

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03>

УДК (UDC): 504.4.54

С. М. ЮРАСОВ, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри екології та охорони довкілля
e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4312-249X>

Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

В. Д. КАРАУЛОВ, PhD (Екологія),
головний спеціаліст відділу організації безпекових заходів
e-mail: vitdmdpss@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0151-3196>
Управління організації безпеки та розслідування аварій і подій на наземному транспорті
Державної служби України з безпеки на транспорті
вул. Антоновича, 51, Київ, 03150, Україна

В. В. ТЕРЗЕМАН,
аспірант кафедри екології та охорони довкілля
e-mail: mikkymailz@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2298-1003>
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова
вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ ОЦІНКИ І ПРОГНОЗУ ЯКОСТІ ІРИГАЦІЙНИХ ВОД

Мета. Удосконалення методичних підходів до оцінювання і прогнозування якості поливних вод з врахуванням їх часової мінливості на основі аналізу іригаційних властивостей річкових вод Одеської області.

Методи. Статистичні, математичне моделювання і прогнозування.

Результати. Встановлено, що оцінку і прогноз якості іригаційних вод необхідно виконувати з урахуванням мінливості їх складу і властивостей у часі. Показано, що використання середніх значень показників за попередній період часу може призвести до помилок при оцінці якості іригаційних вод. Рекомендовано ризик погіршення якості вод за окремим показником розглядати, як забезпеченість нормативу цього показника. Пропонується, спираючись на досвід країн ЄС, обмежити ризик погіршення якості вод на рівні 10%. Вказується, що суттєвим недоліком методики оцінки небезпеки засолення ґрунту в ДСТУ 2730:2015 є необхідність аналізу гіпотетичних токсичних солей у поливних водах при кожному розрахунку класифікаційного показника, що є дуже незручним при аналізі даних спостережень за тривалі періоди часу. Пропонується усунути цей недолік за рахунок використання детальної типізації іригаційних вод із специфічним набором гіпотетичних солей у кожному їх підтипі, що дозволяє надати формули розрахунку показника $e(rCl)$ для цих підтипів вод. Вказується, що спрощення масових розрахунків дозволяє визначити параметри закону розподілу показника $e(rCl)$ і оцінити ризик погіршення якості вод для різних типів ґрунтів. Встановлено, що в умовах Одеської області оцінку ризику натрієвого осолонцювання ґрунту при поливах можливо виконувати за показником співвідношення концентрацій натрію і кальцію (k_{Na1}). Значна частина дослідження присвячена апробації і уточненню запропонованих методик оцінювання і прогнозу іригаційних характеристик вод. Основні результати роботи вперше отримані у вітчизняній практиці екологічних досліджень.

Висновки. Вітчизняні методичні підходи оцінки і прогнозу якості іригаційних вод потребують подальшого розвитку особливо в частині врахування мінливості у часі цих вод. Подальші дослідження також необхідне спрямувати на обґрунтування обмеження ризиків погіршення якості вод, оскільки прийнятий у статті європейський рівень 10% є орієнтовним.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: джерело зрошувальної води, удосконалення оцінки якості, ризик погіршення, норми ЄС, прогнозування ризиків

Як цитувати: Юрасов С. М., Караулов В. Д., Терзема В. В. Удосконалення оцінки і прогнозу якості іригаційних вод. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2025. Вип. 43. С. 34 - 47. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03>

In cites: Yurasov, S. M., Karaulov, V. D., & Terzeman, V. V. (2025). Improved assessment and forecasting of irrigation water quality. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, (43), 34-47. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-43-03> (in Ukrainian)

© Юрасов С. М., Караулов В. Д., Терзема В. В., 2025



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Вступ

Центральну і південну частини Одеської області займає степ з дуже посушливим кліматом особливо в її південній частині. Дефіцит вологи для сільгосп-культур тут дорівнює приблизно середньої кількості опадів протягом вегетаційного періоду, що потребує розвитку поливного землеробства.

Проблема іригації сільгоспугідь Одеської області залишається дуже актуальним завданням. Основна причина цього полягає в нерівномірності розподілу водних ресурсів по території області. Дунай і Дністер – є основними джерелами іригаційних вод на зазначеній території, проте вони суттєво віддалені від масивів сільськогосподарських полів, які потребують зрошення. Інші водні об'єкти півдня Одеської області не придатні для іригаційних цілей. Утворення водосховища Сасик шляхом опріснення дунайськими водами колишнього лиману з однойменною назвою не привело до очікуваного результату: вода в ньому умовно придатна для зрошення оточуючих ґрунтів. Тут слід додати, що наявна іригаційна система Одеської області, побудована ще в минулому столітті, зношена на 80% і не придатна для подальшої експлуатації. Крім того, методичне забезпечення іригаційної оцінки якості вод потребує удосконалення.

По-перше. У вітчизняній практиці при оцінці якості іригаційних вод, як правило, використовують усереднені за деякий період часу значення показників. Такий підхід не можна вважати вірним, оскільки склад вод протягом зрошувального періоду року (ЗПР) може дуже сильно змінюватися. Відсутність урахування мінливості якості іригаційних вод може привести до того, що протягом ЗПР у деякі проміжки часу (сумарно до 50%) при поливі будуть використовуватися непридатні для зрошення води. Більш того, до

суттєвих помилок може привести наявність позитивного часового тренду у показниках якості.

По-друге. Деякими з методик важко користуватися на практиці. Наприклад, у методиці оцінювання небезпеки засолення ґрунту при поливах (ДСТУ 2730:2015) передбачається аналіз гіпотетичних солей і визначення токсичних іонів. Виконувати такий аналіз за кожний строк дуже складна задача особливо при довгих рядах спостережень.

У зв'язку з вищенаведеним, оцінка іригаційних характеристик річкових вод Одеської області, аналіз мінливості їх іригаційних властивостей, а також удосконалення методик оцінки якості іригаційних вод є актуальним завданням.

Об'єкт дослідження – формування якості річкових вод, як джерела зрошення сільгоспугідь.

Предмет дослідження – іригаційні характеристики річкових вод Одеської області та методики оцінювання якості поливних вод.

Мета: удосконалення методичних підходів до оцінювання якості поливних вод з врахуванням їх часової мінливості на основі аналізу іригаційних властивостей річкових вод Одеської області.

