

УДК 504.4.54

ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ПРИ УПРАВЛІННІ ЯКІСТЮ РІЧКОВИХ ВОД ЗГІДНО ВИМОГ ВОДНОЇ РАМКОВОЇ ДИРЕКТИВИ

С. М. Юрасов, В. В. Терземан

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
вул. Всеволода Змієнка, 2, 65000, Одеса, Україна,
urasen54@gmail.com, mikkymailz@gmail.com

Дослідження присвячене формуванню науково обґрунтованих рекомендацій щодо інтеграції вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу та планів управління річковими басейнами (у тому числі, в частині застосування статистичних методів) у процес розрахунку гранично допустимих скидань забруднювальних речовин зі стічними водами за чинними вітчизняними методиками. Як приклад розглянуто басейн річки Дунай на основі даних спостережень за 2015-2024 рр. Особливу увагу приділено питанням оцінювання та прогнозування якості вод, що є ключовими елементами процедури її нормування.

У дослідженні проаналізовано водне законодавство країн Європейського Союзу щодо оцінювання якості поверхневих вод. Відповідно до положень ВРД та на початковому етапі ПУРБ, якість вод у водному об'єкті за певний попередній період вважається такою, що відповідає стандартам ЄС, якщо ймовірність перевищення (забезпеченість) нормативу для кожного показника не більше заданої межі F . Виходячи з цього, пропонується здійснювати нормування, а також пов'язані з ним оцінювання та прогнозування якості поверхневих вод, із використанням значень показників із забезпеченістю F . Такий підхід дозволяє узгодити національні методики цих розрахунків із законодавчими вимогами ЄС.

Запропоновані положення були апробовані на основі аналізу часової мінливості показників якості вод у річці Дунай. Показано, що при використанні середніх значень показників вимоги ВРД і ПУРБ часто не виконуються, оскільки рівень забезпеченості цих значень може суттєво перевищувати встановлені межі частоти перевищення ГДК. Для поступового досягнення «доброго стану» поверхневих водних об'єктів відповідно до ВРД і ПУРБ доцільно використовувати значення показників із рівнями забезпеченості 10%, 5% та 2,5% як розрахункові (фонові) значення під час регулювання скидань забруднювальних речовин зі стічними водами. Крім того, за наявності часових трендів показників їхні значення слід прогнозувати, щоб забезпечити відповідність вимогам ВРД, особливо у випадку позитивних трендів.

Ключові слова: оцінка якості вод, гранично допустиме скидання, фонові характеристики, директиви ЄС, прогноз якості вод.

1. ВСТУП

Актуальною проблемою сучасної екологічної політики є оцінка і регулювання якості вод (ЯВ). Процедура оцінювання ЯВ є ключовою при вирішенні багатьох екологічних завдань, у тому числі при нормуванні скидів забруднювальних речовин (ЗР) із стічними водами. Оскільки, у процесі розрахунку гранично допустимих скидів (ГДС) оцінюється не лише якість фонових стану водотоку або водойми, але й якість вод у контрольному створі відповідного скидання. В контексті перевірки дотримання вимог норм Європейського Союзу в перспективному періоді оцінювання якості води тісно пов'язане з її прогнозуванням, що передбачає врахування часової мінливості показників ЯВ.

Водна Рамкова Директива (*Directive*

2000/60/EC) [1] визначає стратегічні засади водної політики ЄС, спрямованої на досягнення доброго екологічного та хімічного станів масивів поверхневих вод (МПВ). Директива передбачає поетапність реалізації цілей та можливість відстрочки їх досягнення з об'єктивних причин. На початковому етапі держави-члени мають використовувати зібрану раніше інформацію про антропогенні навантаження відповідно до положень попередніх директив (75/440/EC, 76/160/EEC, 78/659/EEC) [2–4], зокрема щодо підходів до оцінювання ЯВ на основі частоти перевищень нормативів.

Положення Додатку V ВРД [1] допускають застосування статистичних методів, у тому числі процентильного підходу, для перевірки відповідності показників ЯВ екологічним нормативам (MAC-EQS) [5]. Такі методи є

особливо доцільними під час встановлення обмежень щодо частоти перевищень нормативів та забезпечення потрібного рівня достовірності результатів на завершальних етапах досягнення доброго стану МПВ.

У процесі імплементації європейських екологічних стандартів в Україні розроблені плани управління річковими басейнами (ПУРБ) на перший шестирічний цикл (2025–2030 рр.), які передбачають поступове зниження антропогенного навантаження та поетапне досягнення доброго стану МПВ до 2042 року. Це створює підґрунтя для використання статистичних обмежень, починаючи з менш жорстких – від 10 і 5% до 2,5% (див. далі).

Аналіз наукових публікацій [6–11] свідчить про брак досліджень, що зосереджуються на поєднанні статистичних методів із національними процедурами нормування ЯВ у контексті вимог ВРД і ПУРБ. Попередні роботи розглядали правові аспекти регулювання скидів ЗР, комплексні індекси оцінювання ЯВ або екологічні наслідки скидів, однак питання застосування статистичних характеристик розподілів показників ЯВ у процесі нормування залишаються недостатньо опрацьованими.

