

УДК 504.4.054+ 577.472

КОНЦЕПЦІЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВОДИ ДЛЯ РІЗНИХ ВИДІВ ВОДОСПОЖИВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ БАЖАНОСТІ ХАРРІНГТОНА

Л.В. Войтенко, кандидат хімічних наук
В.А. Копілевич, доктор хімічних наук
М.П. Строкаль, аспірант*

Національний університет біоресурсів і природокористування України

На основі аналізу чисельних методів та методик оцінювання води за її складом зроблено висновки про основні недоліки розрахунку інтегрального показника якості води. Зроблено висновок, що методологічною основою уніфікації підходу може стати функція бажаності Харрінгтона як вираження індексу якості води з вказівкою, для якого виду водокористування чи функціонування водних екосистем вона розрахована.

Вступ. На сьогодні не існує загально-визнаного універсального методу оцінювання якості водних об'єктів або ступеня їх забруднення чи якості води. Існуючі численні методи та методики (рис. 1) прямо чи опосередковано базуються на трансформації кількісних показників у якісні індекси екологічного стану (рис. 1). Саме на основі методик трансформації розробляються численні авторські (експертні) методики, котрі можна класифікувати як за областю дослідження стану водного середовища (гідрохімічного, гідрологічного, санітарно-гігієнічного, мікробіологічного, гідроекологічного тощо), так і за видом водокористування – для питних потреб, зрошення, риборозведення, рекреації тощо [1, 2]. Всі вони мають спільні недоліки: не є універсальними, тобто оцінюють якість чи класифікують вододжерела з точки зору специфічних видів водокористування або

області природничих досліджень; потребують бази даних моніторингових досліджень за тривалий проміжок часу; основою класифікації можуть слугувати довільно обрані дослідником критерії тощо.

Теоретична частина. Системний аналіз існуючих проблем екологічного нормування якості природних вод та ефективність застосування інтегральних індексів [3] показав, що всі вони пов'язані з використанням кількісних характеристик – гранично допустимих концентрацій (ГДК). При всіх недоліках концепції ГДК [4], іншого загально-визнаного варіанту застосування існуючих екологічних нормативів на сьогодні у світі не існує. Інше питання – який з методів інтегральної оцінки якості вододжерел (рис. 2) є найбільш правильним і таким, що може бути реалізованим на практиці. Так, для водних об'єктів встановлено більше 1300 ГДК [3], але чи є сенс проводити аналіз усіх цих поллютантів

*Науковий керівник – професор В.А. Копілевич.

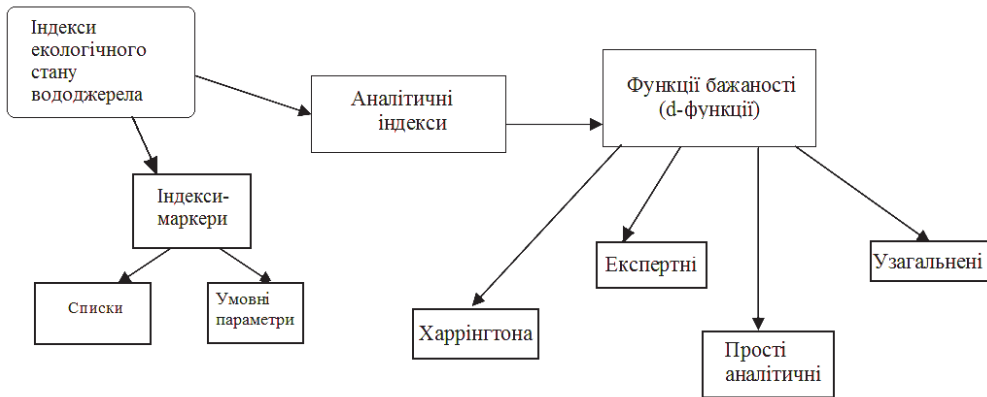


Рис. 1. Структурно-логічна схема трансформації кількісних показників оцінки екологічного стану водних джерел у відносні індекси

навіть за умов достатнього фінансування та наявності лабораторної бази?

Принципово не вирішуваним, на нашу думку, є питання однозначного трактування результатів інтегральної оцінки якості вододжерел за різними методиками. В роботі [5] продемонстровано, як обробка одних і тих же аналітичних даних щодо складу води річки за різними методиками інтегральної оцінки її якості дає повністю протилежні результати – від доброї (за методикою розрахунку індексу якості води (WQI) Національної санітарної організації (NSF) США [6]) до дуже поганої (за методикою згідно з КНД 211.1.4.010-94 [7]).

