

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД ЗА РІЗНИМИ МЕТОДИКАМИ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ

У статті виконано критичний аналіз комплексної оцінки якості вод за різними методиками (на прикладі р. Південний Буг - м. Первомайськ). Доведено, що спрямованість існуючих методик на різних споживачів і їх недоліки не дозволяють адекватно характеризувати якість вод як середовища мешкання живих організмів, у результаті чого за даними одного пункту спостережень води можна класифікувати від «чистих» до «катастрофічно забруднених». Перелічені недоліки існуючих методик і запропонована нова методика.

Ключові слова: комплексна оцінка, якість вод, показник якості, класифікація якості, екологічний стан, блок показників, ефект сумарної дії.

Вступ. Комплексна оцінка якості вод має важливе значення при організації мережі моніторингу, при визначенні пріоритетів водоохоронної діяльності, при плануванні водогосподарських заходів у галузі охорони довкілля.

Сучасні методики комплексної оцінки стану поверхневих вод не дозволяють адекватно характеризувати їх як середовище мешкання живих організмів (дати екологічну оцінку). Це пов'язано з тим, що деякі з них були розроблені з іншою метою, інші (наприклад [1]) мають ряд суттєвих недоліків.

Метою цієї роботи є аналіз комплексної оцінки якості вод за різними існуючими методиками (на прикладі р. Південний Буг - м. Первомайськ) та викладання методики ОДЕКУ, розробленої авторами, яка дозволяє дати адекватну екологічну оцінку стану вод.

Матеріали і методи дослідження. Діючі методики комплексної оцінки якості вод засновані на використанні наступних комплексних показників: індексу забруднення води (*IЗВ*), модифікованого (*IЗВ*), комплексного індексу забруднення (*КІЗ*), коефіцієнта забрудненості χ , комплексного показника екологічного стану (*КПЕС*) і узагальненого екологічного індексу (*I_E*). Розглянемо ці індекси.

а) *IЗВ* розраховується за шістьма показниками [2] (NH_4^+ , NO_2^- , НП, феноли, розчинений O_2 , БСК₅) згідно з формулою

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

де C_i – середнє арифметичне значення показника якості води;

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація.

У формулі (1) для O_2 , $ГДК$ ділиться на середнє значення його концентрації.

Оцінка якості води виконується за наступними класами: I – дуже чиста ($IЗВ \leq 0,3$); II – чиста ($0,3 < IЗВ \leq 1$); III – помірно забруднена ($1 < IЗВ \leq 2,5$); IV – забруднена ($2,5 < IЗВ \leq 4$); V – брудна ($4 < IЗВ \leq 6$); VI – дуже брудна ($6 < IЗВ \leq 10$); VII – надзвичайно брудна ($IЗВ > 10$).

б) Модифікований *IЗВ* [3] розраховується теж по шості показниках: БСК₅ і O_2 є обов'язковими, а інші чотири показника беруть з найбільшими відношеннями до $ГДК$ зі списку: SO_4^{2-} , СГ, ХСК, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , Fe загальне, Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+} , Ni^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , As^{3+} , НП, СПАР.

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

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

$$P_i = N_{ГДК_i} / N_i, \quad (2)$$

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 $ГДК$

$$K_i = C_i / ГДК_i. \quad (3)$$

Оціночні бали визначаються за таблицями класифікації (табл. 1 і 2).

Таблиця 1 – Класифікація водних об'єктів за повторюваністю забруднення

Повторюваність, %	Характеристика забруднення води	Часткові оціночні бали	
		виражені умовно	абсолютні значення
0 ÷ 10	одиночна	a	1
10 ÷ 30	нестійка	b	2
30 ÷ 50	стійка	c	3
50 ÷ 100	характерна	d	4

Таблиця 2 – Класифікація водних об'єктів за рівнем забруднення

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

При отриманні першого і другого ступенів класифікації води по кожному з інгредієнтів розраховують узагальнені оцінки якості води (табл. 3).

Таблиця 3 – Оцінка якісного стану води водних об'єктів за окремими показниками

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

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

$$KIЗ = \sum S_i. \quad (4)$$

Класифікація якості води (табл. 4) 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 4 – Класифікація якості води водних об'єктів за значенням $KI3$ та ЛПЗ

Клас якості води	Розряд класу якості	Характеристика забрудненості води	Величина $KI3$ 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

г) Коефіцієнт забрудненості χ розраховується за формулою (5), наведеною у [4]

$$\chi = \Sigma [(N_i / C_{i,d})\varphi(i)] / \Sigma \varphi(i), \quad (5)$$

де N_i – значення показника забрудненості;

i – номер показника забрудненості в ранговій послідовності зі m показників;

$C_{i,d}$ – норматив (ГДК) показника;

$\varphi(i) = i / 2^{i-1}$ – вагова функція;

$\Sigma \varphi(i)$ – приведена кількість показників.

