

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

ANALYTICAL REVIEW
OPEN ACCESS

АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСУ ЯКОСТІ ВОДИ, ЩО ПРИДАТНІ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

С.А. Коваленко¹, Р. В. Пономаренко¹, О. В. Третяков², Є. В. Іванов¹¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна²Національний авіаційний університет, Київ, Україна

УДК 502.51:502.172

DOI: 10.52363/2522-1892.2023.1.9

Отримано: 20 березня 2023

Прийнято: 27 квітня 2023

Cite as: Kovalenko S., Ponomarenko R., Tretyakov O., Ivanov Y. (2023). Analysis of known methods of determining of the water quality index suitable for predicting the environmental state of surface water bodies. Technogenic and ecological safety, 13(1/2023), 68–75. doi: 10.52363/2522-1892.2023.1.9

Анотація

У статті розглянуто екологічні індекси якості води, які застосовуються для планування водоохоронної діяльності, опрацювання водоохоронних заходів, здійснення екологічного та еколого-економічного районування, екологічного картографування; індекс забруднення води, який визначається за гідрохімічними показниками; модифіковані моделі індексу якості води Хортон; індекс якості води запропонований канадською радою міністрів навколишнього середовища; індекс Саїда, який застосовують для оцінки якості води загального використання; індекс якості води в річковому суббасейні в певному році; індекс забруднення Немерова, який застосовується для комплексної оцінки якості води, опадів або ґрунту та Орегонський індекс якості води. Визначено переваги і недоліки індексів якості та забруднення води.

Ключові слова: поверхневі водні об'єкти, басейновий принцип управління, комплексний індекс забруднення, індекс якості води.

1. Постановка проблеми.

Постійною потребою для здоров'я, благополуччя та забезпечення необхідного рівня життя людини є чиста, безпечна для споживання вода. Збільшення вмісту забруднюючих речовин у водних об'єктах (важкі метали, канцерогенні речовини, радіонукліди, стійкі органічні сполуки) спричинене постійними чи аварійними скидами стічних вод промислових об'єктів, сільського господарства, комунальних підприємств. До найбільших забруднювачів поверхневих водних об'єктів відносять сільське господарство, підприємства хімічної, целюлозно-паперової, харчової, текстильної та нафтопереробної галузі, а також гірничодобувні та металургійні комбінати. Наприклад, до сільськогосподарських угідь басейну річки Дніпро вноситься близько 5 % фосфору та 20 % азоту, які потрапляють у водні об'єкти з поверхневим стоком [1]. Стоки, які забруднено паливно-мастильними матеріалами, побутовими стоками із вмістом засобів побутової хімії, стічними водами промислових підприємств, ґрунтовими водами із домішками хімічних засобів, що застосовують у сільському господарстві, а також ливневими стоками, які впливають на стан питної води. Регенераційні можливості природних компонентів, у тому числі і поверхневих водних об'єктів, досить обмежені, тому у майбутньому населення може відчувати значний дефіцит прісної води придатної до споживання.

Для аналізу інформації про стан води та прогнозування його змін у майбутньому, для розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі використання водних ресурсів здійснюється державний моніторинг. Результатами здійснення державного моніторингу вод є:

- первинна інформація (дані спостережень), яка надається суб'єктами державного моніторингу вод;
- узагальнені дані, що стосуються певного проміжку часу або певної території;
- прогнози стану вод та його змін;
- науково обґрунтовані рекомендації, необхідні для прийняття управлінських рішень;
- оцінка екологічного та хімічного стану поверхневих вод та визначення джерел негативного впливу на них;
- індекси і комплексні показники, одержані внаслідок узагальнення за параметрами.

Нині в Україні розроблено багато методик комплексної оцінки якості води, проте Український гідрометеорологічний центр і Державне агентство водних ресурсів України надає перевагу визначенню індексів забруднення води (ІЗВ) та коефіцієнта забрудненості природних вод. Оцінки забруднення поверхневих водних об'єктів дають можливість мати уявлення про характер та ступінь забрудненості водних об'єктів різноманітними хімічними речовинами. Результати проведення оцінок дозволяють визначити придатність водного об'єкту для того чи іншого типу водокористування. Система екологічної оцінки якості поверхневих вод має сім категорій та п'ять класів якості води:

- I клас з однією категорією (1) дуже чисті;
- II клас – чисті з двома категоріями: чисті (2) та досить чисті (3);
- III клас – забруднені, з двома категоріями: слабо забруднені (4) і помірно забруднені (5);
- IV клас з однією категорією (6) – брудні;
- V клас з однією категорією (7) – дуже брудні відповідно до вимог СанПіН 2.2.4-171-10 [2].

Індекс забруднення для поверхневих водних об'єктів може бути розрахований лише за певною кількістю показників і для кожного з них виводиться середньоарифметичне значення (кількість аналізів має бути не менше 4 значень).

2. Мета дослідження.

Метою дослідження є аналіз сучасних відомих індексів забруднення та якості води, які використовуються в Україні та світі для оцінки можливості їх застосування в сучасних умовах для реалізації басейнового принципу управління водними ресурсами.

3. Аналіз відомих методик.