Крім того, в більшості вони є зрозумілими лише фахівцям та експертам, але не рядовому споживачеві. Як відповісти, наприклад, людині, яка одержала результати аналізу води, де виявлено відхилення за рядом показників від встановлених стандартів, наскільки небезпечно користування такою водою? Чи рівновеликими слід вважати загрози здоров'ю та життю людини перевищення вдвічі, наприклад, ГДК загальної твердості, чи вмісту нітратів, чи колі-індексу, чи вмісту кадмію? Аналогічна проблема – як оцінити загальну ефективність роботи фільтрів для очищення води?

Наскільки при цьому змінюється якість води в цілому, в психофізіологічних термінах, зрозумілих нефахівцеві, – від задовільної до доброї чи дуже доброї тощо?

Базуючись на визначеннях за ГОСТ 15467-79 [8], можна виділити вказані нижче варіанти оцінки, розглядаючи воду як споживчий продукт з точки зору будь-якого виду водокористування (питної води, води для зрошення, для рибозведення та аквакультури, для рекреаційних потреб тощо).

1. *Диференційний метод.* Базується на використанні одиничних показників якості, які характеризують одну її властивість. Очевидно, що цей підхід лежить у основі санітарно-епідеміологічної оцінки якості води. Є набір параметрів, що підлягає контролю, закріпленій у нормативних документах. Після проведення аналізу зразків дається висновок щодо відповідності даної води встановленим нормативам.
2. *Комплексний підхід.* Базується на використанні комплексних показників, що характеризують кілька її властивостей. До них можна віднести, наприклад, включені вперше у світі в Державний стандарт України на питну воду [9] показники генотоксичності



ІНТЕГРАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВОДИ

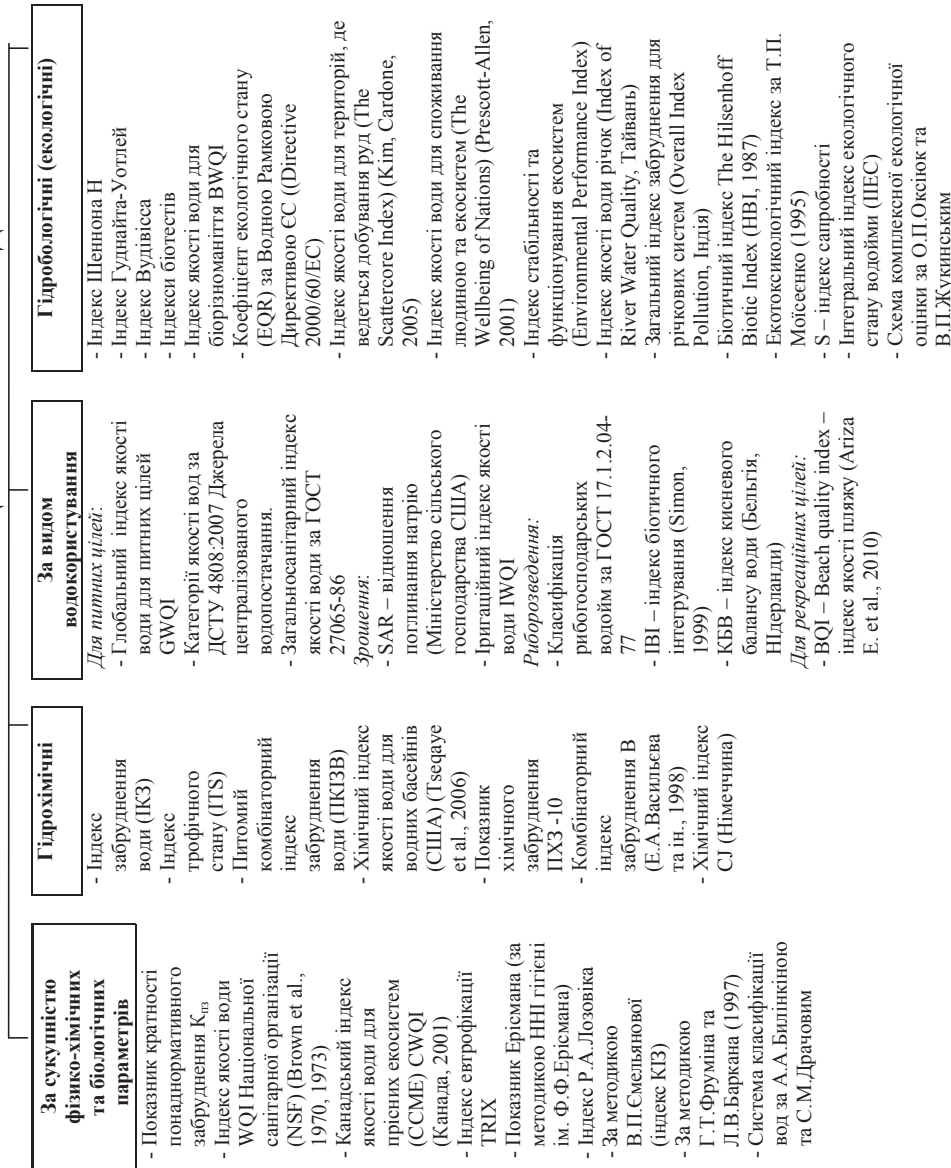


Рис. 2. Класифікація методів і методик комплексного оцінювання якості води за інтегральними показниками

води, що викликали бурхливу дискусію фахівців і значно ускладнили роботу органам контролю.

3. *Інтегральний підхід.* Метод оцінки якості продукту, що базується на використанні суми показників її якості. Для інтегральної оцінки якості питної води, наприклад, логічно прив'язати індекси якості до ризиків для здоров'я споживачів. Цей підхід реалізовано в нормативному документі [11], в якому інтегральна оцінка питної води централізованих систем водопостачання за показниками хімічної безпечності базується на введенні вагових коефіцієнтів ризиків від певних видів забруднювачів до розрахункової формули інтегрального показника. Сама методика власне і обґрунтовує визначення цих коефіцієнтів, що оцінюють рефлекторно-ольфакторні, канцерогенні та неканцерогенні ризики.

Аналогічний принцип покладено і в основу розрахунку згаданого вище індексу якості води WQI NSF. Його розрахунок базується на вимірюванні дев'яти показників – вмісту розчиненого кисню, кількості фекальних колі-форм, величині рН, БСК (біологічному споживанні кисню), темпе-

ратурі, вмісту загального фосфору, нітратів, каламутності та величині сухого залишку. Для трансформації фізичних величин показників якості використовується бальна шкала (0–100), причому для кожного показника перерахунок відображається певною графічною залежністю (рис. 3, 4). Для визначення інтегрального показника введено вагові фактори (табл.1) для кожного з досліджених параметрів.

Як виявилось, величини цих принципово важливих вагових факторів було визначено не на основі об'єктивних (експериментальних чи розрахункових) даних, а шляхом опитування 142 експертів у галузі якості води та усереднення одержаних відповідей [12, с. 29–30]. Параметри із початкового списку з 35 позицій експерти оцінювали за 5-тибальною шкалою та значимістю. Потім було відібрано 15 найбільш значимих параметрів, список яких далі скоротили до 9. Найбільш значимим параметром визначено вміст розчиненого кисню. Тому очевидним є той факт, що експерти оцінювати якість води, виходячи з критерію функціонування водних екосистем, а не вимог до якості води для питних чи технологічних потреб. Тому слід відзначити основний момент, що стосується області використан-

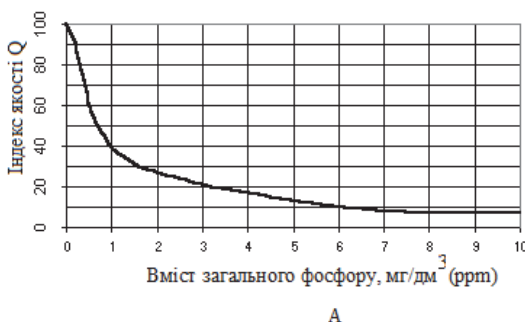


Рис. 3. Вигляд графічних залежностей для розрахунку індексу якості за показниками вмісту загального фосфору (А) та величиною водневого показника рН (Б) для визначення інтегрального показника WQI [11]

Таблиця 1. Величини вагових коефіцієнтів W_i для розрахунку інтегрального показника WQI [6]

Показник якості	Ваговий фактор W_i	Показник якості	Ваговий фактор W_i
Розчинений кисень	0,17	Зміна температури	0,10
Фекальні колі форми	0,16	Вміст загального фосфору	0,10
pH	0,11	Нітрати	0,10
БСК ₅	0,11	Каламутність	0,08
		Сухий залишок	0,07

ня інтегрального показника WQI – він оцінює якість води за фізико-хімічними та мікробіологічними параметрами, але з точки зору еколога, що повинен розглядати ризику евтрофікації (тому включено вміст фосфатів та нітратів), ослаблення фотосинтезу в поверхневому шарі (каламутність), небезпеку теплового забруднення поверхневих вод (температура), підвищення осмотичного тиску і гомеостазу клітин аквакултур (вміст розчинених солей – сухий залишок, pH), забруднення стічними водами (БСК, фекальні колі-форми). Тому високе значення показника WQI не може гарантувати безпечність води для видів водокористування, де перелік шкідливих параметрів значно ширший (важкі метали, радіоактивність, залишки пестицидів, засобів для знезараження води тощо).

