

УДК 556.5:711.4:502.51(477.4)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.145.2.40>

ВОДНИЙ РЕЖИМ МАЛИХ РІЧОК В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ УРБАНІЗОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ НА ПРИКЛАДІ РІЧКИ КАМ'ЯНКА

Циганенко-Дзюбенко І.Ю. – д.філос. (Екологія),
в.о. завідувача кафедри наук про Землю,
Державний університет «Житомирська політехніка»
orcid.org/0000-0002-3240-8719

Васильєва Л.А. – к.б.н.,
доцент кафедри наук про Землю,
Державний університет «Житомирська політехніка»
orcid.org/0000-0003-0661-927X

Курило С.М. – к.г.н.,
доцент кафедри наук про Землю,
Державний університет «Житомирська політехніка»
orcid.org/0009-0008-6138-8850

Скиба Г.В. – к.т.н.,
доцент кафедри наук про Землю,
Державний університет «Житомирська політехніка»
orcid.org/0000-0002-4981-4975

Стаття присвячена комплексному дослідженню водного режиму річки Кам'янка як типового представника малих річок урбанізованих ландшафтів Житомирської області в контексті забезпечення сталого водокористування. Проведено детальний аналіз просторово-часових характеристик формування водного режиму з використанням геоінформаційних технологій, математичного моделювання та прогнозування часових рядів. Досліджено структуру водного балансу басейну, встановлено специфічні особливості формування стоку в умовах урбанізованого водозбору з переважанням непроникних поверхонь. Виявлено критичні тенденції деградації гідрологічних характеристик, що проявляються у зниженні багаторічного стоку з 300 мм у 1999 році до 30-50 мм у сучасний період та прогнозованому подальшому зменшенні на 15-25% до 2030 року за моделлю ARIMA.

Встановлено, що коефіцієнт стоку басейну становить 0.12, що відображає домінування швидкого поверхневого стоку над повільними компонентами живлення через домінування непроникних урбанізованих поверхонь, що призводить до порушення природного гідрологічного циклу та зниження стійкості водної екосистеми. Сезонний режим характеризується весняною повінню з формуванням до 40% річного стоку та критичним літнім маловоддям. Багаторічна динаміка демонструє нестабільність гідротермічного режиму з періодами екстремальної водності на фоні зростання температури повітря до 10.0-10.2°C. Кореляційний аналіз між температурою та стоком виявляє складні нелінійні зв'язки, що підкреслює багатофакторність формування водного режиму малих річок в урбанізованих ландшафтах. Поєднання кліматичних змін та урбанізаційного тиску створює синергетичний ефект, що може призвести до кардинальної трансформації водного режиму річки Кам'янка у найближчі десятиліття. Обґрунтовано необхідність впровадження інтегрованих стратегій сталого водокористування, що включають оптимізацію міського планування, розвиток зеленої інфраструктури та створення адаптивних систем управління водними ресурсами з урахуванням прогнозованих кліматичних змін.

Ключові слова: водний режим, малі річки, урбанізовані ландшафти, стаке водокористування, річка Кам'янка.

Tsyhanenko-Dziubenko I.Yu., Vasilieva L.A., Kurylo S.M., Skyba H.V. Water regime of small rivers in the context of sustainable water use in urbanized landscapes: a case study of the Kamianka river

The article is devoted to a comprehensive study of the water regime of the Kamianka River as a typical representative of small rivers in the urbanized landscapes of Zhytomyr region in the context of ensuring sustainable water use. A detailed analysis of spatial-temporal characteristics of water regime formation was conducted using GIS technologies, mathematical modeling and time series forecasting. The water balance structure of the basin was investigated, and specific features of runoff formation in urbanized catchment conditions with predominant impervious surfaces were established. Critical trends of hydrological characteristics degradation were revealed, manifested in the decrease of long-term runoff from 300 mm in 1999 to 30-50 mm in the modern period and predicted further reduction by 15-25% by 2030 according to ARIMA model.

