

УДК 504.06; 628.31

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2026.148.1.45>

## ВПЛИВ ДОЦОВИХ ВОД НА ФОРМУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ У ТРАНСПОРТНИХ ЗОНАХ МІСТ

**Імамов В.О.** – аспірант кафедри екології та безпеки життєдіяльності,  
Уманський національний університет  
[orcid.org/0009-0003-3590-9003](https://orcid.org/0009-0003-3590-9003)

**Гурський І.М.** – к.с.-г.н., доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності,  
Уманський національний університет  
[orcid.org/0000-0002-3822-3889](https://orcid.org/0000-0002-3822-3889)

У статті розглянуто проблему формування екологічних ризиків у транспортних зонах міст, пов'язаних із накопиченням та інфільтрацією дощових стоків. Недостатня пропускна здатність водовідвідних мереж призводить до утворення локальних підтоплень, що створює умови для накопичення значних обсягів забрудненої води у пониженних ділянках рельєфу. У 2025 році було проведено комплексне дослідження складу дощових стоків у місті Умань, яке охопило вулиці з різною інтенсивністю транспортного навантаження. Методологія включала визначення концентрації завислих речовин гравіметричним методом, вимірювання показника рН електрометричним методом та аналіз вмісту свинцю за допомогою атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Результати дослідження засвідчили наявність прямої кореляції між інтенсивністю транспортного руху та рівнем забруднення дощових стоків. Встановлено, що магістральні дороги з високим транспортним потоком характеризуються підвищеними концентраціями завислих речовин і свинцю, а також зміщенням кислотно-лужного балансу. Сезонна динаміка показала зростання рівня забруднення у жовтні порівняно з травнем, що пояснюється накопиченням техногенних частинок та особливостями експлуатації дорожньої інфраструктури. Виявлені закономірності підтверджують, що транспортна діяльність є ключовим чинником формування екологічних ризиків у міських урбоекосистемах. Наслідки цього процесу включають дезрадацію ґрунтового покриву, зниження біологічної активності та потенційну загрозу для підземних вод і здоров'я населення. Отримані результати підкреслюють необхідність системного моніторингу складу дощових стоків, розробки природоорієнтованих рішень для зменшення техногенного навантаження та формування екологічної політики, спрямованої на підвищення стійкості міських територій до впливу транспортної діяльності.

**Ключові слова:** дощові стоки, транспортне навантаження, завислі речовини, рН, свинець.

### **Imamov V.O., Gurskiy I.M. the impact of rainwater on the formation of environmental risks in urban transport zones**

The article addresses the problem of environmental risks formation in urban transport zones associated with the accumulation and infiltration of stormwater runoff. Insufficient capacity of drainage systems leads to local flooding and the retention of large volumes of contaminated water in low-lying areas, creating conditions for pollutants to infiltrate soils and groundwater. In 2025, a comprehensive study of stormwater composition was conducted in the city of Uman, covering streets with varying levels of traffic intensity. The methodology included determining suspended solids concentration using the gravimetric method, measuring pH by the electrometric method, and analyzing lead content through atomic absorption spectrophotometry. The results revealed a direct correlation between traffic intensity and stormwater pollution levels. It was established that major roads with heavy traffic flows are characterized by elevated concentrations of suspended solids and lead, as well as shifts in the acid-base balance. Seasonal dynamics indicated higher pollution levels in October compared to May, explained by the accumulation of technogenic particles and specific features of road infrastructure operation. The identified patterns confirm that transport activity is a key factor in the formation of environmental risks in urban ecosystems.



© Імамов В.О., Гурський І.М., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

*The consequences of these processes include soil degradation, reduced biological activity, and potential threats to groundwater and public health. The findings emphasize the necessity of systematic monitoring of stormwater composition, the development of nature-based solutions to reduce technogenic load, and the formation of environmental policies aimed at increasing the resilience of urban areas to the impacts of transport activity.*

**Key words:** *stormwater runoff, traffic load, suspended solids, pH, lead.*

**Постановка проблеми.** Екологічні ризики в урбанізованих територіях зростають унаслідок інтенсивного розвитку транспортної інфраструктури та збільшення кількості автомобілів. Одним із ключових чинників є дощові води, які в умовах міст виконують не лише природну функцію регуляції гідрологічного циклу, але й стають переносниками забруднювачів. Біля транспортних магістралей вони змивають залишки нафтопродуктів, що утворюються внаслідок витоків пального, мастильних матеріалів, продуктів зносу шин та дорожнього покриття.