Інтегральна оцінка якості води за описаним методом розраховується за формулою:

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

де Q_i – індекс якості для i -того показника якості (визначається за вказаними вище графічними залежностями);

W_i – ваговий коефіцієнт i -того показника якості.

Виражається WQI за 100-бальною шкалою:

- 90–100 балів – відмінна якість;
- 70–90 – добра;
- 50–70 – задовільна;
- 25–50 – погана;
- 0–25 – дуже погана.

Оцінювання якості природних вод за допомогою показника WQI набуває все більшої популярності серед дослідників. Останніми роками спостерігається, без перебільшення, лавиноподібний ріст таких публікацій та глобальних звітів [12, 13]. Цю методику інтегральної оцінки модифікують (Канадський індекс $CWQI$, штат Онтаріо), вводять додаткові параметри, враховують фактор частотності тощо [12].

Чому методика інтегральної оцінки стала такою популярною? На наш погляд, цьому сприяло декілька причин:

- доступність, уніфікованість процедури розрахунку, розробка математичного апарату у вигляді калькулятора, коли on-line можна за кілька хвилин визначити WQI [11];
- оптимальність вибору показників якості води, які в цілому дійсно визначають умови функціонування водних екосистем;
- більшість показників якості води, включених до переліку, можна з достатньою для інтегральної оцінки точністю визначити у польових умовах; зрозуміла для неспеціаліста 100-бальна шкала інтегральної оцінки;
- можливість модифікації з урахуванням як статистичних підходів, так і кількісного та якісного складу параметрів. Ця методика придатна і для оцінювання якості води, і її забруднення – так звані WPI -індекси забруднення води (наприклад, $ICOMI$ – оцінка мінералізації, $ICOMO$ – органічної речовини, $ISOSUS$ – зважених

речовин, ICOTOX, ICOALIs – забруднення аліфатичними та ароматичними сполуками тощо). До речі, розроблення модифікації таких індексів – шанс залишити своє ім'я у науці, бо багато з них ідентифікується за прізвиськом розробника (рис. 2, [12]).

Одночасно такий величезний перелік модифікацій WQI для інтегрального оцінювання якості води свідчить про наявність вказаних нижче недоліків.

1. Сама концепція розроблялась більше 40 років назад і базувалася на фізико-хімічних та деяких мікробіологічних критеріях якості, які були основними для екологічного оцінювання стану природних вод. З того часу перелік поллютантів значно розширився (СПАР, важкі метали, хлорорганічні сполуки, залишки фармацевтичних препаратів, засобів захисту рослин, ГМО-організмів тощо [14, 15]). Чи можна нехтувати їхнім негативним впливом на водні екосистеми, що спостерігається наразі?
2. Довільний вибір вагових коефіцієнтів. Для оцінювання, наприклад, якості питної води є непридатними графічні залежності «показник якості-індекс якості Q» (рис. 3) за вмістом коліформ. Якщо вода містить 1 КУО/100 мл, то індекс якості складає 99 із 100, тоді як норматив якості питної води передбачає не більше 3 КУО/1000 мл, тобто ГДК для питної води вже значно перевищений. Протилежна ситуація – із вмістом нітратів. Для питної води відповідно до ДСТУ [9], нормативів ЄС та ВООЗ ГДК – не більше 50 мг/дм³, але при такому значенні вмісту нітратів індекс якості за методикою WQI буде низьким – 10 із 100. Несуттєвим для питної води є і зміна температури, тоді як вміст головних йонів (кальцію, магнію, натрію+калію, хлоридів, сульфатів, гідрокарбонатів),

що визначають смакові споживчі якості води, не включено взагалі. Сухий залишок, вміст якого перевищує 500 мг/дм³, оцінюється в 20 балів зі 100, хоча у воді для зрошення його ГДК складає до 1000 мг/дм³. Крім того, підземні води, як правило, мають вищу мінералізацію ніж поверхневі, тому показник вмісту розчинених солей буде різко знижувати загальну інтегральну оцінку води за інших рівних показників якості з поверхневими водами. При оцінюванні води для зрошення слід збільшити вагові коефіцієнти показника сухого залишку та ввести показники вмісту загального азоту і важких металів, що суворо нормується екологічними нормативами для води такого виду водокористування [17].

