

УДК 502.51(282)

DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-5>

**Єлизавета ЗАЛЕНСЬКА**

аспірант кафедри аналітичної і біонеорганічної хімії та якості води, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041

**ORCID:** 0009-0006-5285-9863

**Бібліографічний опис статті:** Заленська, Є. (2023). Оцінка якості поверхневих вод для зрошення з використанням функції бажаності Харрінгтона. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 2, 32–39, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-5>

## ОЦІНКА ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДЛЯ ЗРОШЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІЇ БАЖАНОСТІ ХАРРІНГТОНА

Мета представлено дослідження полягала у вивченні існуючих підходів та розробленні власної методології узагальненого оцінювання фізико-хімічних та хіміко-токсикологічних показників складу поверхневих вод з метою їхнього використання для зрошення. Показано актуальність роботи через ключову роль іригації при вирішенні продовольчої проблеми на фоні глобальних змін клімату.

Метод агрегації окремих показників полягав у використанні функції бажаності Харрінгтона як широко відомого прийому кваліметрії. У якості субіндексів розраховано показники SAR та коефіцієнт зрошення за Стеблером. Шкали часткових бажаностей  $d_i$  для кожного окремого параметру складу та властивостей води складено на основі класифікації якості води для зрошення, які містять нормативні документи у даній області, а саме ДСТУ 2730:2015 Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії та ВНД 33-5.5-02-97 Вода для зрошення. Екологічні критерії.

Процедуру розрахунку індексу якості води для зрошення (ІЯВЗ) проводили із використанням власного програмного продукту WODA v0.6A, написаного мовою Python.

На прикладі оцінювання якості води річки Уманка (Черкаська обл.) продемонстровано результати застосування запропонованої методології у вигляді ІЯВЗ за 18 показниками (рН, каламутністю, сухим залишком, вмістом головних іонів мінеральної матриці, фосфатів, нітратного азоту, заліза загального, вмісту цинку, купруму, плюмбуму та кадмію, перманганатної окисності). Встановлено, що на зниження загальної оцінки якості впливають варіабельність показників рН, каламутності, гідрокарбонатної твердості та перманганатної окиснюваності. Кількісна оцінка якості води для потреб зрошення коливалася від 73% (добре) до 61% (задовільно). Априорі передбачуваним став факт погіршення якості річкової води нижче міста Умань.

Використання запропонованої методики стане у нагоді для організації просторово-часового моніторингу, обробки даних спостережень та моделювання якості води за будь-яким набором параметрів їхнього складу та властивостей для різних видів водокористування та водоспоживання.

**Ключові слова:** зрошення, індекс якості води, функція бажаності Харрінгтона, річка Уманка.

**Yelyzaveta ZALENSKA**

PhD Student in Chemistry, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Geroiv oborony st., Kyiv, Ukraine, 03041

**ORCID:** 0009-0006-5285-9863

**To cite this article:** Zalenska, Ye. (2023). Otsinka yakosti poverkhnevykh vod dlia zroshennia z vykorystanniam funksii bazhanosti Kharrinhtona [Surface water quality assessment for irrigation using Harrington's desirability function]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 2, 32–39, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2023-2-5>

## SURFACE WATER QUALITY ASSESSMENT FOR IRRIGATION USING HARRINGTON'S DESIRABILITY FUNCTION

The research objective is to analyze the existing approaches and develop a generalized assessment methodology for surface water composition, including its physicochemical and chemical-toxicological parameters. The predicted field of water consumption is irrigation. The actuality of the research topic is the key role of irrigation in food problems against the backdrop of global climate change.

*Harrington's desirability function, a well-known technique of qualimetry was used as an aggregation approach of individual water quality indicators. SAR indicators and the Stabler's irrigation coefficient were calculated as sub-indices. Scales of partial desirability  $d_i$  for each individual parameter of water composition and properties are compiled on the basis of water quality limitations for irrigation. The guidelines of such regulatory documents as Ukrainian State Standard DSTU 2730:2015 Environmental Protection. Quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria, and a departmental regulatory document (DRD) 33-5.5-02-97 Water for irrigation. Environmental criteria are the basis for developing quality scales.*

*The procedure of the irrigation water quality index (IWQI) calculation was carried out using our own Python software product WODA v0.6A.*