It was established that the basin runoff coefficient is 0.12, reflecting the dominance of rapid surface runoff over slow feeding components due to the prevalence of impervious urbanized surfaces, leading to the disruption of the natural hydrological cycle and a decrease in the resilience of the aquatic ecosystem. The seasonal regime is characterized by spring flood with formation of up to 40% of annual runoff and critical summer low water. Long-term dynamics demonstrate instability of hydrothermal regime with periods of extreme water content against the background of air temperature increase to 10.0-10.2°C. Correlation analysis between temperature and runoff reveals complex non-linear relationships, highlighting the multifactorial nature of small river hydrological regime formation in urbanized landscapes. The combined influence of climate change and urbanization pressure produces a synergistic effect that may lead to a profound transformation of the hydrological regime of the Kamianka River in the coming decades. The necessity of implementing integrated sustainable water use strategies including urban planning optimization, green infrastructure development and creation of adaptive water resources management systems is substantiated. The research results provide scientific basis for developing evidence-based approaches to managing water resources of small rivers in urbanized landscapes under conditions of climate change and increasing anthropogenic pressure.

Key words: *water regime, small rivers, urbanized landscapes, sustainable water use, Kamianka River.*

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими або практичними завданнями. Водний режим малих річок в урбанізованих ландшафтах є однією з найактуальніших проблем сучасної гідроекології, що набуває особливої гостроти в контексті глобального процесу урбанізації та необхідності забезпечення сталого водокористування. Урбанізація супроводжується кардинальними змінами у функціонуванні водних екосистем, що проявляється через трансформацію гідрологічного режиму, деградацію якості води та порушення екологічної рівноваги річкових систем [6, 15].

Проблематика водного режиму малих річок має пряме відношення до вирішення стратегічних завдань національної екологічної політики та забезпечення водної безпеки урбанізованих територій. Малі річки, складаючи основу гідрографічної мережі, відіграють ключову роль у формуванні водних ресурсів регіонів та підтриманні екологічної стабільності ландшафтів [1]. Водночас саме ці водні об'єкти найбільше потерпають від антропогенного впливу, зокрема урбанізації, що призводить до порушення їхнього природного режиму та зниження екосистемних функцій.

Особливої актуальності дана проблема набуває в умовах України, де значна частина малих річок розташована в межах урбанізованих територій або зазнає їхнього безпосереднього впливу. Річка Кам'янка, як типовий представник малих річок Житомирської області, демонструє характерні ознаки трансформації водного режиму під впливом урбанізаційних процесів, що робить її дослідження особливо важливим для розробки науково обґрунтованих підходів до управління водними ресурсами подібних водних об'єктів.

Наукова значимість проблеми полягає у необхідності розробки комплексних методологічних підходів до оцінки та прогнозування змін водного режиму малих річок в урбанізованих ландшафтах. Це включає удосконалення існуючих та розробку нових математичних моделей, методів біоіндикації, технологій дистанційного моніторингу та інтегральних систем оцінки екологічного стану водних екосистем [12, 13].

Практична значимість досліджень водного режиму малих річок визначається необхідністю забезпечення ефективного управління водними ресурсами на локальному та регіональному рівнях. Результати таких досліджень є основою для розробки стратегій сталого водокористування, планування природоохоронних заходів, оптимізації міського планування з урахуванням екологічних вимог та створення систем раннього попередження про загрози водній безпеці [3, 4, 20].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які спирається автор. Фундаментальні дослідження впливу урбанізації на водні екосистеми були започатковані у працях Paul and Meyer [6], які сформулювали концепцію «синдрому міського потоку» та визначили основні механізми трансформації річкових систем під впливом урбанізаційних процесів. Автори встановили, що урбанізація призводить до комплексних змін гідрологічного режиму, включаючи збільшення поверхневого стоку, зменшення інфільтрації, порушення сезонної динаміки водності та підвищення частоти екстремальних гідрологічних явищ.

Подальший розвиток цих досліджень знайшов відображення у роботах Walsh et al. [15], які детально проаналізували прояви урбанізаційного впливу на малі річки та обґрунтували необхідність комплексного підходу до вивчення цієї проблеми. Автори підкреслили, що трансформація водного режиму є результатом взаємодії множини факторів, включаючи зміни у землекористуванні, розвиток інфраструктури, зростання антропогенного навантаження та кліматичні зміни.

Гідрологічні аспекти впливу урбанізації на водний режим малих річок детально досліджені у працях Rose and Peters [7], які встановили, що урбанізація призводить до зменшення базового стоку приблизно на 30% через збільшення площі непроникних поверхонь. Ці висновки підтверджуються дослідженнями Wang et al. [16], які продемонстрували багатомасштабність впливу урбанізації на річкові екосистеми та обґрунтували необхідність врахування просторової гетерогенності при оцінці стану водних об'єктів.

Вагомий внесок у розвиток теоретичних основ дослідження водного режиму малих річок зробили Allan [1], який проаналізував вплив ландшафтної структури водозборів на функціонування річкових екосистем, та Liu et al. [5], які встановили кореляційні зв'язки між композицією та конфігурацією ландшафту водозбору і якістю води.