Вирішувалися задачі:

- аналіз існуючих методик оцінки якості іригаційних вод і вибір показників для вирішення поставленого завдання;
- оцінка сучасного стану річкових вод в Одеській області;
- аналіз мінливості іригаційних показників якості вод, визначення параметрів законів їх розподілу та оцінка ризику використання непридатних для зрошення вод при поливі сільгоспугідь;
- вибір найбільш вдалих прикладів застосування методичних удосконалень.

Матеріали та методи дослідження

Вимоги до якості іригаційних вод.

Оцінки якості іригаційних вод присвячено роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів. Тут можна відмітити: С.В. Скока [1], Л. Грановської [2], М.М. Ковальова [3], О.В. Морозова [4], Л.І. Воротинцева [5], С.І. Сніжко [6], А.П. Блажко [7]. Основні положення оцінки якості іригаційних вод відображені у нормативних документах [8-10]. Серед зарубіжних авторів можна згадати роботи: Т. Abbasi [11], В.М. Amin [12], S.G.

Chornyu [13], G. Hussain [14], P.S. Minhas [15], J.C. Nnaji [16], G. Nikolaou [17], P.R. Shaikh [18], Н. Nailu [19], G.W. Anyango [20], M. Zaman [21].

У розробці вітчизняних систем іригаційних критеріїв екологічних [8] і агрономічних [9, 10] приймали участь: С.А. Балюк, В.Я. Ладних, П.І. Кукоба, Л.О. Часова, М.А. Захарова, Г.Я. Чегринцев, Р.Г. Нікула, Г.І. Корчак, Л.В. Григор'єва, І.В. Мудрий, М.І. Ромашенко, Т.О. Грінченко, С.Я. Бездніна; Л.І.

Воротинцева; О.А. Недоцюк, О.А. Носоненко.

При аналізі згаданих джерел встановлено, що у цілому показники якості іригаційних вод можна поділити на чотири частини і розташувати в такій послідовності (за їх значенням): концентрація солей; співвідношення головних іонів; концентрація токсичних елементів, які можуть негативно впливати на сільськогосподарські рослини та навколишнє середовище; концентрація біогенних елементів. Усі показники якості іригаційних вод мають велике значення, але послідовність оцінки виглядає такою: якщо за мінералізацією вода не придатна для зрошення – не має сенсу розглядати інші показники; якщо мінералізація води відповідає потребам зрошення, тоді необхідно аналізувати співвідношення головних іонів (мекв/дм³); якщо за співвідношенням іонів вода придатна для зрошення, тоді необхідно аналізувати концентрацію токсичних і біогенних елементів.

У подальшому при дослідженнях обрано показники з перших двох частин: концентрація солей, класифікаційний показник засолення ґрунту $e(rCl^-)$ (ДСТУ 2730:2015), pH і співвідношення головних іонів.

Оцінка ризику засолення ґрунтів в залежності від загальної мінералізації (M_3) поливної води за О.М. Костяковим:

- клас 1 «придатна для зрошення» – $M_3 \leq 0,4$ г/дм³;

- клас 2 «обмежено придатна для зрошення» – $0,4 < M_3 \leq 1,0$ г/дм³;

- клас 3 «підвищено небезпечна при зрошенні» – $1,0 < M_3 \leq 3,0$ г/дм³;

- клас 4 «не придатна для зрошення» – $M_3 > 3$ г/дм³.

В ДСТУ 2730:2015 небезпека засолення ґрунту при поливах (табл. 1) оцінюється за показником $e(rCl^-)$. У табл. 1 для різних типів ґрунтів містяться нормативи по казника $e(rCl^-)$ [10] для вод трьох іригаційних класів: придатна, обмежено придатна і не придатна для зрошення. Показник $e(rCl^-)$ обчислюють за формулою (1) [10]

$$e(rCl^-) = rCl^- + 0,2(rSO_4^{2-})_T + 0,4(rHCO_3^-)_T + 5rCO_3^{2-}, \quad (1)$$

де: rCl^- – концентрація хлорид-іонів, мекв/дм³; $(rSO_4^{2-})_T$ – концентрація токсичних сульфат-іонів, мекв/дм³; $(rHCO_3^-)_T$ – концентрація токсичних гідрокарбонат-іонів, мекв/дм³; rCO_3^{2-} – концентрація токсичних карбонат-іонів, мекв/дм³.

Суттєвим недоліком методики [10] є необхідність аналізу гіпотетичних солей відповідно послідовності вказаної в табл. 2. Це дуже незручно і ускладнює масові розрахунки.

Таблиця 1

Оцінка якості зрошувальної води за показником $e(rCl^-)$ (ДСТУ 2730:2015) [10]

Table 1

Evaluation of irrigation water quality by indicator $e(rCl^-)$ (ДСТУ 2730:2015) [10]

Значення показника $e(rCl^-)$ за групами ґрунтів (за гранулометричним складом у шарі 0-100 см, мекв/дм ³)/ Values of $e(rCl^-)$ by soil groups (by granulometric composition in the layer 0-100 cm, meq/dm ³)						Клас якості води/ Water quality class
Піщаний/ Sandy	Супіщаний/ Sandy loamy	Легко-суглинковий/ Light loamy	Середньо-суглинковий/ Medium loamy	Важко-суглинковий/ Heavy loamy	Глинистий/ Clay	
< 30	< 26	< 22	< 18	< 14	< 10	I
30 ÷ 40	26 ÷ 36	22 ÷ 32	18 ÷ 28	14 ÷ 24	10 ÷ 20	II
≥ 40	≥ 36	≥ 32	≥ 28	≥ 24	≥ 20	III

Таблиця 2

Схема аналізу солей (ДСТУ 2730:2015) [10]