*On the example of water quality assessment of the Umanka River (Cherkasy oblast), the results of the proposed methodology application in the form of an IWQI according to 18 indicators (a pH, turbidity, total dissolved solids TDS, the main ions of the mineral matrix, phosphates, nitrate nitrogen, total iron, the content of Zinc, Copper, Lead, and Cadmium, Kubel's permanganate index). It was established that the variability of a pH, turbidity, temporary hardness, and permanganate index were the main influence factors that responded to the overall quality assessment reduction. The qualitative assessment of water quality for irrigation purposes ranged from 73% (good) to 61% (satisfactory). A priori, the river water quality deterioration below Uman city was predictable.*

*The use of the proposed methodology would be useful for the organization of spatio-temporal monitoring, observation data processing, and modeling of water quality according to any set of water composition parameters and properties for various types of water use and consumption.*

**Key words:** irrigation, water quality index, Harrington desirability function, Umanka River.

**Актуальність проблеми.** Продовольча проблема – напевне, найбільш небезпечний для людства в цілому наслідок глобальних змін клімату. Наразі на зрошуване землеробство припадає біля 90% антропогенного споживання прісної води, його використовують на 22% площі ріллі, воно забезпечує 40% світового виробництва продовольства (Lorenzo, 2022). Основою оцінки придатності води для зрошення є її хімічний склад, перш за все вміст головних йонів, так як вони вступають у різноманітні за своєю хімічною природою взаємодії з ґрунтовим поглинальним комплексом (Zaman, Shahid, & Heng, 2018). Так, внаслідок засолення ґрунтів при зрошенні щороку з сільськогосподарського обороту виводиться близько 10 млн. га угідь (Stavi, Priori, & Thevs, 2022).

Існують численні методичні підходи та методики оцінювання якості води для зрошення (Al Yousif, Chabuk, 2023). Найбільш поширеним слід визнати показник SAR (Sodium Absorption Ratio – відношення поглинання натрію), розроблений департаментом сільського господарства США (Wilcox, 1955). SAR – це відношення кількості еквівалентів  $\text{Na}^+$  до суми  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ . Він дозволяє оцінити стан флокуляції або дисперсії глинистих колоїдів ґрунту. Проте SAR є лише одним із комплексних показників визначення придатності води для зрошення, так як не враховує ґрунтові умови, вид зрошення (крапельне, дощування, фертигація тощо). Тому наразі відбувається активний науковий пошук та розроблення методів комплексного оцінювання води

для зрошення у вигляді так званих індексів якості води (ІЗВ) для зрошення (Irrigation water quality indexes – IWQI) (Simsek, Gunduz, 2007). Тому оцінювання якості природних вод з метою оцінювання ризиків для зрошуваних земель за хімічним складом є актуальною науковою та прикладною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вперше концепцію ІЯВ запропонував Р. К. Хортон в 1965 р. (Horton, 1965). Протягом наступних десятиріч розроблено значне різноманіття різних методик розрахунку ІЯВ в ряді країн світу (Канада, США, країни ЄС, Аргентина, Австралія, країни Африки, Азії (Chidiac et al., 2023)). Однак в цілому єдиного методологічного підходу до узагальненого оцінювання якості води у вигляді ІЯВ не існує. Так, в роботі Брауна (Brown et al., 1970) запропоновано єдиний чисельний критерій для відображення комплексного впливу значущих параметрів якості води. В роботі (Walski & Parker, 1974) ІЯВ розроблено для оцінювання якості локальних водних об'єктів – поверхневих вод поблизу м. Нешвілл, штат Теннесі, і представлено пропозиції щодо подальшого використання ІЯВ. У статті (Dinius, 1987) описано методику ІЯВ для екологічної оцінки рівня забруднення прісної води, цей індекс наразі так і цитують як індекс Дініуса. Автор (Smith, 1990) запропонував систему індексації якості води, призначену для поширення інформації про якість води і розуміння цієї оцінки пересічними споживачами.

Низка досліджень щодо моделей ІЯВ для зрошувальної води стосувалася для оцінки

ефективності їхнього використання в різних природно-кліматичних та ґрунтових умовах. Науковці (Shihab & Al-Rawi, 1994) продемонстрували успішне використання ІЯВ як інструменту управління якістю води річки Тигр у місті Мосул для різних цілей водоспоживання. Було визначено ІЯВ для зрошення водою річки Тигр між Аль-Шаркатом і Альбоаджиллом в Іраку (Numaan, 2008). Проведено оцінку стану і придатності води річки Сітарум у Малайзії для використання в сільському господарстві (Fulazzaky, 2009). Очевидним є географічний тренд досліджень, який охоплює засушливі території планети, де зрошення є необхідною умовою вирощування врожаю.

