

ТЕМА 3. МЕТОД КОМПЛЕКСНИХ ІНДЕКСІВ

3.1 Загальні уявлення щодо оцінки якості вод методом комплексних індексів

Комплексна оцінка якості вод використовується у випадках, коли необхідно простежити тенденцію просторово-часової зміни стану вод під впливом природних і антропогенних процесів, може бути вона використана так само для зіставлення стану водного середовища різних водних об'єктів.

Комплексні індекси, на основі яких здійснюється оцінка, розраховуються за всіма показниками якості вод або за їхніми частинами. Вони характеризують *стан води в цілому*, при цьому інформація по окремих показниках губиться.

Послідовність виконання оцінки складається із двох етапів: на першому етапі здійснюється розрахунок значення показника, а на другому – за розрахованим значенням індексу й за шкалою якості дається словесна характеристика води. Оцінка має декілька балів.

Розглянемо деякі з методик.

3.2 Індекс забруднення вод (ІЗВ)

ІЗВ розраховується за шістьма показниками [2] (NH_4^+ , NO_2^- , НП, феноли, O_2 , БСК_5) згідно з формулою

$$ІЗВ = (1/6) \sum (C_i / ГДК_i), \quad (3.1)$$

де C_i – середнє арифметичне значення показника якості води;
 $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація.

У формулі (3.1) для O_2 , ГДК ділиться на середнє значення його концентрації.

Таблиця 3.1 – Критерії оцінки якості вод за *ІЗВ* [1]

Клас якості води	Характеристика класу	Значення ІЗВ
Для поверхневих вод суші		
I	Дуже чиста	$\leq 0,30$
II	Чиста	0,31 – 1,00
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50
IV	Забруднена	2,51 – 4,00
V	Брудна	4,01 – 6,00
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0
VII	Надзвичайно брудна	$> 10,0$

Продовження табл. 3.1

Для морських вод		
I	Дуже чиста	$\leq 0,25$
II	Чиста	0,26 – 0,75
III	Помірно забруднена	0,76 – 1,25
IV	Забруднена	1,26 – 1,75
V	Брудна	1,76 – 3,00
VI	Дуже брудна	3,01 – 5,00
VII	Надзвичайно брудна	$> 5,00$

Модифікований *ІЗВ* [3] розраховується теж за шістьма показниками: БСК₅ і O₂ є обов'язковими, а інші чотири показника беруть за найбільшими відношеннями до ГДК зі списку: SO₄²⁻, Cl⁻, ХСК, NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻, Fe загальне, Mn²⁺, Cu²⁺, Zn²⁺, Cr⁶⁺, Ni²⁺, Al³⁺, Pb²⁺, Hg²⁺, As³⁺, НП, СПАР.

Критерії оцінки якості вод за *ІЗВ* наведені в табл. 3.1.

3.3 Комплексний індекс забруднення (*КІЗ*)

Умовний коефіцієнт комплексності [8] розраховується за формулою

$$K_{\%} = (m' / m) * 100\%, \quad (3.2)$$

де m' – кількість речовин, вміст яких перевищує ГДК;
 m – загальне число нормативних інгредієнтів, обумовлених програмою досліджень.

При $K < 10\%$ проводиться обстеження по конкретних забруднювальних речовинах. Визначаються максимальні концентрації і забезпеченість перевищень ГДК (1, 10, 100 ГДК).

При оцінці якості води за (*КІЗ*) проводиться триступенева класифікація [3].

Перший ступінь класифікації заснований на встановленні міри стійкості забруднення (повторюваності P випадків перевищення ГДК)

$$P_i = N_{ГДК_i} / N_i, \quad (3.3)$$

де $N_{ГДК_i}$ – число результатів аналізу, в яких вміст i -го інгредієнта перевищує його гранично допустиму концентрацію;

N_i – загальне число результатів аналізу i -го інгредієнта.

Другий ступінь класифікації ґрунтується на встановленні рівня забруднення, мірою якого є кратність K перевищення ГДК

$$K_i = C_i / ГДК_i. \quad (3.4)$$

Оціночні бали визначаються за табл. 3.2 і 3.3.