Як основні приймаються такі показники забрудненості з відповідною ранговою послідовністю (i): BCK_5 ($i = 1$); NH_4^+ ($i = 2$); нафтопродукти ($i = 3$); O_2 ($i = 4$). Ранги іншим показникам встановлюють експертно або за співвідношенням $N_i / C_{i,d}$.

В залежності від значення коефіцієнта χ складено атестаційну шкалу по оцінці ступеня забрудненості водного середовища (табл. 5).

Таблиця 5 – Інтегральна оцінка ступеня 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

д) Середнє значення $KПЕС_{СЕР}$ розраховується за формулою (6), наведеною у [5]

$$KПЕС_{СЕР} = (1/m) \Sigma KПЕС_i, \quad (6)$$

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

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

Для першого блоку комплексний показник розраховується за формулою

$$KПЕС = (1/n) \Sigma ПЕС_i, \quad (7)$$

де n – кількість показників у першому блоці;

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

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

$$ПЕС_i = a_i (H_i - P_i) / H_i, \quad (8)$$

$$ПЕС_i = a_i (P_i - H_i) / H_i, \quad (9)$$

де a_i – коефіцієнт вагомості i -го показника;

P_i, H_i – значення показника (концентрація речовини) і його норматив.

Формула (8) використовується при обмеженні значень показника зверху. Для показників, обмежених знизу (O_2), використовується формула (9). При нормуванні показника (рН) у вигляді допустимого інтервалу $[H_{min} < P_i \leq H_{max}]$ значення $ПЕС_i$ розраховується за формулою (8), якщо значення показника перевищує H_{max} ; якщо значення показника нижче H_{min} , то $ПЕС$ розраховується за формулою (9). Якщо показник знаходиться в середині інтервалу, то розрахунок проводиться за формулами (8) і (9), а як $ПЕС_i$ береться мінімальне з отриманих значень.

Коефіцієнт вагомості a i -го показника пов'язано 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, $КПЕС$ розраховується за формулою

$$КПЕС = 1 - \sum (P_i / H_i). \quad (10)$$

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'єкту класифікується наступним 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 чортами нестійкості.

е) Узагальнений екологічний індекс I_E розраховується згідно з методикою [1], у відповідності з якою усі показники якості групуються у три блока:

- критерії сольового складу;
- трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні) критерії;
- критерії вмісту специфічних речовин токсичної і радіаційної дії.

Далі визначаються номери категорії по кожному показнику у блоках (таблиці класифікацій наводяться у [1]), розраховуються середні блокові індекси (I_1, I_2, I_3); узагальнюється екологічний індекс I_E (осереднюється) по трьох блоках і оцінюється узагальнений клас та категорія якості за таблицею, яка також наведена у [1].

Результати дослідження та їх аналіз. Комплексна оцінка якості води за період з 2002 по 2004 роки у створі р. Південний Буг – м. Первомайськ була проведена за вище наведеними індексами, за рибогосподарськими нормами і методикою ОДЕКУ.

а) Значення індексу забруднення води $ІЗВ$, розрахунок якого наведено у табл. 6, буде дорівнювати: $ІЗВ = 4,38/6 = 0,73$. Вода с таким $ІЗВ$ має клас **2 (чиста)**.

Таблиця 6 – Оцінка якості води за індексом забруднення $ІЗВ$

№	Показник	$ГДК_i$	C_i	$C_i / ГДК_i$
1	Розчинений кисень	6,0	10,9	0,55
2	БСК	3,0	3,7	1,23
3	Амоній іон	0,5	0,50	1,00
4	Нітрити	0,08	0,077	0,96
5	Нафтопродукти	0,05	0,032	0,64
6	Феноли	0,001	0,00	0,00
Σ				4,38

б) Розрахунок за модифікованим $ІЗВ$ (табл. 7) дозволив встановити, що при врахуванні показників з найбільшим відношенням до ГДК (у нашому випадку це хром, марганець, цинк та залізо) значення $ІЗВ$ дорівнює: $ІЗВ = 28,82/6 = 4,80$. При такому значенні $ІЗВ$, вода вже класифікується не як **чиста**, а як **брудна** (клас 5).