Можна припустити також, що стрімке зростання кількості наукових публікацій, присвячених розробці та застосуванню ІЯВ, зумовлене необхідністю вироблення методів та методик, які базуються на принципах узагальнення різних за природою, значимістю та рівнем небезпеки параметрів складу та властивостей природних вод з метою ведення прецизійного землеробства. Так, пошук лише у назвах статей за ключовими словами «Індекс якості води» (Water Quality Index) у базі даних Web of Science Core Collection видав таку кількість публікацій: перша половина 2023 р. – 1616, у 2022 р. – 4405; у 2021 р. – 4085; у 2020 . – 3595; у 2019 р. – 2843. Отже, протягом 5 років кількість публікацій зросла практично вдвічі, що є свідченням актуальності досліджень у області розробки та використання ІЯВ. Слід також зазначити, що статті індексуються у понад 30 наукових напрямках – від природничих наук до питань макроекономіки.

В Україні наукові дослідження у галузі інтегральної оцінки якості води для зрошення практично не проводяться. В основному оцінювання полягає у використанні традиційної системи поділу якості іригаційної води на класи «придатна», «обмежено придатна» та «непридатна» відповідно до вимог ДСТУ 7591:2014 Зрошення. Якість води для систем краплинного зрошення. Агрономічні, екологічні та технічні критерії; ДСТУ 2730:2015. Якість доквілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії (Морозов О., Морозов В., Ісаченко, 2019).

**Мета дослідження** полягає в оцінюванні гідрохімічного складу поверхневих вод річки Уманки в межах Черкаської області по пунктах спостережень за критеріями вимог до якості

води для зрошення та узагальнення їх у вигляді індексу якості води для зрошення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аналіз зразків води виконували у сертифікованій вимірювальній лабораторії якості води питної, природної, стічної кафедри аналітичної і біонеорганічної хімії та якості води НУБіП України (сертифікат ДП «Укрметртестстандарт» № ПТ-426/21 від 22.10.2021 р.).

Відбір проб води проведено восени 2022 р. вздовж русла річки Уманка до її впадіння у р. Ятрань (Черкаська обл.). Річка має довжину 43 км, її водозбірний басейн має площу 411 км<sup>2</sup>. Ухил річки становить 2,1 м на 1 км. Річище звивисте, шириною 3,5-5 м, подекуди – 10 м, глибиною в середній течії – 0,4-0,6 м. Схили долини річки пологі, утворені лесоподібними суглинками (Козинська та ін., 2006). Вздовж русла річки Уманки побудовано цілий каскад ставків (Берчак, 2014), що заважає її самоочищенню. Ситуацію погіршують також низький рівень води у річці, спричинений обмеженими опадами.

Нумерація точок пробовідбору відповідала їх розташуванню від витoku до гирла з наступними координатами:

№ 1 – 48°46'19.7"N 30°09'49.7"E (48.772142, 30.163810);

№ 2 – 48°45'46.7"N 30°10'30.2"E (48.762984, 30.175046);

№ 3 – 48°44'31.4"N 30°12'42.3"E (48.742063, 30.211743);

№ 4 – 48°44'21.7"N 30°13'01.4"E (48.739349, 30.217049);

№ 5 – 48°44'26.0"N 30°19'21.6"E (48.740550, 30.322665);

№ 6 – 48°41'01.3"N 30°21'06.1"E (48.683696, 30.351691);

№ 7 – 48°39'22.9"N 30°22'03.4"E (48.656354, 30.367604).

Методологічна складова дослідження полягала у інтегрованому підході до оцінки зрошувальної води у вигляді ІЯВЗ, об'єднавши агрономічні, екологічні та технічні вимоги за допомогою узагальненої функції бажаності Харрінгтона  $D_{об}$ . В рамках цієї концепції розроблено безрозмірні шкали, за допомогою яких показники хімічного складу та фізичних властивостей води трансформуються у так звані безрозмірні часткові функції бажаності  $d_i$ , у тому числі показник SAR та коефіцієнт зрошення за Стеблером (Voitenko L. & Voitenko A., 2017) (табл. 1).