Сучасний етап досліджень характеризується розвитком інноваційних методологічних підходів до вивчення водного режиму малих річок. Tsyhanenko-Dziubenko et al. [12] розробили інтегрально-модифіковану модель Стрітера-Фелпса для математичного прогнозування просторово-часової динаміки гідроекологічних параметрів річкових екосистем. Ця модель дозволяє врахувати специфіку урбанізованих територій та прогнозувати зміни якості води під впливом різних факторів антропогенного навантаження.

Практичне застосування математичного моделювання для прогнозування гідроекологічного стану малих річок продемонстровано у дослідженні [18], де автори успішно використали модифіковану модель Стрітера-Фелпса для аналізу самоочисної здатності річки Тетерів в умовах урбанізованого ландшафту.

Важливий напрямок сучасних досліджень становить гідрохімічна характеристика малих річок урбанізованих територій. Tsyhanenko-Dziubenko et al. [9] провели комплексне гідрохімічне дослідження річок Тетерів і Кам'янка з метою визначення їхнього евтрофікаційного потенціалу, встановивши підвищені концентрації біогенних елементів, що корелює з антропогенним навантаженням у басейні.

Проблематика забруднення малих річок важкими металами в урбанізованих ландшафтах детально розглянута у працях [8, 11], де автори провели аналітичну оцінку поліелементного розподілу важких металів у компонентах урбанізованих гідроєкосистем та встановили просторову диференціацію і специфічні патерни міграції забруднювачів.

Інноваційні підходи до моніторингу стану малих річок представлені у дослідженнях із використання дистанційних методів. Tsyhanenko-Dziubenko et al. [13] продемонстрували ефективність застосування спектральних індексів для дистанційної оцінки екологічного стану водних басейнів, що відкриває нові можливості для оперативного моніторингу великих територій.

Біоіндикаційні методи оцінки стану водних екосистем розвинуті у працях [10, 14], де автори дослідили фізіологічні та біохімічні біомаркери стійкості гідробіонтів до токсичних стресорів та розкрили біохімічні механізми адаптації водних організмів до несприятливих умов середовища.

Особливої актуальності у сучасних умовах набувають дослідження водного режиму малих річок у післявоєнний період. Alpatova et al. [2] провели комплексну оцінку гідрохімічного стану водних екосистем у післявоєнних умовах, що дозволило встановити специфічні особливості формування якості води під впливом військових дій та їхніх наслідків.

Концептуальні засади сталого управління водними ресурсами розроблені у працях Kireitseva et al. [4], які запропонували інтегральну оцінку ефективності управління водними ресурсами в громадах для сталого розвитку, та Kapelista et al. [20], які представили огляд інноваційних підходів до сталого використання природних ресурсів України.

Методологічні аспекти майбутніх досліджень у галузі екології міських потоків сформульовані у фундаментальній праці Wenger et al. [17], які визначили 26 ключових дослідницьких питань, що окреслюють стратегічні напрями розвитку цієї наукової галузі.

Бібліометричний аналіз тенденцій розвитку досліджень водних екосистем, проведений у роботі [19], показав зростаючу роль міждисциплінарних досліджень та необхідність інтеграції різних методологічних підходів для комплексного вивчення водного режиму малих річок.

Аналіз наукової літератури свідчить про те, що проблема водного режиму малих річок в урбанізованих ландшафтах перебуває у стадії активного дослідження з використанням сучасних методологічних підходів. Водночас залишається потреба у розробці інтегрованих методів оцінки та управління водними ресурсами малих річок, що враховують специфіку урбанізованих територій та сучасні виклики, включаючи кліматичні зміни та антропогенні катастрофи.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття та новизна досліджень.

Незважаючи на значний обсяг досліджень впливу урбанізації на водні екосистеми, залишається недостатньо вивченим комплексний аналіз водного режиму малих річок в умовах специфічних ландшафтно-кліматичних умов України з урахуванням сучасних викликів, включаючи кліматичні зміни та післявоєнні чинники.