Визначення оцінки якості води містить чотири етапи [9]:

- 1) етап групування та обробки вихідних даних;
- 2) етап визначення класів і категорій якості води за окремими показниками;
- 3) етап узагальнення оцінок якості води за окремими показниками (вираженими в класах і категоріях) за окремими блоками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води;
- 4) етап визначення об'єднаної оцінки якості води (з визначенням класу і категорії) для певного водного об'єкта в цілому чи його окремих ділянок за певний період спостережень.

Визначення об'єднаної екологічної оцінки якості поверхневих вод для певного водного об'єкта полягає в обчисленні інтегрального або екологічного індексу (I_e). Значення екологічного індексу якості води визначається за формулою:

$$I_e = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}, \quad (1)$$

де I_1 – індекс сольового складу; I_2 – трофосапробіологічний (еколого-санітарний) індекс; I_3 – індекс специфічних показників токсичної дії.

До переваг даного методу відносять: доцільність використання у випадку, коли зручніше користуватись однозначною оцінкою (для планування водоохоронної діяльності, опрацювання водоохоронних заходів, здійснення екологічного та еколого-економічного районування, екологічного картографування тощо); можливість визначити, наскільки вода відповідає нормам, що дозволяє підтримувати рівновагу в екосистемах та зберігати природні ресурси. До недоліку можна віднести те, що під час розрахунків не враховуються природні чинники, такі як погода, природні катастрофи, які можуть змінювати якість води.

Індекс забруднення поверхневих водних об'єктів (гідрохімічний індекс забруднення води) – це показник рівня забруднення, що показує ступінь забруднення води і вказує на наявність у ній різних забруднюючих речовин. Гідрохімічний індекс забруднення води відноситься до числа методик, що часто використовується для оцінки якості водних об'єктів в Україні, а також застосовують у світі [3, 4]. Розрахунок індексу забруднення води

здійснюється на підставі гранично допустимих концентрацій (ГДК), значення яких залежить від типу водокористування. Сутність методики полягає у розрахунку індексу забруднення вод за гідрохімічними показниками та віднесення її до відповідного класу та категорії якості води за ступенем чистоти (забруднення). Він розраховується по шести-семи показниках, які мають найбільше значення приведених концентрацій, незалежно від того чи підвищують ГДК, чи ні. Для поверхневих вод кількість показників, які беруться для розрахунку ІЗВ, повинна бути не меншою 5, обов'язково включати розчинений кисень та БСК₅ (біологічне споживання кисню). Індекс забруднення для поверхневих вод обчислюється за формулою [5]:

$$I_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (2)$$

де C_i – фактична концентрація i -го показника; $ГДК_i$ – гранична допустима концентрація i -го хімічного компонента; n – кількість компонентів.

Для методики оцінки якості води за отриманим значенням ІЗВ виділяють такі класи якості води: I – дуже чиста ($ІЗВ < 0,3$); II – чиста ($0,3 < ІЗВ < 1$); III – помірно забруднена ($1 < ІЗВ < 2,5$); IV – забруднена ($2,5 < ІЗВ < 4$); V – брудна ($4 < ІЗВ < 6$); VI – дуже брудна ($6 < ІЗВ < 10$); VII – надзвичайно брудна ($ІЗВ > 10$).

Для річок, які входять до басейну Дніпра, а саме Псел, Ворскла, Десна, Сейм, Сула, Самара було розраховано індекси забруднення води по семи показникам (БСК, розчинений кисень, концентрація іонів амонію, нітратів та нітритів, сульфатів та фосфатів). Результати розрахунків відображені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Індеси забруднення поверхневих водних об'єктів та класи якості води

Назва поверхневого водного об'єкта	Значення ІЗВ	Клас якості води	Якість води
Ворскла	1,313	III	Помірно забруднена
Десна	1,081	III	Помірно забруднена
Псел	1,263	III	Помірно забруднена
Самара	1,548	III	Помірно забруднена
Сейм	1,081	III	Помірно забруднена
Сула	1,285	III	Помірно забруднена

До третього класу відносяться води, які знаходяться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем.

До переваг даного методу відносять простоту розрахунків, що дозволяє швидко та ефективно оцінювати рівень забруднення водних об'єктів та

відстежувати зміни якості води в часі та виявляти небезпечні тренди щодо забруднення. До недоліків розрахунку ІЗВ можна віднести те, що є фіксована кількість показників, за якими класифікується якість води (до 7), тому під час розрахунку не можливо охопити всі наявні забруднюючі речовини, які присутні у воді; неможливо визначити вплив інших чинників на якість води, таких як мікробіологічні та радіологічні забруднення, що можуть бути не менш значущими.

Головна безпека полягає у прояві синергізму, коли присутність однієї речовини посилює токсичність іншої або коли дві токсичні речовини створюють сполуку, токсичність якої значно вища, ніж початкові (наприклад, сполуки іонів важких металів і деяких органічних кислот).