Таблиця 1

## Шкала одностороннього обмеження при розрахунку функції бажаності Харрінгтона

Показники складу, одиниці вимірювання	Значення функції ді				
	1,00–0,80 дуже добре	0,80–0,63 добре	0,63–0,37 задовільно	0,37–0,20 погано	0,20–0,00 дуже погано
Сухий залишок, мг/л	0–500	500–1000	1000–5000	5000–15000	15000–30000
Температура*, °C	21–16	12–15 22–24	9–11 25–28	7–9 29–31	0–8 32–45
pH*	6,9–7,0	6,5–6,8 7,1–7,5	6,1–6,4 7,6–8,5	5,5–6,0 8,6–9,0	3,5–5,4 9,1–11,0
SAR*	2,0–3,0	1,5–1,9 3,1–6,0	1,2–1,4 6,1–12,0	0,9–1,1 12,1–20,0	0,1–0,8 20,0–40,0
КС (коефіцієнт Стеблера)	90,0–18,0	18,0–6,0	6,0–4,0	4,0–1,2	1,2–0,2
Каламутність, НОК	0–5	5–10	10–50	50–200	200–5000
Cl-, мг/л	0–50	50–100	150–250	250–500	500–5000
SO42-, мг/л	0–40	40–150	150–200	200–500	500–5000
PO43-, мг P/л	0–0,2	0,2–0,5	0,5–1,5	1,5–4,0	4,0–15,0
NO3-, мг N/л	0–1	1–2	2–9	9–15	15–100
Ca2+, мг/л	0–40	40–150	150–300	300–500	500–1000
Mg2+, мг/л	0–30	30–50	50–200	200–400	400–1000
Na+ + K+, мг/л	0–20	20–200	200–500	500–1000	1000–5000
HCO3-, ммоль/л	0–2,5	2,5–6,5	6,5–10,0	10,0–15,0	15,0–25,0
Фезаг., мг/л	0–0,05	0,05–0,20	0,20–1,00	1,00–5,00	5,00–20,00
Zn2+, мг/л	0–0,1	0,1–0,5	0,5–5,0	5,0–10,0	10,0–100,0
Cu2+, мг/л	0–0,05	0,05–0,1	0,1–0,5	0,50–5	5–10
Pb2+, мг/л	0–0,005	0,005–0,010	0,010–0,050	0,050–0,500	0,500–2,000
Cd2+, мг/л	0–0,001	0,001–0,005	0,005–0,010	0,010–0,100	0,100–1,000
ПО**, мг O/л	0–10	10–15	15–30	30–50	50–200

Примітки: \* – показник має двостороннє обмеження;

\*\* ПО – перманганатна окиснюваність

Об'єднання часткових бажаностей  $d_i$ , визначених для кожного  $i$ -того параметра окремо, проводиться за формулою (1) у вигляді так званої об'єднаної функції бажаності Харрінгтона:

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

При складанні шкал бажаності було враховано вимоги до класів води для зрошення відповідно до ДСТУ 2730:2015 Захист довкілля. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії та ВНД 33-5.5-02-97 Вода для зрошення. Екологічні критерії. Ця шкала дозволяє перетворити будь-який фізичний параметр у безрозмірну сутність, виражену в психофізичні терміни:

- 1,00–0,80 – «дуже добре»,
- 0,80–0,63 – «добре»,
- 0,63–0,37 – «задовільно»,
- 0,37–0,20 – «погано»,
- 0,20–0,00 – «дуже погано».

Слід відмітити що у випадку, коли хоча б один показник виходить за межі складених шкал, загальна функція бажаності  $D$  обнуляється. Для деяких показників (pH, температура) діапазони значень мають два сегменти, так як для цих параметрів існує оптимальний діапазон, а не одностороннє обмеження по типу ГДК.

Відповідно до загальноприйнятих методик (Tanji, 1990) було розраховано коефіцієнт SAR та коефіцієнт зрошення Стеблера.

Процедуру розрахунку проводили із використанням власного програмного продукту WODA v0.6A, написаного мовою Python.

Результати розрахунку ІЯВЗ за показниками хімічного складу та фізичних властивостей води р. Уманка (табл. 2) засвідчили, що в цілому за величиною показника  $D_{об.}$  якість води для зрошення закономірно погіршується від витoku і далі за течією. Чітко прослідковується зростання антропогенного забруднення за тим, що майже монотонно зростає загальний солев-

міст (сухий залишок) синхронно із зростанням вмісту хлоридів  $Cl^-$ , сульфатів  $SO_4^{2-}$ , нітратного азоту  $N-NO_3^-$ , перманганатної окисності. Слід відмітити, що з точки зору оцінювання якості води для зрошення у вигляді ІЯВЗ погіршення складає біля 11%. В цілому категорія погіршується із оцінки «добре» до «задовільно».