Як зазначає Wang та ін., дощові стоки дедалі частіше транспортують нові забруднювачі, включно з вуглеводнями та важкими металами, які становлять значну загрозу для міських ґрунтів і ґрунтових вод [1]. Таким чином, культурний шар урбоєкосистем стає акумулятором токсичних речовин, які змінюють його фізико-хімічні властивості та створюють довготривалі ризики для екологічної безпеки. Дослідження Motlagh [2] доводить, що непроникні поверхні у транспортних зонах прискорюють стік дощових вод, що призводить до швидкої інфільтрації залишків нафтопродуктів у міські ґрунти та ґрунтові води. Це підкреслює, що саме транспортні зони є найбільш уразливими ділянками, де відбувається інтенсивне накопичення нафтопродуктів у культурному шарі.

Накопичення нафтопродуктів у ґрунтах біля доріг призводить до деградації структури ґрунту, зниження його біологічної продуктивності та токсичного впливу на рослинність і мікроорганізми. Крім того, відбувається міграція забруднювачів у глибші горизонти ґрунту та у ґрунтові води, що може мати довготривалі наслідки для здоров'я населення.

Попри наявність окремих досліджень, комплексний аналіз впливу дощових вод на культурний шар саме в транспортних зонах залишається недостатньо розробленим. Відсутність системних даних про масштаби та механізми цього процесу ускладнює розробку ефективних заходів зменшення екологічних ризиків. Саме тому актуальним є проведення досліджень, спрямованих на обґрунтування впливу дощових вод, що змивають залишки нафтопродуктів, на стан культурного шару урбоєкосистем та пошук шляхів його оптимізації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасній екологічній науці проблема впливу дощових вод на стан культурного шару урбоєкосистем розглядається як одна з найважливіших у контексті урбанізації та розвитку транспортної інфраструктури. Дослідження останніх років свідчать, що саме транспортні магістралі є головними джерелами забруднення дощових стоків нафтопродуктами, важкими металами та іншими токсичними речовинами.

Зокрема, у роботах Saleh та ін. і Ahmad та ін. показано, що дощові води дедалі частіше транспортують нові забруднювачі, включно з мікропластиком та пері-і поліфторованими сполуками, які становлять загрозу для міських ґрунтів та водних екосистем [3, 4]. Kim Nak та ін. у своїй статті наголошують, що непроникні поверхні у транспортних зонах прискорюють стік, сприяючи швидкій інфільтрації залишків нафтопродуктів у ґрунти [5].

Дослідження Deletic та Ott виявило, що концентрація вуглеводнів у дорожніх стоках перевищує екологічно безпечні рівні, особливо у промислових районах

міст [6]. Причому, перший етап дощового стоку («first flush») містить найбільшу кількість нафтопродуктів та важких металів [7, 8].

В українському науковому просторі проблема впливу на культурний шар урбо-екосистем також активно досліджується. Автори Балюк С.А., Кучер А.В., Максименко Н.В. аналізують сучасний стан ґрунтів України, включно з урбанізованими територіями, та підкреслюють проблеми деградації й забруднення, зокрема у транспортних зонах [9].

Таким чином, дослідження підтверджують, що проблема впливу дощових вод на культурний шар урбо-екосистем має системний характер і потребує комплексного підходу. Науковці акцентують увагу на локальних особливостях урбанізованих територій, що дозволяє враховувати специфіку українських міст при розробці екологічних стратегій. Зокрема, варто відзначити LeFevre та ін., які показали, що системи зелених інфраструктур (біосмути, дощові сади) ефективно знижують рівень нафтопродуктів у стоках [10]. Corbett та ін. дослідили вплив дорожніх стоків на мікробіоту ґрунтів, доводячи, що токсичні речовини змінюють біологічну активність культурного шару [11].