Таблиця 3.2 – Класифікація водних об'єктів за повторюваністю забруднення

Повторюваність, %	Характеристика забруднення води	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0 – 10	одиночне	<i>a</i>	1
10 – 30	нестійке	<i>b</i>	2
30 – 50	стійке	<i>c</i>	3
50 – 100	характерне	<i>d</i>	4

Таблиця 3.3 – Класифікація водних об'єктів за рівнем забруднення

Кратність перевищення нормативів	Характеристика рівня забруднення	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0 – 2	низький	<i>a</i> ₁	1
2 – 10	середній	<i>b</i> ₁	2
10 – 50	високий	<i>c</i> ₁	3
50 – 100	дуже високий	<i>d</i> ₁	4

Таблиця 3.4 – Оцінка стану вод водних об'єктів за окремими показниками

Комплексна характеристика стану забруднення води водних об'єктів	Загальні оціночні бали		Характеристика якості води водних об'єктів
	виражені умовно	абсолютні значення	
Одиночна забрудненість низького рівня	<i>a x a</i> ₁	1	слабо забруднена
– “ – середнього рівня	<i>a x b</i> ₁	2	забруднена
– “ – високого рівня	<i>a x c</i> ₁	3	брудна
– “ – дуже високого рівня	<i>a x d</i> ₁	4	брудна
Нестійка забрудненість низького рівня	<i>b x a</i> ₁	2	забруднена
– “ – середнього рівня	<i>b x b</i> ₁	4	брудна
– “ – високого рівня	<i>b x c</i> ₁	6	дуже брудна
– “ – дуже високого рівня	<i>b x d</i> ₁	8	дуже брудна
Стойка забрудненість низького рівня	<i>c x a</i> ₁	3	брудна
– “ – середнього рівня	<i>c x b</i> ₁	6	дуже брудна
– “ – високого рівня	<i>c x c</i> ₁	9	дуже брудна
– “ – дуже високого рівня	<i>c x d</i> ₁	12	неприпустимо брудна
Характерна забрудненість низького рівня	<i>d x a</i> ₁	4	брудна
– “ – середнього рівня	<i>d x b</i> ₁	8	дуже брудна
– “ – високого рівня	<i>d x c</i> ₁	12	неприпустимо брудна
– “ – дуже високого рівня	<i>d x d</i> ₁	16	неприпустимо брудна

При визначенні першого і другого ступенів класифікації води по кожному з інгредієнтів розраховують узагальнені оцінки якості води (табл. 3.4).

Для заключного, третього ступеня класифікації $KIЗ$ розраховується шляхом складання узагальнених оціночних балів S_i по усіх n показниках

$$KIЗ = \sum S_i . \quad (3.5)$$

Класифікація якості води (табл. 3.5) виконується у залежності від значення $KIЗ$ і кількості лімітуючих показників забруднення (ЛПЗ). До ЛПЗ води відносять будь-який показник, по якому значення S_i дорівнює 12 чи 16.

Таблиця 3.5 – Класифікація якості води водних об'єктів за значенням $KIЗ$

Клас якості води	Розряд класу якості	Характеристика забрудненості води	Значення $KIЗ$ з урахуванням ЛПЗ					
			без ЛПЗ	1ЛПЗ ($k=0,9$)	2ЛПЗ ($k=0,8$)	3ЛПЗ ($k=0,7$)	4ЛПЗ ($k=0,6$)	5ЛПЗ ($k=0,5$)
I	–	Слабо забруднена	$1n$	$0,9n$	$0,8n$	$0,7n$	$0,6n$	$0,5n$
II	–	Забруднена	$1n-2n$	$0,9n-1,8n$	$0,8n-1,6n$	$0,7n-1,4n$	$0,6n-1,2n$	$0,5n-1,0n$
III	–	Брудна	$2n-4n$	$1,8n-3,6n$	$1,6n-3,2n$	$1,4n-2,8n$	$1,2n-2,4n$	$1,0n-2,0n$
III	а	Брудна	$2n-3n$	$1,8n-2,7n$	$1,6n-2,4n$	$1,4n-2,1n$	$1,2n-1,8n$	$1,0n-1,5n$
III	б	Брудна	$3n-4n$	$2,7n-3,6n$	$2,4n-3,2n$	$2,1n-2,8n$	$1,8n-2,4n$	$1,5n-2,0n$
IV	а	Дуже брудна	$4n-6n$	$3,6n-5,4n$	$3,2n-4,8n$	$2,8n-4,2n$	$2,4n-3,6n$	$2,0n-3,0n$
IV	б	Дуже брудна	$6n-8n$	$5,4n-7,2n$	$4,8n-6,4n$	$4,2n-5,6n$	$3,6n-4,8n$	$3,0n-4,0n$
IV	в	Дуже брудна	$8n-10n$	$7,2n-9,0n$	$6,4n-8,0n$	$5,6n-7,0n$	$4,8n-6,0n$	$4,0n-5,0n$
IV	г	Дуже брудна	$10n-11n$	$9,0n-9,9n$	$8,0n-8,8n$	$7,0n-7,7n$	$6,0n-6,6n$	$5,0n-5,5n$