Метою даної роботи є розроблення науково обґрунтованих пропозицій щодо поступового зниження антропогенного навантаження на МПВ шляхом удосконалення вітчизняних методик оцінювання ЯВ і нормування скидів ЗР у відповідності до вимог ВРД та початкового етапу реалізації ПУРБ.

Для досягнення мети передбачено виконання таких завдань: аналіз часової мінливості показників ЯВ; визначення параметрів їх часових трендів та розподілів; розрахунок значень показників із заданою забезпеченістю; формування пропозицій щодо вдосконалення методик оцінювання та нормування ЯВ; демонстрація результатів на прикладі річки Дунай.

Об'єктом дослідження є якість поверхневих вод, предметом – нормування ЯВ відповідно до вимог директив ЄС під час скидів ЗР зі стічними водами.

Наукова новизна полягає у запропонованому використанні значень показників ЯВ із заданою забезпеченістю як фонових характеристик при встановленні ГДС, що забезпечує узгодження національних підходів із європейськими принципами статистичного контролю якості води.

2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі використано дані спостережень Басейнового управління водних ресурсів на річки Дунай (м. Кілія, питний водозабір) за період 2015–2025 рр.

Аналіз часової мінливості здійснено для показників: PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- . У статті представлені вибрані результати досліджень, що підтверджують пропозиції авторів.

2.1 Оцінка і прогноз якості вод

Оцінювання якості вод. Відповідно до вимог директив ЄС, якість води (ЯВ) визначається за методом детального аналізу, суть якого полягає у зіставленні фактичних значень кожного показника ЯВ із установленими нормативами. Показники якості поділяються на розмірні та безрозмірні.

До розмірних належать, зокрема, концентрації окремих речовин – нітрит-іонів (NO_2^-), фосфат-іонів (PO_4^{3-}), іонів марганцю (Mn^{2+}) та інших, що вимірюються в міліграмах на дециметр кубічний (мг/дм³). Безрозмірні показники являють собою співвідношення концентрацій іонів у еквівалентах, наприклад натрію (rNa^+) чи магнію (rMg^{2+}) до кальцію (rCa^{2+}). Такі коефіцієнти (k_{Na} , k_{Mg}) застосовуються для оцінювання іригаційних вод щодо ризику натрієвого або магнієвого осолонцювання ґрунтів [12–14].

До окремої групи належить показник Ψ – сума відношень значень показників із однаковою лімітуючою ознакою шкідливості до їхніх нормативів. Він використовується для кількісної оцінки речовин, що проявляють ефект сумарної дії [15].

Виконання вимог норм забезпечується дотриманням відповідних умов [16]:

$$C_i \leq H_i. \quad (1)$$

$$\Psi = \sum (C_i/H_i) \leq 1. \quad (2)$$

де C_i – значення i -ого показника (концентрація речовини); H_i – норматив i -ого показника.

Оцінювання якості води за певний ретроспективний період на першому етапі досягнення доброго стану МПВ відповідно до ВРД і директив [2–4] здійснюється шляхом визначення кількості випадків перевищення нормативів (H) для кожного показника. При застосуванні статистичних методів дослідження говорять про ймовірність перевищення

(забезпеченість) H . Якість води вважається такою, що відповідає нормам, якщо забезпеченість H не більше встановленого обмеження F за аналізований період.

Обмеження F може набувати значення 10% (за санітарними нормами) або 5% (за рибогосподарськими) [2–4]. Якщо встановлюється умова не перевищення H , то F доцільно прийняти 2,5%, використовуючи правило «двох сигм». Ця умова може бути ще більш жорсткою – 0,15%, орієнтуючись на правило не двох, а «трьох сигм». Оцінювання якості води відповідно до вимог ЄС може бути виконано за умови використання значень показників (C_F) із забезпеченістю F [15, 16]: якщо C_F не більше H , то ризик його перевищення буде не більше за F .

У діючих українських методиках подібний підхід наразі не передбачений: зазвичай оцінка якості виконується за середніми значеннями показників ($C_{СЕР}$). Проте навіть при дотриманні умов (1) і (2) ризик перевищення H може сягати 50%, якщо $C_{СЕР}$ наближене до нормативу або збігається з ним.

Часова мінливість показників може мати сталий тренд – як низхідний, так і висхідний. Через це оцінка, виконана лише на основі попередніх даних, не завжди репрезентативна щодо майбутнього стану водного об'єкта. Для підвищення достовірності оцінки ЯВ потрібно враховувати часові тренди та здійснювати прогнозування значень її показників.

Прогноз якості води. Прогнозне значення показника ЯВ у моменті часу j із забезпеченістю F за наявності часового тренду може бути розраховане за формулою (3) [17, 18]:

$$C_{Fij} = a_i \exp(jb_i) \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; 0; \check{G}_{NTi}), \quad (3)$$

де C_{Fij} – прогнозоване значення i -го показника якості води із забезпеченістю F в момент часу j ;

a_i та b_i – параметри експоненціального тренду для i -го показника;

j – момент часу (календарна дата або порядковий номер місяця при щомісячних вимірюваннях);

$\text{ЛОГНОРМОБР}()$ – стандартна функція Excel;

F – забезпеченість (ймовірність перевищення нормативу);

0 і $\check{G}_{NTi}$ – параметри логнормального розподілу показника якості води за умови нормування його значень відносно експоненціального тренду [18, 19].