Для комплексної оцінки екологічного стану поверхневих вод використовується ентропійний індекс якості води (G). Ентропійний індекс якості води є одним з показників, який використовується для визначення екологічної стабільності водного екосистеми. Індекс використовується для оцінки якості води в різних водоймах, таких як річки, озера, ставки та інші. Його застосування дає можливість порівняння різних водойм між собою та оцінює екологічну стабільність водних екосистем. Значення G -функції показують, що саме та в якій мірі переважає у системі. Наприклад, якщо $G < 1$ – в структурі системи переважає порядок, в іншому випадку, коли $G > 1$ – переважає хаос. При $G = 1$ хаос і порядок урівноважують одне одного та структурна організація системи є рівноважною.

Для виконання розрахунку I (геоекологічної синтропії), H (ентальпії) та G можна скористатися наступним обчислювальним алгоритмом, запропонованим в [6].

1. Визначається число перевищень нормативу i -ї речовини (показника якості води) n .

2. Оцінюється загальна сума перевищень нормативу (N): $N = \sum n$.

3. Обчислюються $\log_2 N$, $n \log_2 n$, $\sum n \log_2 n$.

4. Розраховуються геоекологічна синтропія I (3) та ентальпія H (4):

$$I = \frac{\sum n \log_2 n}{N};$$

$$H = \log_2 N - I. \quad (4)$$

5. Визначається ентропійний індекс якості води G (5):

$$G = \frac{H}{I}. \quad (5)$$

Для річок, які входять до басейну річки Дніпро, а саме Псел, Самара, Сула, Сейм, Ворскла, Десна було розраховано ентропійні індекси якості води за 2020 рік по семи показникам (БСК, розчинений кисень, іони амонію, нітрати та нітрити, сульфати та фосфати). Результати розрахунків відображені у таблицях 2–7 відповідно.

Результати дослідження свідчать, що основними забруднювачами води поверхневих водних об'єктів є іони амонію та нітрити, у річці Самара також сульфати та хлориди. Вони можуть негативно впливати на здоров'я людини внаслідок канцерогенної та мутагенної дії, а також прискорювати евтрофікацію водних об'єктів. Отримані результати досліджень вказують, що найбільші значення ентропійного індексу якості води річки Сейм характерні для П1 (1,073) та П2 (1,741); річки Сула – П3 (1,39) та П4 (2), річки Десна – П1 (0,783); річки Псел – П1 (1,377) та П4 (1,342); річки Ворскла – П2 (2,089) та П1, П4 (1,466).

До переваг використання ентропійного індексу якості води для комплексної оцінки екологічного стану поверхневих вод можна віднести можливість відслідковувати зміни якості води в часі і визначити тенденції розвитку забруднення джерела води; простоту розрахунку.

Комбінаторний індекс забруднення води дозволяє отримати інтегральну оцінку екологічного стану поверхневих вод, ґрунтуючись на кратності перевищень ГДК окремих інгредієнтів. Розрахунок значення комбінаторного індексу забрудненості та відносна оцінка екологічного стану поверхневих вод у роботі [7] проводилися у два етапи: спочатку за кожною окремою досліджуваною речовиною і показником екологічного стану поверхневих вод, потім розглядався одночасно весь комплекс забруднюючих речовин та виводилася результуюча оцінка. На першому етапі за кожною речовиною було проведено розрахунок повторюваності випадків a_{ij} , тобто частота виявлення концентрацій, що перевищують ГДК:

$$\alpha_{ij} = \frac{n_{ij}'}{n_j} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де n_{ij}' – кількість результатів хімічного аналізу за i -ю речовиною в j -му створі за період часу, що розглядається, в яких їх вміст чи значення перевищують відповідні ГДК; n_j – загальна кількість результатів хімічного аналізу за період часу, що розглядається, за i -ю речовиною в j -му створі.

Далі розраховується середнє значення кратності перевищення ГДК (7), розраховується за результатами аналізу проб, де спостерігається перевищення. У разі виявлення під час аналізу проб значення концентрації забруднюючої речовини нижчої за ГДК такі результати не враховуються під час розрахунків.

$$\bar{\beta}_{ij} = \frac{\sum_{f=1}^{n_{ij}'} \beta_{ijf}}{n_{ij}'}, \quad (7)$$

Таблиця 2 – Розрахунки ентропійного індексу якості води для річки Псел по пунктах спостереження для 2020 року

Значення	П1	П2	П3	П4	П5	П6
N (загальна сума перевищень нормативу)	9	13	15	11	14	14
$n \log_2 n$	3,17	3,7	3,907	3,459	3,807	3,807
$\sum n \log_2 n$	12	20,755	24,755	14,755	22,755	22,755
I (геоекологічна синтропія)	1,333	1,597	1,65	1,341	1,625	1,625
H (ентальпія)	1,837	2,104	2,257	2,118	2,182	2,182
G (ентропійний індекс якості води)	1,377	1,318	1,367	1,579	1,342	1,342

Таблиця 4 – Розрахунки ентропійного індексу якості води для річки Сула по пунктах спостереження для 2020 року

Значення	П1	П2	П3	П4
N (загальна сума перевищень нормативу)	12	9	12	8
$n \log_2 n$	3,585	3,17	3,585	3
$\sum n \log_2 n$	20,755	12	18	8
I (геоекологічна синтропія)	1,723	1,333	1,5	1
H (ентальпія)	1,855	1,837	2,085	2
G (ентропійний індекс якості води)	1,073	1,377	1,39	2