3.4 Коефіцієнт забруднення χ

Коефіцієнт забруднення χ розраховується за формулою (3.6), наведеною у [4]

$$\chi = \sum [(N_i / C_{i,d})\varphi(i)] / \sum \varphi(i), \quad (3.6)$$

де N_i – значення показника забрудненості;
 i – номер показника забрудненості в ранговій послідовності з m показників;

$C_{i,d}$ – норматив (ГДК) показника;
 $\varphi(i) = i / 2^{i-1}$ – вагова функція;
 $\Sigma\varphi(i)$ – приведена кількість показників.

Як основні беруться такі показники забрудненості з відповідною ранговою послідовністю (i): БСК₅ ($i = 1$); NH₄⁺ ($i = 2$); нафтопродукти ($i = 3$); O₂ ($i = 4$). Ранги іншим показникам встановлюють експертно або за співвідношенням $N_i / C_{i,d}$.

В залежності від значення коефіцієнта χ складено атестаційну шкалу оцінки ступеня забрудненості водного середовища (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Інтегральна оцінка забрудненості водного середовища

Коефіцієнт забруднення вод χ	Якісна оцінка ступеня забрудненості
до 1,00	Нешкідлива (чиста)
1 – 1,99	Мала
2 – 2,99	Припустима
3 – 3,99	Істотна
4 – 5,00	Інтенсивна
Більш 5,00	Катастрофічна

3.5 Комплексний показник екологічного стану (КПЕС)

Середнє значення $КПЕС_{СЕР}$ розраховується за формулою (3.7), наведеною у [5]

$$КПЕС_{СЕР} = (1/m) \Sigma КПЕС_j, \quad (3.7)$$

де m – кількість блоків показників якості вод (значень $КПЕС_j$).

З m блоків показників якості вод до першого входять показники, які не мають ефекту спільної дії, до інших блоків входять показники, які мають цей ефект.

Для першого блоку комплексний показник розраховується за формулою

$$КПЕС_1 = (1/n) \Sigma ПЕС_i, \quad (3.8)$$

де n – кількість показників у першому блоці;

$ПЕС_i$ – показник екологічного стану, розрахований для i -го показника якості.

Значення $ПЕС_i$ для i -го показника розраховуються за формулами:

$$ПЕС_i = a_i (H_i - П_i) / H_i, \quad (3.9)$$

$$ПЕС_i = a_i (П_i - H_i) / H_i, \quad (3.10)$$

де a_i – коефіцієнт вагомості i -го показника;
 P_i, H_i – значення показника (концентрація речовини) і його норматив.

Формула (3.9) використовується при обмеженні значень показника зверху. Для показників, обмежених знизу (O_2), використовується формула (3.10). При нормуванні показника (рН) у вигляді допустимого інтервалу $[H_{min} < P_i \leq H_{max}]$ значення $ПЕС_i$ розраховується за формулою (3.9), якщо значення показника перевищує H_{max} ; якщо значення показника нижче за H_{min} , то $ПЕС_i$ розраховується за формулою (3.10). Якщо показник знаходиться в середині інтервалу, то розрахунок виконується за формулами (3.9) і (3.10), а як $ПЕС_i$ береться мінімальне з одержаних значень.

Коефіцієнт вагомості a_i i -го показника пов'язаний з класом небезпеки. Якщо ступінь небезпеки зростає зі збільшенням номера класу ($кл$), то $a_i = кл$; якщо ступінь небезпеки зменшується зі збільшенням номера класу – $a_i = 1/кл$. Якщо клас небезпеки не вказано, то береться клас на один розряд нижче від мінімально небезпечного класу.