Функція $\text{ЛОГНОРМОБР}()$ повертає таке значення x випадкової величини X , ймовірність якого дорівнює заданому значенню P . В аналітичній формі відповідну залежність для логнормального розподілу можна подати так:

$$P(X \leq x) = \int_0^x \frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}} dt. \quad (4)$$

За умови слабого часового тренду або його відсутності значення показника з заданою забезпеченістю F у минулому та майбутньому вважається практично сталим, тобто не залежним від часу, і може бути визначене за формулою (5) [17, 18]

$$C_{Fi} = \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; \check{C}_i; \check{G}_i), \quad (5)$$

де $\check{C}_i$ і $\check{G}_i$ – параметри логнормального розподілу відповідного показника. Параметрами логнормального закону розподілу показника ЯВ є середнє та середньоквадратичне відхилення його логарифмованих значень.

Знання параметрів закону розподілу показника дозволяє здійснювати оцінку ЯВ відповідно до вимог норм двома способами: через співвідношення (1) і (2) із використанням C_F , а також за ймовірністю перевищення нормативу (забезпеченість), яку можна розглядати як ризик погіршення ЯВ (R_H) за конкретним показником [18]. У разі наявності часового тренду показника R_H визначається за формулою (6), а при відсутності тренду – за формулою (7) [18].

$$R_{Hij} = 1 - \text{ЛОГНОРМРАСП}(H_i / (a_i \exp(jb_i)); 0; \check{G}_{NTi}), \quad (6)$$

$$R_{Hi} = 1 - \text{ЛОГНОРМРАСП}(H_i; \check{C}_i; \check{G}_i), \quad (7)$$

R_{Hi} – ризик погіршення ЯВ за i -м показником; H_i – норматив i -го показника.

При R_H більш F ЯВ не відповідає вимогам норм, у протилежному випадку – відповідає

$$R_{Hi} \leq F. \quad (8)$$

2.2 Нормування якості вод

Згідно зі статтею 4 Directive 2008/105/EC (цитата): «1. Member States may designate mixing zones adjacent to points of discharge. Concentrations of one or more substances listed in Part A of Annex I may exceed the relevant EQS within such mixing zones if they do not affect the compliance

of the rest of the body of surface water with those standards.» (кінець цитати). Це означає, що країни-члени ЄС можуть самостійно визначати зони змішування, розташовані поблизу точок скидання стічних вод. У цих зонах концентрації речовин із частини А Додатку I *Directive* 2008/105/ЄС можуть перевищувати нормативи, але вони мають бути враховані в планах управління річковими басейнами (ПУРБ), розроблених відповідно до статті 13 ВРД. Надалі країни повинні поступово зменшувати площу таких зон. Таким чином, *Directive* 2008/105/ЄС допускає тимчасове перевищення нормативів у стічних водах на шляху до досягнення доброго стану МПВ, а скорочення антропогенного навантаження здійснюється поступово.

Під час скидів ЗР у водні об'єкти різного призначення ЯВ у контрольних створах повинна відповідати вимогам ВРД. Проте наявні методичні рекомендації [19, 20] щодо розрахунку гранично допустимих скидів (ГДС) ЗР не дозволяють перевірити виконання цих умов через відсутність даних про ймовірнісні характеристики фонових значень показників ЯВ. У [19] за фонове приймається верхня межа 95% довірчого інтервалу ймовірних середніх значень показника за найгірші гідрохімічні або гідрологічні сезони року.

Цю проблему можна вирішити, якщо за фонові приймати значення показників із заданою забезпеченістю F . Тоді розрахунок ГДС ЗР дозволяє визначити таку концентрацію речовини в стічних водах ($C_{ГДСF}$), при якій забезпеченість (ризик перевищення) H за кожним показником ЯВ у контрольному створі у майбутньому не перевищуватиме F (за умови постійного скидання), оскільки додавання константи до випадкової величини не змінює її варіації. При наявності часових трендів показників ЯВ значення фонових характеристик можуть бути прогнозовані за формулою (3).

Таким чином, формула розрахунку гранично допустимої для скидання концентрації консервативної речовини в стічних водах ($C_{ГДСF}$) [20] у водних об'єктах може бути подана у вигляді (9).

$$C_{ГДСF} = n \cdot (H_i - C_{iF}) + C_{iF}, \quad (9)$$

де n – кратність розбавлення стічних вод у контрольному створі; C_{iF} – значення показника забезпеченістю F , прийняте як фонове.