Table 2

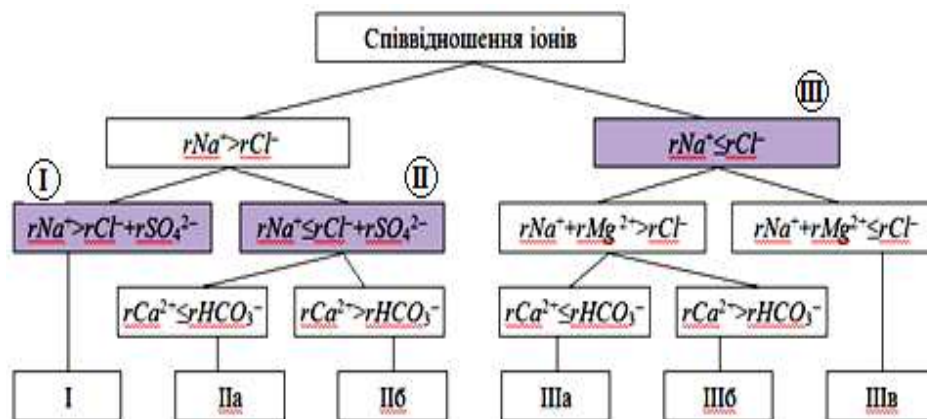
Scheme of salt analysis (DSTU 2730:2015) [10]

Іон/ Ion	rCO_3^{2-}	$rHCO_3^-$	rSO_4^{2-}	rCl^-
rCa^{2+}	–	2	5	8
rMg^{2+}	–	3	6	9
$rNa^+ + rK^+$	1	4	7	10

Усунення згаданого недоліку можливо зробити шляхом визначення типів іригаційних вод, що мають свої, специфічні для кожного з них набори гіпотетичних солей. У цьому разі для кожного типу вод можна визначити набір токсичних іонів і надати розрахункову формулу показника $e(rCl^-)$. У роботах [22-25] запропоновано детальну типізацію іригаційних вод на основі типізації природних вод О.А. Альокіна (рис. 1). Кожен підтип іригаційних вод (I, IIa, IIб, IIIa,

IIIб і IIIв) має свій специфічний набір гіпотетичних солей (табл. 3). У клітинці табл. 3, на перетині відповідного стовпця та рядка, вказано концентрацію іонів (мекв./дм³), які входять до складу гіпотетичної солі. Ці іони взаємно врівноважують один одного та утворюють відповідну гіпотетичну сіль у водному розчині.

Для кожного підтипу вод у табл. 3 приведені формули розрахунку концентрації гіпотетичних токсичних солей у ваговій формі.



Цифрами I, II і III позначені співвідношення іонів у типах природних вод за О.А. Альокіним

Рис. 1 – Схема детальної типізації іригаційних вод [22-25]

The numbers I, II, and III denote the ratio of ions in the types of natural waters according to O.A. Alyokin.

Fig. 1 – Scheme of detailed typification of irrigation water [22-25]

Приклад отримання формул. Внаслідок взаємного врівноваження частин іонів Na^+ і HCO_3^- у воді умовно присутня питна сода $NaHCO_3$ (табл. 3(1)). У еквівалентному виразі концентрація цих частин складає $(rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+})$.

Вагова концентрація частини іонів натрію дорівнює $22,99 \cdot (rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+})$,

$$\begin{aligned} I & - e(rCl^-) = (rCl^- + rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+}) + 0,2(rSO_4^{2-}) + 0,4(rMg^{2+}) + 5rCO_3^{2-}; \\ IIa, IIIa & - e(rCl^-) = rCl^- + 0,2(rSO_4^{2-}) + 0,4(rHCO_3^- - rCa^{2+}) + 5rCO_3^{2-}; \\ IIб, IIIб & - e(rCl^-) = rCl^- + 0,2(rSO_4^{2-} + rHCO_3^- - rCa^{2+}) + 5rCO_3^{2-}; \\ IIIв & - e(rCl^-) = rCl^- + 5rCO_3^{2-}. \end{aligned}$$

Коментар формули розрахунку $e(rCl^-)$ для підтипу I: іони rCl^- і rNa^+ завжди токсичні; іони rSO_4^{2-} у даному випадку усі токсичні оскільки повністю врівноважені токсичними іонами rNa^+ (табл. 3(1)) і гіпотетично утворюють токсичну сіль Na_2SO_4 ; частина іонів $rHCO_3^-$, яка дорівнює $(rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+})$, врівноважена іонами rNa^+ і утворює питну соду $NaHCO_3$ (за токсичністю ця сіль еквівалентна $NaCl$, тому згадана частина

у свою чергу частина гідрокарбонат-іонів як складова питної соди дорівнює $61,02 \cdot (rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+})$, тоді вагова концентрація $NaHCO_3$ буде дорівнювати $84,01 \cdot (rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+})$.

Враховуючи табл. 3 формулу (1) для різних підтипів вод можна записати так [22-25]:

іонів об'єднана з rCl^-); ще одна частина іонів $rHCO_3^-$ врівноважена усіма іонами rMg^{2+} , дорівнює їх концентрації і утворює $Mg(HCO_3)_2$, ця сіль у ДСТУ 2730:2015 вважається токсичною. У цьому документі $(rHCO_3^- - rCa^{2+})$ – токсична лужність.

При наявності у воді аніонів CO_3^{2-} , визначення формули розрахунку $e(rCl^-)$ здійснюється за зменшеною кількістю катіонів натрію – $(rNa^+ - rCO_3^{2-})$.

Таблиця 3

Склад гіпотетичних солей у різних підтипах вод (посилання у джерелах [22-25])
(пропозиція авторів)

Table 3

Composition of hypothetical salts in different subtypes of water (references [22-25]) (authors' proposal)

1) Вагова концентрація токсичних солей (іонів), мг/дм³ / Weight concentration of toxic salts (ions), mg/dm³:

$NaCl = 58,4 \cdot rCl^-$; $Na_2SO_4 = 71,0 \cdot rSO_4^{2-}$; $NaHCO_3 = 84,0 \cdot (rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+})$;

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип I/ Subtype I
rCl^-	rCl^-	0	0	$rCl^- + rSO_4^{2-} < rNa^+$
rSO_4^{2-}	rSO_4^{2-}	0	0	
$rHCO_3^-$	$rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+}$	rMg^{2+}	rCa^{2+}	

2) —“—: $NaCl = 58,4 \cdot rCl^-$; $Na_2SO_4 = 71,0 \cdot (rNa^+ - rCl^-)$; $MgSO_4 = 60,2 \cdot (rCl^- + rSO_4^{2-} - rNa^+)$.

