

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04>

УДК(UDC): 504.4.54

В. В. ТЕРЗЕМАН¹,

аспірант кафедри екології та охорони довкілля

e-mail: mikkymailz@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2298-1003>

С. М. ЮРАСОВ¹, канд. техн. наук, доц.,

доцент кафедри екології та охорони довкілля

e-mail: urasen54@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4312-249X>

¹Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

ПРОГНОЗ ВМІСТУ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У ВОДАХ РІЧКИ ДУНАЙ (КІЛІЯ)

Мета. Оцінка та прогнозування ризику погіршення якості вод річки Дунай у межах міста Кілія за показником біохімічного споживання кисню ($БСК_5$).

Методи. Статистичні методи аналізу, зокрема логнормальний розподіл для оцінки ймовірностей перевищення граничних концентрацій, а також метод екстраполяції ліній тренду для прогнозування динаміки показника $БСК_5$. Візуалізацію даних здійснено шляхом побудови графіків для різних часових інтервалів.

Результати. На основі нерегулярних моніторингових даних, із урахуванням екологічних нормативів та вимог директив ЄС порівняно фактичні і прогнозовані значення $БСК_5$. Визначено задовільний рівень розбіжності (до 17% при оцінці ризику та до 5% при оцінці фактичних значень), що підтверджує ефективність обраного підходу навіть за умов нерегулярного моніторингу. Встановлено, що вміст органічних речовин у воді при забезпеченості 10% значно перевищує екологічно допустиме значення 3 мг/дм³ (відповідно до норм ЄС) та має тенденцію до поступового зростання.

Висновки. Підтверджено ефективність застосованого підходу до прогнозування якості води за умов нерегулярного моніторингу. Використання логнормального розподілу в поєднанні з екстраполяцією ліній тренду дозволило отримати надійні оцінки як фактичного стану вод, так і ймовірності перевищення екологічно небезпечних концентрацій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Дунай, $БСК_5$, якість води, органічне забруднення, прогноз, логнормальний розподіл, моніторинг, ризик.

Як цитувати: Терзема В. В., Юрасов С. М. Прогноз вмісту органічних речовин у водах річки Дунай (Кілія). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2025. Вип. 32. С. 61 - 70. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04>

In cites: Terzeman, V. V. & Yurasov, S. M. (2025). Forecast of organic matter content in the waters of the Danube river (Kilia). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (32), 61 -70. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04> (in Ukrainian)

Вступ

Прогнозування якості води є складним процесом, який безпосередньо залежить від наявності регулярних, репрезентативних і достовірних моніторингових даних. Без постійного надходження таких даних неможливо точно оцінити динаміку змін у водних об'єктах, виявити тенденції забруднення чи

визначити потенційні загрози для довкілля та здоров'я населення.

Оцінці та прогнозу якості вод присвячено багато наукових робіт зарубіжних та вітчизняних авторів. Роботи авторів [1 - 4], направлені на оцінку та прогнозування якості вод, насамперед у річці Дунай (нижній, се-

редній, румунський та сербський відрізки) з використанням різних методів: застосування індексів якості води для комплексної оцінки використання гідрологічних моделей [5, 6], статистичного та просторово-часового аналізу [7], використання нейронних мереж та алгоритмів машинного навчання [8 - 11]. В дослідженнях де зустрічались нерегулярні дані спостережень [8, 9], використовувались нейронні мережі, що адаптовані до обробки пропущених даних.

Моделі прогнозу якості води базуються на аналізі історичних та поточних спостережень щодо вмісту хімічних речовин, біологічних показників, фізико-хімічних параметрів тощо. Якщо ці дані є неповними або нерегулярними, точність будь-якого прогнозу різко знижується. Отримання достовірних і регулярних даних про якість води в Україні супроводжується низкою складних і системних проблем. Насамперед, це інституційна розрізненість: у процесі моніторингу залучено багато державних і регіональних структур — Держводагентство, Міндовкілля, обласні водні управління, лабораторії МОЗ та інші, однак чітка координація між ними часто відсутня. Це призводить до дублювання зусиль або до пропусків у спостереженнях. Водночас хронічна нестача фінансування обмежує технічні можливості багатьох лабораторій: аналітичне обладнання застаріле, а ресурсів на його оновлення та навчання персоналу недостатньо.