Для групи консервативних речовин із ефектом

сумації [21] формула визначення гранично допустимого значення показника в стічних водах записується у вигляді (10)

$$\Psi_{ГДСF} = n \cdot (1 - \Psi_F) + \Psi_F, \quad (10)$$

де $\Psi_{ГДСF}$ – гранично допустиме для скидання значення показника Ψ у стічних водах; 1 – норматив показника Ψ ; Ψ_F – значення показника Ψ забезпеченістю F , прийняте як фонове.

Для кожного спостережуваного періоду показник Ψ обчислюється за формулою (2), після чого, як і для інших показників, аналізується його часова мінливість та визначаються необхідні статистичні характеристики.

Формули (9) і (10) дозволяють визначити такі значення показників у стічних водах, за яких у контрольному створі у майбутньому буде виконуватися умова (8).

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Оцінка і прогноз якості вод річки Дунай

Результати обробки спостережень на Дунаї наведені в табл. 1. У таблиці представлено: середні значення показників; значення із забезпеченістю $F = 10, 5$ і $2,5\%$; прогнозні значення показників із згаданою забезпеченістю F на дату 31.12.2026 р.

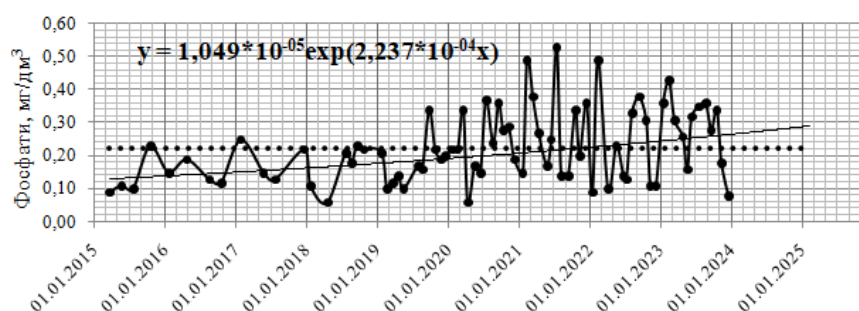
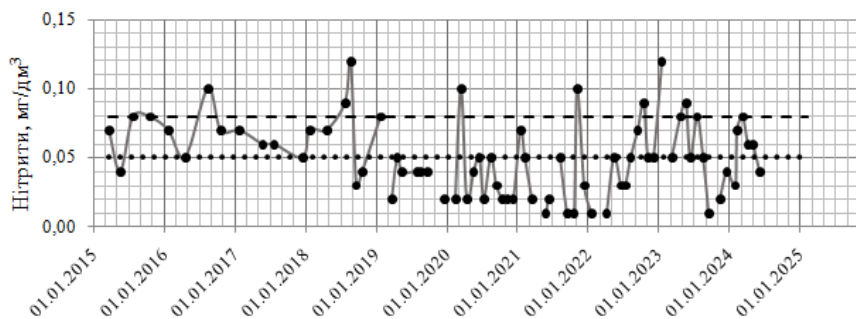
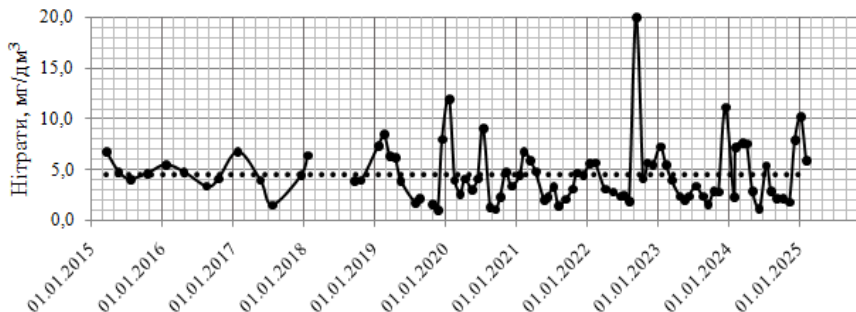
Середній вміст фосфат-іонів (PO_4^{3-}) в водах Дунаю за період спостережень 2015–2023 рр. ($C_{СЕР} = 0,224$ мг/дм³) не перевищував рибогосподарський норматив ($H = 1,2$ мг/дм³) (табл. 1).

Значення PO_4^{3-} (C_F) із забезпеченістю 10, 5 та 2,5% за період спостережень без урахування тренду дорівнюють – 0,379, 0,456 і 0,535 мг/дм³, з урахуванням тренду наприкінці періоду спостережень – 0,481, 0,571 і 0,662 мг/дм³. Прогнозні значення показників ($C_{ФПР}$) без урахування тренду (підкреслені у табл. 1) дорівнюють значенням за минулий період спостережень.

Прогнозні значення PO_4^{3-} ($C_{ФПР}$) з урахуванням тренду складають – 0,615, 0,729 і 0,846 мг/дм³ (виділені напівжирним шрифтом). Усі перелічені значення показника PO_4^{3-} не перевищують рибогосподарський норматив. Це зазначає, що вимоги ЄС щодо цього показника виконувалися у минулому і будуть дотримані у найближчому майбутньому.