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип IIa/ Subtype IIa
rCl^-	rCl^-	0	0	$rCl^- < rNa^+$ $rCl^- + rSO_4^{2-} \geq rNa^+$ $rHCO_3^- \geq rCa^{2+}$
rSO_4^{2-}	$rNa^+ - rCl^-$	$rCl^- + rSO_4^{2-} - rNa^+$	0	
$rHCO_3^-$	0	$rHCO_3^- - rCa^{2+}$	rCa^{2+}	

3) —“—: $NaCl = 58,4 \cdot rCl^-$; $Na_2SO_4 = 71,0 \cdot (rNa^+ - rCl^-)$; $MgSO_4 = 60,2 \cdot rMg^{2+}$.

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип IIб/ Subtype IIб
rCl^-	rCl^-	0	0	$rCl^- < rNa^+$ $rCl^- + rSO_4^{2-} \geq rNa^+$ $rHCO_3^- < rCa^{2+}$
rSO_4^{2-}	$rNa^+ - rCl^-$	rMg^{2+}	$rCa^{2+} - rHCO_3^-$	
$rHCO_3^-$	0	0	$rHCO_3^-$	

4) —“—: $NaCl = 58,4 \cdot rNa^+$; $MgCl_2 = 47,6 \cdot (rCl^- - rNa^+)$; $MgSO_4 = 60,2 \cdot rSO_4^{2-}$.

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип III/ Subtype IIIa
rCl^-	rNa^+	$rCl^- - rNa^+$	0	$rCl^- \geq rNa^+$ $rCl^- < rNa^+ + rMg^{2+}$ $rHCO_3^- \geq rCa^{2+}$
rSO_4^{2-}	0	rSO_4^{2-}	0	
$rHCO_3^-$	0	$rHCO_3^- - rCa^{2+}$	rCa^{2+}	

5) —“—: $NaCl = 58,4 \cdot rNa^+$; $MgCl_2 = 47,6 \cdot (rCl^- - rNa^+)$; $MgSO_4 = 60,2 \cdot (rNa^+ + rMg^{2+} - rCl^-)$.

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип IIIб/ Subtype IIIб
rCl^-	rNa^+	$rCl^- - rNa^+$	0	$rCl^- \geq rNa^+$ $rCl^- < rNa^+ + rMg^{2+}$ $rHCO_3^- < rCa^{2+}$
rSO_4^{2-}	0	$rNa^+ + rMg^{2+} - rCl^-$	$rCa^{2+} - rHCO_3^-$	
$rHCO_3^-$	0	0	$rHCO_3^-$	

6) —“—: $NaCl = 58,4 \cdot rNa^+$; $MgCl_2 = 47,6 \cdot rMg^{2+}$; $CaCl_2 = 55,5 \cdot (rCl^- - rNa^+ - rMg^{2+})$.

Іон/ Ion	rNa^+	rMg^{2+}	rCa^{2+}	Підтип IIIв/ Subtype IIIв
rCl^-	rNa^+	rMg^{2+}	$rCl^- - rNa^+ - rMg^{2+}$	$rCl^- \geq rNa^+ + rMg^{2+}$
rSO_4^{2-}	0	0	rSO_4^{2-}	
$rHCO_3^-$	0	0	$rHCO_3^-$	

Примітка: rNa^+ – розглядається як сума іонів натрію і калію.

Note: rNa^+ is considered as the sum of sodium and potassium ions.

Співвідношення іонів. Для аналізу іригаційних властивостей річкових вод

Одеської області обрані такі співвідношення головних катіонів:

$$k_{Na1} = rNa^+ / rCa^{2+} \leq 1,0; \quad (2)$$

$$k_{Na2} = rNa^+ / (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \leq 0,70; \quad (3)$$

$$k_{Na3} = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+) \leq 0,65; \quad (4)$$

$$k_{Mg} = rMg^{2+} / (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \leq 0,50, \quad (5)$$

де rNa^+ , rCa^{2+} і rMg^{2+} – концентрація катіонів, мекв/дм³;

Na^+ , Ca^{2+} і Mg^{2+} – концентрація катіонів, ммоль/дм³.

Ризик погіршення якості води. Можливість поливів сільгоспугідь у майбутньому згідно досвіду вітчизняних досліджень виконується за середніми значеннями показників якості вод у деякий попередній період часу. Це не дозволяє врахувати часову мінливість розглянутих показників. При такому способі оцінки якості вод майбутні поливи можуть досить часто виконуватися водою з порушенням вимог норм до співвідношень головних іонів. Сумарна тривалість таких інтервалів часу протягом ЗПР може досягати до 50%, якщо середнє значення показника наближатиметься до нормативу. Крім того, до суттєвої помилки може привести позитивний часовий тренд. У тому й іншому випадку потрібна оцінка ризику (або ймовірності) погіршення якості вод (РПЯВ) та його обмеження.

У вітчизняних нормах обмежень РПЯВ немає. Проте, в країнах ЄС при оцінці якості вод за санітарними або рибогосподарськими нормама відповідно до Директив [26-28] обмеження кількості перевищень нормативу за показником якості задається. За санітарними нормама для більшості показників якості це обмеження складає не більш 10% від загальної кількості спостережень. У такому випадку можна казати, що РПЯВ відповідно до Директив ЄС повинен бути не більш 10%.

Оскільки норматив якості води за деяким показником є межею її придатності чи не придатності для зрошення, то ймовірність перевищення цього нормативу можна розглядати як РПЯВ за розглянутим показником. Формула буде мати вигляд

$$R_{Hi} = 1 - P_i(H_i), \quad (6)$$

де R_{Hi} – РПЯВ за i -им показником;
 $P_i(H_i)$ – ймовірність нормативу якості;
 H_i – норматив i -го показника.

Для характеристики розподілу показників якості вод зручним є логнормальний закон. Його параметрами являються середнє і середньоквадратичне відхилення логарифмованого ряду спостережень.

Якщо показник має тренд у часі, то РПЯВ за ним доцільно розраховувати для деякого потрібного моменту часу j [29]

$$R_{Hij} = 1 - P_{ij}(H_i) \quad (7)$$

При нормуванні хронологічного ряду показника по лінії тренду, розрахункова формула буде мати вигляд [29]

$$R_{Hij} = 1 - P_{ij}(H_i/k_{TPij}), \quad (8)$$

де $k_{TPij} = a_i \cdot \exp(j \cdot b_i)$ – значення функції тренда в момент часу j ; a_i і b_i – параметри лінії тренда i -го показника.