Істотними недоліками методики, що ґрунтується на використанні $ІЗВ$, є

обмеженість набору показників, за якими класифікується вода, залежність оцінки від цього набору показників і відсутність врахування сумарної дії речовин.

Таблиця 7 – Оцінка якості води за модифікованим *ІЗВ*

№	Показник	$ГДК_i$	C_i	$C_i / ГДК_i$
1	Розчинений кисень	6,0	10,9	0,55
2	БСК	3,0	3,7	1,23
3	Хром (6+)	0,001	0,0109	10,9
4	Марганець	0,01	0,106	10,6
5	Цинк	0,01	0,0376	3,76
6	Залізо	0,10	0,178	1,78
Σ				28,82

в) При використанні комплексного індексу забруднення *КІЗ* (табл. 8) отримано, що при $n = 19$ і 2 ЛПЗ (з використанням табл. 4) якість води за $КІЗ = 59 = (59/19)n = 3,1n$ необхідно класифікувати як **ШБ (брудна)**.

Таблиця 8 – Оцінка якості води за комплексним індексом забруднення *КІЗ*

Показник	P_i	Бал	K_i	Бал	Заг. бал	Характеристика якості	ЛПЗ
БСК	0,833	4	1,25	1	4	брудна	0
pH	0,111	2	0,99	1	2	забруднена	0
Розч. кисень	0,00	1	0,55	1	1	слабо забруднена	0
Амоній	0,139	2	1,00	1	2	забруднена	0
Нітрити	0,083	1	0,96	1	1	слабо забруднена	0
Залізо	0,917	4	1,78	1	4	брудна	0
Магній	0,00	1	0,74	1	1	слабо забруднена	0
Марганець	0,750	4	10,62	3	12	неприп. брудна	1
Свинець	0,650	4	0,17	1	4	брудна	0
Хром (6+)	0,833	4	10,94	3	12	неприп. брудна	1
Цинк	0,750	4	3,76	2	8	дуже брудна	0
СПАВ	0,00	1	0,10	1	1	слабо забруднена	0
Нітрати	0,00	1	0,15	1	1	слабо забруднена	0
Натрій	0,00	1	0,17	1	1	слабо забруднена	0
Калій	0,00	1	0,41	1	1	слабо забруднена	0
Кальцій	0,00	1	0,43	1	1	слабо забруднена	0
Хлориди	0,00	1	0,17	1	1	слабо забруднена	0
Сульфати	0,00	1	0,67	1	1	слабо забруднена	0
Нафтопродукти	0,00	1	0,64	1	1	слабо забруднена	0
Σ					КІЗ=59		2

Отже, комплексна оцінка збігається з оцінкою за модифікованим *ІЗВ*.

Як і при використанні *ІЗВ* в методиці не враховується ефект сумарної дії речовин.

г) При розрахунку коефіцієнта забрудненості (χ) (табл. 9) з пріоритетами (стовпчики 4, 5, 6 у табл. 9) перші чотири ранги отримують такі показники: БСК; амоній; НП і розчинений O_2 . Інші показники ранжовані в спадному порядку за співвідношенням $C_i/ГДК_i$.

Значення коефіцієнта забрудненості χ дорівнює $8,9609 / 3,9999 = 2,24$, і якість води класифікується (табл. 5) як **допустимо забруднена**.

При ранжуванні усіх показників за співвідношенням $C_i / ГДК_i$ без встановлення пріоритетів (стовпчики 7, 8, 9 у табл. 9) χ дорівнює $26,0635 / 3,9999 = 6,52$. У такому

випадку якість води вже класифікується як **катастрофічно забруднена**.