Таблиця 1 – Показники якості вод річки Дунай та їх характеристики
Table 1 - Water quality indicators of the Danube River and their characteristics

2015–2023 (PO_4^{3-})		C_{CER}	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	C_{10PP}	C_{5PP}	$C_{2,5PP}$
$\check{C}$	-1,619	0,224	0,379	0,456	0,535	<u>0,379</u>	<u>0,456</u>	<u>0,535</u>
$\check{G}$	0,5069							
$\check{C}_{HT}$	0		0,481	0,571	0,662	0,615	0,729	0,846
$\check{G}_{HT}$	0,4206							
2015–2024 (NO_2^-)		C_{CER}	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	C_{10PP}	C_{5PP}	$C_{2,5PP}$
$\check{C}$	-3,169	0,0504	0,098	0,124	0,152	0,098	0,124	0,152
$\check{G}$	0,6571							
2015–2024 (NO_3^-)		C_{CER}	C_{10}	C_5	$C_{2,5}$	C_{10PP}	C_{5PP}	$C_{2,5PP}$
$\check{C}$	1,334	4,51	8,10	10,1	12,1	8,10	10,1	12,1
$\check{G}$	0,5922							

Рис. 1 – Хронологічна мінливість показника PO_4^{3-} (р. Дунай, м. Кілія)Fig. 1 - Chronological variability of the PO_4^{3-} indicator (Danube River, Kiliya town)Рис. 2 – Хронологічна мінливість показника NO_2^- (р. Дунай, м. Кілія)Fig. 2 - Chronological variability of the NO_2^- indicator (Danube River, Kiliya city)Рис. 3 – Хронологічна мінливість показника NO_3^- (р. Дунай, м. Кілія)Fig. 3 - Chronological variability of the NO_3^- indicator (Danube River, Kiliya city)

Проте, за прогнозом на кінець 2030 року (31.12.2030), з урахуванням збереження поточної тенденції (параметри тренду наведені на рис. 1),

значення показника з забезпеченістю 2,5% досягне 1,17 мг/дм³, що практично дорівнює нормативу. У такому випадку вимога наступних

етапів досягнення доброго стану МПВ відповідно до ВРД і ПУРБ (відсутність перевищень нормативу) може бути порушена. Тому скиди стічних вод із концентрацією фосфат-іонів понад норматив слід буде заборонити, а також вжити заходів для зменшення їх надходження з зосереджених та дифузних джерел. Середній вміст нітрит-іонів (NO_2^-) та нітрат-іонів (NO_3^-) в водах Дунаю протягом періоду спостережень не перевищував рибогосподарські нормативи ($H = 0,08$ мг/дм³ та 40 мг/дм³ відповідно). У цих показників часові тренди відсутні (рис. 2 і 3). Водночас, значення NO_2^- із забезпеченістю F (у табл. 1: $C_F = 0,098, 0,124$ та $0,152$ мг/дм³) перевищують норматив, що свідчить про порушення вимог ВРД та ПУРБ.

Що стосується нітрат-іонів, то їхній вміст в водах Дунаю відповідає критерію «доброго стану» (табл. 1).

3.2 Нормування якості вод річки Дунай за окремими показниками

Приклад розрахунку гранично допустимих для скидання значень розглянутих показників якості води (PO_4^{3-} , NO_2^- , NO_3^-) у стічних водах

наведено в табл. 2. Значення показників NO_2^- та NO_3^- із забезпеченістю F , прийняті як фонові, обчислені за формулою (5). Такий підхід застосовний за умови відсутності або наявності слабого тренду, а також обґрунтований при наявності негативного тренду, оскільки в цьому випадку розраховані ГДС будуть заниженими, проте у короткостроковій перспективі норми ЄС залишатимуться дотриманими. Якщо спостерігається позитивний часовий тренд, значення C_F слід визначати за формулою (3).

Для показника PO_4^{3-} значення $C_{ГДСF}$ розраховані з урахуванням тренду (виділено напівжирним шрифтом) і без його врахування (підкреслено). За табл. 2 видно, що виділені напівжирним шрифтом значення ($2,96, 2,61$ та $2,26$ мг/дм³) суттєво менш ніж підкреслені ($3,66, 3,43$ та $3,20$ мг/дм³).

При розрахунках ГДС для поступового досягнення доброго стану МПВ згідно ВРД та ПУРБ (при статистичному обмеженні кількості перевищень нормативів на рівні 10, 5 та 2,5%) пропонуються такі фонові значення показників ЯВ: $PO_4^{3-} - 0,615, 0,729$ та $0,846$ мг/дм³; $NO_2^- -$ дорівнює нормативу $0,08$ мг/дм³; $NO_3^- - 8,10, 10,1$ та $12,1$ мг/дм³.

