environ.*, 2016, 540, pp. 396-409. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.125>
9. Singh J., Yadav B.K., Schneidewind U., Krause S. Microplastics pollution in inland aquatic ecosystems of India with a global perspective on sources, composition, and spatial distribution. *J. Hydrol.: Reg. Stud.*, 2024, 53, p. 101798. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101798>
10. Sharma R., Kumar A., Singh N., Sharma K. Impact of seasonal variation on water quality of Hindon River: Physicochemical and biological analysis. *SN Appl. Sci.*, 2021, 3 (1) pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.vlsi.2021.03.001>
11. Jain C.K., Sharma M.K. Heavy metal transport in the Hindon river basin, India. *Environ. Monit. Assess.*, 2006, 112, pp. 255-270.
12. Visakh S., Raju P.V., Kulkarni S.S., Diwakar P.G. Inter-comparison of water balance components of river basins draining into selected delta districts of Eastern India. *Sci. Total Environ.*, 2019, 654, pp. 1258-1269. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.162>
13. Barbosa M. O., Ribeiro A. R., Ratola N., Hain E., Homem V., Pereira M. F. R., Blaney. L., Silva A. M. T. Spatial and seasonal occurrence of micropollutants in four Portuguese rivers and a case study for fluorescence excitation-emission matrices. *Sci Total Environ.*, 2018, 644, pp. 1128–1140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.355>
14. Arguello-Pérez M. A., Mendoza-Pérez J. A., Tintos-Gómez A., Ramírez-Ayala E., Godínez-Domínguez E., Silva-Bátiz F. A. Ecotoxicological analysis of emerging contaminants from wastewater discharges in the coastal zone of Cihuatlán (Jalisco, Mexico). *Water*, 2019, 11, p. 1386. <https://doi.org/10.3390/w11071386>
15. Bedoya-Ríos D.F., Lara-Borrero J.A., Duke-Pardo V., Wood-Parra C.A., Jimenez E.M., Toro A.F. Study of the occurrence and ecosystem danger of selected endocrine disruptors in the urban water cycle of the city of Bogotá, Colombia. *J Env Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.*, 2018, 53, pp. 317–325. <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1401372>
16. Barbosa A.M.C., de Solano M.L.M., de Umbuzeiro G.A. Pesticides in drinking water–The Brazilian monitoring program. *Front Public Health*, 2015, 3, p. 246. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2015.00246>

17. Bunting S., Lapwort D., Crane E., Grima-Olmedo J., Koroša A., Kuczyńska A., Mali N., Rosenqvist L., van Vliet M., Togola A. Emerging organic compounds in European groundwater. *Environ. Pollut.* 2021, 269, p. 115945. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115945>
18. Reberski J.L., Terzić J., Maurice, L.D., Lapworth D.J. Emerging organic contaminants in karst groundwater: A global level assessment. *J. Hydrol.* 2022, 604, p. 127242. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127242>
19. Mukhopadhyay A., Duttagupta S., Mukherjee A. Emerging organic contaminants in global community drinking water sources and supply: A review of occurrence, processes and remediation. *J. Environ. Chem. Eng.* 2022, 10, p. 107560. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107560>
20. Pereira L.C., de Souza A.O., Bernardes M.F.F., Pazin M., Tasso M.J., Pereira P.H., Dorta D.J. A perspective on the potential risks of emerging contaminants to human and environmental health. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2015, 22, pp. 13800–13823. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4896-6>