Функція бажаності Харрінгтона як основа інтегральної оцінки якості води.

З огляду на вищевикладене, існує методологічна проблема щодо інтегральної оцінки якості води, пов'язана саме із довільністю трактування результатів аналітичних досліджень. Тому ми й звернулися до так званої об'єднаної функції бажаності Харрінгтона, яка є зручним способом консолідації різнорідних за фізичним змістом критеріїв і знаходить дуже широке застосування – від політики до медицини [18–21]. Математичний апарат перерахунку конкретних параметрів у абстрактні числові значення використовує логістичну функцію Е.К. Харрінгтона d – так звану «криву бажаності», яка визначає емпірично виведену функцію з двома ділянками насичення (в $d \rightarrow 0$ та $d \rightarrow 1$) і лінійну ділянку (від $d = 0,20$ до $d = 0,63$) (рис. 4).

Шкала бажаності відноситься до психологічних шкал, перетворюючи будь-який фізичний параметр у безрозмірну величину:

Значення функції d :

1,00–0,80 – дуже добре;

0,80–0,63 – добре;

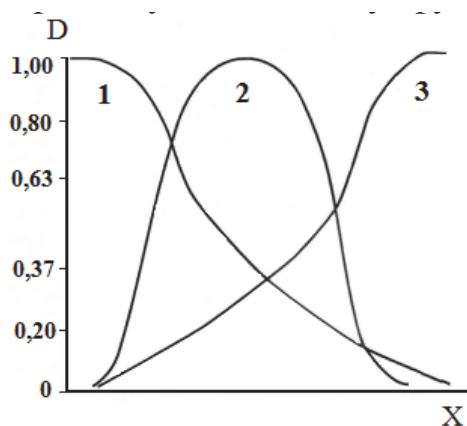


Рис. 4. Вигляд «кривих бажаності» для односторонніх (1, 3) та двосторонніх обмежень (2) на параметр [4]

- 0,63–0,37 – задовільно;
- 0,37–0,30 – погано;
- 0,20–0,00 – дуже погано.

Порівняння принципу розрахунку функції бажаності, її шкали, навіть її графічне зображення (рис. 4) за своєю методологією дуже подібне до оцінки якості води за показником WQI. Відрізняється тільки градація шкали за абсолютними значеннями. Об'єднання часткових бажаностей d_i , визначених для кожного i -того параметра окремо, проводиться за формулою (2) так званої об'єднаної функції бажаності:

$$D_{об.} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i} \quad (2).$$

Очевидно, що формула (1) являє собою середнє арифметичне часткових параметрів, а (2) – середнє геометричне. Відповідно до принципу мажоритарності середніх, середнє геометричне за чисельним значенням менше від середньоарифметичного. Тому запропонований нами метод дає більш жорстку оцінку якості води ніж, наприклад, індекс ІЗВ, що традиційно використовується в системі гідрологічних служб України. Це – перша перевага запропонованої методики.

Друга перевага полягає в тому, що ми можемо самостійно обирати інтервали

значень для кожного діапазону шкали бажаності й без проблем переводити їх з будь-якої кількісної величини, виміряної в будь-яких одиницях, у безрозмірні порівняльні значення.

Як же провести цю найважливішу методологічну операцію відносно нормативів якості води? Зрозуміло, що перш за все доведеться окремо розглядати набір нормативів для кожного виду водокористування, оскільки вони принципово відрізняються (рис. 5).

Далі для кожного параметра слід визначитися з видом обмежень – односторонні вони чи двосторонні. Так, для показника рН у питній воді вказується допустимий діапазон значень 6,5–8,5. Отже, цей параметр має двостороннє обмеження. Аналогічним чином для питної води нормується група показників фізіологічної повноцінності [9]. Для більшості параметрів якості води по всіх видах водокористування обмеження матиме односторонній характер через величину ГДК.

Таким чином, наша концепція має ряд нюансів, які слід враховувати при складанні методики розрахунку індексу якості. З формалізованої позиції абсолютним значенням функції бажаності $D_{об.}=1$ відповідатиме хімічно чиста речовина H_2O . Однак відомо, що ряд мінеральних речовин людина і тварини повинні одержувати з питною водою, а вони у дистильованій відсутні. Тому зрозуміло, що для оцінки якості води для питних цілей, риборозведення тощо обов'язковим є блок показників фізіологічної повноцінності води, де обмеження параметрів є двостороннім. Тобто ідеальним станом буде не повна відсутність усіх розчинених речовин, а їх оптимальний вміст.