Таблиця 6 – Розрахунки ентропійного індексу якості води для річки Ворскла по пунктах спостереження для 2020 року

Значення	П1	П2	П3	П4
N (загальна сума перевищень нормативу)	13	10	14	13
$n \log_2 n$	3,7	3,322	3,807	3,7
$\sum n \log_2 n$	19,51	10,755	22,755	19,51
I (геоекологічна синтропія)	1,5	1,075	1,625	1,5
H (ентальпія)	2,2	2,246	2,182	2,2
G (ентропійний індекс якості води)	1,466	2,089	1,342	1,466

де $\beta_{ff} = C_{ff} / ГДК_i$ – кратність перевищення ГДК за i -ю речовиною в f -му результаті хімічного аналізі для j -го створу; C_{ff} – концентрація i -ої речовини в f -му результаті хімічного аналізу для j -го створу, мг/дм³.

Для визначення кратності порушення нормативу розчиненого у воді кисню використовують формулу (8)

$$\beta_{O_2,fi} = \frac{ГДК_{O_2}}{C_{O_2,fi}}, \quad (8)$$

Узагальнений оціночний бал S за кожною речовиною розраховується за (9)

$$S_{ij} = S_{aij} \cdot S_{\beta_{ij}}, \quad (9)$$

де S_{aij} – частинний оціночний бал за повторюваністю випадків забруднення i -ї

Таблиця 3 – Розрахунки ентропійного індексу якості води для річки Самара по пунктах спостереження для 2020 року

Значення	П1	П2	П3
N (загальна сума перевищень нормативу)	17	20	12
$n \log_2 n$	4,087	4,322	3,525
$\sum n \log_2 n$	32	36,755	14
I (геоекологічна синтропія)	1,882	1,838	1,667
H (ентальпія)	2,205	2,484	2,418
G (ентропійний індекс якості води)	1,171	1,352	2,073

Таблиця 5 – Розрахунки ентропійного індексу якості води для річки Сейм по пунктах спостереження для 2020 року

Значення	П1	П2	П3	П4
N (загальна сума перевищень нормативу)	12	8	8	6
$n \log_2 n$	3,585	3	3	2,585
$\sum n \log_2 n$	20,755	8,755	12,755	10
I (геоекологічна синтропія)	1,73	1,094	1,594	1,667
H (ентальпія)	1,573	0,971	1,406	0,918
G (ентропійний індекс якості води)	1,073	1,741	0,882	0,551

Таблиця 7 – Розрахунки ентропійного індексу якості води для річки Десна по пунктах спостереження для 2020 року

Значення	П1	П2	П3	П4	П5	П6
N (загальна сума перевищень нормативу)	9	24	7	8	25	8
$n \log_2 n$	3,17	4,585	2,807	3	4,644	3
$\sum n \log_2 n$	16	76,028	12,755	16	79,549	16
I (геоекологічна синтропія)	1,778	3,168	1,822	2	3,182	2
H (ентальпія)	1,392	1,417	0,985	1	1,462	1
G (ентропійний індекс якості води)	0,783	0,447	0,541	0,5	0,46	0,5

речовиною в j -му створі за період часу, що розглядається; $S_{\beta_{ij}}$ – частинний оціночний бал за кратністю перевищення ГДК i -ю речовиною в j -му створі за період часу, що розглядається.

У роботі [8] авторами було використано комбінаторний індекс забрудненості води (S_j) для дослідження якості води Дніпровського водосховища, який розраховувався згідно з формулою

$$S_j = \sum_{i=1}^{N_j} S_{ij} \cdot w_i, \quad (10)$$

де S_{ij} – узагальнений оціночний бал за кожною речовиною; N_j – кількість речовин, що враховуються в оцінці; w_i – вагові коефіцієнти, що враховують значимість i -ої речовини.

Перевагами використання цього підходу є можливість використовувати модель для оцінки

якості води у будь-яких умовах, включаючи природні водойми, міські водопроводи, промислові стоки тощо; враховувати всі забруднюючі речовини, які містяться в воді, і не залежить від відповідності певного забруднювача стандартам. До недоліків можна віднести відсутність єдиного стандарту для визначення комбінаторного індексу забруднення води, що може призвести до різних результатів, отриманих різними методами; під час розрахунків використовуються лише концентрації речовин, але не враховується токсичність окремих речовин або їхніх комбінацій.

У світі досить розповсюдженими у використанні є модифіковані моделі індексу якості води Хортон (WQI), яка була розроблена у 1960-х роках і розраховує десять параметрів, які вважаються важливими для більшості водних об'єктів (розчинений кисень, рН, електропровідність, лужність, хлорид, тощо). Індекс якості води Хортон є методом оцінки якості води в річках, озерах та інших водних екосистемах. Цей індекс базується на ряді параметрів води, таких як розчинений кисень, рН, температура та рівень забруднення, і визначається за формулою, що включає ці параметри. Національним фондом санітарії було удосконалено індекс якості води Хортон (NSF-WQI), який широко використовується для розрахунку оцінки якості води річок, водосховищ, підземних вод, озер [9–11]. Даний індекс якості води дає можливість узагальнити значення параметрів в один, а також оцінити зміни, які відбулись із якістю води на різній території.

$$WQI = \sum_{i=1}^n Q_i W_i, \quad (11)$$

де, Q_i – значення для i -го параметра якості води; W_i – вагова оцінка параметру; n – кількість параметрів якості води.