**Постановка завдання.** Мета дослідження полягає у визначенні взаємозв'язку між інтенсивністю транспортного навантаження та якісними характеристиками дощових стоків у міському середовищі, зокрема концентрацією завислих речовин, показником рН та вмістом свинцю. Метою дослідження є отримання репрезентативних даних щодо впливу транспортної діяльності на екологічний стан урбо-екосистеми та формування науково обґрунтованих висновків для подальшого моніторингу й розробки заходів зменшення техногенного навантаження.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Недостатня пропускна здатність або повна блокада водовідвідних мереж у транспортних зонах міст призводить до утворення локальних підтоплень та накопичення значних обсягів дощових вод у понижених ділянках рельєфу. Така ситуація не лише ускладнює умови експлуатації дорожньої інфраструктури, але й створює серйозні екологічні ризики. Дощові стоки, що формуються в умовах інтенсивного транспортного навантаження, є носіями широкого спектра хімічних забруднювачів, які здатні інфільтрувати у ґрунти та підземні води, змінюючи їхній природний стан.

У 2025 році було проведено дослідження складу дощових стоків у транспортних зонах міста Умань, що дозволило оцінити рівень техногенного навантаження на ґрунтові та водні екосистеми. Для аналізу були обрані вулиці з різною інтенсивністю руху: Незалежності, Заводська, Єднання, Садова та Успенська. Вибір саме цих ділянок був зумовлений необхідністю охопити як магістральні дороги з високим транспортним потоком, так і другорядні вулиці, де інтенсивність руху є значно нижчою.

Відбір проб здійснювався у понижених ділянках рельєфу, де відбувається накопичення дощових вод через недостатню ефективність роботи зливової каналізації. Проби бралися безпосередньо після інтенсивних опадів, що забезпечувало репрезентативність отриманих даних. Зібраний матеріал транспортувався до лабораторії у контрольованих умовах, що дозволяло зберегти його первинний хімічний склад. Методологія дослідження була спрямована на визначення ключових показників якості дощових стоків у транспортних зонах міста Умань. Основну увагу приділено аналізу завислих речовин, показника кислотності середовища (рН) та вмісту свинцю у воді. Концентрацію завислих речовин визначали гравіметричним методом, що забезпечує точне кількісне оцінювання твердих частинок у воді. Параметр рН вимірювали за допомогою електрометричного методу із застосуванням

каліброваного рН-метра, що дозволяло встановити рівень кислотності та оцінити можливі зміни хімічного балансу стоків. Вміст свинцю визначали методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії, який є високочутливим та дає змогу виявити навіть мінімальні концентрації цього токсичного металу. Такий комплексний підхід дозволив отримати репрезентативні дані щодо фізико-хімічних характеристик дощових вод та оцінити їхній потенційний вплив на ґрунтові й водні екосистеми.

На рис. 1 відображена інтенсивність випадання опадів у місті Умань протягом 2025 року. Аналіз представлених даних свідчить про нерівномірний розподіл опадів упродовж року, з підвищеною інтенсивністю у літньо-осінній період та відносно низькими показниками у зимові місяці.

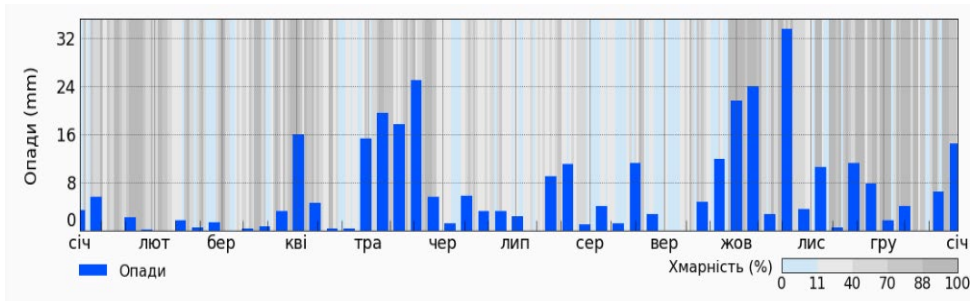


Рис. 1. Розподіл опадів за місяцями у місті Умань, 2025 рік [12]

У рамках дослідження відбір проб дощових стоків у місті Умань було здійснено у травні та жовтні 2025 року. Вибір саме цих місяців обґрунтовується їхнім репрезентативним значенням для оцінки сезонної динаміки забруднення. Таким чином, поєднання весняного та осіннього відбору проб дозволяє отримати більш повну картину складу дощових стоків у транспортних зонах міста, враховуючи різні кліматичні та техногенні фактори.