Таблиця 2 - Розрахунок гранично допустимих для скидання значень показників у стічних водах
Table 2 - Calculation of maximum permissible discharge values for indicators in wastewater

Показник	H	$C_{СЕР}$	C_{10} (фон)	C_5 (фон)	$C_{2,5}$ (фон)	$C_{ГДС10}$	$C_{ГДС5}$	$C_{ГДС2,5}$
PO_4^{3-}	1,20	0,224	0,379	0,456	0,535	<u>3,66</u>	<u>3,43</u>	<u>3,20</u>
			0,615	0,729	0,846	2,96	2,61	2,26
NO_2^-	0,08	0,0504	0,098	0,124	0,152	0,08	0,08	0,08
NO_3^-	40	4,51	8,10	10,1	12,1	136	130	124

4. ВИСНОВКИ

1. Для поступового досягнення доброго стану МПВ відповідно до вимог ВРД на початковому етапі ПУРБ при розрахунку ГДС забруднювальних речовин із стічними водами доцільно у фоновому створі використовувати значення показників якості води C_F із забезпеченістю $F = 10, 5$ та $2,5\%$. Значення $C_{2,5}$ застосовуються для забезпечення відсутності перевищень нормативів на завершальних етапах ПУРБ.

2. Використання фонових характеристик C_F , розрахованих без урахування часового тренду, є допустимим при відсутності або наявності слабого тренду, при цьому вимоги норм ЄС лишаються дотриманими. У разі негативного тренду розраховані ГДС будуть заниженими, що

відповідає вимогам норм ЄС і є припустимим для охорони довкілля. Проте ігнорування позитивного часового тренду може призвести до порушення європейських стандартів у майбутньому.

3. При нормуванні скидань ЗР для поступового досягнення доброго стану МПВ згідно ВРД та ПУРБ Дунаю (при обмеженні кількості перевищень нормативів на рівні 10, 5 та $2,5\%$) пропонуються такі фонові значення показників ЯВ: $PO_4^{3-} - 0,615, 0,729$ та $0,846$ мг/дм³; $NO_2^- -$ дорівнює нормативу $0,08$ мг/дм³; $NO_3^- - 8,10, 10,1$ та $12,1$ мг/дм³.

4. На кінець 2030 року (31.12.2030), при збереженні існуючого тренду значення показника PO_4^{3-} із забезпеченістю $2,5\%$ досягне $1,17$ мг/дм³, що практично дорівнює нормативу. У такому випадку вимога наступних етапів досягнення

доброго стану МПВ відповідно до ВРД і ПУРБ (відсутність перевищень нормативу) може бути порушена.

5. Наступні дослідження слід спрямувати на техніко-економічне обґрунтування статистичних обмежень перевищення нормативів для показників, що не належать до пріоритетних, та впровадження цієї пропозиції на заключних етапах ПУРБ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. 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.
3. Council Directive 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water.
4. 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.
5. Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council.
6. Уберман, В.І., Васьковець Л.А. Адаптація українського правового регулювання скидання забруднювальних речовин до екологічного законодавства ЄС. Науковий вісник УНУ, Право, 2022. 71. С. 197–202. DOI: <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.71.33>
7. Уберман В. І., Васьковець Л. А. Поетапне наближення українського еколого-правового інституту якості вод та її регулювання до законодавства Європейського Союзу. Legislation of EU countries: history, shortcomings and prospects for the development. Frankfurt (Oder), Baltija Publishing. 2019. С. 334–354.
8. Бреус Д.С., Левченко М.В. Методи оцінювання та нормування якості природних водних ресурсів. Таврійський науковий вісник, 2019. 110(2). С. 126–131. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.110-2.20>
9. Sun, H., Tian, Yu, Cai, G., Li, L., Meng, Yi., Huang, X., Zhan, W., Zhou, X. Anthropogenic pollution discharges, hotspot pollutants and targeted strategies for urban and rural areas in the context of population migration: Numerical modeling of the Minjiang River basin. Environment International. 2022, 160. Pp. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107508>
10. Коробкова Г.В. Екологічне нормування якості поверхневих вод на прикладі басейну річки Сіверський Донець (в межах Харківської області): Дисертація на здобуття наукового ступеню к.геогр.н. Харків, 2018. 248 с.
11. Проскурнін О.А., Божко Т.В., Жук В.М., Комариста Б.М., Бендюг В.І. Доцільність врахування комплексних показників якості природної води при нормуванні скидань забруднюючих речовин із зворотними водами у водні об'єкти. Науковий вісник будівництва. 2022. 108(2). С. 79–84. DOI: <https://doi.org/10.29295/2311-7257-2022-108-2-79-84>
12. Yurasov, S.M., Karaulov, V.D., Terzeman, V.V. (2025). Improved assessment and forecasting of irrigation water quality. Man and Environment. Issues of Neocology, (43), 33–47. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03>
13. Yurasov S., Karaulov V. Improving methods for assessing the quality of water objects as sources of irrigation water (on the example of rivers in the Odesa region). Advances in Science and Technology. 2025. Vol. 162. Pp. 87–98. DOI: <https://doi.org/10.4028/v-nA4pb0>
14. Доценко В.І., Онопрієнко Д.М., Запорожченко В.Ю., Ткачук Т.І. Оцінка якості води для поливів сільськогосподарських культур: навчальний посібник. Дніпро. Акцент ПП. 2022. 149 с.
15. Yurasov, S., Safranov, T., Chugai, A., Kuryanova, S., Artvykh, Ju. Adapting the Methods for Assessing a Water Quality when Normalizing the Pollutant Discharges in Ukraine to the Regulatory Requirements of the European Union. Ecological Engineering & Environmental Technology, 2022. 23, 3. pp. 167–176. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/147447>
16. Юрасов, С.М., Терзєман, В.В. Якість вод: оцінка, мінливість, прогноз, нормування. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023.
17. 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. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2025-32-04>
18. Юрасов С.М. Прогноз ризику погіршення якості вод за окремими показниками. Матеріали 79-ї звітної наукової конференції проф.-викл. складу і наукових працівників ФГМЕ ОНУ ім. І. І. Мечникова. Одеса. ОНУ ім. І.І. Мечникова. 2024. С. 45–48. URL:
19. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища № 116 від 15.12.1994 р., 79 с.
20. Порядок розроблення нормативів гранично допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти та перелік забруднюючих речовин, скидання яких у водні об'єкти нормується: Постанова КМУ від 11.09.1996 р. № 1100 із змінами, внесеними згідно з Постановою КМУ від 13.12.2017 № 1091.
21. Юрасов С.Н., Курьянова С.А. Особливості нормування скидів речовин з ефектом сумарної дії. Молодий вчений. 2015. 9(24). с. 134–137.