Для NSF-WQI значення оцінки якості води були визначені такі діапазони: якість води відмінна (NSF-WQI = 91...100); якість води хороша (NSF-WQI = 71...90); вода середньої якості (NSF-WQI = 51...70); вода поганої якості (NSF-WQI = 26...50); якість води дуже погана (NSF-WQI = 0...25).

За допомогою удосконаленого індексу забруднення води (IWPI) авторами було визначено просторово-часову динаміку якості води басейну річки Ердао Сунхуа, що протікає у Китаї [12]. Індекс забруднення води (WPI) та удосконалений індекс забруднення води (IWPI) можна розрахувати за формулами

$$WPI(i) = WPI(i) + \frac{C(i) - Cl(i)}{Ch(i) - Cl(i)} \cdot 20; \quad (12)$$

$$IWPI = \sum_{i=1}^n w_i \cdot WPI(i), \quad (13)$$

де $C(i)$ – фактична концентрація i -го показника; $Cl(i)$ та $Ch(i)$ – нижнє та верхнє граничні значення

i -го показника відповідно; $WPI(i)$ – нижнє граничне значення WPI i -го показника, $i = 1, \dots, n$; w_i – вага i -го показника.

До переваг методу можна віднести те, що дана методика може бути застосована для різних водойм; широке застосування у світі дає можливість порівнювати отримані результати з результатами інших досліджень; дає можливість під час розрахунків використовувати відносно прості параметри (розчинений кисень, рН, електропровідність, лужність, хлорид тощо). Недоліки – під час розрахунку індекса Хортон можливо використати лише 10 параметрів, що обмежують здатність оцінити всі можливі аспекти якості води, такі як наявність різних забруднюючих речовин і бактерій, різноманітність водних екосистем; під час розрахунку не враховуються місцеві умови, такі як географічне положення, клімат, ландшафт, та інші фактори, що можуть вплинути на якість води; дає загальну оцінку якості води, але не надає повної інформації про окремі забруднюючі речовини або джерела забруднення води.

Індекс якості води Саїда (WQI) був застосований для оцінки якості води річки Біг Лост в штаті Айдахо, США [9, 13]. Його можна застосовувати для оцінки якості води загального використання, проте значення індексу не вказує на забруднення мікроелементами металів, органічними забрудненнями та токсичними речовинами.

$$WQI = \log \left[\frac{(DO)^{1.5}}{(3.8)^{TP} \cdot (Turbi)^{0.15} \cdot (15)_{10000}^{fecal} + 0.14(SC)^{0.5}} \right], \quad (14)$$

де DO , $Turbi$, TP , $fecal$, SC – значення розчиненого кисню, каламутності, загального вмісту фосфатів, кишкових паличок і електропровідності відповідно.

До переваг використання індексу якості води Саїда можна віднести те, що отримане значення дозволяє визначити тенденції в зміні якості води з часом; може бути використаний для оцінки якості водних екосистем будь-якого масштабу (від малих ставків до великих річок та озер). Недоліками використання даного індексу є те, що оцінюється якість води всього за п'ятьма основними показниками: значення розчиненого кисню, каламутності, загального вмісту фосфатів, кишкових паличок і електропровідності, які не враховують інші можливі загрози для здоров'я та безпеки води, такі як наявність хімічних забруднювачів; не враховується сезонна динаміка якості води.

Індекс якості води запропонований канадською радою міністрів навколишнього середовища (CCME) можна застосувати водними агентствами країн з певними модифікаціями [11, 14]. Цей метод був розроблений для оцінки поверхневих вод для захисту водних організмів.

$$CCME - WQI = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732}, \quad (15)$$

де F_1 – кількість змінних, цілі яких не досягнуті;
 F_2 – кількість разів, коли цілі не досягаються;
 F_3 – величина, на яку цілі не досягаються;
 $1,732$ – коефіцієнт масштабування.

Для *CCME-WQI* значення оцінки якості води були визначені такі діапазони: якість води відмінна (*CCME-WQI* = 95...100); якість води добра (*CCME-WQI* = 80...94); вода відповідної якості (*CCME-WQI* = 60...79); вода граничної якості (*CCME-WQI* = 45...59); вода поганої якості (*CCME-WQI* = 0...44).

До переваг методу можна віднести те, що для розрахунку даного індексу можна використовувати різні параметри з різними одиницями вимірювання; можливе представлення різноманітних змінних в одне значення, гнучкість у виборі вихідних даних та цілей. Недоліком використання даного індексу є те, що F_1 не буде розраховано належним чином, якщо використано занадто мало даних для розрахунку, чутливість результатів F_1, F_2, F_3 .

