

## АНАЛІЗ АКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

<sup>1</sup> Кременчуцький національний університет імені М. Остроградського

### **Анотація**

Здійснено огляд сучасних методів прогнозування рівнів забруднення водних ресурсів. Розглянуто традиційні статистичні аналіз, математичне моделювання, алгоритми машинного навчання, а також використання геоінформаційних систем (ГІС). Особливу увагу приділено комбінованим підходам, які поєднують різні технології для підвищення точності прогнозів.

**Ключові слова:** водні ресурси, ГІС, проектування, забруднення, машинне навчання.

### **Abstract**

A review of modern methods for predicting water resource pollution levels has been conducted. The article examines traditional statistical approaches, mathematical modeling, machine learning methods, as well as the use of geographic information systems (GIS). Special attention is given to combined approaches that integrate various methods to improve prediction accuracy. The aim of the study is to provide a comprehensive understanding of existing methods and technologies for effective water resource management and environmental protection.

**Keywords:** water resources, GIS, mathematical modeling, pollution, machine learning.

### **Вступ**

Забруднення водних ресурсів є однією з ключових екологічних проблем сьогодення. Прогнозування рівнів забруднення є важливим для ефективного управління якістю води і захисту довкілля. Існують різні способи прогнозування, що базуються як на традиційному статистичному аналізі даних, так і на сучасних технологіях, зокрема машинному навчанні та моделюванні. Метою дослідження є надання комплексного розуміння існуючих методів і технологій для ефективного управління водними ресурсами та охорони екосистем.

### **Результати дослідження**

Прогнозування рівнів забруднення водних ресурсів є складним процесом, що використовує різноманітні підходи для надання достовірних прогнозів якості води. Серед основних методів виділяють статистичний аналіз даних, математичне моделювання, машинне навчання, геоінформаційні системи (ГІС). Крім того, використовуються комбіновані техніки, що об'єднують різні технології з урахуванням складних процесів у водних екосистемах для більш достовірної оцінки якості води.

Статистичний аналіз є одним з найпоширеніших класичних прийомів до прогнозування. Основна мета цих методів полягає в аналізі історичних даних і виявленні залежностей між різними змінними. Серед таких способів популярний регресійний аналіз, що використовується для прогнозування залежності рівня забруднення від багатьох факторів, таких як погодні умови, швидкість течії, об'єм скидів тощо. Множинна регресія дозволяє оцінити вплив кожного з цих факторів і на основі отриманих даних, будувати прогнози. Аналіз часових рядів базується на використанні історичних даних для прогнозування майбутніх значень показників забруднення. До прикладів належать метод авторегресії та метод рухомого (ковзного) середнього, які допомагають моделювати тенденції забруднення, враховуючи часову динаміку. Перевага статистичних технік полягає у їхній відносній простоті використання та інтерпретації, проте для них необхідна наявність достатньої кількості якісних даних. Вони не потребують значних обчислювальних потужностей і можуть працювати з обмеженими наборами даних, що робить їх доступними для широкого кола користувачів. Інтерпретованість результатів аналізу даних дозволяє легко зрозуміти взаємозв'язки між різними

факторами, які впливають на рівень забруднення. Водночас ці способи мають і свої недоліки. Основним обмеженням є їхня залежність від наявності достатньої кількості якісних історичних даних. Якщо таких даних немає, точність прогнозів може суттєво знизитися. Крім того, більшість статистичних моделей базується на припущенні лінійності, що може не відповідати реальним процесам забруднення, які часто є нелінійними. Також статистичні аналізи виявляють чутливість до раптових змін у параметрах середовища, таких як погодні умови або антропогенний пресинг, через що їх ефективність може знижуватися в умовах непередбачуваних змін.

Математичне моделювання є потужним інструментом для прогнозування стану довкілля, особливо в ситуаціях, коли процеси, що впливають на забруднення водних ресурсів, добре досліджені. Ці методи дозволяють отримувати точні прогнози, що враховують складні взаємозв'язки між різними процесами в екосистемах. Однією з основних переваг способу є висока достовірність прогнозів. Також, важливою перевагою є гнучкість, оскільки моделі можуть адаптуватися до різних сценаріїв, включаючи зміни клімату, управління водними ресурсами та вплив людської діяльності. Крім того, математичні техніки моделювання забезпечують високий рівень деталізації, дозволяючи провести глибокий аналіз взаємодії багатьох факторів, що робить метод особливо корисним для комплексного управління водними ресурсами. Недоліком є необхідність у забезпеченні великих обсягів вхідних даних за допомогою автоматизованих систем збору інформації, а також значних обчислювальних потужностей. Використання математичних моделей вимагає глибоких знань для їх правильного налаштування та інтерпретації результатів.

Алгоритми машинного навчання набувають все більшого значення у прогнозуванні забруднення водних ресурсів, завдяки їхній здатності обробляти великі обсяги вхідних даних та знаходити приховані взаємозв'язки між змінними. Штучні нейронні мережі є потужними нелінійними моделями, які навчаються на історичних даних та дозволяють прогнозувати рівні забруднення складних гідрогеологічних систем [1]. Ансамблевий метод та передбачувальні технології машинного навчання допомагають визначати ключові фактори, що впливають на забруднення, забезпечуючи достовірність прогнозів при роботі з великим обсягом інформації. Алгоритми машинного навчання, зокрема використання рекурентних нейронних мереж, дозволяють будувати актуальні моделі для аналізу часових рядів. Проте для ефективної роботи необхідні великі обсяги якісних даних, а також значних обчислювальних ресурсів. Складність інтерпретації результатів здатна перешкодити розумінню причинно-наслідкових зв'язків між змінними.