Наступний етап – найбільш відповідальний і дещо «волонтарський» (за що й критикують застосування функції бажаності), а саме – визначення діапазонів

фізичних показників параметрів, що відповідають областям психофізичної шкали.

Отже, принципи нашої концепції є наступними.

1. Очевидним є необхідність врахування класу шкідливості речовини. Для речовин 1 класу небезпеки логічно використати той факт, що концентрації найбільш небезпечних полотантів мають дуже низькі значення ГДК у фізичному вираженні, а точність їх визначення фізико-хімічними чи фізичними методами має значну погрішність навіть за використання сучасних інструментальних аналітичних приладів (наприклад, для ртуті [23]). Для них діапазони шкали бажаності слід встановити «з запасом»:

- «дуже добре» – 0–0,5 ГДК;
- «добре» – 0,5–1 ГДК;
- «задовільно» – 1–2 ГДК;
- «погано» – 2–5 ГДК;
- «дуже погано» – 5–100 ГДК.

Якщо на практиці навіть і буде спостерігатися більш ніж 100-кратне перевищення ГДК, то при розрахунках показник буде прийнятий за 100 ГДК, але при цьому розрахунково об'єднана функція бажаності буде обнулятися.

Ще одна проблема при обиранні діапазонів шкали бажаності полягає в тому, що для ряду нормованих параметрів якості води межі визначення (чутливість) типових аналітичних методів та методик, які використовуються у більшості вимірювальних лабораторій світу, вища ніж встановлена величина ГДК. Такий абсурдний момент відзначається в звіті, підготовленому при виконанні програми ООН з систем глобального моніторингу довкілля «Доповідь про розвиток глобального індексу якості питної води та аналіз чутливості» [23].

Слід відзначити, що більшість вказаних у табл. 2 показників санітарно-гігієнічної групи якраз і відносяться до речовин 1 і 2 класу небезпеки.

На наш погляд, щодо коректності аналітичних визначень, невірно, що в ДСТУ 7525:2014 для питної води вищої якості (децентралізованого водопостачання, фасованої чи нефасованої) для ряду показників норматив виражено словом «відсутність». Наприклад, це стосується вмісту заліза загального, міді, марганцю, нафтопродуктів, хлорфенолів, алюмінію, аміаку тощо. Але, зокрема, метод контролю вмісту заліза загального за ГОСТ 4011-72

Таблиця 2. Показники якості води, межа визначення яких аналітичними методами вища, ніж нормативи ВООЗ [23, с. 12]

Група показників якості питної води, до яких відноситься параметр	Параметр	Межа визначення	Норматив, одиниці вимірювання
Санітарно-гігієнічні	Миш'як	0,013 – 0,8	0,01 мг As/дм ³
	Кадмій	0,0038 – 5	0,003 мг Cd/дм ³
	Хром	0,07 – 2	0,05 мг Cr/дм ³
	Мідь	5	2 мг Cu/дм ³
	Свинець	0,011 – 1	0,01 мг Pb/дм ³
	Марганець	1 – 1,1	0,4 мг Mn/дм ³
	Ртуть	2 – 200	1 мкг Hg/дм ³
Органолептичні	Алюміній	0,102 – 1	0,1 мг Al/дм ³
	Залізо	0,5 – 1,2	0,3 мг Fe/дм ³
Мікробіологічні	Фекальні коліформи	16-110000	10 КУО/100 мл



Рис. 5. Блок-схема підготовчого етапу до розробки інтегральної оцінки якості води з використанням об'єднаної функції бажаності Харрінгтона

з сульфосаліциловою кислотою, рекомендований для вимірювання вмісту цього компоненту, чітко фіксує, що діапазон вимірювання становить $0,10\text{--}2,00\text{ мг/дм}^3$, тобто, якщо концентрація заліза нижча за $0,10\text{ мг/дм}^3$, виявити його присутність цим методом неможливо. Тому слід було вказувати при нормуванні не про відсутність цього компонента, а про те, що його вміст повинен бути меншим за межу визначення $0,10\text{ мг/дм}^3$. Такі деталі слід враховувати при виборі діапазонів функції бажаності вищого рівня – «дуже добре» і «добре».

2. Для речовин, вміст яких нормується, але які не віднесено до певних класів шкідливості, підхід може бути пом'якшено. При цьому орієнтуватися слід на органолептичні властивості води, особливості технології водопідготовки або дані про концентрацію цих речовин у природних водних об'єктах.

Так, наприклад, для показника вмісту хлоридів у питній воді можна прийняти наведені у табл. 3 діапазони для розрахунку функції бажаності.