Таблиця 9 – Оцінка якості води за критерієм забрудненості χ

№ п/п	Показник	$C_i / ГДК_i$	3 пріоритетами			Без пріоритетів		
			Ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i)C_i / ГДК_i$	Ранг	$\varphi(i)$	$\varphi(i)C_i / ГДК_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	БСК	1,25	1	1,000000	1,24549	5	0,312500	0,38922
2	pH	0,99	9	0,035156	0,03471	7	0,109375	0,10799
3	Розч. O ₂	0,55	4	0,500000	0,27419	12	0,005859	0,00321
4	Амоній	1,00	2	1,000000	1,00328	6	0,187500	0,18812
5	Нітрити	0,96	10	0,019531	0,01883	8	0,062500	0,06027
6	Залізо	1,78	8	0,062500	0,11130	4	0,500000	0,89042
7	Магній	0,74	11	0,010742	0,00799	9	0,035156	0,02617
8	Марганець	10,62	5	0,312500	3,31755	2	1,000000	10,61616
9	Свинець	0,17	16	0,000488	0,00009	16	0,000488	0,00009
10	Хром (6+)	10,94	6	0,187500	2,05164	1	1,000000	10,94208
11	Цинк	3,76	7	0,109375	0,41088	3	0,750000	2,81746
12	СПАВ	0,10	19	0,000072	0,00001	19	0,000072	0,00001
13	Нітрати	0,15	18	0,000137	0,00002	18	0,000137	0,00002
14	Натрій	0,18	15	0,000916	0,00016	15	0,000916	0,00016
15	Калій	0,43	13	0,003174	0,00136	13	0,003174	0,00136
16	Кальцій	0,43	14	0,001709	0,00074	14	0,001709	0,00074
17	Хлориди	0,17	17	0,000259	0,00005	17	0,000259	0,00005
18	Сульфати	0,67	12	0,005859	0,00393	10	0,019531	0,01309
19	НП	0,64	3	0,750000	0,47867	11	0,010742	0,00686
Σ				3,9999	8,9609		3,9999	26,0635

Недоліком методики є вага залежність оцінки якості води від способу ранжування показників. Як і в попередніх методиках в ній не враховується ефект сумарної дії речовин.

д) При оцінці якості води за допомогою комплексного показника *КПЕС* (табл. 10) отримані наступні результати: середнє значення $КПЕС_{СЕР}$ складає $(0,152-17,44-12,68+0,36)/4 = -7,4$, а мінімальне значення $КПЕС_{МИН}$ дорівнює **-17,4**. Екологічний стан об'єкта у відповідності з методикою визначається як **нестійкий** ($КПЕС_{МИН} < 0$ і $КПЕС_{СЕР} < 0$).

Таблиця 10 – Оцінка якості води за комплексним показником *КПЕС*

ЛОШ	Показник	C_{Ei} , мг/дм ³	$ГДК_{i3}$, мг/дм ³	$ГДК_i - C_{Ei}$	<i>ПЕС</i>	<i>КПЕС</i>
–	Завислі речовини	19,1	фон+0,25	0,25	0,013	
–	БСК	3,7	3,0	-0,7	-0,233	
–	pH	8,4	6,5 – 8,5	0,10	0,011	
–	Розч. Кисень	10,9	6,0	4,9	0,817	
Σ					0,608	0,15
Токси- коло- гічна	Амоній	0,50	0,50	–	1,00	
	Нітрити	0,077	0,08	–	0,96	
	Залізо	0,18	0,10	–	1,80	
	Марганець	0,106	0,01	–	10,60	
	Свинець	0,018	0,10	–	0,18	
	СПАВ	0,052	0,50	–	0,10	
	Цинк	0,038	0,010	–	3,80	
Σ					18,44	-17,44

Продовження таблиці 10

Сани- тарно- токси- коло- гічна	Хром (6+)	0,0109	0,001	–	10,90	
	Нітрати	5,9	40,0	–	0,15	
	Натрій	21,7	120	–	0,18	
	Калій	21,6	50,0	–	0,43	
	Кальцій	77,5	80	–	0,43	
	Магній	29,8	40,0	–	0,75	
	Хлориди	52	300	–	0,17	
	Сульфати	67	100	–	0,67	
Σ					13,68	-12,68
Р/г	Нафтопродукти	0,032	0,05	–	0,64	0,36

На відміну від попередніх в методиці враховується ефект сумарної дії речовин. Однак, оцінка за цією методикою є трибальною (немає категорій стійкості і категорій нестійкості), тому її важко порівняти з оцінками за іншими методиками, які розглядаються.

е) Оцінка якості води за допомогою узагальненого індексу I_E , який розраховується за методикою [1] (табл. 11), показує, що значення узагальненого екологічного індексу води складає $I_E = (2,3+3,9+4,4)/3=3,5$. Звідси, розглядувана вода має категорію **4 (слабо забруднена)**.