21. United States Congress. Safe Drinking Water Act; United States Congress: Washington, DC, USA, 1974.
22. Rosenblum J.S., Liethen A., Miller-Robbie L. Prioritization and risk ranking of regulated and unregulated chemicals in US drinking water. *Environ. Sci. Technol.* 2024, 58, pp. 6878–6889. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c08745>
23. Levin R., Villanueva C.M., Beene D., Cradock A.L., Donat-Vargas C., Lewis J., Martinez-Morata I., Minovi D., Nigra A.E. Olson E.D. US drinking water quality: exposure risk profiles for seven legacy and emerging contaminants. *J. Expo. Sci. Env. Epid.* 2023, 34, pp. 3–22. <https://doi.org/10.1038/s41370-023-00597-z>
24. Bradley P.M., Journey C.A., Romanok K.M., Barber L.B., Buxton H.T., Foreman W.T., Furlong E.T., Glassmeyer S.T., Hladik M.L., Iwanowicz L.R. Expanded target-chemical analysis reveals extensive mixed-organic-contaminant exposure in U.S. Streams. *Environ. Sci. Technol.* 2017, 51, pp. 4792–4802. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00012>
25. Glassmeyer S.T., Furlong E.T., Kolpin D.W., Batt A.L., Benson R., Boone J.S., Conerly O., Donohue M.J., King D.N., Kostich M.S. Nationwide reconnaissance of contaminants of emerging concern in source and treated drinking waters of the United States. *Sci. Total Environ.* 2017, pp. 581–582, 909–922. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.004>
26. Singh P.K., Kumar U., Kumar I., Dwivedi A., Singh P., Mishra S., Seth C.S., Sharma R.K. Critical review on toxic contaminants in surface water ecosystem: Sources, monitoring, and its impact on human health. *Environ. Sci. Pollut. R.* 2024, 31, pp. 56428–56462. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34932-0>
27. Bai X., Lutz A., Carroll R., Keteles K., Dahlin K., Murphy M., Nguyen D. Occurrence, distribution, and seasonality of emerging contaminants in urban watersheds. *Chemosphere.* 2018, 200, pp. 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.106>
28. Morin-Crini N., Lichtfouse E., Liu G., Balam V., Ribeiro A.R.L., Lu Z., Stock F., Carmona E., Teixeira M.R., Picos-Corrales, L.A. Worldwide cases of water pollution by emerging contaminants: A review. *Environ. Chem. Lett.* 2022, 20, pp. 2311–2338. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01447-4>
29. Tran N. H., Li J., Hu J., Ong S.L. Occurrence and suitability of pharmaceuticals and personal care products as molecular markers for raw wastewater contamination in surface water and groundwater. *Environ. Sci. Pollut. R.* 2014, 21, pp. 4727–4740. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2428-9>
30. Masoner J.R., Kolpin D.W., Cozzarelli I.M., Barber L.B., Burden D.S., Foreman W.T., Forshay K.J., Furlong E.T., Groves J.F., Hladik M.L. Urban stormwater: An overlooked pathway of extensive mixed contaminants to surface and groundwaters in the United States. *Environ. Sci. Technol.*, 2019, 53, pp. 10070–10081. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02867>
31. Santos V.S., Anjos J.S.X., de Medeiros J.F., Montagner C.C. Impact of agricultural runoff and domestic sewage discharge on the spatial-temporal occurrence of emerging contaminants in an urban stream in São Paulo, Brazil. *Environ. Monit. Assess.*, 2022, 194, p. 637. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10288-1>
32. Masoner J.R., Kolpin D.W., Furlong E.T., Cozzarelli I.M., Gray J.L. Landfill leachate as a mirror of today's disposable society: Pharmaceuticals and other contaminants of emerging concern in final leachate from landfills in the conterminous United States. *Environ. Toxicol., Chem.* 2016, 35, pp. 906–918. <https://doi.org/10.1002/etc.3219>
33. Yang Y.-Y., Toor G.S., Wilson P.C., Williams C.F. Micropollutants in groundwater from septic systems: Transformations, transport mechanisms, and human health risk assessment. *Water Res.*, 2017, 123, pp. 258–267. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.054>
34. Pinasseau L., Wiest J., Volatier L., Mermillod-Blondin F., Vulliet E. Emerging polar pollutants in groundwater: Potential impact of urban stormwater infiltration practices. *Environ. Pollut.*, 2020, 266, p. 115387. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115387>
35. ДСТУ 4174:2003 Якість води. Визначення хронічної токсичності хімічних речовин та води на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 10706:2000, MOD). Київ: Держспоживстандарт України, 2004.

Дата першого надходження статті до видання: 07.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.04.2026