У цьому контексті особливо актуальним є застосування адаптивних статистичних підходів, які дозволяють використовувати навіть неповні або нерегулярні дані для отримання обґрунтованих екологічних висновків. Зокрема, моделювання та прогнозування на основі логнормального розподілу і побудови трендових залежностей створює наукове підґрунтя для виявлення ризиків погіршення якості вод у майбутньому. Урахування вимог Водної рамкової директиви ЄС при цьому є важливою умовою гармонізації підходів до управління водними ресурсами України з європейськими стандартами.

Дослідження, представлене в цій роботі, спрямоване на оцінку та прогнозування ризику органічного забруднення вод річки Дунай у районі м. Кілія, з опорою на аналіз показника $БСК_5$. Особливу увагу приділено особливостям обробки та інтерпретації нерегулярних моніторингових даних, що робить результати дослідження актуальними як з наукової, так і з

прикладної точки зору

Об'єкт дослідження — якість вод річки Дунай у межах міста Кілія.

Предмет дослідження — статистичні закономірності зміни показника біохімічного споживання кисню ($БСК_5$) у водах річки Дунай поблизу м. Кілія.

Метою дослідження є проведення кількісної оцінки та побудова прогнозу ризику погіршення якості вод річки Дунай у межах міста Кілія на основі аналізу показника біохімічного споживання кисню протягом п'яти діб ($БСК_5$), який відображає рівень вмісту органічних речовин у воді. Дослідження ґрунтується на аналізі даних нерегулярного моніторингу за допомогою статистичних методів — зокрема, логнормального розподілу, який дозволяє оцінити ймовірнісну природу концентрацій забруднювачів, а також екстраполяції трендів для визначення потенційних змін у часі.

Окрема увага приділяється відповідності результатів дослідження екологічним стандартам, встановленим у законодавстві України та в рамках імплементації вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу. Прогнозоване значення $БСК_5$ у цьому контексті виступає як інтегральний індикатор вмісту біологічно розкладених органічних речовин у водному середовищі, що дозволяє не лише оцінити сучасний екологічний стан, а й виявити можливі тенденції його погіршення в умовах впливу антропогенних факторів і природних коливань. Таким чином, дослідження має на меті створення науково обґрунтованої бази для прийняття управлінських рішень щодо охорони водних ресурсів у нижній частині українського Дунаю.

Вирішено задачі:

- збір і попередня обробка моніторингових даних за показником $БСК_5$ річки Дунай у районі м. Кілія за період з 2015 по 2025 роки;
- аналіз динаміки зміни концентрацій органічних речовин за різні часові інтервали (2015-2021, 2015-2022, 2015-2023, 2015-2024 роки);
- побудова трендових ліній та екстраполяція даних для прогнозу змін показника $БСК_5$;
- оцінка ризику перевищення граничних концентрацій $БСК_5$, відповідно до нормативів ЄС;
- оцінка ефективності методики шляхом порівняння фактичних і прогнозованих значень в умовах нерегулярного моніторингу.

Матеріали та методи дослідження

Оцінка якості вод. Оцінка якості вод в Україні регулюється низкою ключових нормативних документів. Основу становить Водний кодекс України [12], який визначає правові засади охорони та раціонального використання водних ресурсів. Важливе значення має Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" [13], що встановлює загальні екологічні принципи, включаючи вимоги до якості вод. Державні санітарні правила і норми (ДСанПіН 2.2.4-171-10) [14] встановлюють гігієнічні вимоги до води поверхневих водойм, зокрема гранично допустимі концентрації (ГДК) хімічних і біологічних забруднювачів. Крім того, застосовуються екологічні нормативи якості водного середовища, затверджені МОЗ України, а також положення Водної рамкової директиви ЄС 2000/60/ЄС [15], які Україна поступово імплементує в рамках євроінтеграції.

Відповідно до Директив ЄС [16–21], якість поверхневих вод за певний період вважається такою, що відповідає встановленим нормативам, якщо перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) за кожним показником не перевищують 5% загальної кількості вимірювань для рибогосподарських вод або 10% — для санітарних норм.

Для здійснення надійного прогнозу якості вод необхідні великі масиви регулярних та репрезентативних даних спостережень, зібраних протягом тривалого часу. Така інформація дозволяє виявляти тренди змін, сезонні коливання, а також вплив природних та антропогенних факторів на стан водного середовища. Без достатньої кількості вимірювань важко встановити стійкі статистичні закономірності, що є критично важливим для побудови прогностичних моделей. Крім того, регулярність спостережень забезпечує точність оцінки ризиків та дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози для екосистем і здоров'я населення.