Для блоків з показниками якості, які мають ефект спільної дії, $КПЕС_j$ розраховується за формулою

$$КПЕС_j = 1 - \Sigma (P_i / H_i). \quad (3.11)$$

За санітарними нормами ефект сумарної дії мають показники 1 і 2 класів небезпеки з однаковою лімітуючою ознакою шкідливості (ЛОШ), за рибогосподарськими – з однаковою ЛОШ (без врахування класу небезпеки).

Екологічний стан водного об'єкта класифікується таким чином: при $КПЕС_{МИН} < 0$ і $КПЕС_{СЕР} < 0$ стан нестійкий; при $КПЕС_{МИН} > 0$ і $КПЕС_{СЕР} > 0$ – стійкий; при $КПЕС_{МИН} < 0$ і $КПЕС_{СЕР} > 0$ – стійкий з ознаками нестійкості.

3.6 Узагальнений екологічний індекс I_E

Оцінка якості поверхневих вод суші за узагальненим екологічним індексом I_E [7] повинна обов'язково включати три блоки показників:

- сольового складу;
- трофо–сапробіологічні (еколого–санітарні);
- специфічні токсичної і радіаційної дії.

Вихідні дані аналізуються по кожному блоку окремо. Результати подаються у вигляді єдиної екологічної оцінки, яка складається із заключних висновків по трьох блоках.

Екологічна оцінка якості води може бути орієнтовною і ґрунтовною. **Орієнтовна екологічна оцінка** виконується на основі разових вимірів окремих показників якості води, які найточніше характеризують екологіч-

ний стан водного об'єкта (чи його ділянки) і відповідно цьому стану якість води. Ці разові значення окремих показників якості води зіставляються з відповідними критеріями якості води, представленими в таблицях системи екологічної класифікації. На основі такого зіставлення визначаються категорії і класи якості води за окремими показниками, взятими для разового виміру. Об'єднання результатів разових вимірів для узагальненої оцінки якості води не допускається. Клас і категорія води в цілому встановлюються за показником з найбільшим номером категорії.

Процедура виконання *грунтової екологічної оцінки* якості поверхневих вод складається з чотирьох послідовних етапів, а саме:

- a) *етап групування* і обробки вихідних даних;
- b) *етап визначення класів і категорій* якості води за окремими показниками;
- c) *етап узагальнення оцінок якості* води за окремими показниками (вираженими в класах і категоріях) по окремих блоках з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води;
- d) *етап визначення об'єднаної оцінки* якості води (з визначенням класів і категорій) для певного водного об'єкта в цілому чи окремих ділянок за визначений період спостережень.

a) Вихідні дані за окремими показниками *грунуються* у просторі і часі в певному, чіткому порядку: окремо для різних пунктів спостережень, або ж вкупі (з різних пунктів спостережень) для певних ділянок водного об'єкта, або ж для водного об'єкта в цілому за певний відрізок часу (місяць, сезон, рік, кілька років підряд тощо).

Вихідні дані про якість води за окремими показниками грунуються в межах трьох блоків. Згруповані по блоках щодо кожного наявного показника якості води, вихідні дані (вибірки) піддаються певній обробці: обчислюються середньоарифметичні значення, визначаються мінімальні та максимальні (найгірші) значення, які всі разом характеризують мінливість величин кожного з показників якості води в реальних умовах виконання і аналізу результатів спостережень.

Серед вихідних даних трапляються поодинокі дані, котрі своїми екстремальними значеннями виходять за межі окресленого діапазону мінливості величин цієї вибірки, досить далеко від максимальних (найгірших) значень.

Екстремальні значення окремих показників якості води підлягають спеціальному аналізу: з'ясуванню природних чи антропогенних причин, які могли спричинити їх появу. Після такого аналізу приймаються рішення про використання чи вилучення екстремальних значень певних показників якості води.

b) *Етап визначення класів та категорій* якості води для окремих показників полягає у виконанні таких дій:

- середньоарифметичні (середні) значення для кожного показника

окремо зіставляються з відповідними критеріями якості води, представленими в таблицях системи її екологічної класифікації;

– найгірші значення якості води (максимальні чи мінімальні) серед цих показників кожного блоку також зіставляються з відповідними критеріями якості води;

– на основі проведеного зіставлення середньоарифметичних та найгірших значень для кожного показника окремо визначаються категорії якості води за середнім і найгіршим значеннями (найбільшим за номером) для кожного показника окремо;

– зіставлення середніх і найгірших значень з критеріями спеціалізованих класифікацій та визначення класів і категорій якості води за окремими показниками теж (як і на першому етапі) виконується в межах відповідних блоків.

