

SECTION: ECOLOGY

АКВАРІУМНІ МОДЕЛІ В СИСТЕМІ ЦИФРОВОГО ЕКОМОНІТОРИНГУ МІСЬКИХ ЕКОСИСТЕМ

Яремчук Світлана Миколаївна

асистент

Вік Сергій Валерійович

здобувач вищої освіти

Кулаківська Вікторія Михайлівна

здобувачка вищої освіти

Ткачук Юлія Олександрівна

здобувач вищої освіти

Кафедра екології

Поліський національний університет, Україна

Сучасний розвиток урбанізованих територій супроводжується інтенсифікацією антропогенного навантаження на природні компоненти довкілля, що зумовлює необхідність удосконалення систем екологічного моніторингу. Особливої актуальності набуває контроль стану урбанізованих зелених зон і водних об'єктів, які виконують важливі регуляторні та екосистемні функції. Водночас традиційні підходи до моніторингу, що базуються на періодичному відборі проб і лабораторному аналізі, потребують належного методичного обґрунтування та організації дослідницької діяльності, оскільки характеризуються високою вартістю, часовими затратами та обмеженими можливостями оперативного отримання екологічної інформації [1].

У цьому контексті цифровізація екомоніторингу виступає одним із ключових напрямів підвищення ефективності оцінювання стану довкілля. Використання сенсорних систем, Інтернету речей (IoT), технологій дистанційного зондування та алгоритмів машинного навчання забезпечує безперервний збір даних, їх оперативну обробку та формування прогностичних моделей стану екосистем [2]. Зокрема, сучасні системи моніторингу дозволяють відстежувати широкий спектр фізичних, хімічних і біологічних параметрів водного середовища, включаючи температуру, рН, розчинений кисень, мутність та концентрацію забруднюючих речовин [3]. Це створює передумови для переходу від фрагментарних спостережень до інтегрованих цифрових систем управління міськими екосистемами.

Разом із тим, складність урбоекосистем, багатofакторність впливів і нелінійний характер екологічних процесів обмежують можливості безпосереднього експериментального дослідження у природних умовах. У зв'язку з цим важливого значення набуває використання модельних екосистем, які дозволяють відтворювати окремі процеси в контрольованому середовищі. Одним із найбільш доступних і функціональних варіантів таких систем є

акваріумні моделі, що також активно використовуються в освітній практиці як засіб формування природничої компетентності та розуміння екологічних взаємозв'язків [4].

Акваріум як модельна екосистема характеризується високим рівнем керованості параметрів середовища, можливістю варіювання біотичних і абіотичних чинників та відтворюваністю експериментальних умов. У межах такої системи відбуваються основні екологічні процеси, притаманні природним гідроекосистемам: трофічні взаємодії, кругообіг речовин, зміни чисельності популяцій гідробіонтів та реакції на зміну умов середовища. Це дозволяє розглядати акваріум як мікромодель урбоекосистеми, придатну для експериментального дослідження екологічних закономірностей.

Особливу цінність акваріумні системи набувають у поєднанні з цифровими технологіями екомоніторингу. Інтеграція сенсорів якості води, автоматизованих систем збору даних та програмного забезпечення для їх аналізу дозволяє створювати високоточні експериментальні платформи. Сучасні дослідження демонструють, що використання IoT-рішень забезпечує безперервний моніторинг параметрів середовища та значно підвищує точність і оперативність виявлення змін [5]. При цьому поєднання сенсорних даних із методами машинного навчання відкриває можливості для прогнозування стану водних екосистем і підтримки прийняття управлінських рішень [2].

У межах цифрового екомоніторингу акваріумні моделі можуть виконувати декілька ключових функцій. По-перше, вони виступають як тестові платформи для апробації сенсорних систем і перевірки їх точності та стабільності. По-друге, дозволяють моделювати різні сценарії антропогенного впливу, зокрема забруднення або зміни гідрохімічних параметрів. По-третє, забезпечують можливість калібрування алгоритмів обробки даних і створення цифрових моделей екосистем. У сучасних дослідженнях такі підходи реалізуються через концепцію «цифрових двійників», які поєднують дані з реальних і модельних систем для більш точного прогнозування екологічних процесів [6]. Такі підходи узгоджуються із загальними принципами інтеграції наукових знань у практику природокористування та впровадженням ідей сталого розвитку на локальному рівні [7].