Проте на практиці отримати масиви даних спостережень, що повністю відповідають вимогам для побудови достовірної прогностичної моделі, досить складно. Найчастіше наявні дані є неповними, нерегулярними за часом і простором, а також охоплюють обмежену кількість показників. Спостереження можуть проводитися з великою перервою в часі, мати

різну методологію збору або бути зосередженими лише в окремих точках водного об'єкта, що ускладнює узагальнення результатів. Такі обмеження значно знижують точність і надійність прогнозів, а також вимагають застосування методів статистичної обробки, реконструкції даних або використання гібридних моделей, які поєднують емпіричні спостереження з експертними оцінками та математичним моделюванням.

Методологія дослідження включає статистичну обробку нерегулярних вибірок даних, зокрема побудову графіків динаміки значень BCK_5 за різні часові інтервали (2015–2021, 2015–2022, 2015–2023 та 2015–2024 роки) для візуального аналізу трендів. Для кількісної оцінки розподілу значень показника застосовано логнормальний розподіл, що враховує асиметричний характер екологічних даних та дозволяє моделювати ймовірнісні сценарії концентрацій органічних речовин. Прогнозування здійснено шляхом екстраполяції ліній тренду, що побудовані на основі апроксимованих значень у часовому ряді. Результати оцінювалися з урахуванням екологічних нормативів, передбачених українським законодавством і вимогами Водної рамкової директиви Європейського Союзу.

Для прогнозування на основі таких нерегулярних даних спостережень ми визначаємо параметри лінії тренду, що дозволяє виявити прогностичні значення показника, за формулою (1) [22, 23], що наведена нижче:

$$C_{iF} = a_i \cdot \exp(j \cdot b_i) \cdot \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; 0; \check{G}_{HTi}), \quad (1)$$

де C_{iF} – значення показника з забезпеченістю F ;

a_i і b_i – параметри лінії часового тренду;
 $\text{ЛОГНОРМОБР}()$ – оператор в табличному редакторі Excel;

F – забезпеченість;

0 і $\check{G}_{HTi}$ – параметри логнормального розподілу ряду спостережень, нормованого по лінії експоненціального тренду.

Для того щоб спрогнозувати ризик погіршення якості вод за обраним показником, треба використовувати формулу (2) [22, 23]:

$$R_{Hij} = 1 - \text{ЛОГНОРМРАСП}(H_i/(a_i \cdot \exp(j \cdot b_i)); 0; \check{G}_{HTi}), \quad (2)$$

де $\text{ЛОГНОРМРАСП}()$ – оператор в табличному редакторі Excel;
 H_i – норматив (3 мг/дм^3);

0 і $\check{G}_{HTi}$ – параметри логнормального розподілу ряду спостережень, нормованого по лінії експоненціального тренду i -го показника.

Результати дослідження

У дослідженні використано офіційні дані спостережень за якістю поверхневих вод річки Дунай у районі міста Кілія, що охоплюють період з 20 березня 2015 року по 7 лютого 2025 року. Джерелом інформації слугувала відкрита платформа моніторингу водних ресурсів України — «Моніторинг та екологічна оцінка водних ресурсів» (<https://monitoring.davr.gov.ua/>), яка адмініструється Державним агентством водних ресурсів України. Основним показником для аналізу обрано біохімічне споживання кисню

протягом п'яти діб (BCK_5), що є ключовим індикатором рівня органічного забруднення води.

На основі наявної вибірки даних спостережень за показником біохімічного споживання кисню протягом п'яти діб (BCK_5), отриманої з платформи моніторингу водних ресурсів України, було побудовано серію графічних представлень динаміки цього параметра для різних часових інтервалів. Зокрема, сформовано окремі графіки для періодів 2015–2024, 2015–2023, 2015–2022 та 2015–2021 років (рис. 1-4).