Для оцінки взаємозв'язку між інтенсивністю транспортного навантаження та якісними характеристиками дощових стоків було побудовано графіки кореляції, що відображають залежність між кількістю транспортних засобів, які проходять через досліджувані ділянки (наведене значення середнє за період досліджень), та концентрацією завислих речовин у воді. Такий підхід дозволяє не лише візуалізувати характер зв'язку між техногенним фактором і рівнем забруднення, але й кількісно визначити силу цього впливу, що є важливим для екологічної оцінки урбанізованих територій (рис. 2–3).

Аналіз представлених даних свідчить про наявність чіткої залежності між інтенсивністю транспортного навантаження та концентрацією завислих речовин у дощових стоках. Вулиці з найбільшим потоком транспорту, зокрема Незалежності та Заводська, характеризуються найвищими показниками забруднення як у травні, так і в жовтні, тоді як менш завантажені ділянки, такі як вул. Успенська, демонструють значно нижчі концентрації. Це підтверджує, що транспортна діяльність є ключовим чинником формування твердих домішок у міських стоках.

Порівняння результатів весняного та осіннього відбору проб показує загальне зростання концентрацій завислих речовин у жовтні, що може бути пов'язано з сезонними особливостями експлуатації дорожнього покриття та накопиченням техногенних частинок.

Для оцінки хімічних характеристик дощових стоків у транспортних зонах міста також було побудовано графіки кореляції, що відображають залежність між інтенсивністю транспортного навантаження та показником рН (рис. 4–5). Такий підхід дозволяє простежити, як техногенні чинники, пов’язані з рухом транспорту, впливають на кислотно-лужний баланс стоків, що є важливим індикатором їхнього екологічного стану.

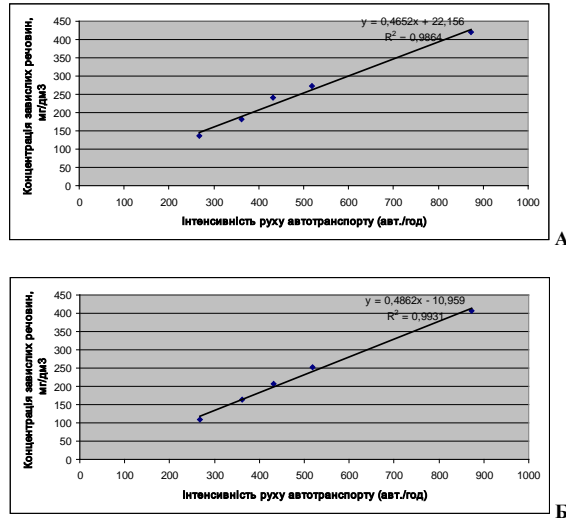


Рис. 2–3. Графіки залежності концентрації завислих речовин у дощових стоках від інтенсивності транспортного навантаження (А – травень, Б – жовтень)