REFERENCES

1. 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. (in English)
2. Directive 2006/7/EC of the European Parliament and of the Council of 15 February 2006 concerning the management of bathing water quality and repealing Directive 76/160/EEC. (in English)
3. 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.(in English)
4. 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. (in English)
5. Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC,

- 83/513/EEC, 84/156/EEC, 84/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. (in English).
6. Uberman, V.I., & Vaskovets, L.A. *Adaptatsiia ukrainskoho pravovoho rehuliuвання skydannya zabrudniuvalnykh rehovyn do ekolohichnoho zakonodavstva YeS* [Adaptation of Ukrainian legal regulation of pollutant discharges to the EU], Scientific Bulletin of UNU, Law, 71, pp. 197-202. (in Ukrainian)
 7. Uberman, V.I., & Vaskovets, L.A. *Poetapne nablyzhennia ukrainskoho zakonodavstva ekolo-ho-pravovoho instytutu yakosti vod ta yii rehuliuвання do zakonodavstva Yevropeiskoho Soiuzu. Legislation of EU countries: history, shortcomings and prospects for development* [Gradual approximation of the Ukrainian eco-legal institute of water quality and its regulation to the legislation of the European Union. Legislation of EU countries: history, shortcomings and prospects for development]. Frankfurt (Oder), Baltija Publishing, 2019. pp. 334-354. (in Ukrainian)
 8. Breus, D.S., & Levchenko, M.V. *Metody otsiniuvannya ta normuvannya yakosti pryrodnykh vodnykh resursiv* [Methods for assessment and regulation of the quality of natural water resources] Tavriyskyi Scientific Bulletin, 2019. 110(2), pp. 126-131. (in Ukrainian)
 9. Sun, H., Tian, Yu, Cai, G., Li, L., Meng, Yi., Huang, X., Zhan, W., & Zhou, X. (2022). Anthropogenic pollution discharges, hotspot pollutants and targeted strategies for urban and rural areas in the context of population migration: Numerical modeling of the Minjiang River basin. *Environment International*. 160. Pp. 1–11. (in English)
 10. Korobkova, H.V. *Ekolohichne normuvannya yakosti poverkhnevnykh vod na prykladi baseinu richky Siverskyi Donetsk (v mezhakh Kharkivskoi oblasti)* [Environmental regulation of surface water quality: the case of the Siverskyi Donetsk River basin (within Kharkiv Oblast)] Doctoral dissertation, PhD in Geography. Kharkiv, 2018. 248 pp. (in Ukrainian)
 11. Proskurnin, O.A., Bozhko, T.V., Zhuk, V.M., Komarista, B.M., & Bendug, V.I. *Dotsilnist vrakhuvannya kompleksnykh pokaznykiv yakosti pryrodnoi vody pry normuvanni skydan zabrudniuvalnykh rehovyn iz zvorotnykh vodamy u vodni obiekty* [The expediency of taking into account comprehensive indicators of natural water quality when regulating the discharge of pollutants with return waters into water bodies]. Scientific Bulletin of Construction, 2022. 108(2). Pp. 79-84. (in Ukrainian)
 12. Yurasov, S.M., Karaulov, V.D., & Terzeman, V.V. *Udoskonalennia otsinky i prohnozu yakosti iryhatsiinykh vod* [Improved assessment and forecasting of irrigation water quality]. Man and Environment. Issues of Neoeology, 2025. 43. pp 33-47. (in Ukrainian)
 13. Yurasov S., & Karaulov V. (2025). *Udoskonalennia metodiv otsinky yakosti vodnykh obektiv yak dzherel zroshuvanoi vody (na prykladi richok Odeskoi oblasti)* [Improving methods for assessing the quality of water objects as sources of irrigation water (on the example of rivers in the Odesa region)]. *Advances in Science and Technology*. 162. Pp. 87–98. (in Ukrainian)
 14. Dochenko, V.I., Onoprienko, D.M., Zaporozhchenko, V.Yu., & Tkachuk, T.I. *Otsinka yakosti vody dlia polyviv silskohospodarskykh kultur: navchalnyi posibnyk* [Assessment of water quality for irrigation of agricultural crops: a textbook]. Dnipro: Aktsent PP, 2022. 149 pp. (in Ukrainian)
 15. Yurasov, S., Safranov, T., Chugai, A., Kuryanova, S., & Artvykh, Ju. (2022). Adapting the Methods for Assessing a Water Quality when Normalizing the Pollutant Discharges in Ukraine to the Regulatory Requirements of the European Union, *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23, 3, pp. 167–176. (in English)
 16. Yurasov, S.M., & Terzeman, V.V. *Yakist vod: otsinka, minlyvist, prohnoz, normuvannya* [Water Quality: Assessment, Variability, Forecast, Regulation]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. (in Ukrainian)
 17. Terzeman, V. V., & Yurasov, S. M. *Prohnoz vmistu orhanichnykh rehovyn u vodakh richky Dunai (Kiliia)* [Forecast of organic matter content in the waters of the Danube river (Kilia)]. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 2025. (32), 61-70. (in Ukrainian)
 18. Yurasov S.M. *Prohnoz ryzyku pohirshennia yakosti vod za okremymy pokaznykamy* [Forecasting the risk of water quality deterioration by individual indicators]. Proceedings of the 79th reporting scientific conference of the academic staff and researchers of the FGME of the I. I. Mechnikov ONU, 2024. pp. 45-48. (in Ukrainian)
 19. Instruksiiia pro poriadok rozrobky ta zatverdzhennia hranychno dopustymykh skydiv (HDS) rehovyn u vodni obiekty iz zvorotnykh vodamy [Instruction on the Procedure for Developing and Approving Maximum Permissible Discharges (MPD) of Substances into Water Bodies with Wastewater]. Order of the Ministry of Environmental Protection No. 116, dated December 15, 1994. (in Ukrainian)
 20. Poriadok rozroblennia normatyviv hranychno dopustymoho skydannya zabrudniuvalnykh rehovyn u vodni obiekty ta perelik zabrudniuvalnykh rehovyn, skydannya yakykh u vodni obiekty normuietsia [Procedure for Developing Standards for Maximum Permissible Discharges of Pollutants into Water Bodies and the List of Pollutants Whose Discharges into Water Bodies Are Regulated]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1100, dated September 11, 1996, as amended by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1091, dated December 13, 2017. (in Ukrainian)
 21. Yurasov, S.N., & Kuryanova, S.A. *Osoblyvosti normuvannya skydiv rehovyn z efektom sumarnoi dii*. [Features of regulating discharges of substances with cumulative effects]. *Young Scientist*, 2015. 9(24), pp. 134-137. (in Ukrainian)