При розрахунках $P_{ij}(H_i/k_{TPij})$ з використанням редактора *Excel* формула розрахунку РПЯВ буде мати вигляд [29]:

$$R_{Hij} = 1 - \text{LOGNORM}(H_i/(a_i \cdot \exp(j \cdot b_i)); 0; \check{G}_{NTi}), \quad (9)$$

де $\text{LOGNORM}()$ – оператор редактора *Excel*; 0 і \check{G}_{NTi} – параметри розподілу i -го показника при його нормуванні по лінії експоненціального тренду [30, 31].

Якщо тренд відсутній, формула розрахунку РПЯВ має вигляд [29]

$$R_{Hi} = 1 - \text{LOGNORM}(H_i; \check{C}_i; \check{G}_i), \quad (10)$$

де \check{C}_i і \check{G}_i – параметри розподілу i -го показника за логнормальним законом.

За формулами (9) або (10) можна прогнозувати ризик погіршення якості вод за окремим показником.

Таблиця 4

Ризик погіршення якості іригаційних вод для різних типів ґрунтів (пропозиція авторів)

Table 4

Risk of deterioration of irrigation water quality class for different soil types (authors' proposal)

Водний об'єкт (параметри закону розподілу $e(rCt)$: \check{C} ; \check{G}) / Water object (parameters of the distribution law $e(rCt)$: \check{C} ; \check{G})						
Ризик (%) погіршення класу якості вод для різних типів ґрунтів / Risk (%) of water quality class deterioration for different soil types						Клас якості води / Water quality class
Піщаний / Sandy	Супіщаний / Sandy loamy	Легко-суглинковий / Light loamy	Середньо-суглинковий / Medium loamy	Важко-суглинковий / Heavy loamy	Глинистий / Clay	
$R(30)$	$R(26)$	$R(22)$	$R(18)$	$R(14)$	$R(10)$	I
$R(40)$	$R(36)$	$R(32)$	$R(28)$	$R(24)$	$R(20)$	II

Орієнтуючись на нормативи показника $e(rCl)$ для різних типів ґрунтів у табл. 1, за формулами (9) або (10) можна розрахувати ризики погіршення якості іригаційної води для цих типів ґрунтів (табл. 4).

Результати дослідження

У дослідженні використано результати спостережень Басейнового управління водними ресурсами на річках Одеської області, проведених у 25 пунктах протягом зрошувальних періодів з 2009 по 2019 роки. Для кожного періоду спостережень визначалися показники іригаційних властивостей води. Довжина часових рядів, загальна кількість яких становила близько 250, варіювалася від 30 до 78 значень. На основі цих даних було розраховано ймовірнісні характеристики показників якості води. У статті наведено результати цих розрахунків для окремих пунктів спостережень (табл. 5).

У вітчизняних нормах немає обмеження ризику перевищення нормативу (кількості перевищень ГДК), але спираючись на досвід країн ЄС, його можна встановити на рівні 10%.

Згідно з табл. 5, для водних об'єктів Одеської області оцінку ризику натрієвого осолонцювання ґрунту можна здійснювати за показником k_{Na1} (формула (2)) без урахування k_{Na2} і k_{Na3} . Це пояснюється тим, що випадки перевищення нормативу за k_{Na1} ($k_{Na1} > 1,0$) не завжди збігаються з перевищенням нормативів за k_{Na2} ($k_{Na2} > 0,7$) або k_{Na3} ($k_{Na3} > 0,65$) (наприклад у табл. 5 річки Ягорлик, М.Куяльник і Карасулак). Водночас усі випадки $k_{Na2} > 0,7$ або $k_{Na3} > 0,65$ співпадають з $k_{Na1} > 1,0$ (річки Каплань, Сарата і Єніка). Ця закономірність була зафіксована на всіх 25 пунктах спостережень в Одеській області.

Таблиця 5

Іригаційні характеристики річок Одеської області (авторська розробка)

Table 5

Irrigation characteristics of the rivers of Odessa region (author's development)

Місце спостереження за якістю води/ Water quality observation site	M_3 , мг/дм ³	pH	Співвідношення іонів/ Ion ratio			
			$k_{Na1} \leq 1,0$	$k_{Na2} \leq 0,7$	$k_{Na3} \leq 0,65$	$k_{Mg} \leq 0,5$
Басейн річки Дністер/ Dniester river basin						
р. Дністер, с.Маяки г. Dniester, Mayaki village	450 0%	7,5 50%	0,45 0%	0,27 0%	0,38 0%	0,37 23%
р. Білоч, с. Шершенці/ г. Biloch, Shershentsi village	822 9%	7,6 0%	0,40 0%	0,21 0%	0,31 0%	0,48 32%
р. Ягорлик, с. Артирівка / г. Yahorlyk, Arturivka village	935 17%	7,6 0%	1,11	0,42 8%	0,47 0%	0,62
Басейн річок Причорномор'я/ Black Sea river basin						
р. М. Куяльник, с. Баранове / г. M. Kuyalnyk, Baranove village	1999 6%	7,9 0%	1,54	0,47 0%	0,50 0%	0,69
р. Каплань, с. Крутоярівка / г. Kaplan, Krutoyarivka village	2266 4%	8,1 0%	2,60	1,07	0,68	0,59
р. Сарата, с. Міняйлівка / г. Sarata, Minyaylivka village	3362	7,9 0%	3,01	1,25	0,72	0,58
Басейн річки Дунай/ Danube river basin						
р. Дунай, м. Рені / Danube river, c. Reni	335 0%	8,1 0%	0,29 0%	0,21 0%	0,29 0%	0,33 0%
р. Карасулак, с. Криничне / г. Karasulak, Krynychne village	3895	7,9 0%	1,82	0,67	0,57	0,63
р. Єніка, с. Першотравневе / г. Yenika, Pershotravneve village	5665	8,1 0%	4,97	1,31	0,72	0,74

Примітка: У табл. 5 напівжирним шрифтом виділені значення, що перевищують норматив.

Note: In Table 5, values exceeding the standard are highlighted in bold.