с) *Етап узагальнення оцінок якості* води за окремими показниками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води виконується лише на основі аналізу показників в межах відповідних блоків. Це узагальнення полягає у визначенні середніх і найгірших значень для трьох блокових індексів якості води, а саме: для індексу забруднення компонентами сольового складу (I_1), для трофо-сапробіологічного (еколого-санітарного) індексу (I_2), для індексу специфічних показників токсичної і радіаційної дій (I_3). Таким чином, повинно бути визначено шість значень блокових індексів, а саме: $I_{1СЕР}$ та $I_{1МАХ}$; $I_{2СЕР}$ та $I_{2МАХ}$; $I_{3СЕР}$ та $I_{3МАХ}$. Маючи значення блокових індексів якості води, легко визначити їх приналежність до певного класу та категорії якості води за допомогою системи екологічної класифікації.

Середні значення для трьох блокових індексів якості води визначаються шляхом обчислення середнього номера категорії за всіма показниками даного блоку; при цьому категорія 1 має номер 1, категорія 2 – номер 2 і т.д.

Середні значення блокових індексів можуть бути дробовими числами. Це дозволяє диференціювати оцінку якості води, зробити її більш точною і гнучкою. Для визначення субкатегорій якості води, які відповідають середнім значенням блокових індексів, треба весь діапазон десятичних значень номерів (поміж цілими числами) розбити на окремі частини і позначити їх таким чином:

Середні значення
субкатегорій якості вод

Позначення відповідних
блокових індексів

1,0 – 1,2

1

1,3 – 1,4

1 (2)

1,5 – 1,6

1 – 2

1,7 – 1,8	2 (1)
1,9 – 2,2	2
2,3 – 2,4	2 (3)

і т.д. для категорії 3 – 7.

Найгірші значення для трьох блокових індексів якості води *визначаються за відносно найгіршим показником* (з найбільшим номером категорії) серед всіх показників даного блоку.

d) Етап визначення об'єднаної оцінки якості води для певного водного об'єкта в цілому або для окремих його ділянок *полягає в обчисленні інтегрального або екологічного індексу* I_E . Використання екологічного індексу якості води доцільно в тих випадках, коли зручніше користуватися однозначною оцінкою: для планування і опрацювання водоохоронної діяльності, здійснення екологічного і еколого–економічного районування, екологічного картографування тощо. Значення екологічного індексу якості води визначається за формулою (3.12):

$$I_E = \{I_1 + I_2 + I_3\} / 3, \quad (3.12)$$

де I_1 – індекс забруднення компонентами сольового складу;
 I_2 – індекс трофо–сапробіологічних показників;
 I_3 – індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Екологічний індекс якості води, як і *блокові індекси* (п. с), *обчислюється для середніх і для найгірших значень* категорій окремо. Він може бути дробовим числом.

Визначення субкатегорій якості води на основі екологічного індексу здійснюється так само, як для блокових індексів.

Сольовий склад поверхневих вод суші та естуаріїв оцінюється за сумою іонів та окремими інгредієнтами. При групуванні даних у просторі і часі оцінка дається за середніми і максимальними (найгіршими) значеннями показників. **Клас** води визначається за переважаючими аніонами (Cl^- ; SO_4^{2-} ; HCO_3^-), **група** – за переважаючими катіонами (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ + K^+), **тип** води визначається за співвідношеннями між іонами (в еквівалентах):

- I – $\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$;
- II – $\text{HCO}_3^- < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$;
- III – $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}) < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ або $\text{Cl}^- > \text{Na}^+$;
- IV – $\text{HCO}_3^- = 0$.

Один грам-еквівалент Cl^- дорівнює **35,45** г; SO_4^{2-} – **48,03** г; HCO_3^- – **61,02** г; Ca^{2+} – **20,04** г; Mg^{2+} – **12,15** г; Na^+ – **22,99** г; K^+ – **39,10** г.

Для позначення видів природних вод вживаються символи, напри-

клад:

гідрокарбонатний клас, група кальцію, тип другий – C_{II}^{Ca} ;
сульфатно–хлорідно–кальцієві води другого типу – SCI_{II}^{Ca} .