Для аналізу та ідентифікації джерел забруднення якості річкової води в річкових суббасейнах Китаю розроблено індекс якості води в суббасейні в певному році (WQI_{it}) та застосовано комплексний індекс оцінки якості води (*WQI*) [15]:

$$WQI_{it} = \beta_0 + \beta_{1cultivation_{it}} + \beta_{2livestock_{it}} + \beta_{3aquaculture_{it}} + \beta_{4industrial_{it}} + \beta_{5domestic_{it}} + \beta_n X'_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it}, \quad (16)$$

де $\beta_{1cultivation_{it}}$ – забруднення від культивування в суббасейні у році t ; $\beta_{2livestock_{it}}$ – забруднення від тваринництва в суббасейні у році t ; $\beta_{3aquaculture_{it}}$ – забруднення від аквакультури в суббасейні у році t ; $\beta_{4industrial_{it}}$ – забруднення від промислових підприємств в суббасейні у році t ; $\beta_{5domestic_{it}}$ – побутове забруднення в суббасейні у році t ; $\beta_n X'_{it}$ – змінна, що включає в себе температуру та опади, якість води у суббасейні вище за течією; μ_i – регіональний фіксований ефект, який контролює регіональні характеристики, на які впливають топографія та географія, нахил головного русла та ухил суші; δ_t – ефект, який контролює характеристики, які змінюються з часом; ε_{it} – похибка, яка визначає якість води.

Переваги методу: дає змогу оцінити загальний стан водного середовища в певному суббасейні за конкретний період часу; можна визначити найбільш проблемні ділянки та розробити ефективні заходи для покращення якості води. Недоліки: немає загальної системи стандартів для оцінки якості води, тому індекс якості води може використовуватися по-різному в різних країнах та регіонах; може бути недостатньо точним для визначення рівня забруднення води, особливо якщо існують складні хімічні та біологічні процеси, які впливають на якість води.

Комплексний індекс оцінки якості води (*WQI*) для вимірювання якості води басейну [15]:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i P_i)}{\sum_{i=1}^n P_i}, \quad (17)$$

де C_i – концентрація параметру; P_i – вага i -го параметру.

Індекс забруднення Немерова (*NPI*) застосовується для комплексної оцінки якості води, опадів або ґрунту [16, 17]

$$NPI - WQI = \frac{C_i}{L_i}, \quad (18)$$

де C_i – концентрація i -го параметру; L_i – ГДК i -го параметру.

Для визначення якості води Цинхай-Тибетському плато було удосконалено індекс Немерова, який буде враховувати максимальні та середні значення окремого фактора [16]:

$$NPI - WQI = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{mean}^2 + \left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{max}^2}{2}}, \quad (19)$$

де C_i – концентрація мікроелемента у зразку води; S_i – табличне значення показника ліміти якості води.

Переваги методу: досить простий у використанні та не потребує складних обчислень, що дозволяє з легкістю визначати рівень забруднення води; застосовується для оцінки якості води різних типів водних об'єктів та може бути застосований у різних країнах. Недоліки: не враховує місцеві умови, такі як клімат, географічне положення; індекс забруднення води дає загальну оцінку якості води і не вказує на джерела забруднення або на конкретні хімічні сполуки, які можуть бути присутні у воді.

Орегонський індекс якості води (*OWQI*) об'єднує вісім параметрів якості води (температура, розчинений кисень, біохімічне споживання кисню, рН, аміачний і нітратний азот, загальний фосфор, загальна кількість твердих речовин [19].

$$OWQI = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI_i^2}}}, \quad (20)$$

де n – кількість параметрів; SI_i – значення i -го параметра.

Для *OWQI* значення оцінки якості води були визначені такі діапазони: якість води відмінна (*OWQI* = 90...100); якість води добра (*OWQI* = 85...89); вода відповідної якості (*OWQI* = 80...84); погана якість води (*OWQI* = 60...79); дуже погана якість води (*OWQI* = 0...59).

Дана методика не дає можливості врахувати значення токсичних речовин, металів тощо, які є небезпечними для здоров'я людини, а також неможливо зробити остаточний висновок про стан якості води без урахування всіх фізичних, хімічних та біологічних параметрів.

У методиках розрахунків індексів якості води (індекс Немерова, індекс Саїда, індекс забруднення важкими металами, тощо) значення отриманої оцінки якості вод відноситься до різних класів, що призводить до того, що одні і ті самі досліджувані водні об'єкти відносяться до різних категорій.

4. Висновки.

Після аналізу різних індексів якості та індексів забруднення води, які застосовуються в Україні та світі, можна зробити висновок, що метою їх розробки є спрощення розрахунків, зведення до простого виразу, що призводить до полегшеної інтерпретації даних моніторингу якості води та відповідного прогнозування змін якості води у часі.

Для поверхневих водних об'єктів, а саме річок Ворскла, Самара, Сейм, Сула, Десна та Псел, що входять до басейну Дніпра, індекси забруднення води показують, що якість води відповідає III класу (відповідно, «помірно забруднені»), тобто вони знаходяться під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистем.