Новизна дослідження полягає у розробці інтегрованого підходу до оцінки водного режиму річки Кам'янка, що поєднує традиційні гідрологічні методи з сучасними технологіями математичного моделювання та прогнозування, включаючи застосування моделі ARIMA для довгострокового прогнозування стоку до 2035 року, що дозволяє враховувати регіональні особливості формування водних ресурсів малих річок в урбанізованих ландшафтах Житомирської області та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо сталого водокористування.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є комплексна оцінка водного режиму річки Кам'янка як типового представника малих річок урбанізованих ландшафтів та розробка науково обґрунтованих підходів до сталого водокористування. Основні завдання дослідження включають: аналіз просторово-часових особливостей формування водного режиму річки в умовах урбанізованого водозбору; дослідження структури водного балансу басейну з урахуванням кліматичних та антропогенних факторів; виявлення закономірностей багаторічної та внутрішньорічної мінливості гідрологічних характеристик; розробку прогнозної моделі стоку до 2035 року з використанням методів часових рядів; обґрунтування стратегічних напрямів сталого управління водними ресурсами малих річок в контексті урбанізаційних процесів та кліматичних змін.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Дослідження водного режиму малих річок в урбанізованих ландшафтах потребує детального аналізу просторових характеристик та гідрографічних особливостей водозбірної басейну. Річка Кам'янка є типовим представником малих річок Житомирщини, що зазнає значного антропогенного впливу внаслідок урбанізаційних процесів. Для комплексної оцінки водного режиму цієї річки було проведено картографічний аналіз її басейну з використанням геоінформаційних технологій.

Просторовий аналіз басейну річки Кам'янка (рис. 1) демонструє складну мозаїку урбанізованих та природних ландшафтів, що характерно для малих річок, які протікають через міські території. Річкова мережа характеризується значною розгалуженістю, з численними притоками, що формують деревоподібну структуру водозбору. Басейн річки охоплює значну площу урбанізованої території, що включає як щільно забудовані житлові райони, так і промислові зони, транспортну інфраструктуру та зелені насадження міського типу.

Аналіз просторового розподілу річкової мережі показує, що основний водотік має меандруючий характер у верхній та середній частинах басейну, де зберігається відносно природний стан заплави. Водночас у нижній течії річка значно каналізована та випрямлена відповідно до потреб міського планування. Притоки першого порядку переважно зберігають природний характер у межах зелених зон, проте також зазнають антропогенного впливу у вигляді регулювання стоку та зміни морфології русел.

Урбанізоване оточення басейну створює специфічні умови формування водного режиму. Значна частина водозбірної площі представлена непроникними поверхнями – асфальтованими дорогами, покрівлями будівель, тротуарами та іншими елементами міської інфраструктури. Це призводить до зміни природних процесів інфільтрації та формування поверхневого стоку, що безпосередньо впливає на гідрологічний режим річки.

Формування водного режиму річки Кам'янка відбувається під впливом регіональних кліматичних умов, модифікованих урбанізаційними процесами. Для розуміння механізмів формування стоку було проведено детальний аналіз структури

водного балансу басейну з урахуванням всіх основних компонентів гідрологічного циклу.

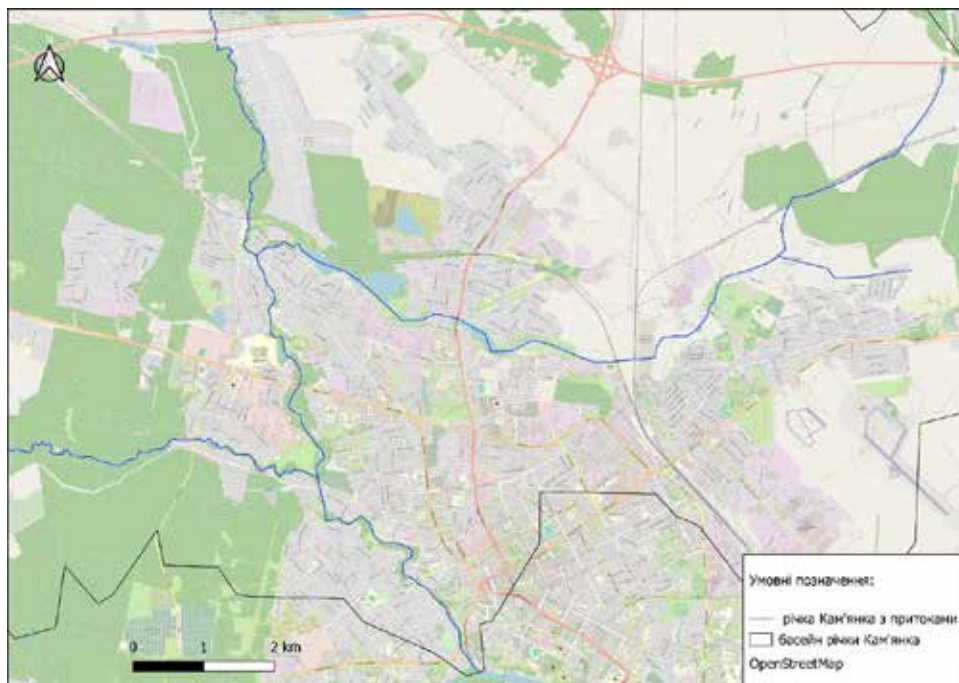


Рис. 1. Картосхема басейну річки Кам'янка з притоками в межах урбанізованої території