Прісні гіпо– і олігогалинні та солонуваті β –мезогалинні води оцінюються також за критеріями їх забруднення компонентами сольового складу, а саме за значеннями суми іонів, хлоридів і сульфатів.

Екологічна оцінка якості поверхневих вод та естуаріїв за **трофо–сапробіологічними (еколого–санітарними)** критеріями виконується на основі середніх та найгірших значень кожного з гідрофізичних, гідрохімічних, бактеріологічних показників, а також індексів сапробності. Для цього блоку бажана узагальнена оцінка, оскільки більшість показників є взаємопов'язаними і в кінцевому підсумку вони відповідають певному ступеню трофності та зоні сапробності вод. Загальна кількість показників цього блоку для забезпечення обґрунтованих висновків не повинна бути меншою, ніж 10. Інтегрування показників при узагальненій оцінці пов'язане з втратою інформації. Тому поряд з узагальненою оцінкою обов'язково мають наводитись значення категорій для всіх тих показників, які перевищують узагальнені (середні) значення.

Екологічна оцінка якості поверхневих вод та естуаріїв за **специфічними показниками токсичної і радіаційної дії** виконується за кожним показником окремо. Для даних, згрупованих у часі й просторі, оцінка дається за середнім та найгіршим значеннями кожного з показників.

Назви класів і категорій якості вод, дані про їх стан та ступінь їхньої чистоти (забруднення), а також ступінь трофності і зона сапробності оцінюваних поверхневих вод представлені у табл. 3.7.

Методика, що розглянута вище, має суттєві недоліки.

1. *Не враховані рибогосподарські ГДК за показниками Zn, Mn, Hg.* Права границя третьої категорії («досить чиста» вода) по Zn перевищує ГДК в 2 рази, по Mn – в 5 разів, а по Hg – в 20 разів. Тобто, вода, в якій вміст Zn буде перевищувати рибогосподарський норматив в 2 рази, Mn – в 5 разів, а Hg – в 20 разів, буде характеризуватися як «досить чиста».

Рибогосподарські ГДК наближені до екологічних, однак їх не можна вважати такими, оскільки риба не є найслабкішою ланкою водних екологічних систем. Наприклад, зоопланктон найбільш чутливо реагує на всі зміни складу й властивостей водного середовища, ніж риба. А екологічні ГДК повинні бути орієнтовані на найбільш слабкі ланки. Якщо риба є найбільш слабкою ланкою по якомусь із показників, то екологічна ГДК за цим показником буде дорівнювати рибогосподарській. Тобто, екологічна ГДК повинна бути не більш за рибогосподарську.

2. *Перелік показників якості вод у методиці досить обмежений.* При оцінці стану вод не є можливим урахувати ті показники, які не входять до цього переліку.

У переліку рибогосподарських ГДК міститься біля тисячі забруднювальних речовин, а в методиці екологічної оцінки якості поверхневих вод їх близько 30. Будь-яка забруднювальна речовина із тисячі, що не входить у методику, не буде врахована при оцінці якості води, навіть якщо значення її концентрації буде дуже великим.

Таблиця 3.7 – Класи та категорії якості поверхневих вод суші та естуаріїв України за екологічною класифікацією [7]

Клас якості вод	1	11		111		1У	У
Категорія якості вод	1	2	3	4	5	6	7
Назва класів і категорій якості вод за їх станом	відмінні	добрі		задовільні		погані	дуже погані
	відмінні	дуже добрі	добрі	задовільні	посередні	погані	дуже погані
Назва класів і категорій якості вод за ступенем їх чистоти	дуже чисті	чисті		забруднені		брудні	дуже брудні
	дуже чисті	чисті	досить чисті	слабо забруднені	помірно забруднені	брудні	дуже брудні
Трофність (переважно тип)	оліготрофні	мезотрофні		евтрофні		політрофні	гіпертрофні
	оліготрофні оліго-мезотрофні	мезотрофні	мезо-евтрофні	евтрофні	евполітрофні	політрофні	гіпертрофні
Сапробність	олігосапробні		β -мезосапробні		α -мезосапробні		полісапробні
	β -олігосапробні	α -олігосапробні	β' -мезосапробні	β'' -мезосапробні	α' -мезосапробні	α'' -мезосапробні	полісапробні