Можна стверджувати, що основним джерелом забруднення досліджуваних водних об'єктів є сільське господарство, оскільки пункти спостереження знаходяться на значній відстані від промислових центрів. Також встановлено, що основними забруднювачами є нітрити та іони амонію. Для річки Самара отримано значення ентропійного індексу якості води для П1 $G = 1,71$, для П2 $G = 1,352$ та для П3 $G = 2,073$, основними забруднювачами є нітрити, іони амонію, сульфати та хлориди. Оскільки річка Самара протікає територією Донецької та Дніпропетровської області, які є промислово розвинені, то основними джерелами забруднення для неї є промисловість та господарчо-побутова діяльність населення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дронова О. Фактори ризику техногенних надзвичайних ситуацій в Україні: монографія. Київ: Ін-т географії НАН України, 2011. 270 с.
2. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Наказ Міністерства охорони здоров'я від 12 трав. 2010 р. №400. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 15.03.2023).
3. Water Pollution Characteristics and Assessment of Lower Reaches in Haihe River Basin / Liu X. et al. *Procedia Environmental Sciences*. 2010. P. 199–206. DOI: 10.1016/j.proenv.2010.10.024.
4. Mekuria D. M., Kassegne A. B., Asfaw S. L. Assessing pollution profiles along Little Akaki River receiving municipal and industrial wastewaters, Central Ethiopia: implications for environmental and public health safety. *Heliyon*. 2021. Vol. 7, no. 7. P. 1–14. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07526.
5. Безсонний Л., Некос А., Сапун А. Екологічна оцінка якості води канівського водосховища. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2022. № 38. С. 85–96. DOI: 10.26565/1992-4224-2022-38-08.
6. Моніторинг екологічної безпеки водотоків за кисневими показниками / Безсонний В. Л. та ін. *Техногенно-екологічна безпека*. 2021. Вип. 10(2/2021). С. 75–83. DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.12.
7. Безсонний В. Л. Підвищення екологічної безпеки поверхневих джерел водопостачання шляхом удосконалення басейнового принципу управління водними ресурсами : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. Суми, 2018. 214 с.
8. Інтегральна оцінка екологічного стану Дніпровського водосховища / Безсонний В. Л. та ін. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2022. Т. 35, № 1. С. 209–227. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-35-16.
9. Uddin M. G., Nash S., Olbert A. I. A Review of Water Quality Index Models and Their Use for Assessing Surface Water Quality. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 122. P. 1–21. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107218.
10. Effendi H., Romanto, Wardiatno Y. Water quality status of Ciambulung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*. 2015. Vol. 24. P. 228–237. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.03.030.
11. Rahman K., Barua S., Imran H. Assessment of water quality and apportionment of pollution sources of an urban lake using multivariate statistical analysis. *Cleaner Engineering and Technology*. 2021. Vol. 5. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.clet.2021.100309.
12. Wang B., Wang Y., Wang S. Improved water pollution index for determining spatiotemporal water quality dynamics: Case study in the Erdao Songhua River Basin, China. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 129. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107931.
13. Said A., Stevens D. K., Sehlke G. An Innovative Index for Evaluating Water Quality in Streams. *Environmental Management*. 2004. Vol. 34. P. 404–414. DOI: 10.1007/s00267-004-0210-y.
14. Costs and benefits of the development methods of drinking water quality index: A systematic review / Han X. et al. *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 144. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109501.
15. Xu H., Gao Q., Yuan B. Analysis and identification of pollution sources of comprehensive river water quality: Evidence from two river basins in China. *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 135. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108561.
16. Surface Water Quality of Selected Tributaries Flowing Through Two Districts, Ho Chi Minh City, Vietnam / Vu L. et al. *Journal of Nano and Electronic Physics*. 2022. Vol. 14. No. 3. C. 03002-1–03002-5. DOI: 10.21272/jnep.14(3).03002.
17. Egbueri J. C., Ameh P. D., Unigwe C. O. Integrating entropy-weighted water quality index and multiple pollution indices towards a better understanding of drinking water quality in Ojoto area, SE Nigeria. *Scientific African*. 2020. Vol. 10. P. 1–18. DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00644.
18. Water quality evaluation and ecological-health risk assessment on trace elements in surface water of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau / Li L. et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022. Vol. 241. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.113775.
19. Marselina M., Wibowo F., Mushfiroh A. Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia. *Heliyon*. 2022. Vol. 8. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09848.

Kovalenko S., Ponomarenko R., Tretyakov O., Ivanov Y.

ANALYSIS OF KNOWN METHODS OF DETERMINING OF THE WATER QUALITY INDEX SUITABLE FOR PREDICTING THE ENVIRONMENTAL STATE OF SURFACE WATER BODIES

The article considered the ecological index of water quality, which is used for planning water protection activities, developing water protection measures, carrying out ecological and ecological and economic zoning, ecological mapping; water pollution index, which is determined by hydrochemical indicators; modified Horton water quality index models; the Water Quality Index is proposed by the Canadian Council of Ministers of the Environment; the Said index, which is used to assess the quality of water for general use; water quality index in the river subbasin in a certain year; The Nemerov Pollution Index, which is used to comprehensively assess water, precipitation, or soil quality, and the Oregon Water Quality Index. Advantages and disadvantages of water quality and pollution indices are determined.