Структурно-логічна схема формування стоку (рис. 2) відображає складну систему взаємодії кліматичних факторів та підстильної поверхні у процесі трансформації атмосферних опадів у річковий стік. Температурний режим території характеризується помірно континентальними умовами з середньорічною температурою $+2.3^{\circ}\text{C}$, що забезпечує переважно рідкі опади протягом більшої частини року та формування снігового покриву в зимовий період.

Атмосферні опади є основним джерелом водних ресурсів басейну, із середньорічною кількістю 695 мм/рік, що відповідає регіональним кліматичним нормам для Житомирської області. Потенційне випаровування, розраховане за методом Пенмана-Монтейта, складає 670 мм/рік, що свідчить про відносно збалансований водний режим території в багаторічному розрізі.

Ключовою особливістю водного балансу є значна роль урбанізованих поверхонь у перерозподілі вологи. Фактичне випаровування становить лише 463 мм/рік, що значно менше потенційного випаровування через обмеженість водних ресурсів на урбанізованих територіях. Це призводить до збільшення поверхневого стоку та зменшення інфільтрації в ґрунт.

Вертикальна структура ґрунтового покриву басейну характеризується строкатістю, зумовленою як природними факторами, так і антропогенними порушеннями. Поверхневий стік формується в шарі товщиною 38 мм, підповерхневий – 25 мм,

а ґрунтовий стік – 43 мм. Загальний стік річки складає 81 мм/рік при коефіцієнті стоку 0.12, що відображає специфічні умови урбанізованого водозбору з переважанням швидкого поверхневого стоку над повільними компонентами живлення.



Рис. 2. Структурно-логічна схема формування стоку річки Кам'янка

Аналіз багаторічних коливань водності річки Кам'янка дозволяє виявити закономірності формування водного режиму та оцінити вплив кліматичних змін на гідрологічні процеси в басейні. Дослідження охоплює період з 1991 по 2020 рік з прогнозними оцінками до 2035 року, що дає можливість комплексно оцінити тенденції змін водного режиму малої річки в умовах урбанізованого ландшафту.

Часові ряди стоку річки Кам'янка (рис. 3) демонструють значну мінливість водності у багаторічному розрізі з чітко вираженою тенденцією до зменшення стоку у другій половині досліджуваного періоду. Фактичний стік у період 1991-2020 років характеризується екстремальними коливаннями від мінімальних значень близько 50 мм/рік до максимальних понад 300 мм/рік, що свідчить про високу мінливість гідрологічного режиму малої річки.

Особливо виражений максимум водності спостерігався у 1999 році, коли шар стоку досягнув понад 300 мм, що в 3.7 рази перевищує середньобаторічне значення. Цей екстремум пов'язаний з аномально великою кількістю атмосферних опадів та сприятливими умовами для формування поверхневого стоку. Водночас періоди 1995, 2003, 2015-2020 років характеризуються стійко низькими значеннями стоку, що відображає вплив посушливих умов на водний режим малої річки.



Рис. 3. Прогнозна модель стоку річки Кам'янка до 2035 року

Спостережний період 2021-2024 років показує подальше зниження водності з коливаннями стоку від 75 до 30 мм/рік. Ця тенденція корелює з регіональними кліматичними змінами та може бути підсилена антропогенними факторами, включаючи подальшу урбанізацію басейну та зміни у структурі землекористування.

Прогнозні оцінки, отримані за моделлю ARIMA для періоду 2025-2035 років, вказують на критичне зниження водності річки Кам'янка. За умов продовження поточних кліматичних трендів очікується подальше зменшення стоку на 15-25% до 2030 року. Критичні періоди припадають на літні місяці з підвищенням ризику маловоддя, що створює серйозні виклики для екологічної стабільності річкової екосистеми.

Сезонна динаміка гідрометеорологічних характеристик є ключовим фактором формування водного режиму малих річок. Дослідження внутрішньорічного розподілу опадів, випаровування та стоку дозволяє виявити закономірності сезонного функціонування водної екосистеми та оцінити критичні періоди для водозабезпечення.