3. У методиці не враховується ефект сумарної дії речовин. Наприклад, наявність у воді фенолів і нафтопродуктів зі значеннями концентрації, близькими до правої границі категорії 2 дозволяє зробити висновок про те, що за даними показниками вода відноситься до категорії «чиста». Однак, відповідно до рибогосподарських норм нафтопродукти й феноли мають ефект сумарної дії (вони нормовані з рибогосподарською ЛОШ). Сума значень концентрації цих речовин у частках від ГДК складе приблизно 1,5. Таке водне середовище не відповідає вимогам рибогосподарських норм і повинно оцінюватися як «забруднене». Зазвичай групи сумації з токсикологічною і з санітарно-токсикологічною ЛОШ об'єднують значно більше речовин, ніж наведено у прикладі.

4. На другому етапі оцінки кожному показнику привласнюється номер категорії (індекс), що не залежить від значення показника в границях цієї категорії. Наприклад, за показником «залізо» категорія 4 має границі від 101 до 500 мкг/дм³. Це означає, що значення показника може становити 101 мкг/дм³ або приблизно у п'ять разів більше (500 мкг/дм³), все одно, для подальшої обробки він одержить індекс 4.

5. Далі в існуючій методиці рекомендується усереднити індекси за показниками усередині блоків і поміж блоками для одержання *узагальненого індексу*, значення якого *розраховується з точністю до сотих часток для того, щоб «гнучко» оцінити субкатегорію якості води.*

У цьому випадку говорити про гнучкість запізно. Оцінка субкатегорії дорівнює спробі знайти середню вагу декількох предметів з точністю до одного граму, користуючись набором стограмових гир.

Наприклад, є чотири предмети вагою 2, 2, 2 й 102 г. Зважуючи предмети набором стограмових гир і прийнявши вагу цих гир за умовну 1, одержуємо – 1, 1, 1 й 2 (середнє значення – 1,25). Дійсне середнє значення ваги предметів становить 27 г і відповідає умовній 1. *При такому підході середнє значення необхідно представляти з точністю до цілого числа* (про субкатегорію мова йти вже не може).

Точний збіг оцінки із дійсним середнім значенням буде спостерігатися лише в тому випадку, якщо вага предметів буде кратною 100 г, тобто коли значення показників якості води будуть близькі до правих границь категорій якості (за винятком категорії 7).

6. *Максимальний індекс, що одержує показник якості води, використовуваній надалі при узагальненні, дорівнює 7 (відповідно до номера категорії).* Наприклад, індекс 7 одержить показник «нафтопродукти» при значенні 0,31 мг/дм³ (перевищення рибогосподарської ГДК у 6 разів). При значенні 5,0 мг/дм³ (перевищення ГДК у 100 разів) він теж одержить індекс 7. Не важливо у скільки разів перевищується норматив, аби тільки його значення було більше за ліву границю сьомої категорії. Це приводить до того, що *узагальнений індекс стає незалежним від значень показника в категорії 7* (від значень з найбільшим перевищенням ГДК).

7. Присвоєння цілого значення індексу (номера категорії) показнику якості на другому етапі повинне приводити до граничної (убік погіршення) узагальненої оцінки якості водного середовища. *Однак, відсутність урахування ефекту сумарної дії речовин, подвійне осереднення індексів (при визначенні блокових індексів й узагальненого індексу) та незалежність узагальненого індексу від значень показників в категорії 7 в підсумку покращує оцінку стану водного середовища.*

Розрахунки по ріках Дунай, Дністер, Південний Буг, Інгулець й ін. показали, що через перераховані недоліки розглянута методика не дозволяє адекватно характеризувати стан водного середовища. Оцінка прикрашується, якщо у воді є речовини з ефектом сумарної дії й з концентрацією,

яка у багато разів перевищує рибогосподарські нормативи. Більш того, у деяких випадках підсумкова оцінка для одного і того ж пункту залишалася колишньою при виключенні показників з найбільшим перевищенням ГДК [14].