Геоінформаційні системи (ГІС) є провідним інструментом у просторовому аналізі та прогнозуванні забруднення водних ресурсів. Вони дозволяють інтегрувати широкий спектр даних, таких як географічні, кліматичні, гідрологічні та інші просторові показники, для створення високоточних моделей поширення забруднюючих речовин. ГІС забезпечують візуалізацію просторових закономірностей розподілу забруднювачів, що допомагає не лише аналізувати поточний стан довкілля, але й прогнозувати динаміку забруднення залежно від географічних та кліматичних умов. Застосування ГІС для просторового моделювання, зокрема створення карт забруднення, дозволяє більш точно оцінювати вплив рельєфу, клімату та інших факторів на поширення забруднювачів у водних екосистемах. Окрім цього, сучасні ГІС можуть працювати з даними в реальному часі, отриманими від сенсорів, що встановлені на водних об'єктах [2]. Це значно підвищує ефективність моніторингу та прогнозування екологічної ситуації, оскільки забезпечує оперативне оновлення моделей на основі нових даних. Основними перевагами використання ГІС є можливість інтегрованого просторового аналізу, що дозволяє поєднувати інформацію з різних джерел для адекватного прогнозування. Однак, використання ГІС потребує значних фінансових та технічних ресурсів, а достовірність результатів напряму залежить від якості доступних географічних, кліматичних та гідрологічних даних.

Комбіновані моделі прогнозування представляють собою потужний інструмент для прецизійного й комплексного екологічного моделювання, особливо у випадках складних екосистем, де прості способи не дають повного уявлення про процеси. Інтеграція гідродинамічних моделей із алгоритмами машинного навчання дозволяє ефективно проектувати поширення забруднюючих речовин, враховуючи як фізичні аспекти середовища, так і статистичні закономірності. Гібридні техніки, що об'єднують фізичні процеси і методи аналізу даних, дозволяють досліджувати широкий спектр факторів, таких як зміни клімату, вплив антропогенної діяльності, характеристики ландшафту, рельєфу, та управління водними ресурсами. Вони забезпечують комплексний підхід до прогнозування, що є особливо цінним у контексті екологічного менеджменту та збереження водних

ресурсів.

Завдяки адаптивності, комбіновані моделі дозволяють інтегрувати різні джерела даних, включаючи інформацію з сенсорів, супутникові спостереження, кліматичні прогнози та інші джерела, що підвищує гнучкість моделей і робить їх доречними для вирішення сучасних викликів в екології. Така методологія дає змогу краще прогнозувати вплив зміни клімату та інших екстремальних умов на екосистеми, що має особливе значення для адаптації до нових екологічних реалій та стратегічного управління природними ресурсами.

Комбіновані підходи також забезпечують високу достовірність результатів за рахунок синергетичного використання алгоритмів машинного навчання, які дозволяють виявляти приховані закономірності, що відображають фундаментальні процеси. Це створює передумови для розвитку нових методологій прогнозування, які можуть враховувати не тільки поточний стан екосистем, але й довгострокові прогнози та сценарії розвитку екологічної ситуації.

.....

## Висновки

Вважаємо, що використання комбінованих моделей прогнозування забруднення водних ресурсів є доцільним для забезпечення екологічної безпеки. Інтеграція фізичних моделей із алгоритмами машинного навчання дозволяє краще враховувати антропогенні впливи на екологічні процеси, забезпечуючи достовірні прогнози та ефективне управління водними ресурсами. Це підвищує адаптивність в умовах зміни клімату, покращуючи стратегії захисту довкілля та сприяючи стійкому розвитку екосистем.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Генова А.В., Харламова О.В. Застосування методів машинного навчання для моніторингу водних ресурсів. Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування. ІХ Міжнародний молодіжний конгрес, 28-29 березня 2024, Україна, Львів : зб. матер. — Електрон. дан. — Київ : Яро́чєнко Я. В., 2024. — 246 с. : рис., табл., фот. — on-line.

2. Генова А., Харламова О. Підвищення ефективності геоекологічного моніторингу гідросфери. Комплексне використання ресурсів довкілля [Електронний ресурс] : зб. матер. І Всеукр. наук.-практ. конф. (Луцьк, 20 листопада 2023р.) / Держ. вищ. навч. заклад «Донецький національний технічний університет». – Луцьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2023. С.8–11.

*Генова Анастасія Валеріївна* — аспірант, PhD 101 «Екологія», Навчально-науковий інститут механічної інженерії, транспорту та природничих наук, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, e-mail: [matrixx309@gmail.com](mailto:matrixx309@gmail.com)

Науковий керівник: *Харламова Олена Володимирівна* — д-р техн. наук, доцент кафедри екології та біотехнологій, Навчально-науковий інститут механічної інженерії, транспорту та природничих наук, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук

*Gienova Anastasia V.* — PhD student, PhD 101 «Ecology», Educational and Scientific Institute of Mechanical Engineering, Transport and Natural Sciences, Krymenchuk National University named after Mykhailo Ostrohradskyi, Kremenchuk, e-mail: [matrixx309@gmail.com](mailto:matrixx309@gmail.com)

Scientific supervisor: *Kharlamova Olena V.* — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Biotechnology, Educational and Scientific Institute of Mechanical Engineering, Transport and Natural Sciences, Krymenchuk National University named after Mykhailo Ostrohradskyi, Kremenchuk.