Аналіз внутрішньорічного розподілу гідрометеорологічних параметрів (рис. 4) показує чітко виражену сезонність водного режиму річки Кам'янка. Максимум опадів припадає на літній період з піком у липні (98 мм), що характерно для континентального клімату з переважанням конвективних опадів у теплий сезон. Зимовий період характеризується мінімальними значеннями опадів (39-49 мм у січні-лютому), переважно у вигляді снігу.

Випаровування демонструє закономірне зростання від весни до середини літа з максимумом 4.5 мм/добу у липні, що в 2-3 рази перевищує кількість опадів у цей період. Це створює дефіцит вологи в літній сезон та призводить до зниження водності річки. Мінімальні значення випаровування спостерігаються в зимові місяці (менше 0.5 мм/добу), коли процеси евапотранспірації практично припиняються.

Сезонний режим стоку характеризується весняною повинню з максимумом у березні-квітні, коли формується до 40% річного стоку. Це пов'язано з таненням снігового покриву та сприятливими умовами для поверхневого стоку на частково промерзлих ґрунтах. Літньо-осінній період характеризується низькими

значеннями стоку (0.1-0.3 мм/добу), що відображає переважання процесів випаровування над надходженням вологи.

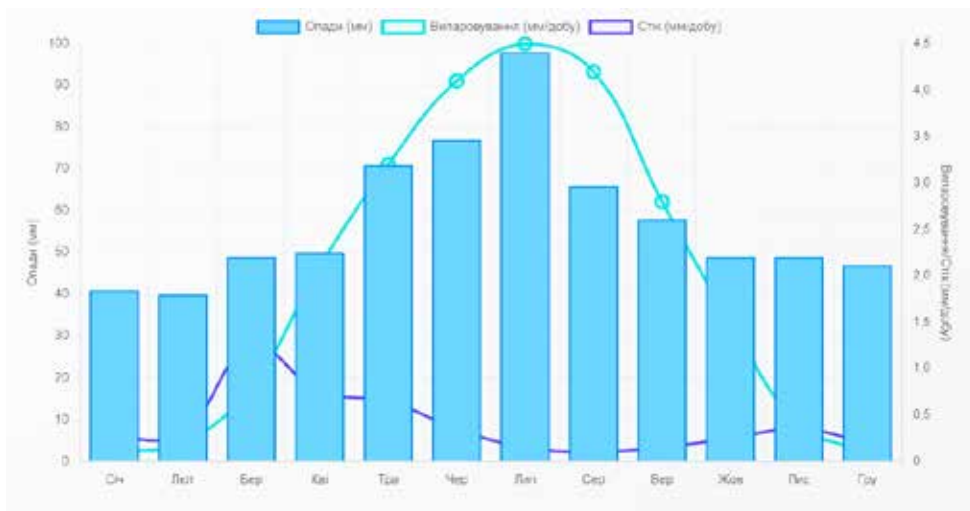


Рис. 4. Внутрішньорічний розподіл гідрометеорологічних параметрів басейну річки Кам'янка

Критичним аспектом сезонного режиму є літнє маловоддя, коли стік річки знижується до мінімальних значень при максимальному випаровуванні. Це створює стресові умови для водної екосистеми та може призводити до погіршення якості води через концентрування забруднювачів та зниження самоочисної здатності річки.

Дослідження довгострокових тенденцій зміни гідротермічного режиму дозволяє оцінити стабільність водної екосистеми та виявити сигнали кліматичних змін у функціонуванні малої річки. Аналіз часових рядів стоку та температури повітря за період 1990-2020 років розкриває складну картину взаємодії кліматичних та гідрологічних процесів у басейні річки Кам'янка.

Багаторічна динаміка стоку та температури (рис. 5) демонструє нестабільність гідротермічного режиму з періодами підвищеної та зниженої водності, що корелюють із температурними аномаліями. У 1990-х роках спостерігається висока мінливість стоку з екстремальним максимумом близько 1999 року (понад 300 мм) на фоні помірних температур повітря (7.5-8.0°C).

Період 2000-2010 років характеризується поступовим зниженням водності на фоні зростання температури повітря до 9.0-9.5°C. Ця тенденція відображає регіональні прояви глобального потепління та їхній вплив на водний режим малих річок. Особливо виражене зниження стоку спостерігається після 2003 року, коли середні значення не перевищують 100 мм/рік.