3.7 Узагальнений індекс стану вод I_{CB}

Методика комплексної оцінки якості вод за допомогою *узагальненого індексу їх стану I_{CB}* (методика ОДЕКУ) [14] розроблена на основі аналізу розглянутих вище методик. У ній враховано всі виявлені недоліки: використовуються рибогосподарські ГДК; перелік показників не обмежений; враховується ефект сумарної дії; узагальнюються співвідношення значень показників якості з їх ГДК. Розроблено нову шкалу категорій якості (табл. 3.8) на основі одиниць хронічної токсичності [7]. Назва категорій якості співпадає з наведеними у [7].

Таблиця 3.8 – Екологічна класифікація якості поверхневих вод за I_{CB}

Категорія якості	1	2	3	4	5	6	7
I_{CB}	$\leq 0,25$	0,26–0,50	0,51–1,00	1,01–2,00	2,01–4,00	4,01–8,00	$> 8,00$
Характеристика якості	дуже чиста	чиста	досить чиста	слабо забруднена	помірно забруднена	брудна	дуже брудна

В методиці I_{CB} для врахування ефекту сумарної дії речовин розглядається вісім блоків показників: 1) мінералізація; 2) трофо-сапробіологічні; 3) із загальносанітарною ЛОШ; 4) із токсикологічною ЛОШ; 5) із санітарно-токсикологічною ЛОШ; 6) із органолептичною ЛОШ; 7) із рибогосподарською ЛОШ; 8) радіаційної дії.

Для другого та восьмого блоків узагальнений блоковий індекс розраховується як середнє значення ряду з n показниками за формулою (3.13), а для третього – сьомого блоків осереднення не здійснюється, і розрахунок блокового індексу виконується за формулою (3.14):

$$I_j = (1/n) \sum (C_i / ГДК_i), \quad (3.13)$$

$$I_j = \sum (C_i / ГДК_i). \quad (3.14)$$

При розрахунку I_j використовуються рибогосподарські ГДК і ЛОШ. Якщо деякий показник не нормований у рибогосподарських нормах, але він є в методиці [7], то для нього як норму можна прийняти значення межі між 3 і 4 категоріями (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Критерії якості поверхневих вод

Показник	Межа між 3 і 4 категоріями	ГДК _{РГ}
Трофо–сапробіологічні (еколого–санітарні) показники		
Індекс самоочищення–самозабруднення (<i>A/R</i>)	0,8–1,2	–
Чисельність бактеріопланктону, млн.кл/см ³	2,5	–
Чисельність сапрофітних бактерій, тис.кл/см ³	5,0	–
Показники з токсикологічною ЛОШ		
Мідь, мг/дм ³	0,002	фон+0,001
Показники радіаційної дії		
Сумарна β–активність, Ки/дм ³	1,0*10 ⁻¹¹	–
⁹⁰ Sr, Ки/дм ³	3,0*10 ⁻¹²	–
¹³⁷ Cs, Ки/дм ³	5,0*10 ⁻¹²	–

Узагальнена оцінка визначається у результаті осереднення *m* блокових індексів

$$I_{CB} = (1/m) \sum I_j \quad (3.15)$$

Категорія якості поверхневих вод встановлюється за значенням I_{CB} і табл. 3.8.

3.8 Трофічний індекс (*TRIX*)

Трофічний індекс (TRIX) – це комплексний індекс, за допомогою якого оцінюється *трофічний статус* водного середовища.

Під *трофічністю* розуміють *ступінь первинної біологічної продуктивності водних екосистем*, який визначається вмістом у воді фосфору, азоту та інших біогенних елементів, а також комплексом гідрологічних, гідрохімічних, гідробіологічних і інших факторів. Води можуть бути з низьким (*оліготрофні*), з середнім (*мезотрофні*), з високим (*евтрофні*), з дуже високим (*політрофні*) і з надзвичайно високим (*гіпертрофні*) первинним продукуванням.

TRIX розраховується за формулою:

$$TRIX = \lg ([Chl_a] * [D\%O] * [NT] * [PT] * 1,5) / 1,2, \quad (3.16)$$

де Chl_a – сума хлорофілу «а»;

$D\%O$ – абсолютне значення відхилення концентрації розчиненого кисню від 100% насичення;

NT – загальний азот, мкг/дм³;

PT – загальний фосфор, мкг/дм³.

Трофічність вод визначають за значенням *TRIX*: ≤4 – низька (*оліготрофні*); 4–5 – середня (*мезотрофні*); 5–6 – висока (*евтрофні*); >6 – дуже висока (*політрофні*).