Починаючи з точки 4, виявлено різке зниження показник рН – з 8,26 до 6,77, що свідчить про потрапляння у воду річки кислих стоків чи

субстратів. В цілому динаміку водневого показника рН не можна пояснити впливом природних чинників.

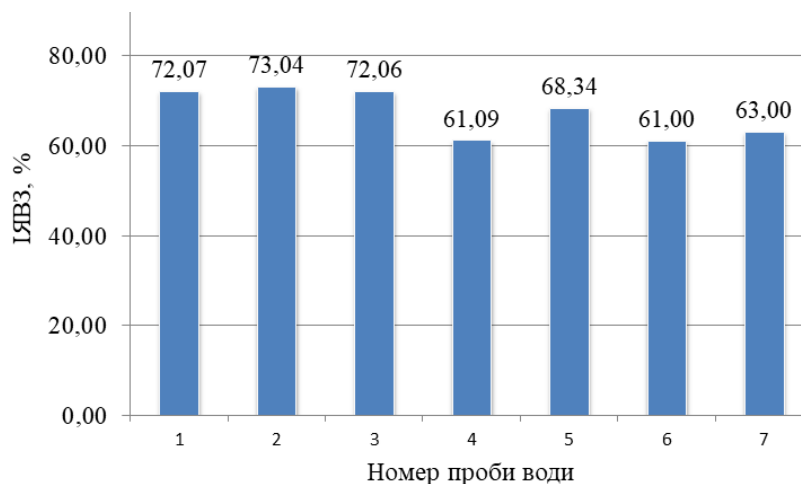
В точці 4 виявлено майже трикратне зростання вмісту натрію, що негативно впливає на оцінку якості води для зрошення. При цьому значення часткової бажаності  $d_1(Na^+)$  знижується від 78% до 69%. Зрозумілим є одночасне зростання показників SAR, при цьому часткова бажаність у точці 3 рівна  $d_{13}(SAR) = 89\%$ , а в точці 4 –  $d_{14}(SAR) = 50\%$ .

Таблиця 2

**Гідрохімічна характеристика поверхневих вод р. Уманка в межах Уманського району Черкаської області за осінній період 2022 року**

Показники	Пункт відбору проби						
	1	2	3	4	5	6	7
Сухий залишок, мг/л	380	390	450	450	600	610	520
Температура, °C	19,20	19,70	19,60	20,20	19,80	18,50	19,30
pH	7,16	8,06	8,26	6,77	6,85	6,77	7,96
SAR	3,1	2,32	2,99	9,24	1,99	3,52	3,42
КС	56,16	37,48	131,53	163,69	164,03	207,36	167,13
Каламутність, НОК	13,04	76,96	79,90	30,91	88,31	27,54	61,19
Cl <sup>-</sup> , мг/л	28,57	38,10	80,95	81,91	100,95	127,62	102,86
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	20,40	24,00	42,00	28,80	36,00	38,40	16,80
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг P/л	0,12	0,06	0,10	0,11	0,07	0,85	0,56
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг N/л	4,02	0,53	0,56	1,31	0,43	6,71	3,33
Ca <sup>2+</sup> , мг/л	86,17	50,10	52,10	48,10	78,16	74,15	46,09
Mg <sup>2+</sup> , мг/л	27,52	35,89	39,58	43,24	58,15	78,99	73,91
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> , мг/л	51,08	37,82	51,11	144,21	36,92	66,40	61,15
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , ммоль/л	7,60	5,60	5,00	9,40	6,80	9,00	8,00
Fe <sub>заг.</sub> , мг/л	0,18	0,29	0,16	0,08	0,21	0,06	0,16
Zn <sup>2+</sup> , мг/л	0,0378	0,0536	0,0169	0,0279	0,0948	0,0491	0,0230
Cu <sup>2+</sup> , мг/л	0,0217	0,0307	0,0635	0,0214	0,0212	0,0253	0,0237
Pb <sup>2+</sup> , мг/л	0,0326	0,0170	0,0230	0,0224	0,0140	0,0081	0,0092
Cd <sup>2+</sup> , мг/л	0,0019	0,0028	0,0017	0,0031	0,0069	0,0019	0,0044
ПО, мг O/л	10,14	27,68	25,23	20,34	29,31	28,50	32,98