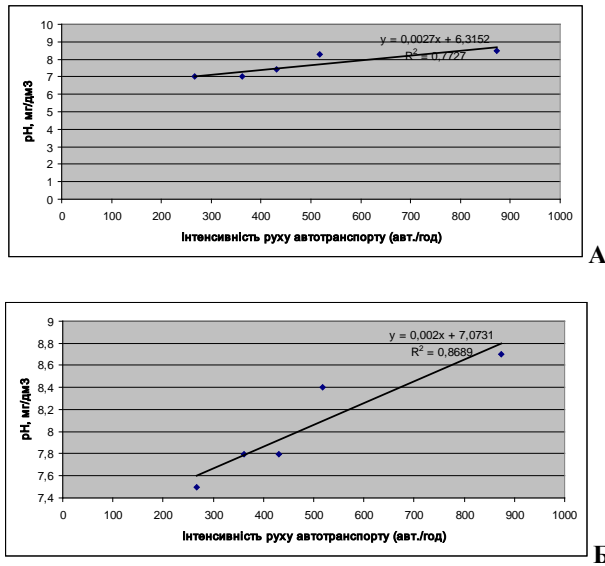
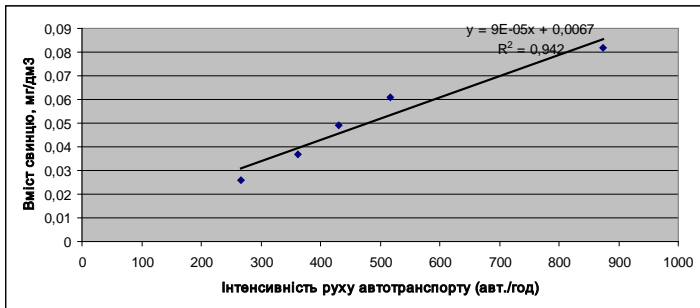


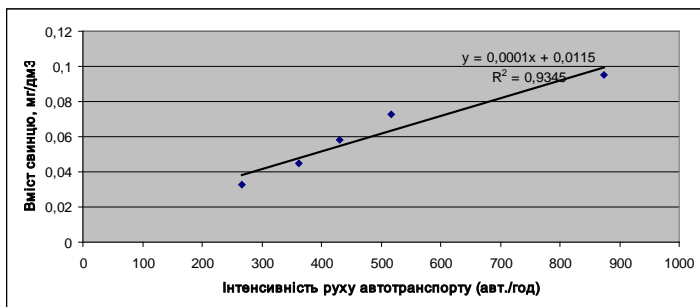
Рис. 4–5. Графіки залежності рН у дощових стоках від інтенсивності транспортного навантаження (А – травень, Б – жовтень)

Як свідчать наведені дані, відмічається певна кореляція активної реакції середовища в дощових стоках з інтенсивністю руху автомобілів: чим вище інтенсивність, тим вище значення рН. Сезонна динаміка – аналогічна попереднім висновкам.

Також для оцінки рівня техногенного було проаналізовано вміст свинцю у дощових стоках на різних вулицях міста Умань у травні та жовтні 2025 року. Отримані дані відображають залежність між інтенсивністю транспортного руху та концентрацією цього металу, що є важливим показником екологічного стану урбоєкосистеми (рис. 6–7).



А



Б

Рис. 6–7

Аналіз отриманих даних свідчить про наявність прямого кореляційного зв'язку між інтенсивністю транспортного навантаження та концентрацією свинцю у дощових стоках. Вулиці з найбільшим потоком транспорту демонструють найвищі показники вмісту цього токсичного металу, тоді як менш завантажені ділянки характеризуються значно нижчими значеннями. Така закономірність пояснюється механізмами утворення свинцю у міському середовищі: він надходить у стоки внаслідок зносу шин та гальмівних колодок, руйнування дорожнього покриття, а також через залишки паливно-мастильних матеріалів.

Порівняння весняних і осінніх даних показує тенденцію до зростання концентрацій у жовтні, що може бути пов'язано з накопиченням техногенних частинок протягом теплого періоду року. Наслідки такого процесу для урбоєкосистеми є суттєвими: свинець здатний акумулюватися у ґрунтах, змінювати їхню хімічну структуру, пригнічувати біологічну активність та становити загрозу для підземних вод. У довгостроковій перспективі це може призвести до деградації ґрунтового