Таблиця 11 – Екологічна оцінка якості вод [1]

Показник	Значення	Категорія	Клас	Індекс
Сольовий склад				
Мінералізація, мг/дм ³	584	2	II	$I_1 = (2+2+3)/3 = 7/3 = \mathbf{2,33}$
НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³ , (мг-екв./дм ³)	311 (5,02)			
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³ , (мг-екв./дм ³)	67,0 (1,39)	2	II	
Сl ⁻ , мг/дм ³ , (мг-екв./дм ³)	52,1 (1,47)	3	II	
Са ²⁺ , мг/дм ³ , (мг-екв./дм ³)	77,5 (3,87)			
Mg ²⁺ , мг/дм ³ , (мг-екв./дм ³)	28,0 (2,30)			
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³ , (мг-екв./дм ³)	43,3 (1,49)			
Трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні)				
Завислі речовини, мг/дм ³	19,1	3	II	$I_2 = (3+5+4+5+6+5+1+2+4)/9 = 35/9 = \mathbf{3,88}$
pH	8,4	5	III	
NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	0,39	4	III	
NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	0,023	5	III	
NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	1,33	6	IV	
PO ₄ ³⁻ , мгP/дм ³	0,20	5	III	
Розчинений кисень, мгO ₂ /дм ³	10,9	1	I	
Біхроматне окислення, мгO ₂ /дм ³	9,5	2	II	
БСК ₅ , мгO ₂ /дм ³	3,7	4	III	
Специфічні речовини (токсичні)				
Мідь, мкг/дм ³	22	5	III	$I_3 = (5+4+4+5+4+5+3+5)/8 = 35/8 = \mathbf{4,38}$
Цинк, мкг/дм ³	38	4	III	
Свинець, мкг/дм ³	18	4	III	
Хром (6+), мкг/дм ³	11	5	III	
Залізо, мкг/дм ³	178	4	III	
Марганець, мкг/дм ³	106	5	III	
Нафтопродукти, мкг/дм ³	32	3	II	
СПАВ, мкг/дм ³	52	5	III	[$I_3 = (5+4+3+5)/4 = 17/4 = 4,25$]

Примітка: В табл. 11 показники якості води амоній іон, нітрити і нітрати переведені в азот амонійний, азот нітритний і азот нітратний відповідно, аналогічно фосфати – в фосфор фосфатів.

Недоліки методики [1]:

1) При розробці методики не враховані рибогосподарські ГДК речовин, які в найбільшій мірі наближені до екологічних ГДК.

2) Немає можливості враховувати речовини, що не входять до переліку показників, які містяться в методиці.

В переліку рибогосподарських ГДК міститься близько тисячі забруднювальних речовин. В методиці екологічної оцінки якості поверхневих вод їх близько 30. Будь-яка забруднювальна речовина з тисячі, яка не входить до методики, не буде врахована при оцінці якості води, навіть якщо її концентрація дуже велика.

3) Не враховується ефект сумарної дії речовин.

4) На другому етапі оцінки кожному показнику присвоюється номер категорії (індекс), який не залежить від значення показника в границях цієї категорії.

Наприклад, показник «залізо» має категорію 4 у межах 101 – 500 мкг/дм³. Це означає, що значення показника може дорівнювати 101, 178 (табл. 11) або 500 мкг/дм³, все одно, для подальшого узагальнення він отримує індекс 4.

5) Максимальний індекс, який може отримати показник якості, дорівнює 7 незалежно від його значення (від кратності перевищення ГДК).

Останній недолік може суттєво знизити значення узагальненого індексу I_E .

ж) Оцінка якості за рибогосподарськими нормами [6] виконується методом зіставлення значень показників якості вод з їх нормативами:

якщо показники не мають ефекту сумарної дії, то значення кожного показника (C_i) повинно бути не більше за норматив ($ГДК_i$)

$$C_i \leq ГДК_i; \quad (11)$$

якщо m показників мають ефект сумарної дії, то необхідно, щоб сума значень цих показників в частках від ГДК (ψ) була не більше за одиницю

$$\psi = \sum (C_i / ГДК_i) \leq 1. \quad (12)$$

Співставлення показників з нормативами наведено в табл. 12, з аналізу якої можна зробити висновок, що вода в р. Південний Буг не відповідає рибогосподарським нормам за вмістом органічних речовин (БСК = 3,7 > 3,0), а також за вмістом забруднювальних речовин з токсикологічною (сума концентрацій в частках від ГДК складає 18,4) і санітарно-токсикологічною (сума концентрацій в частках від ГДК складає 13,7) ЛОШ. Основними забруднювальними речовинами є: хром (перевищення ГДК в 10,9 раз), марганець (в 10,6 раз), цинк (в 3,8 раз) и залізо (в 1,8 раз).