Останнє десятиліття (2010-2020) демонструє стабілізацію температурного режиму на рівні 10.0-10.2°C при збереженні тенденції до зниження водності. Стік річки коливається в межах 30-70 мм/рік, що значно нижче історичних норм. Це вказує на формування нового гідрологічного режиму, адаптованого до змінених кліматичних умов.

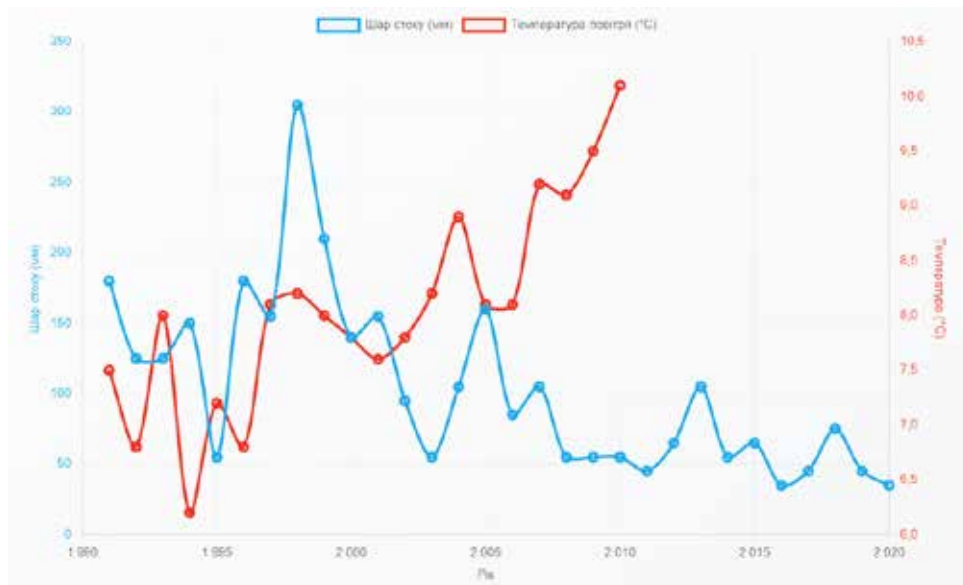


Рис. 5. Багаторічна динаміка стоку та температури повітря для басейну річки Кам'янка

Кореляційний аналіз між температурою та стоком виявляє складні нелінійні зв'язки, що підкреслює багатофакторність формування водного режиму малих річок в урбанізованих ландшафтах. Зростання температури не завжди супроводжується прямим зниженням стоку через компенсуючий вплив змін у режимі опадів та структурі підстильної поверхні.

Виявлені тенденції мають критичне значення для прогнозування майбутнього стану річкової екосистеми та розробки адаптаційних стратегій управління водними ресурсами. Поєднання кліматичних змін та урбанізаційного тиску створює синергетичний ефект, що може призвести до кардинальної трансформації водного режиму річки Кам'янка у найближчі десятиліття.