покриву, зниження екологічної стійкості міських територій та створення ризиків для здоров'я населення. Таким чином, результати дослідження підтверджують необхідність системного моніторингу важких металів у дощових стоках та розробки заходів щодо зменшення їхнього надходження у міське середовище.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Результати дослідження свідчать про наявність стійкої кореляції між інтенсивністю транспортного навантаження та якісними характеристиками дощових стоків у міському середовищі. Встановлено, що підвищення транспортного потоку супроводжується зростанням концентрації завислих речовин, зміною кислотно-лужного балансу та збільшенням вмісту свинцю у воді. Виявлені закономірності пояснюються механізмами техногенного забруднення, зокрема зносом шин і гальмівних колодок, руйнуванням дорожнього покриття та надходженням паливно-мастильних матеріалів у стоки. Сезонна варіативність показників підтверджує вплив кліматичних умов та особливостей експлуатації дорожньої інфраструктури на формування складу дощових вод. Наслідки цих процесів для урбоєкосистеми є критичними, оскільки вони спричиняють деградацію ґрунтів, порушення біологічної активності та створюють ризики для підземних вод.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці моделей прогнозування впливу транспортної діяльності на якість дощових стоків та оцінці ефективності інженерних і природоорієнтованих рішень для зменшення негативних наслідків. Отримані результати можуть стати основою для формування екологічної політики міста, спрямованої на зниження рівня забруднення та підвищення стійкості урбанізованих територій до техногенного впливу.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Wang Y., Zhang X., Liu H. A Comprehensive Review of the Status and Removal of Emerging Contaminants in Urban Water Bodies Mediated by Stormwater Over the Past 30 Years. *Water Air Soil Pollut.*, 2025. 236. 1023. <https://doi.org/10.1007/s11270-025-08558-y>
2. Motlagh A. Urban Stormwater and Groundwater Quality: Pathways, Risks, and Green Infrastructure Solutions. *Environments*, 2025. 12. 446. <https://doi.org/10.3390/environments12110446>
3. Saleh H., Sarkar D., Zhang Z., Boufadel M., Datta, R. Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in Urban Stormwater Runoff: Insights from a Roadside Rain Garden. *Water*, 2025. 17(20). 2982. <https://doi.org/10.3390/w17202982>
4. Ahmad T., Gul S., Peng L., Mehmood T., Huang Q., Ahmad A., Ali H., Ali W., Souissi S., Zinck P. Microplastic mitigation in urban stormwater using green infrastructure: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 2025. 23. 999–1024. <https://doi.org/10.1007/s10311-025-01833-8>
5. Kim Hak, Jeong Hanseok, Jeon Jihye, Bae Seungjong. The Impact of Impervious Surface on Water Quality and Its Threshold in Korea. *Water*, 2016. 8. 111. <https://doi.org/10.3390/w8040111>
6. Deletic A., Orr D. Pollution buildup on road surfaces. *Journal of Environmental Engineering*, 2005. 131 (1). P. 49–59. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2005\)131:1\(49\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:1(49))
7. Guoping Qian, Jingyu Zhang, Xi Li, Huanan Yu, Xiangbing Gong, Juyong Chen. Study on pollution characteristics of urban pavement runoff. *Water Sci Technol.*, 2021; 84 (7). P. 1745–1756. <https://doi.org/10.2166/wst.2021.371>
8. Barco J., Papiri S., Stenstrom M. K. First flush in a combined sewer system. *Chemosphere*, 2008. 71 (5). P. 827–833. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.11.049>

9. Балюк С.А., Кучер А.В., Максименко Н.В. Ґрунтові ресурси України: стан, проблеми і стратегія сталого управління. *Український географічний журнал*, 2021. №2. С. 3–12. <https://doi.org/10.15407/ugz2021.02.003>
10. LeFevre G.H., Hendricks M.D., Carrasquillo M.E., McPhillips L.E., Winfrey B.K., Mihelcic J.R. The Greatest Opportunity for Green Stormwater Infrastructure Is to Advance Environmental Justice. *Environmental Science & Technology*, 2021. 57(36). P. 19088–19093. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c07062>
11. Corbett E., Ijaz U.Z., Jackson I.J., Phoenix V.R. Stormwater quality and microbial ecology in an urban rain garden system. *Frontiers in Water*, 2024. 6. Article 1383382. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1383382>
12. Meteoblue. Архів погоди Uman. URL: [https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/weatherarchive/uman\\_ukraine\\_690688](https://www.meteoblue.com/uk/weather/historyclimate/weatherarchive/uman_ukraine_690688) (дата звернення 11.03.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 07.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026