Можлива претензія щодо запропонованих діапазонів значень – «погано» та «дуже погано» про те, що сюди потрапляють мінеральні столові води за вмістом хлоридів, може бути заперечена тим, що мінеральна вода не призначена для регулярного споживання і може мати ряд протипоказань саме за сольовим складом. Оцінка якості проводиться для питної води, призначеної для щоденного споживання.

3. Після розрахунку функції бажаності якості води передбачається, що буде визначено параметр, котрий найсуттєвіше знижує загальну оцінку і на основі цього рекомендувати оптимальний метод очищення води. Наприклад, якщо критичним є параметр перманганатної окиснюваності (присутності розчинених органічних речовин), але мінеральний склад у нормі, то не потрібно застосовувати метод зворотного осмосу з наступною ремінералізацією, а слід обмежитися фільтром з активованим вугіллям. Аналогічні рекомендації можна перенести і на промислові масштаби при розробці технологій водопідготовки.

Таблиця 3. Приклад обґрунтування шкали бажаності для хлоридів

Значення	Діапазон концентрації хлоридів, мг/дм ³	Обґрунтування
1,00–0,80 – дуже добре	0-150	ГДК для води децентралізованого водопостачання вищої якості ДСТУ 7525:2014
0,80–0,63 – добре	150-250	Крайнє значення - ГДК для води централізованого водопостачання вищої якості ДСТУ 7525:2014; органолептичний поріг хлоридів у поєднанні з йонами натрію (солоність води) – більше 250 мг/дм ³ [24]
0,63–0,37 – задовільно	250-350	Значення 350 встановлюється за ДСТУ 7525:2014 за дозволом до Головного державного санітарного лікаря на відповідній території для конкретної системи питного водопостачання на основі оцінювання санітарно-епідемічного стану в населеному пункті і технології підготовки питної води, яку застосовують у разі, коли інші джерела питного водопостачання недоступні, наприклад, у сільській місцевості чи територіях з обмеженими водними ресурсами.
0,37–0,30 – погано	350-2500	Значення 2500 встановлюється, спираючись на дані [24] про те, що при вищій концентрації хлориди можуть сприяти виникненню гіпертензії (ймовірніше при асоціації з йоном натрію).
0,20–0,00 – дуже погано	2500-15000	Максимальна концентрація вказується на основі гідрохімічних даних про вміст хлоридів у прісних водах України [25]

Який же інтегральний показник якості води є найкращим? Автори монографії [12, с. 354], які наводять найбільш повну картину існуючих методик інтегральної оцінки якості води, констатують, що не можуть дати пояснення, чому одні індекси популярніші за інші. Дослідники [26], оцінивши якість одного й того ж зразка води за допомогою 36 різних індексів, одержали абсолютно різні результати і причиною цього вважають різні значення

вагових коефіцієнтів, вибір різних параметрів якості та інтегральних формул. Тому, на наш погляд, не може бути універсальної шкали оцінки якості чи забруднення води. Проте методологічною основою уніфікації підходу повинна стати функція бажаності Харрінгтона як вираження індексу якості води з вказівкою, для якого виду водокористування чи функціонування водних екосистем її розраховано.

Література

1. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463 с.
2. Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности: Методические рекомендации. – М.: ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора, 2011. – 37 с.