Рис. 1 – Часовий хід значень показника BCK_5 з 2015 по 2025 рр. (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 1 – Time course of BOD_5 indicator values from 2015 to 2025 (Danube River, Kiliya city)

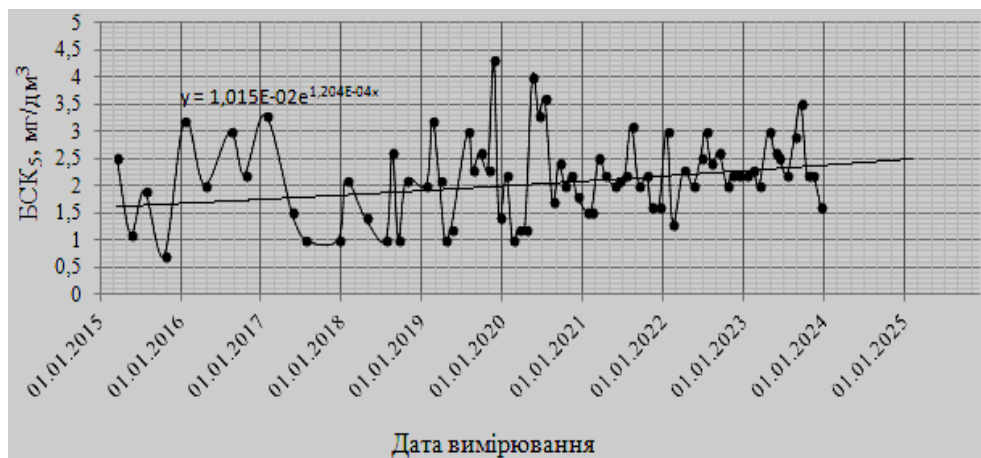


Рис. 2 – Часовий хід значень показника BCK_5 з 2015 по 2024 рр. (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 2 – Time course of BOD_5 indicator values from 2015 to 2024 (Danube River, Kiliya City)

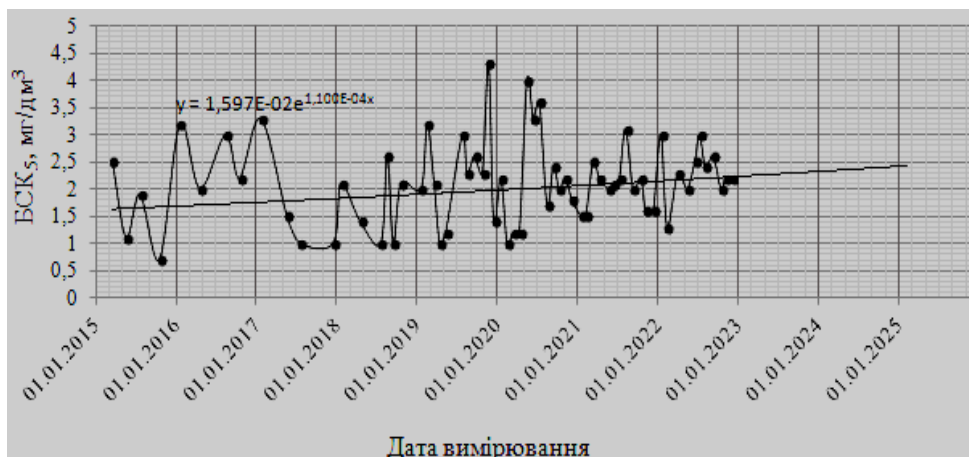


Рис. 3 – Часовий хід значень показника BCK_5 з 2015 по 2023 рр. (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 3 – Time course of BOD_5 indicator values from 2015 to 2023 (Danube River, Kiliya city)

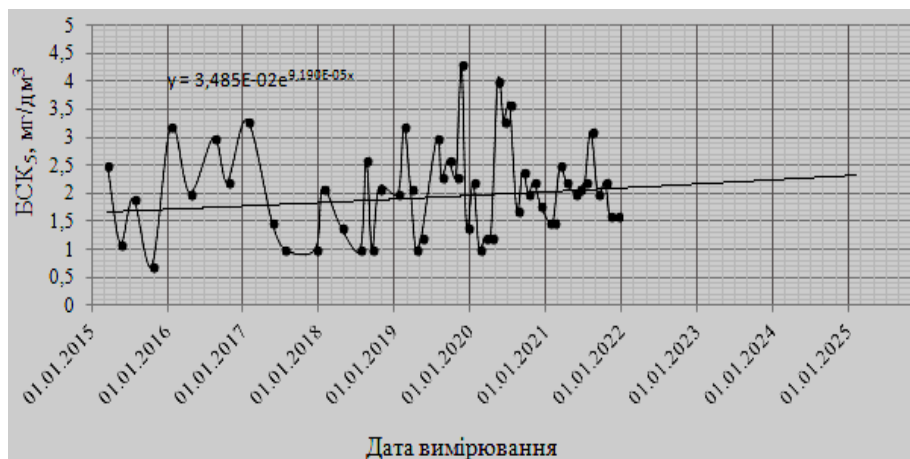


Рис. 4 – Часовий хід значень показника BCK_5 з 2015 по 2022 рр. (р. Дунай, м. Кілія)