Тригаційна характеристика р. Дністер (с. Маяки). Середнє багаторічне значення загальної мінералізації (M_3) протягом зрошувального періоду року (ЗПР) складає 450 мг/дм³ (табл. 5). За О.М. Костяковим вода відноситься до класу 2. Ризик погіршення класу якості води за M_3 (імовірність перевищення межі класу 2 – 1000 мг/дм³) становить 0%. Вода у середньому має нейтральну реакцію ($pH = 7,5$, клас I), але протягом ЗПР з імовірністю 50% вона слабо лужна (клас II). Загроза натрієвого осолонцювання відсутня: $k_{Na1}=0,45$; ризик погіршення якості води за цим показником не перевищує 0%. Показник магнієвого осолонцювання k_{Mg}

складає 0,37, але R_{kMg} за цим показником дорівнює 23%, тобто у середньому протягом 23% ЗПР показник $k_{Mg}>0,5$.

Показник k_{Mg} у водах Дністра має позитивний тренд у часі (рис. 2). Цей тренд добре описується експоненціальною залежністю з параметрами $a=0,3055$ і $b=0,00008583$. Параметри розподілу ряду, нормованого відносно лінії тренду (рис. 3), мають значення: $\check{C}_{HTI}=0$ і $\check{G}_{HTI}=0,2936$.

Прогнозне значення ризику погіршення якості води р. Дністер на 01.07.2022 р. (що відповідає середній даті ЗПР) згідно з формулою (9) становить

$$R_H = 1 - \text{ЛОГНОРМРАСП}(0,5/(0,3055 * \exp((01.07.2022) - [01.01.2009]) * 0,00008583)); 0; 0,2936) = 0,41 = 41\%$$

де [01.01.2009] і [01.07.2022] – комірки в таблиці Excel з датами початку відліку часу та прогноною відповідно.

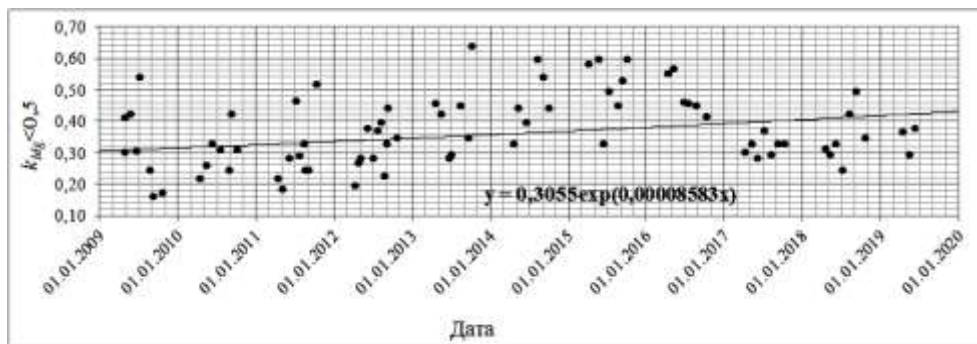


Рис. 2 – Часовий тренд показника магнієвого осолонцювання k_{Mg}
 Fig. 2 – Time trend of the magnesium salinity index k_{Mg}

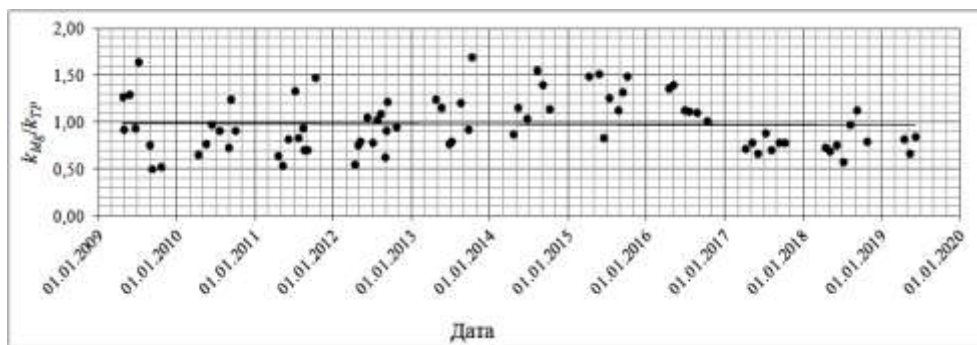


Рис. 3 – Хронологічна послідовність значень показника магнієвого осолонцювання, нормованих за лінією експоненціального тренда (k_{Mg}/k_{TR})

Fig. 3 – Chronological sequence of values of magnesium salinity index normalised by the exponential trend line (k_{Mg}/k_{TR})

Якщо часовий тренд показника k_{Mg} збережеться, то у ЗПР 2022 року ризик погіршення якості води R_{kMg} зросте до 41% при

середньому значенні показника $k_{TR} = 0,47$. А в 2023 році очікується подальше збільшення: $R_{kMg}=45\%$, $k_{TR}=0,48$.

На жаль перевірку прогнозу зробити не вдалося, оскільки результати спостережень після 2019 року відсутні.

За показником $e(rCl)$ води Дністра відносяться до класу I для усіх типів ґрунтів, для них ризик погіршення якості води дорівнює 0.

Застосування удосконаленої методики оцінки можливості іригаційного засолення ґрунтів з урахуванням норм ЄС і аналіз розрахунків аналізуємо на прикладі р. Малий Куяльник (табл. 6).

Іригаційні властивості вод р. М.Куяльник (с. Баранове) за показником $e(rCl)$:

для піщаних і супіщаних ґрунтів води належать до I класу (придатні для зрошення), оскільки ризик погіршення їхньої якості ($R_{e(rCl)}$) становить 4% і 8% відповідно (табл. 6), що не перевищує прийнятий рівень 10%. Для інших типів ґрунтів ризик погіршення якості води з I до II класу перевищує 10%.

Для легкосуглинкових і середньосуглинкових ґрунтів вода річки належить до II класу (обмежено придатна для зрошення), $R_{e(rCl)}$ не перевищує 10%. Відповідно до ДСТУ 2730:2015, такі води вимагають додаткових заходів для використання в іригації.