3. Подходы к нормированию качества окружающей среды. Законодательные и научные основы существующих систем экологического нормирования / Рисник Д.В., Беляев С. Д., Булгаков Н. Г. и др. // Успехи современной биологии. – 2012. –132, №. 6. – С. 531–550.
4. Бикбулатов Э.С., Степанова И.Э. Функции желательности Харрингтона для оценки качества природных вод // Экологическая химия. – 2011. – 20, № 2. – С. 94–104.
5. Вербецька К.Ю. Порівняльний аналіз методик оцінки якості поверхневих вод (на прикладі типової р. Губісцкалі) // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Сільськогосподарські науки». – 2011, Вип. 5 (11). – С. 91–99.
6. A water quality index – do we dare? / R.M. Brown, N.I. McClelland, R.A. Deininger et al. // Water and Sewage Works. – 1970. – 117, Issue 10. – P. 339–343.
7. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України: Методика: КНД 211.1.4.010-94. – К.: 1994. – 37 с.
8. ГОСТ 15467-79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. М.: Стандартиформ, 2009. – 22 с.
9. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. – Чинний від 2015-02-01. – Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. – IV, 25 с.: табл. – (Національний стандарт України).
10. Методические рекомендации МР 2.1.4.0032-11 “Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности” (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 31 июля 2011 г.)
11. Water Quality Index Calculator. [Електронний ресурс] - Режим доступу: - <http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters>
12. Abbasi T., Abbasi S.A. Water quality indices. – Amsterdam: Elsevier Science Ltd. – 2012. – 384 pp.
13. Water quality assessment in terms of water quality index / Shweta Tyagi, Bhavtosh Sharma, Prashant Singh et al. // American Journal of Water Resources. – 2013. – 1, №3. – P. 34–38.
14. UNEP, 2007. Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report. United Nations Environment Programme, GEM/Water Programme Office, Burlington, Ontario, Canada. Електронний ресурс] - Режим доступу: - http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/global_drinking_water_quality_index.pdf
15. Виставна Ю.Ю., Руско Ю.О. Фармацевтичні речовини у природних водах: моніторинг та екологічний ризик // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». – 2011. – № 37. – С. 137–140. [Електронний ресурс] - <http://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/901/895>.
16. Analysis and occurrence of pharmaceuticals, estrogens, progestogens and polar pesticides in sewage treatment plant effluents, river water and drinking water in the Llobregat river basin (Barcelona, Spain) / M. Kuster, M. José López de Alda, M.D. Hernando, M. Retrovic et al. // Journal of Hydrology. – 2008. – 358 (1-2). – P. 112-123. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.05.030
17. Відомчий нормативний документ ВНД 33-5.5-02-97 Якість води для зрошення. Екологічні критерії / Державний комітет України по водному господарству. – Харків, 1998.
18. Польовий М.А. Сутність імітаційного моделювання політичних процесів – [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/Perspekt/2011_2/Polyovyyj.pdf
19. Использование функции желательности Харрингтона при решении оптимизационных задач в химической технологии: Учебно-метод. пособие / Сост. С.Л.Ахназарова, Л.С.Гордеев // М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева, 2003. – 76 с.
20. Зазнобина Н.И. Оценка экологической обстановки в крупном промышленном центре с помощью обобщенной функции желательности (на примере города Нижнего Новгорода) // Вестник Нижегород. ун-та им. Н.И.Лобачевского. – 2007. – № 2. – С. 115–118.
21. Королева С.В. Практические аспекты использования функции желательности в медико-биологическом эксперименте // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 6. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.science-education.ru/100-5270>.
22. Андрулайтис Л.Д., Рязанцева О.С. к вопросу о достоверности анализа ртути в природных водах // VIII Всероссийская конференция по анализу объектов окружающей среды «ЭКОАНАЛИТИКА-2011» и школа молодых ученых, посвященные 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова. Тезисы докладов. – Архангельск, 2011. – С. 68.
23. Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report. Prepared and published by the United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System

- (GEMS)/Water Programme – 2007. - United Nations Environment Programme Global Environment Monitoring System / Water Programme. – Ontario, Canada. – 58 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/global_drinking_water_quality_index.pdf
24. WHO/SDE/WSH/03.04/03. Chlorides in Drinking-water. Background document for development WHO Guidelines for Drinking-water Quality/ - WHO, 2003. – 4 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chloride.pdf
25. Гідрохімічний довідник: Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу / Осадчий В.І., Набиванець Б.Й., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. – К.: Ніка-Центр, 2008.– 656 с.
26. Physico-chemical water quality indices. A comparative review // Nelson Fernandez, Alberto Ramirez, Fredy Solano / Revista Busta, 2012. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.academia.edu/193200/physico-chemical_water_quality_indices

АННОТАЦІЯ

Войтенко Л.В., Копілевич В.А., Строкаль М.П. Концепція інтегральної оцінки якості води для різних видів водопотреблення з використанням функції желательності Харрінгтона // *Биоресурсы и природопользование*. – 2015. – 7, № 1–2. – С. 25–36.

На основі аналізу багатьох методів і методик оцінки складу води відзначені основні недоліки розрахунку інтегрального показника якості води. Методологічною основою запропонованої концепції уніфікованого підходу може стати функція желательності Харрінгтона як вираження індексу якості води з указанням, для якого саме виду водопольовання або функціонування водних екосистем вона розрахована.

SUMMARY

L. Voitenko, V. Kopilevich, M. Strokal. The conception of water quality assessment used Harrington's desirability function for different kinds of water consumption // *Biological Resources and Nature Management*. – 2015. – 7, № 1–2. – P. 25–36.

It was done the systematic analysis of the numerous methods and techniques of water quality assessment based on its composition. The main methodological idea of the proposed concept for the unified approach may be Harrington's desirability function as an expression of the water quality index, indicating for which kind of water consumption or functioning of aquatic ecosystems it is designed.