Fig. 4 – Time course of BOD_5 indicator values from 2015 to 2022 (Danube River, Kiliya city)

Побудова графіків із поступовим скороченням періоду дослідження дозволяє порівняти стабільність статистичних залежностей у часі та оцінити вплив тривалості вибірки на точність і надійність подальшого прогнозування. Крім того, аналіз даних у розрізі кількох часових відтінків дає змогу виявити потенційні аномалії, сезонні коливання або зміну тенденцій у якості води, зумовлену як природними факторами, так і антропогенним навантаженням. Такий підхід є важливим етапом у підготовці даних до побудови трендових моделей та оцінки прогнозованих значень якості води.

Далі визначено параметри ліній часового тренду за обрані періоди часу; ряди спостережень за ці періоди часу нормовані за лініями їх трендів; визначені параметри логнормального

розподілу нормованих рядів (табл. 1).

Для літніх періодів 2022–2025 років було здійснено розрахунок як фактичних, так і прогнозованих значень показника BCK_5 із забезпеченістю 10% за формулою 1

Прогнозні значення (табл. 2) були отримані за даними попередніх років, водночас кожне прогнозне значення розраховували без урахування відповідного року прогнозу. Наприклад, прогноз на дату 30.06.24 зроблено за спостереженнями 2015–2023 років.

Порівняння між фактичними та прогнозованими значеннями показало прийнятний рівень розбіжності (до 5%), що підтверджує надійність застосованої методики навіть за умов обмеженості та нерегулярності моніторингових даних.

Таблиця 1

Параметри ліній тренду і законів розподілу BCK_5 у водах Дунаю

Table 1

Parameters of trend lines and distribution laws of BOD_5 in the waters of the Danube

Період вибірки	2015-24	2015-23	2015-22	2015-21
a	$2,704 \cdot 10^{-03}$	$1,015 \cdot 10^{-02}$	$1,597 \cdot 10^{-02}$	$3,485 \cdot 10^{-02}$
b	$1,508 \cdot 10^{-04}$	$1,204 \cdot 10^{-04}$	$1,100 \cdot 10^{-04}$	$9,190 \cdot 10^{-05}$
$\check{C}_{HT}$	0,000	0,000	0,000	0,000
$\check{G}_{HT}$	0,3550	0,3606	0,3834	0,4093

Таблиця 2

Розрахункові значення вмісту органічних речовин за показником BCK_5

Table 2

Calculated values of organic matter content by BOD_5

Дата	Значення прогнозне, мг/дм ³	Значення за результатами спостережень, мг/дм ³
30.06.2025	4,28	—
30.06.2024	3,85	4,05
30.06.2023	3,73	3,68
30.06.2022	3,60	3,58

Концентрація органічних речовин у воді річки Дунай, визначена за показником BCK_5 на рівні забезпеченості 10% (відповідно до нормативів ЄС) [], суттєво перевищує граничне значення 3 мг/дм³ і демонструє тенденцію до зростання. Це може бути зумовлено як зростанням обсягів скидання стічних вод, що містять органічні сполуки, так і впливом кліматичних змін, зокрема загального потепління, яке сприяє активному первинному продукуванню та, як наслідок, підвищенню вмісту органіки у природних водах.

Для літніх періодів 2022–2025 років було проведено оцінку як фактичних, так і прогнозованих ризиків погіршення якості води за показником BCK_5 з використанням логнормального підходу згідно з формулою 2.

Прогнозні значення були отримані шляхом апроксимації тренду експоненціальною функцією, побудованою на основі даних попередніх років, при цьому кожне прогнозне значення розраховували окремо — без врахування відповідного року, для якого здійснювався прогноз (табл. 3).