Таблиця 6

Ризик погіршення якості вод р. М.Куяльник – с. Баранове при поливі різних типів ґрунтів (авторська розробка)

Table 6

The risk of water quality deterioration in the M.Kuyalnyk River – Baranove village under irrigation of different soil types (author's development)

р. М. Куяльник, с. Баранове (параметри закону розподілу $e(rCl)$: $\check{C}=2,193$, $\check{G}=0,6140$)/ г. M. Kuyalnyk Baranove village (parameters of the distribution law $e(rCl)$: $\check{C}=2,193$, $\check{G}=0,6140$)						
Ризик (%) погіршення якості вод для різних типів ґрунтів/ Risk (%) of water quality deterioration for different soil types						Клас якості води/ Water quality class
Піщаний/ Sandy	Супіщаний/ Sandy loamy	Легко-суглинковий/ Light loamy	Середньо-суглинковий/ Medium loamy	Важко-суглинковий/ Heavy loamy	Глинистий/ Clay	
4	8	16	31	55	84	I
1	1	3	5	11	22	II

Для важкосуглинкових і глинистих ґрунтів води р. М.Куяльник належать до III класу (непридатні для зрошення без попереднього поліпшення їхнього складу).

Характеристика вод р. М.Куяльник за іншими показниками. Мінералізація вод дорівнює 1999 мг/дм³ (клас 3, верхня межа класу 3000 мг/дм³), ризик погіршення до класу 4 дорівнює 6% (табл. 5).

Вода річки: має слаболужну реакцію $pH=7,9$ (клас II, верхня межа класу 8,8), ризик погіршення до класу III за pH дорівнює 0; сприяє натрієвому і магнієвому осолон-

цюванню протягом усього ЗПР.

Іригаційна характеристика р. Дунай (м. Вилкове, табл. 5). Мінералізація вод відноситься до класу I з ризиком погіршення 0. Вода річки: має лужну реакцію (клас II) з ризиком погіршення 0; за усіма іншими показниками придатна для зрошення з ризиком погіршення 0.

Для усіх типів ґрунтів загроза іригаційного засолення відсутня. Води річки Дунай за своїми іригаційними характеристиками являються найкращими на території Одеської області.

Висновки

Оцінку якості вод з метою їх використання для поливів у майбутньому (а також вод іншого призначення) необхідно виконувати з урахуванням мінливості складу та властивостей цих вод у часі особливо при наявності позитивного тренду показників якості. Використання середніх значень показників за минулий період часу при оцінці

якості іригаційних вод може привести до того, що поливи у наступні роки часто будуть здійснюватися водою з порушенням іригаційних вимог в залежності від співвідношення середніх значень показників і їх іригаційних нормативів. Частота таких поливів може досягати 50%.

Ймовірність перевищення нормативно-

го значення окремого показника якості води слід розглядати як ризик погіршення якості вод за цим показником. У вітчизняних нормах відсутні обмеження щодо ризику погіршення якості води, тому, з урахуванням досвіду країн ЄС, доцільно орієнтовно встановити це обмеження на рівні 10%.

Суттєвим недоліком методики оцінки небезпеки іригаційного засолення ґрунту в ДСТУ 2730:2015 є необхідність аналізу гіпотетичних токсичних солей у поливних водах при кожному розрахунку класифікаційного показника $e(rCl)$, що є дуже незручним при аналізі даних спостережень за тривалі періоди часу. Це можна усунути, використовуючи детальну типізацію іригаційних вод із специфічним набором гіпотетичних солей у кожному підтипі вод, що дозволяє надати формули розрахунку показника $e(rCl)$ для цих підтипів вод. У свою

чергу, спрощення масових розрахунків дозволяє визначити параметри закону розподілу показника $e(rCl)$ та оцінити ризик погіршення якості вод для різних типів ґрунтів.

В умовах Одеської області оцінку ризику натрієвого осолонцювання ґрунту при поливах можливо виконувати за показником співвідношення концентрацій натрію і кальцію (k_{Na1}), не використовуючи співвідношення натрію з сумою кальцію і магнію (k_{Na2}) та натрію з сумою усіх головних катіонів (k_{Na3}). Оскільки випадки $k_{Na1} > 1,0$ не завжди співпадають з $k_{Na2} > 0,70$ або $k_{Na3} > 0,65$. І навпаки усі випадки $k_{Na2} > 0,70$ або $k_{Na3} > 0,65$ співпадають з $k_{Na1} > 1,0$.

Подальші дослідження слід спрямувати на обґрунтування обмеження ризиків погіршення якості вод, оскільки прийнятий у статті європейський рівень 10% є орієнтовним.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Список використаної літератури

1. Скок С.В. Оцінка придатності стічних вод для зрошення сільськогосподарських культур. *Аграрні інновації*. 2021. 5. С. 75-79. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.12>
2. Hranovska, L., Morozov, O., Pisarenko, P., Vozhegov, S. Ecological problems of irrigated soils in the south of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin. Series "Geology. Geography. Ecology"*. 2022. No 57. P. 282-295. DOI: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-21>
3. Ковальов, М.М., Звездун, О.М., Михайлова, Д. Агроекологічна оцінка якості підземних вод для систем мікрозрошення в умовах північного степу України. *Водні біоресурси та аквакультура*. 2020. 1, С. 16–23. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2020.1.2>
4. Морозов, О.В., Морозов, В.В., Ісаченко, С.О. Науково методичні підходи щодо оцінки якості природних вод для зрошення (на прикладі Каховської зрошувальної системи). *Водні біоресурси та аквакультура*. 2019. № 1. С. 90-101. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2019.1.8>
5. Воротинцева, Л.І. Системний підхід до сталого менеджменту зрошуваних ґрунтів в умовах змін клімату. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2020. 89, с. 41-50. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss89-05>
6. Сніжко, С.І. *Оцінка та прогнозування якості природних вод*. Київ: Ніка-Центр, 2001. URL: https://www.researchgate.net/publication/310832649_Assessment_and_forecasting_of_natural_water_quality (дата звернення: 09.10.2024).
7. Блажко, А.П. Екологічне оцінювання якості поверхневих вод в межиріччі Дністер-Південний Буг в межах Одеської області для краплинного зрошення. *Вісник Одеського національного морського університету*. 2024. 74. С. 121-138. DOI: <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2024-3-121-138>
8. ВНД 33-5.5-02-97. *Якість вод для зрошення. Екологічні критерії*. Харків: Державний комітет України по водному господарству, 1998. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2472/7/nd002%20zah.pdf> (дата звернення: 09.10.2024).
9. ДСТУ 2730-94. *Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії*. Київ: Держстандарт України, 1994.
10. ДСТУ 2730:2015. *Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії*. Київ: «УкрНДНЦ», 2016. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10395-zahyst_dovkilliya_yakist_pryrodnoyi_vody_dlya_zroshen.pdf (дата звернення: 09.10.2024).
11. Abbasi, T., Abbasi, S.A. *Water quality indices*. Amsterdam: Elsevier Sci Ltd, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54304-2.00016-6>
12. Bhat, M.A., Wani, S.A., Singh, V.K., Sahoo, J., Tomar, D., Sanswal, R. An Overview of the Assessment of