Таблиця 12 - Оцінка якості вод за рибогосподарськими нормами

ЛОШ	Показник	Од. вим.	C_i	$ГДК_i$	$C_i/ГДК_i$
–	Завислі речовини	мг/дм ³	19,1	фон+0,25	–
–	БСК	–	3,7	3,0	–
–	pH	–	8,4	6,5 – 8,5	–
–	Розчинений кисень	мг/дм ³	10,9	6,0	–
Токси- коло- гічна	Амоній	–	0,50	0,50	1,00
	Нітрити	–	0,077	0,08	0,96
	Залізо	–	0,18	0,1	1,80
	Марганець	–	0,106	0,01	10,60
	Свинець	–	0,018	0,10	0,18
	СПАВ	–	0,052	0,50	0,10
	Цинк	–	0,0376	0,010	3,76
			Σ		18,40

Продовження таблиці 12

Сани- тарно- токси- коло- гічна	Хром (6+)	-"	0,0109	0,001	10,90
	Нітраги	-"	5,9	40,0	0,15
	Натрій	-"	21,7	120	0,18
	Калій	-"	21,6	50,0	0,43
	Кальцій	-"	77,5	180	0,43
	Магній	-"	29,8	40,0	0,74
	Хлориди	-"	52	300	0,17
	Сульфати	-"	67	100	0,67
Σ					13,67
Р/г	Нафтопродукти	-"	0,032	0,05	-

з) Методика ОДЕКУ розроблена авторами статті на основі аналізу розглянутих вище методик. У ній враховано усі 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. 13) на основі одиниць хронічної токсичності [1]. Назва категорій якості співпадає з наведеними у [1].

Таблиця 13 – Екологічна класифікація якості поверхневих вод за методикою ОДЕКУ

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

У роботі [7] було запропоновано вдосконалення методики [1], але у цій роботі не усунуті недоліки («4» і «5»).

В методиці ОДЕКУ 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 (13), а для третього – сьомого блоків осереднення не здійснюється і розрахунок блокового індексу виконується за формулою (14):

$$I_j = (1/n) \sum (C_i / ГДК_i), \quad (13)$$

$$I_j = \sum (C_i / ГДК_i). \quad (14)$$

При розрахунку I_j використовуються рибогосподарські ГДК і ЛОШ. Якщо деякий показник не нормований у рибогосподарських нормах, але він є в методиці [1], то для нього як норму можна прийняти значення межі між 3 і 4 категоріями (табл. 14).

Таблиця 14 – Критерії якості поверхневих вод

Показник	Межа між 3 і 4 категоріями	ГДК _{Р/Г}
Мінералізація		
Сума іонів, мг/дм ³	1000	-
Трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні) показники		
Завислі речовини, мг/дм ³	20	фон+0,75
Прозорість, м	>0,60	-
Розчинений кисень, мг/дм ³	>7,0	>6,0

Продовження таблиці 14

Запах, бали	-	2
Перманганатне окислення, мг/дм ³	8,0	-
Біхроматне окислення (ХПК), мг/дм ³	25,0	-
БСК ₅ , мг/дм ³	2,1	3,0
Фосфор фосфатів, мг/дм ³	0,05	-
Біомаса фітопланктону, мг/дм ³	2,0	-
Індекс самоочищення-самозабруднення (A/R)	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		
Ртуть, мг/дм ³	0,0002	0,00001
Кадмій, мг/дм ³	0,0002	0,005
Мідь, мг/дм ³	0,002	фон+0,001
Свинець, мг/дм ³	0,01	0,10
СПАР, мг/дм ³	0,02	0,50
Миш'як, мг/дм ³	0,005	0,05
Марганець, мг/дм ³	0,05	0,01
Ціаніди, мг/дм ³	0,01	0,05
Показники з санітарно-токсикологічною ЛОШ		
Азот нітратний, мг/дм ³	0,50	9,1
Натрій, мг/дм ³	-	120
Магній, мг/дм ³	-	40,0
Хром (6+), мг/дм ³	0,005	0,001
Показники з рибогосподарською ЛОШ		
Нафтопродукти, мг/дм ³	0,05	0,05
Феноли, мг/дм ³	0,001	0,001
Показники радіаційної дії		
Сумарна β-активність	1,0*10 ⁻¹¹	-
⁹⁰ Sr	3,0*10 ⁻¹²	-
¹³⁷ Cs	5,0*10 ⁻¹²	-

Узагальнена оцінка отримується у результаті осереднення m блокових індексів

$$I_{EK} = (1/m) \sum I_j. \quad (15)$$

Категорія якості поверхневих вод встановлюється за значенням I_{EK} і табл. 13.