Таблиця 3

Розрахункові рівні ризику погіршення якості води за показником BCK_5

Table 3

Estimated risk levels of water quality deterioration based on BOD_5

Дата	Ризик прогнозований	Ризик за результатами спостережень
30.06.2024	33,2%	27,6%
30.06.2023	23,7%	23,8%
30.06.2022	20,6%	20,1%

Співставлення фактичних і прогнозованих значень засвідчило прийнятний рівень розбіжності (до 17%), що підтверджує достовірність обраного підходу навіть за умов обмеженого та нерегулярного моніторингового забезпечення.

Оцінка ризику погіршення якості вод річки Дунай за показником BCK_5 вказує на перевищення порогового рівня, встановленого нормативами країн ЄС (10%).

Висновки

Запропонований підхід дозволяє здійснювати прогнозування екологічних показників навіть тоді, коли реальні моніторингові дані не відповідають стандартним статистичним вимогам (нерівномірність, відсутність повного ряду, пропуски тощо). Апроксимація лінії тренду дає змогу визначити загальні закономірності зміни показника та спрогнозувати ймовірні значення й ризики.

Встановлено, що концентрація органічних речовин у водах річки Дунай (за показником BCK_5) на рівні забезпеченості 10% стабільно перевищує граничне значення, встановлене нормативами ЄС (3 мг/дм³). Це свідчить про наявність стійкої тенденції до погіршення якості води, що може бути наслідком як зростання антропогенних навантажень, так і змін клімату.

Відповідно до положень Водної рамкової

директиви ЄС, які Україна зобов'язана імплементувати, перевищення гранично допустимих концентрацій не повинне спостерігатися більш ніж у 10% усіх вимірювань. Врахування цього критерію є ключовим у процесі гармонізації українського екологічного законодавства з європейськими стандартами.

Методика прогнозування на основі трендової лінії є дієвим інструментом для екологічного аналізу за умов нерегулярного моніторингу. Вона забезпечує можливість кількісного оцінювання ризиків перевищення нормативів та дозволяє сформулювати обґрунтовані висновки щодо поточного стану і майбутньої динаміки якості вод. Це особливо важливо в умовах імплементції Україною європейських екологічних директив, де на перше місце виходить відповідність кількісним критеріям та інтегрована оцінка водного середовища.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Список використаної літератури

1. Ismail A.H., Robescu, L.D. Assessment of water quality of the Danube river using water quality indices technique. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2019. Vol. 18. No 8. P. 1727-1737. DOI: <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2019.163>
2. Frincu R. Long-Term Trends in Water Quality Indices in the Lower Danube and Tributaries in Romania (1996–2017). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol.18. No 4. P.1665, DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18041665>
3. Iticescu C, Georgescu LP, Murariu G, Topa C, Timofti M, Pintilie V, Arseni M. (2019) Lower Danube Water Quality Quantified through WQI and Multivariate Analysis. *Water*. Vol.11. No 6. P.1305. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11061305>
4. Колісник А., Пилип'юк, В. Оцінка екологічного ризику погіршення стану поверхневих вод суббасейну середнього Дніпра в межах Полтавської області. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. № 4. С. 61–69. DOI: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-6>
5. Безсонний В.Л., Третяков О.В., Некос А.Н., Чістов Є.В. Прогнозування показників кисневого режиму р. Дунай. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2024. Вип. 42. С. 6-23. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-01>
6. Pekarova P., Onderka M., Pekar J., Roncak P., Miklanek P. Prediction of Water Quality in the Danube River Under extreme Hydrological and Temperature Conditions. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2009. Vol. 57, 3-15. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10098-009-0001-5>
7. Salvai A., Grabic J., Zemunac R., Antonic N. Trend Analysis of Water Quality Parameters in the Middle Part of the Danube Flow in Serbia. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2022. Vol.29. No 1. P. 51-63. DOI: <https://doi.org/10.2478/eces-2022-0006>
8. Georgescu L., Moldovanu S., Iticescu C., Calmuc M. Assessing and forecasting water quality in the Danube River by using neural network approaches. *The Science of the Total Environment*. 2023. Vol.879, 162998. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162998>
9. Vaikunta Rao, Pravin R.K. shirsagar, Kuan Tak Tan, Sivaneasan Bala Krishnan, Shrikant V. Sonekar and Sayali Zade. The Assessment of Water Quality Forecasting Using AI-Based ML Algorithms. *Metallurgical and Materials Engineering*. 2025. Vol.31. No 4. P. 942–961. DOI: <https://doi.org/10.63278/1539>
10. Ooi K.S., Chen Z.Y., Poh P. E., Cui J. BOD5 prediction using machine learning methods. *Water Supply*.