\* $K_c$  – іригаційний коефіцієнт Стеблера; ПО – перманганатна окиснюваність



**Рис. 1. Динаміка змін індексу якості води для зрошення за напрямом руху течії р. Уманка згідно результатів досліджень осіннього періоду 2022 р.**

Високі значення SAR означають небезпеку заміни натрієм адсорбованих іонів кальцію та магнію, що призведе до пошкодження структури ґрунту та коренів рослин. Зрошувальна вода з високим рівнем SAR може призвести до накопичення високих рівнів  $\text{Na}^+$  у ґрунті з часом, що може негативно вплинути на водопроникність ґрунту. Вода, яка має  $\text{SAR} \leq 10$ , має дуже добру якість, від 10 до 18 – добру, від 18 до 26 – погану, а більше 26 – дуже погану, яку не можна використовувати для зрошення (Танжі, 1990).

Отже, специфіка методології, використаної у даній роботі, полягає у тому, що критерії оцінювання складу та властивостей води базуються на вимогах для зрошення. Тому в даному випадку вміст натрію, на відміну, наприклад, від оцінювання з точки зору споживання води для задоволення питних потреб людей та тварин, є критичним показником.

Цікаво також відмітити, що зростання вмісту натрію супроводжується в точках 4 та 6 відчутним зниженням каламутності: у точці 3  $d_{i_3}$  (каламутність) оцінено в 33% (погано), а в точці 4 –  $d_{i_4}$  (каламутність) як 50% (задовільно) та в точці 6 –  $d_{i_6}$  (каламутність) в 53% (задовільно). Це явище можна пояснити збільшенням швидкості коагуляції колоїдів із збільшенням йонної сили у водному середовищі. Опосередкованим доказом є синхронне двократне зниження у цих же пробах (4 та 6) вмісту заліза загального.

Очевидно, що збільшення вмісту натрію у точках 4 та 6 відбувається через надходження стоків, що містять натрій гідрокарбонат  $\text{NaHCO}_3$ , бо в цих же точках зростає лужність. Однак цей висновок не погоджується із зниженням показника рН у цих же точках. Логічного пояснення цьому явищу знайти не вдалося.

Під час дослідження було виявлено досить високі значення каламутності, – у переважній більшості за цим показником вода характеризується як «погана». Спостерігається також погіршення перманганатної окиснюваності (ПО) за руслом річки, зокрема, проба 1 (вище місту Умань) за цим показником оцінюється як «добра», а нижче за течією річки (проби 2–6) – «задовільна» і у пробі 7 як «погана».

Показник гідрокарбонатної твердості води (вміст  $\text{HCO}_3^-$ ) коливається у межах від 5,0 до 9,4 мг/дм<sup>3</sup>. Найвище значення спостерігається у пробі 4, яку відібрали у межах міської забудови м. Умань. Тимчасова твердість характе-

ризується як «погана якість» по усій довжині річки. Висока гідрокарбонатна твердість – негативний чинник з точки зору як технологічних властивостей поливної води, так як призводить до утворення вапняного нальоту на поверхні зрошувальних систем, забруднення фільтрів, так і агрономічних, бо обмежує проникнення води до кореневої зони рослин.

Отже, динаміка змін величини ІЯВЗ за напрямом руху течії р. Уманка відповідно до результатів досліджень осіннього періоду 2022 р. свідчить про погіршення якості води нижче по руслу річки (рис. 1).

Якість води р. Уманка за категоріями оцінювання для зрошення у пробах 1, 2, 3 та 5 характеризується як «добра», придатна для зрошення без суттєвих обмежень, за виключенням малооб'ємних субстратів, для якого значно жорсткіші вимоги за показниками каламутності та вмісту заліза загального.

Якість води проб 4, 6 та 7 віднесено до категорії «задовільної». Саме у них виявлено найвищі показники гідрокарбонатної твердості, що суттєво погіршило загальну оцінку якості води.

Очевидно, що основною причиною погіршення якості річкової води є потрапляння стоків. Уздовж русла в межах м. Умань розташовано щонайменше п'ять діючих виробництв, які є потенційними джерелами забруднення. Ще одним потенційним фактором погіршення якості води є реалізація гідротехнічних проектів, зокрема, каскаду гребель. Наслідок – зарегульованість течії, поява застійних ділянок, де накопичуються поллютанти та погіршуються умови самоочищення водойми.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** У роботі проведено аналіз методологічних підходів до оцінювання якості природних вод з точки зору їхньої придатності для зрошення. Показано, що ця наукова та прикладна проблема активно розробляється науковцями різних країн. В цілому основними параметрами є фізико-хімічні та хіміко-токсикологічні – йонний склад, водневий показник, температура, каламутність, вміст токсикантів. Було запропоновано об'єднати агрономічні, екологічні та технічні вимоги до якості води для зрошення у вигляді об'єднаної функції бажаності Харрінгтона. В рамках цієї концепції було розроблено шкали часткових бажаностей для фізико-хімічних параметрів, та субіндексів у вигляді коефіцієнта SAR, коефіцієнта зрошення Стеблера.