Узагальнений індекс якості води в р. Південний Буг – м. Первомайськ за формулою (15) складає (табл. 15)

$$I_{EK} = \{0,58+0,82+18,38+0,64+13,67\}/5 = 6,8.$$

Таким чином, за методикою ОДЕКУ вода у створі, який розглядається, відноситься (табл. 13) до **6** категорії і характеризується як **брудна**.

Таблиця 15 – Комплексна оцінка якості вод за методикою ОДЕКУ

Показник	Значення (C_i), мг/дм ³	Гранична норма ($ГДК_i$)	$C_i / ГДК_i$	I_j
Мінералізація, мг/дм ³	584	1000	0,58	$I_1 = 0,58$
Трофо-сапробіологічні (еколого-санітарні) показники				
Завислі речовини, мг/дм ³	19,1	20	0,96	$I_2 = (0,96 + 0,99 + 0,55 + 0,38 + 1,23)/5 = 4,11/5 = 0,82$
pH	8,4	6,5-8,5	0,99	
Розчинений кисень, мг/дм ³	10,9	6,0	0,55	
Біхроматне окисл., мг/дм ³	9,5	25,0	0,38	
БСК ₅ , мг/дм ³	3,7	3,0	1,23	

Продовження таблиці 15

Показники з токсикологічною ЛОШ				
Амоній, мг/дм ³	0,50	0,50	1,00	$I_3 = 1,00 + 0,96 +$ $+ 3,76 + 0,18 + 0,10 +$ $+ 1,78 + 10,6 = 18,38$ $[I_3 = 1,00 + 0,96 +$ $+ 0,18 + 0,10 = 2,24]$
Нітрити, мг/дм ³	0,077	0,08	0,96	
Цинк, мг/дм ³	0,0376	0,01	3,76	
Свинець, мг/дм ³	0,018	0,10	0,18	
СПАР, мг/дм ³	0,052	0,50	0,10	
Залізо, мг/дм ³	0,178	0,10	1,78	
Марганець, мг/дм ³	0,106	0,01	10,6	
Показники з рибогосподарською ЛОШ				
Нафтопродукти, мг/дм ³	0,032	0,05	0,64	$I_4 = 0,64$
Показники з санітарно-токсикологічною ЛОШ				
Нітрати, мг/дм ³	5,9	40,0	0,15	$I_5 = 0,15 + 10,9 +$ $+ 0,18 + 0,43 + 0,43 +$ $+ 0,74 + 0,17 + 0,67 =$ $= 13,67$ $[I_5 = 0,15 + 0,18 +$ $+ 0,43 + 0,43 + 0,74 +$ $0,17 + 0,67 = 2,77]$
Хром (6+), мг/дм ³	0,0109	0,001	10,9	
Натрій, мг/дм ³	21,7	120	0,18	
Калій, мг/дм ³	21,6	50,0	0,43	
Кальцій, мг/дм ³	77,5	180	0,43	
Магній, мг/дм ³	29,8	40,0	0,74	
Хлориди, мг/дм ³	52	300	0,17	
Сульфати, мг/дм ³	67	100	0,67	

Отримана характеристика якості води (категорія **6 – брудна**) суттєво відрізняється від методики [1] (категорія **4 – слабо забруднена**).

При відсутності показників зі значним перевищенням ГДК оцінки за методиками ОДЕКУ і [1] можуть збігатися. Наприклад, при відсутності цинку, заліза, марганцю та хрому (табл. 15, значення блокових індексів у квадратних скобках) узагальнений індекс буде дорівнювати $I_{ЕК} = (0,58 + 0,82 + 2,24 + 0,64 + 2,77) / 5 = 1,4$. За табл. 13 це відповідає категорії **4 (слабо забруднена)**. Індекс за методикою [1], як і раніше, буде дорівнювати (табл. 11, блоковий індекс у квадратних скобках) $I_E = (2,3 + 3,9 + 4,2) / 3 = 3,5$ – категорія **4 (слабо забруднена)**. У даному випадку оцінка за [1] не зреагувала на виключення чотирьох показників з найбільшим перевищенням ГДК.

Висновки

Аналіз результатів розрахунків дозволяє зробити такі висновки:

1. На теперішній час немає методики адекватної комплексної оцінки якості вод як середовища мешкання живих організмів.

Вода р. Південний Буг - м. Первомайськ за різними методиками характеризується як «чиста» (*ІЗВ*), «допустимо забруднена» (χ), «слабо забруднена» (методика [1]), «брудна» (модифікований *ІЗВ* та *КІЗ*), та «катастрофічно брудна» (χ без пріоритетів). За *КІЕС* стан водного середовища оцінюється як **нестійкий**.