Key words: surface water body, basin management principle, complex pollution index, water quality index.

REFERENCES

1. Dronova, O. (2011). *Faktory ryzyku tekhnohennykh nadzvychainykh sytuatsii v Ukraini [Factors of the Anthropogenic Emergency Risks in Ukraine]*. Kyiv, National Academy of Science of Ukraine, Institute of Geography. [in Ukrainian].
2. *Pro zatverdzhennja Derzhavnyh sanitarnykh norm ta pravyl "Gigijenichni vymogy do vody pytnoi, pryznachenoj dlja spozhyvannja ljudynoju" (DSanPiN 2.2.4-171-10) [On the approval of State sanitary norms and rules "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption" DSANPiN 2.2.4-171-10]*, 400 Decree of the Ministry of Health of Ukraine (2010). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (access date 15.03.2023). [in Ukrainian].
3. Liu, X., Li, G., Liu, Z., Guo, W., & Gao, N. (2010). Water Pollution Characteristics and Assessment of Lower Reaches in Haihe River Basin. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 199–206. DOI: 10.1016/j.proenv.2010.10.024.
4. Mekuria, D. M., Kassegne, A. B., & Asfaw, S. L. (2021). Assessing pollution profiles along Little Akaki River receiving municipal and industrial wastewaters, Central Ethiopia: implications for environmental and public health safety. *Heliyon*, 7(7), 1–14. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07526.
5. Bezsonnyi, V. L., Nekos, A. N., & Sapun, A. V. (2022). Environmental assessment of the water quality of the Kaniv reservoir. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 38, 85–96. DOI: 10.26565/1992-4224-2022-38-08.
6. Bezsonnyi, V., Ponomarenko, R., Tretyakov, O., Kalda, G., & Asotskyi, V. (2021). Monitoryng ekolohichnoi bezpeky vodotokiv za kysnevymy pokaznykamy [Monitoring of Ecological Safety of Watercourses by Means of Oxygen Indicators. *Technogenic and ecological safety*, 10(2/2021), 75–83. DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.12.
7. Bezsonnyi, V. (2018). *The increasing of environmental safety of surface water sources by improving the basin water management principle* [Thesis Candidate of Engineering Sciences Degree, Sumy State University]. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/68205> (access date: 15.03.2023).
8. Bezsonnyi, V., Ponomarenko, R., Tretyakov, O., Ivanov, Y., Borodych, P., & Lutsenko, T. (2022). Integralna otsinka ekolohichnoho stanu Dniprovskoho vodokhovyschcha [Integral assessment of the ecological state of the Dnipro Reservoir]. *Problems of Emergency Situations*, 35(1), 209–227. DOI: 10.52363/2524-0226-2022-35-16. [in Ukrainian].
9. Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A Review of Water Quality Index Models and Their Use For Assessing Surface Water Quality. *Ecological Indicators*, 122, 1–21. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107218.
10. Effendi, H., Romanto & Wardiatno, Y. (2015). Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*, 24, 228–237. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.03.030.
11. Rahman, K., Barua, S., & Imran, H. (2021). Assessment of water quality and apportionment of pollution sources of an urban lake using multivariate statistical analysis. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100309>.
12. Wang, B., Wang, Y., & Wang, S. (2021). Improved water pollution index for determining spatiotemporal water quality dynamics: Case study in the Erdao Songhua River Basin, China. *Ecological Indicators*, 129, 1–12. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107931.
13. Said, A., Stevens, D. K., & Sehlke, G. (2004). An Innovative Index for Evaluating Water Quality in Streams. *Environmental Management*, 34, 404–414. DOI: 10.1007/s00267-004-0210-y.
14. Han, X., Liu, X., Gao, D., Ma, B., Gao, X., & Cheng, M. (2022). Costs and benefits of the development methods of drinking water quality index: A systematic review. *Ecological Indicators*, 144, 1–12. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.109501.
15. Xu, H., Gao, Q., & Yuan, B. (2022). Analysis and identification of pollution sources of comprehensive river water quality: Evidence from two river basins in China. *Ecological Indicators*, 135, 1–13. DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108561.
16. Vu, L., Tuan, M., Duyen, D., Anh, H., Thanh, T., & Tuong, L. (2022). Surface Water Quality of Selected Tributaries Flowing Through Two Districts, Ho Chi Minh City, Vietnam. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 14(3), 03002-1–03002-5. DOI: 10.21272/jnep.14(3).03002.
17. Egbueri, J. C., Ameh, P. D., & Unigwe, C. O. (2020). Integrating entropy-weighted water quality index and multiple pollution indices towards a better understanding of drinking water quality in Ojoto area, SE Nigeria. *Scientific African*, 10, 1–18. DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00644.
18. Li, L., Wu, J., Lu, J., Li, K., Zhang, X., Min, X., Gao, C., & Xu, J. (2022). Water quality evaluation and ecological-health risk assessment on trace elements in surface water of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 241, 1–10. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2022.113775.
19. Marselina, M., Wibowo, F., & Mushfiroh, A. (2022). Water quality index assessment methods for surface water: A case study of the Citarum River in Indonesia. *Heliyon*, 8, 1–10. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09848.