За результатами оцінки якості поверхневих вод р. Уманка (Черкаська обл.) встановлено, що на зниження загальної оцінки якості впливають варіабельність показників рН, каламутності, гідрокарбонатної твердості та перманганатної окиснюваності. Кількісна оцінка якості води для потреб зрошення коливалася від 61,00% до 73,04%. Очікуваним є факт погіршення якості нижче за течією м. Умань.

Використання запропонованої методики може бути корисним також з точки зору організації, обробки та моделювання якості води водних ресурсів за будь-яким набором параметрів

їхнього складу та властивостей для різних видів водокористування та водоспоживання – питного водопостачання, риборозведення та аквакультури, рекреації тощо. Важливо відмітити також, що узагальнена оцінка якості води за 100-бальною шкалою та словесним описом доступна для розуміння та інтерпретації не лише фахівцям, а й пересічним споживачам. За величинами критично низьких значень часткових бажаностей параметрів води можна порівнювати якість води з альтернативних вододжерел – наприклад, обрати для зрошення річкову воду чи воду свердловини.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Lorenzo R. Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. *Environmental Research Letters*. 2022. 17 (6). Article 063008.
2. Zaman M., Shahid S.A., Heng L. Irrigation Water Quality. In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer, Cham. 2018. P. 113–131.
3. Stavi I., Priori S., Thevs N. Impact of climate change and land-use on soil functions and ecosystem services in drylands. *Front. Environ. Sci.* 2022. 10. Article 851751.
4. Al Yousif M. A., Chabuk A. Assessment Water Quality Indices of Surface Water for Drinking and Irrigation Applications – A Comparison Review. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. 24(5). P. 40–55.
5. Wilcox L. V. Classification and use of irrigation waters, p. 16. U.S. Dept. Of Agriculture, Circular № 696. 1955. Washington, DC.
6. Simsek C., Gunduz O. IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. 2007. 128. P. 277–300.
7. Horton R.K. An index number system for rating water quality. *Journal Water Pollution Control Federation*. 1965. 37. P. 300–305.
8. Chidiac S., El Najjar P., Ouaini N., Youssef El Rayess, Desiree El Azzi. A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2023. 22. P. 349–395.
9. Brown R.M., McClelland N.I., Deininger R.A., Trozer R.G. A Water Quality Index-Do we dare? *Water and Sewage Works*. 1970. 117 (10). P. 339–343.
10. Walski T.M., Parker F.L. Consumers Water Quality Index. *Journal of Environmental Eng. ASCE*. 1974. 100 (3). P. 593–611.
11. Dinius S.H. Design of an index of water quality. *Water Resources Bulletin*. 1987. 23 (5). P. 833–843.
12. Smith D.G. A Better Water Quality Indexing System for Rivers and Streams. *Journal of Water Science and Technology*. 1990. 24 (10). P. 1237–1244.
13. Shihab A.S., Al-Rawi S.M. Application of Water Quality Index to Tigris River Within Mosul City. *Journal of Al-Rafidain Eng.* 1994. 4 (3). P. 80–92.
14. Numaan M. M. Development of Water Quality Index for Tigris river water between Alsharqat and Alboajeel. 2008. M.Sc. Thesis, Engineering Collage. University of Tikrit.
15. Fulazzaky M A. Water quality evaluation system to assess the status and the suitability of the Citarum river water to different uses. *Environ Monit Assess.* 2010. 168(1-4). P. 669–684.
16. Морозов О.В., Морозов В.В., Ісаченко С.О. Науково-методичні підходи щодо оцінки якості природної води для зрошення (на прикладі Каховської зрошувальної системи). *Водні біоресурси та аквакультура*. 2019. 1. С. 90–101.
17. Географія Уманщини: навч. посіб. / І.П. Козинська, О.І. Ситник, І.В. Кравцова та ін.]. К. : Інтерлінк, 2006. 176 с.
18. Берчак В.С. Антропогенні ландшафти долини річки Уманки. *Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія «Географія»*. 2014. 26. С. 98–107.
19. Voitenko L., Voitenko A. Integrated assessment of irrigation water quality based on Harrington's desirability function. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*. 2017. 1(1). P. 55–58.
20. Tanji K.K. Agricultural salinity assessment and management. ASCE Manuals & Reports on Engineering Practice. 1990. № 71. ASCE, N.Y. P. 220–236.