- 2022.Vol.22. No 1. P. 1168–1183. DOI: <https://doi.org/10.2166/ws.2021.202>
11. Kim S., Alizamir M., Seo Y., Heddam S., Chung I. Estimating the incubated river water quality indicator based on machine learning and deep learning paradigms: BOD₅ Prediction. *Mathematical Biosciences and Engineering*. 2022. Vol.19. No 12. P.12744-12773, DOI:<https://doi.org/10.3934/mbe.2022595>
 12. Водний кодекс України. Кодекс України; Закон, Кодекс від 06.06.1995 № 213/95-ВР URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (дата звернення: 15.05.2025).
 13. Про охорону навколишнього природного середовища. Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (дата звернення: 15.05.2025).
 14. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). МОЗ України; Наказ, Норми, Правила від 12.05.2010 № 400 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення 15.05.2025).
 15. Про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики. Європарламент, Рада ЄС; Директива, Міжнародний документ від 23.10.2000 № 2000/60/ЄС URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (дата звернення 15.05.2025).
 16. COUNCIL DIRECTIVE 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0440&from=en>
 17. COUNCIL DIRECTIVE 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. Retrieved from: <http://river.bio.auth.gr/wp-content/uploads/2016/09/Directive-76-160-EEC-Bathing-Water.pdf>
 18. COUNCIL DIRECTIVE 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. Retrieved from: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/eu_659-78.pdf
 19. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=EN>
 20. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Retrieved from: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF
 21. DIRECTIVE (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
 22. Юрасов С.М., Терзєман В.В. (2023) Якість вод: оцінка, мінливість, прогноз, нормування. LAP LAMBERT Academic Publishing, URL: <https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/9786206846079> (дата звернення: 09.10.2024).
 23. Юрасов С. М., Караулов В. Д., Терзєман В. В. Удосконалення оцінки і прогнозу якості іригаційних вод. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 43. С. 33 - 46. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03>

Стаття надійшла до редакції 18.04.2025

Стаття рекомендована до друку 21.05.2025

V. V. TERZEMAN¹,

Postgraduate student of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: mikkymailz@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2298-1003>

S. M. YURASOV¹, PhD (Technic), Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4312-249X>

Odesa I.I. Mechnikov National University
15 Lvivska St., Odesa, 65016, Ukraine

FORECAST OF ORGANIC MATTER CONTENT IN THE WATERS OF THE DANUBE RIVER (KILIA)

Purpose. To assess and forecast the risk of water quality deterioration in the Danube River within the city of Kiliya based on the biochemical oxygen demand (BOD₅) indicator.

Methods. Statistical analysis methods were applied, including the lognormal distribution to estimate the probabilities of exceeding threshold concentrations, and extrapolation of the trend line to forecast the dynamics of the BOD₅ indicator. Data visualization was performed by constructing graphs for various time intervals.

Results. The comparison between actual and forecasted BOD₅ values showed a satisfactory level of discrepancy (up to 17% for risk assessment and up to 5% for actual values), confirming the effectiveness of the chosen approach even under conditions of irregular monitoring data, while taking into account ecological standards and EU Directive requirements. It was found that the concentration of organic substances in the water at the 10% probability level significantly exceeds the ecologically permissible value of 3 mg/dm³ (according to EU standards) and shows a tendency for gradual increase.

Conclusion. The results of the study confirm the effectiveness of the applied approach to water quality forecasting under conditions of irregular monitoring. The use of the lognormal distribution combined with trend line extrapolation allowed for reliable estimations of both the actual state of the water and the probability of exceeding ecologically hazardous concentrations.