STATISTICAL METHODS IN RIVER WATER QUALITY MANAGEMENT IN ACCORDANCE WITH THE REQUIREMENTS OF THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE

S. M. Yurasov, V. V. Terzeman

I. I. Mechnikov Odesa National University
2 V. Zmiienka Str., Odesa, 65000, Ukraine
urasen54@gmail.com, mikky@mailz@gmail.com

The study is devoted to the development of scientifically grounded recommendations for integrating the requirements of the European Union Water Framework Directive (WFD) and River Basin Management Plans (RBMPs) into the process of calculating the maximum allowable discharges of pollutants from wastewater using current national methodologies. The Danube River basin is considered as an example based on monitoring data from 2015-2024. Special attention is paid to the assessment and forecasting of water quality, which are key elements of the water quality regulation procedure.

The study analyzes the water legislation of the European Union countries regarding the assessment of surface water quality. According to the provisions of the WFD and at the initial stage of RBMPs, the water quality in a water body over a certain past period is considered compliant with EU standards if the probability of exceeding the normative values (assurance level) for each indicator does not exceed a specified limit, F . Based on this, it is proposed to carry out regulation, as well as the associated assessment and forecasting of surface water quality, using indicators with assurance level F . This approach ensures alignment of national methodologies for these calculations with EU legislative requirements. The proposed provisions were tested using the analysis of temporal variability of water quality indicators in the Danube river. It was shown that when using average values of indicators, the WFD and RBMP requirements are often not met because the assurance level of these values can significantly exceed the established limits for the frequency of MAC exceedances. To gradually achieve “good status” of surface water bodies according to the WFD and RBMPs, it is advisable to use values of indicators with assurance levels of 10%, 5%, and 2.5% as the design (background) values when regulating pollutant discharges from wastewater. In addition, when temporal trends of indicators are present, their values should be forecasted to ensure compliance with the WFD requirements, especially in the case of positive trends.

Keywords: water quality assessment, maximum allowable discharge, background characteristics, EU directives, water quality forecasting.

Подання до редакції : 25. 11. 2025

Надходження остаточної версії : 12. 12. 2025

Публікація статті : 23. 12. 2025