2. Якість води в р. Південний Буг не відповідає рибогосподарським нормам.

Комплексно оцінити стан водного середовища за цими нормами не можна, тому що оцінка визначається як двобальна: відповідає (чиста) чи не відповідає (брудна) нормам. Але в цілому, враховуючи, що з шести показників, які використовуються для оцінки якості, три перевищують нормативи: в 18,4 раз (токсикологічна група), в 13,7 раз (санітарно-токсикологічна група) і 1,2 раз (органічні сполуки по БСК), - водне середовище необхідно характеризувати як «**брудне**» або «**дуже брудне**».

3. З методик, які розглядаються в даній статті, стан водного середовища найбільш адекватно характеризують модифікований *ІЗВ* та *КІЗ*. Але це випадково, тому що при розрахунку цих показників не враховується ефект сумарної дії речовин.

Врахування ефекту сумарності здійснюється при розрахунку узагальненого *КІЕС*.

Але за *КПЕС* оцінка є трибальною і її не можна співставити з іншими оцінками.

4. Діюча на території України методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [1] має ряд недоліків: не враховуються рибогосподарські *ГДК* і ефект сумарної дії речовин; обмежений перелік показників; індекс показника не залежить від його значення в межах категорії; максимальний індекс показника якості, який використовується для подальшого узагальнення, дорівнює 7 незалежно від кратності перевищення *ГДК*.

Останній недолік разом з подвійним осередненням, як показують розрахунки, суттєво знижує значення узагальненої категорії (покращує оцінку).

5. Запропонована методика ОДЕКУ враховує усі перелічені недоліки і дозволяє адекватно характеризувати екологічний стан водного середовища як середовища мешкання живих організмів.

За методикою ОДЕКУ води р. Південний Буг - м. Первомайськ відносяться до **6 категорії (брудні)**. Ця оцінка якості у найбільшій мірі відповідає рибогосподарським нормам.

Перелік посилань

1. *Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями* / Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П. та ін. – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с.
2. *Сафранов Т.А.* Екологічні основи природокористування: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Львів: «Новий світ», 2003. – 246 с.
3. *Сніжко С.І.* Оцінка та прогнозування якості природних вод. – К.: Ніка. Центр, 2001. – 262 с.
4. *Мусаелян С.М.* Водные ресурсы Армянской ССР (использование, охрана, экономика). – Єреван: Изд-во Ереванск. гос.универс., 1989. – 126 с.
5. *Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма.* – Тимченко З.В. – Симферополь: Доля, 2002. – 152 с.
6. *Збірник методичних вказівок з дисципліни “Методи оцінки якості природних вод” для студентів спеціальності “Екологія та охорона навколишнього середовища”*/ Юрасов С.М. – Одеса: ОДЕКУ, 2005. – 86 с.
7. *Колісник А.В., Юрасов С.Н.* Вдосконалення методики комплексної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2009. – вип. 7. – с. 192 – 202.

Комплексная оценка качества вод по разным методикам и пути ее совершенствования.

Юрасов С.Н., Курьянова С.А., Юрасов Н.С.

В статье выполнен критический анализ комплексной оценки качества вод по разным методикам на примере р. Южный Буг - г. Первомайск. Показано, что направленность существующих методик на разных потребителей и недостатки этих методик не позволяют адекватно характеризовать качество вод как среды обитания живых организмов. В результате чего по данным одного пункта наблюдений воды можно характеризовать от «чистых» до «катастрофически загрязненных». Перечислены недостатки существующих методик и предложена новая методика.

Ключевые слова: комплексная оценка, качество вод, показатель качества, классификация качества, экологическое состояние, блок показателей, эффект суммарного действия.

Complex estimation of quality of waters on different methods and the ways of its perfection.

Urasov S., Kurjanova S., Urasov M.

The critical analysis of complex estimation of quality of waters on different methods on the example of Yugny Bug - Pervomaysk is executed in the article. It is shown that on different users and lacks of these methods does not allow the orientation of existent methods adequately to characterize quality of waters, as environments of dwelling of live organisms. As a result from data of one point of supervisions of water it is possible to characterize from «clean» to «catastrophically muddy». The lacks of existent methods are transferred and a new method is offered.

Keywords: complex estimation, quality of waters, index of quality, classification of quality, ecological state, block of indexes, effect of total action.