KEYWORDS: *Danube, BOD₅, water quality, organic pollution, forecast, lognormal distribution, monitoring, risk*

References

1. Ismail, A.H., & Robescu, L.D. (2019). Assessment of water quality of the Danube river using water quality indices technique. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(8), 1727-1737. <http://dx.doi.org/10.30638/eemj.2019.163>
2. Frincu, R. (2021). Long-Term Trends in Water Quality Indices in the Lower Danube and Tributaries in Romania (1996–2017) *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1665. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18041665>
3. Iticescu, C., Georgescu, L.P., Murariu, G., Topa, C., Timofti, M., Pintilie, V., & Arseni, M. (2019). Lower Danube Water Quality Quantified through WQI and Multivariate Analysis. *Water*, 11(6):1305. <https://doi.org/10.3390/w11061305>
4. Kolisnyk, A., & Pylypiuk, V. (2022). Assessment of Ecological Risk of Surface Water Quality Deterioration in the Sub-basin of the Middle Dnipro within Poltava Region. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 61-69. <https://doi.org/10.32782/pcsd-2022-4-6> (in Ukrainian)
5. Bezsonnyi, V. L., Tretyakov, O. V., Nekos, A. N., & Chistov, Ye. V. (2024). Prediction of oxygen regime indicators in Danube river. *Man and Environment. Issues of Neocology*, (42), 6-23. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2024-42-01> (in Ukrainian)
6. Pekarova, P., Onderka, M., Pekar, J., Roncak, P., & Miklanek, P. (2009). Prediction of Water Quality in the Danube River Under extreme Hydrological and Temperature Conditions. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 57, 3-15. <https://doi.org/10.2478/v10098-009-0001-5>
7. Salvai, A., Grabic, J., Zemunac, R., & Antonic, N. (2022). Trend Analysis of Water Quality Parameters in the Middle Part of the Danube Flow in Serbia. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 29(1), 51-63. <https://doi.org/10.2478/eces-2022-0006>
8. Georgescu, L., Moldovanu, S., Iticescu, C., & Calmuc, M. (2023). Assessing and forecasting water quality in the Danube River by using neural network approaches. *The Science of the Total Environment*. 879. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162998>
9. Vaikunta, Rao, Pravin, R.K. Shirsagar, Kuan Tak Tan, Sivaneasan Bala Krishnan, Shrikant V. Sonekar & Sayali Zade (2025). The Assessment of Water Quality Forecasting Using AI-Based ML Algorithms. *Metallurgical and Materials Engineering*, 31(4), 942–961. <https://doi.org/10.63278/1539>
10. Ooi, K.S., Chen, Z.Y., Poh, P. E., & Cui, J. (2022). BOD₅ prediction using machine learning methods. *Water Supply*, 22 (1) 1168–1183. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.202>
11. Kim, S., Alizamir, M., Seo, Y., Heddam, S., & Chung, I. (2022). Estimating the incubated river water quality indicator based on machine learning and deep learning paradigms: BOD₅ Prediction. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 19(12), 12744-12773. <https://doi.org/10.3934/mbe.2022595>
12. Water Code of Ukraine. Code of Ukraine; Law, Code dated 06.06.1995 No. 213/95-VR. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (Accessed: 15.05.2025) (in Ukrainian).
13. On Environmental Protection. Law of Ukraine dated 25.06.1991 No. 1264-XII. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> (Accessed: 15.05.2025) (in Ukrainian).
14. On Approval of the State Sanitary Norms and Rules "Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption" (DSanPiN 2.2.4-171-10). Ministry of Health of Ukraine; Order, Norms, Rules dated 12.05.2010 No. 400. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (Accessed: 15.05.2025) (in Ukrainian).
15. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text (Accessed: 15.05.2025) (in Ukrainian)
16. COUNCIL DIRECTIVE 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

- [content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0440&from=en](#)
17. COUNCIL DIRECTIVE 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. Retrieved from: <http://river.bio.auth.gr/wp-content/uploads/2016/09/Directive-76-160-EEC-Bathing-Water.pdf>
 18. COUNCIL DIRECTIVE 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. Retrieved from: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/eu_659-78.pdf
 19. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=EN>
 20. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Retrieved from: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF
 21. DIRECTIVE (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>
 22. Yurasov, S.M., & Terzemam, V.V. (2023). Water Quality: Assessment, Variability, Forecasting, Regulation. LAP LAMBERT Academic Publishing, Retrieved from <https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/9786206846079> (Accessed: 09.10.2024) (in Ukrainian).
 23. Yurasov, S. M., Karaulov, V.D., & Terzeman, V.V. (2025). Improved assessment and forecasting of irrigation water quality. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (43), 33-46. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03> (in Ukrainian)

The article was received by the editors 18.04.2025

The article is recommended for printing 21.05.2025