Важливим аспектом є також те, що акваріумні моделі дозволяють інтегрувати різні типи сенсорів – електронні, оптичні, біосенсорні – які можуть працювати в єдиній інформаційній системі. Використання таких комплексних підходів забезпечує підвищення достовірності оцінювання якості води та екологічного стану екосистем. Крім того, сучасні цифрові платформи можуть включати мобільні додатки та хмарні сервіси, що забезпечують доступ до даних у режимі реального часу та їх інтеграцію у системи управління [8]. Водночас ефективність таких рішень значною мірою залежить від рівня цифрової підготовки користувачів, сформованості їхніх відповідних компетентностей та впровадження інноваційних освітніх підходів, зокрема змішаного навчання як поєднання традиційних і дистанційних форм освіти [9].

Застосування акваріумних моделей у цифровому екомоніторингу має суттєве прикладне значення для екологічного управління міськими територіями. Воно

дозволяє підвищити обґрунтованість управлінських рішень, мінімізувати ризики впровадження нових технологій та оптимізувати витрати на моніторинг. Крім того, такі моделі можуть використовуватися для підготовки фахівців у сфері цифрової екології та екологічного менеджменту, а також як інструмент екологічної освіти.

Таким чином, акваріумні екосистеми виступають ефективним інструментом інтеграції експериментальних і цифрових підходів у екомоніторингу. Їх використання сприяє підвищенню точності, надійності та прогностичної цінності екологічних даних, що є необхідною умовою реалізації принципів сталої урбаністики. Перспективи подальших досліджень полягають у створенні комплексних цифрових платформ, які поєднують модельні та натурні дані, а також у розвитку систем підтримки прийняття рішень на основі великих екологічних даних.

Список використаних джерел

1. Вискушенко Д. А., Никитюк Ю. А., Піціль А. О., Мельник Н. В. Теоретичні та методичні основи наукового дослідження в екологічній освіті. Екологічні науки, 2025. Вип. 63. С. 9-14. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.6-63.1>
2. Essamlali I., Nhaila H., Khaili M. El. Advances in machine learning and IoT for water quality monitoring: A comprehensive review. Heliyon, 2024. 10. 6. e27920. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27920>
3. Chen H., Gao X., Yuan R. Advances in Remote Sensing and Sensor Technologies for Water-Quality Monitoring: A Review. Water, 2025. 17(20). 3000. <https://doi.org/10.3390/w17203000>
4. Хвостик О. П., Вискушенко Д. А. Акваріумістика як засіб формування природничої компетентності у школярів. Реалізація наступності в природничій освіті: реалії та перспективи. Збірник науково-методичних праць. Житомир: Видавництво О.О. Євенок, 2018. С. 113-116
5. Farouk M. I. H. Z., Jamil. Z., Latip M. F. A. Towards online surface water quality monitoring technology: A review. Environmental Research, 2023. 238: Part 1. 117147. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117147>
6. Kwon S., Kang Y., Nam S. H., Kim Y. D. Water quality monitoring using hybrid physical-soft sensors for river digital twins: a comprehensive review. Water Science and Technology, 2025. 92(9). P. 1286–1307. <https://doi.org/10.2166/wst.2025.145>
7. Вискушенко Д. А., Яроцький Б. А., Федірко Г. А., Федірко М. П., Примаченко Р. О. Механізми інтеграції міжнародних принципів сталого розвитку у вітчизняне природокористування. The 8th International scientific and practical conference: Academic research by scientists in the field of modern technologies. Milan: International Science Group, 2025 pp. 69-72
8. Haddout S., Priya K. L., Casila J. C., Kurniawan T. A. Smartphone solutions for water quality monitoring: a new frontier in environmental awareness. Essential Chem, 2024. 1(1). P. 1–9. <https://doi.org/10.1080/28378083.2024.2371348>
9. Вискушенко Д. А., Вискушенко С. А., Никитюк Ю. А., Дунаєвська О. Ф. Змішане навчання: баланс між дистанційним та традиційним підходами у закладах вищої освіти України. Суспільство та національні інтереси, 2025. 5(13). С. 55-66. [https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-5\(13\)-55-66](https://doi.org/10.52058/3041-1572-2025-5(13)-55-66)