Висновки і пропозиції. Комплексне дослідження водного режиму річки Кам'янка виявило критичні тенденції деградації гідрологічних характеристик під впливом урбанізаційних процесів та кліматичних змін, що проявляється у зниженні стоку з 300 мм у 1999 році до 30-50 мм у 2020-2024 роках та прогнозованому подальшому зменшенні на 15-25% до 2030 року. Встановлено, що водний баланс басейну характеризується переважанням швидкого поверхневого стоку (коефіцієнт стоку 0.12) над повільними компонентами живлення через домінування непроникних урбанізованих поверхонь, що призводить до порушення природного гідрологічного циклу та зниження стійкості водної екосистеми. Результати дослідження обґрунтовують необхідність впровадження інтегрованих стратегій сталого водокористування, що включають оптимізацію міського планування, розвиток зеленої інфраструктури, впровадження природних рішень для управління стоковими водами та створення системи адаптивного управління водними ресурсами з урахуванням прогнозованих кліматичних змін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Allan J. D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 2004. Vol. 35. P. 257-284. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
2. Alpatova O., Maksymenko I., Patseva I., Khomiak I., Gandziura V. Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun, Kyiv region. 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2022. Vol. 2022. P. 1-5.
3. Beecham S., Razzaghamanesh M. Water quality and quantity investigation of green roofs in a dry climate. *Water Research*. 2015. Vol. 70. P. 370-384. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.015>
4. Kireitseva H., Tsyhanenko-Dziubenko I., Khomenko S., Palii O. Integral assessment of the effectiveness of water resource management in communities for sustainable development. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2025. Vol. 16, No. 1. P. 27-38.
5. Liu W., Zhang Q., Liu G. Influences of watershed landscape composition and configuration on lake-water quality in the Yangtze River basin of China. *Hydrological Processes*. 2012. Vol. 26, No. 4. P. 570-578. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.8157>
6. Paul M. J., Meyer J. L. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 2001. Vol. 32. P. 333-365. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040>
7. Rose S., Peters N. E. Effects of urbanization on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA): a comparative hydrological approach. *Hydrological Processes*. 2001. Vol. 15, No. 8. P. 1441-1457. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.218>
8. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Demchuk L. Dynamics of Heavy Metal Compounds Allocation in Urbohydrotops of Kyiv Region in Post-Military Conditions. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. Vol. 2023, No. 1. P. 1-5.
9. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Demchuk L., Vovk V. Hydrochemical Determination of the Teteriv River and the Kamianka River Eutrophication Potential. 17th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2023. Vol. 1. P. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2023520089>
10. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Fonseca Araújo J. Physiological and biochemical biomarkers of macrophyte resilience to military-related toxic stressors. *Journal Environmental Problems*. 2024. Vol. 9, No. 4. P. 227-234.
11. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Shomko O., Gandziura V., Khamdosh I. Analytical assessment of heavy metals polyelement distribution in urbanized hydroecosystem components: spatial differentiation and migration patterns. *Journal Environmental Problems*. 2025. Vol. 10, No. 2. P. 135-144.
12. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Tsyhanenko-Dziubenko I., Khomenko S., Vovk V. Mathematical forecasting of spatio-temporal dynamics of hydroecological parameters of river ecosystems using integrally-modified Streeter-Phelps model. *Journal Environmental Problems*. 2025. Vol. 10, No. 3. P. 309-316. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2025.03.309>
13. Tsyhanenko-Dziubenko I., Kireitseva H., Ventsel N., Ventsel V., Shevchuk L., Skyba G. Remote Evaluation of Post-Military Basin Moshchunka of Kyiv Oblast, Ukraine using Spectral Indices. 18th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2025. Vol. 2025. P. 1-5.
14. Tsyhanenko-Dziubenko I., Šerevičienė V., Ustyhenko V. Dissecting biochemical mechanisms that mediate tolerance to military chemical stressors in diverse malacological systems. *Environmental problems*. 2024. Vol. 9, No. 1. P. 51-58.
15. Walsh C. J., Roy A. H., Feminella J. W., Cottingham P. D., Groffman P. M., Morgan R. P. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure.

Journal of the North American Benthological Society. 2005. Vol. 24, No. 3. P. 706-723. DOI: <https://doi.org/10.1899/04-028.1>

16. Wang L., Lyons J., Kanehl P., Bannerman R. Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. *Environmental Management*. 2001. Vol. 28, No. 2. P. 255-266. DOI: <https://doi.org/10.1007/s0026702409>

17. Wenger S. J., Roy A. H., Jackson C. R., Bernhardt E. S., Carter T. L., Filoso S., Gibson C. A., Hession W. C., Kaushal S. S., Martí E., Meyer J. L., Palmer M. A., Paul M. J., Purcell A. H., Ramírez A., Rosemond A. D., Schofield K. A., Sudduth E. B., Walsh C. J. Twenty-six key research questions in urban stream ecology: an assessment of the state of the science. *Journal of the North American Benthological Society*. 2009. Vol. 28, No. 4. P. 1080-1098. DOI: <https://doi.org/10.1899/08-186.1>

18. Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Кірейцева Г. В., Скиба Г. В. Прогнозування гідроекологічного стану річки Тетерів з використанням модифікованої моделі Стрітера-Фелпса. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2025. № 1(75). С. 53-64. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.1.6>

19. Циганенко-Дзюбенко І. Ю., Кірейцева Г. В., Хамдош І. Н., Вовк В. М. Бібліометричний аналіз світових досліджень донних відкладів: тенденції публікацій та напрями розвитку седиментології. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2025. № 2(76). С. 6-20. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2025.2.1>

20. Kapelista I., Kireitseva H., Tsyhanenko-Dziubenko I., Khomenko S., Vovk V. Review of Innovative Approaches for Sustainable Use of Ukraine's Natural Resources. *Grassroots Journal of Natural Resources*. 2024. Vol. 7, No. 3. P. 378-395.

Дата першого надходження рукопису до видання: 26.09.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 30.10.2025

Дата публікації: 05.12.2025