**REFERENCES:**

1. Lorenzo, R. (2022). Adapting agriculture to climate change via sustainable irrigation: biophysical potentials and feedbacks. *Environmental Research Letters*. 17(6), Article 063008.
2. Zaman, M., Shahid, S.A., Heng, L. (2018). Irrigation Water Quality. In: *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. Springer, Cham., 113–131.
3. Stavi, I., Priori, S., Thevs, N. (2022). Impact of climate change and land-use on soil functions and ecosystem services in drylands. *Front. Environ. Sci.* 10, Article 851751.
4. Al Yousif, M.A., Chabuk, A. (2023). Assessment Water Quality Indices of Surface Water for Drinking and Irrigation Applications – A Comparison Review. *Journal of Ecological Engineering*. 24 (5), 40–55.
5. Wilcox, L.V. (1955). Classification and use of irrigation waters, p. 16. U.S. Dept. Of Agriculture, Circular № 696. Washington, DC.
6. Simsek, C., Gunduz, O. (2007). IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. 128, 277–300.
7. Horton, R.K. (1965). An index number system for rating water quality. *Journal Water Pollution Control Federation*. 37, 300–305.
8. Chidiac, S., El Najjar, P., Ouaini, N., Youssef El Rayess, Desiree El Azzi (2023). A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 22, 349–395.
9. Brown, R.M., McClelland, N.I., Deininger, R.A., Trozer, R.G. (1970). A Water Quality Index-Do we dare? *Water and Sewage Works*. 117 (10), 339–343.
10. Walski, T.M., Parker, F.L. (1974). Consumers Water Quality Index. *Journal of Environmental Eng. ASCE*. 100 (3), 593–611.
11. Dinius, S.H. (1987). Design of an index of water quality. *Water Resources Bulletin*. 23 (5), 833–843.
12. Smith, D.G. (1990). A Better Water Quality Indexing System for Rivers and Streams. *Journal of Water Science and Technology*. 24 (10), 1237–1244.
13. Shihab, A.S., Al-Rawi, S.M. (1994). Application of Water Quality Index to Tigris River Within Mosul City. *Journal of Al-Rafidain Eng.* 4 (3), 80–92.
14. Numaan, M.M. (2008). Development of Water Quality Index for Tigris river water between Alsharqat and Alboajeel. M.Sc. Thesis, Engineering Collage. University of Tikrit.
15. Fulazzaky, M.A. (2010). Water quality evaluation system to assess the status and the suitability of the Citarum river water to different uses. *Environ Monit Assess*. 168(1-4), 669–684.
16. Morozov, O.V., Morozov, V.V., Isachenko, S.O. (2019). Naukovo-metodychni pidkhody shchodo otsinky yakosti pryrodnoi vody dlia zroshennia (na prykladi Kakhovskoi zroshuvalnoi systemy) [Scientific and methodical approaches to assessing the quality of natural water for irrigation (on the example of the Kakhovska irrigation system)]. *Vodni bioresursy ta akvakultura – Water bioresources and aquaculture*. 1, 90–101 [in Ukrainian].
17. *Heohrafiia Umanshchyny: navch. posib. [Geography of Uman region] textbook / I.P. Kozynska, O.I. Sytnyk, I.V. Kravtsova ta in.* (2006). K. : Interlink, 176 pp. [in Ukrainian].
18. Berchak, V.S. (2014). Antropohenni landshafty dolyny richky Umanky. [Anthropogenic landscapes of the Umanka River valley] *Naukovi zapysky Vinnytskoho derzhavnogo pedahohichnoho universytetu imeni Mykhaila Kotsiubynskoho. Serii «Heohrafiia» – Scientific Papers of the Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University. Series: Geography*. 26, 98–107 [in Ukrainian].
19. Voitenko, L. & Voitenko, A. (2017). Integrated assessment of irrigation water quality based on Harrington's desirability function. *International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences*. 1(1), 55–58.
20. Tanji, K.K. (1990). Agricultural salinity assessment and management. *ASCE Manuals & Reports on Engineering Practice*. № 71. ASCE, N.Y. 220–236.