- Groundwater Quality for Irrigation. *Journal of Agricultural Science and Food Research*. 2018. Vol. 9. No 1. URL: <https://www.longdom.org/open-access/an-overview-of-the-assessment-of-groundwater-quality-for-irrigation-17296.html> (дата звернення: 09.10.2024).
13. Chornyy, S., Isaeva, V. Agronomic evaluation of irrigation water on the Southern Buh and Kamianska irrigation systems. *Journal of water and land development*. 2022. Vol. 54. P. 77–83. DOI: <https://doi.org/10.24425/jwld.2022.141557>
 14. Hussain, G., Alquwaizany, A., Al-Zarah, A. Guidelines for irrigation water quality and water management in the Kingdom of Saudi Arabia: an overview. *Journal of Applied Sciences*. 2010. Vol. 10 (2). P. 79–96. DOI: <https://doi.org/10.3923/jas.2010.79.96>
 15. Mishra, P.C. *Some Aspects of the Quality of Water in and around Rourkela*. PhD thesis. Odisha, India, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2946>
 16. Nnaji, J.C., Uzairu, A., Harrison, G.F.S., Balarabe, M.L. Effect of Pollution on the Physico-chemical Parameters of Water and Sediments of River Galma, Zaria, Nigeria. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*. 2010. Vol. 1(2). P. 115–122. URL: https://www.researchgate.net/publication/235914633_Effect_of_Pollution_on_the_Physico-Chemical_Parameters_of_Water_and_Sediments_of_River_Galma_Zaria_Nigeria (дата звернення: 09.10.2024).
 17. Nikolaou, G., Neocleous, D., Christophi, C., Heracleous, T. Markou, M. Irrigation ground water quality characteristics: a case study of Cyprus. *Atmosphere*. 2020. 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos11030302>
 18. Shaikh, P.R., Shaikh, I.R., Bhosle, A.B. Water quality and sedimentary analyses of Siddheshwar dam (India) for assessing irrigational suitability. *Iranian Chemical Communication*. 2017. Vol. 5. No 3. P. 315–337. URL: https://icc.journals.pnu.ac.ir/article_3678.html (дата звернення: 09.10.2024).
 19. Hailu, H., Wogi, L., Feyissa, S., Assessment of Irrigation Water Quality Status in Dry Season Wheat Production in Selected Districts of West Hararghe Zone, Ethiopia. *Cross Current International Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*. 2024. P. 93–105. DOI: <https://doi.org/10.36344/ccijavs.2024.v06i04.002>
 20. Anyango, G.W., Bhowmick, G.D., Bhattacharya, N.S. A Critical Review of Irrigation Water Quality Index and Water Quality Management Practices in Micro-Irrigation for Efficient Policy Making. *Desalination and Water Treatment*. 2024. Vol. 318. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100304>
 21. Zaman, M., Shahid, S.A., Heng, L. Irrigation water quality. *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*. 2018. P.113–131. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3>
 22. Yurasov, S.M., Kuzmina, V.A., Karaulov, V.D. Irrigative Assessment of Sasyk Water Quality. *Environmental problems*. 2021. Vol. 6. 2. P. 69–77. DOI: <https://doi.org/10.23939/ep2021.02.069>
 23. Караулов В.Д., Юрасов С.М. Недоліки методики ДСТУ 2730:2015 оцінки якості вод за небезпекою іригаційного заселення ґрунту і її удосконалення. *Грааль науки*. 2022. 23. С. 183–195. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.23.12.2022.29>
 24. Караулов, В.Д., Житкевич, М.Я., Юрасов, С.М. Удосконалення методики оцінки якості іригаційних вод у ДСТУ 2730:2015. *Грааль науки*. 2023. 25, С. 190–197. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.03.2023.030>
 25. Юрасов, С.М., Караулов, В.Д., Житкевич, М.Я. Іригаційні властивості вод і їх мінливість на прикладі водних об'єктів Одеської області. *Аграрні інновації*. 2023. № 17. С. 62–68. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.8>
 26. Council Directive 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0440&from=en> (дата звернення: 10.10.2024).
 27. Council Directive 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. URL: <http://river.bio.auth.gr/wp-content/uploads/2016/09/Directive-76-160-EEC-Bathing-Water.pdf> (дата звернення: 09.10.2024).
 28. Council Directive 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. URL: http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/eu_659-78.pdf (дата звернення: 09.10.2024)
 29. Юрасов С.М. Прогноз ризику погіршення якості вод за окремими показниками. Матеріали 79-ї звітної наукової конференції проф.-викл. складу і наукових працівників ФГМЕ ОНУ ім. І. І. Мечникова. Одеса: ОНУ ім. І. І. Мечникова, 2024. С. 45–48. URL: <https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/13263a08-580f-4be6-bfdc-b4bbe07781e7/content> (дата звернення: 05.01.2025)
 30. Юрасов, С.М., Терзезман, В.В. *Якість вод: оцінка, мінливість, прогноз, нормування*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. URL: <https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/9786206846079> (дата звернення: 09.10.2024).
 31. Yurasov, S., Safranov, T., Chugai, A., Kuryanova, S., Artvykh, Ju. Adapting the Methods for Assessing a Water Quality when Normalizing the Pollutant Discharges in Ukraine to the Regulatory Requirements of the European Union. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23. N 3. P. 167–176. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/147447>

Стаття надійшла до редакції 08.02.2025

Стаття рекомендована до друку 26.03.2025

S. M. YURASOV, PhD (Technic), Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: urasen54@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4312-249X>
Odesa I.I. Mechnikov National University
15, Lvivska Str., Odesa, 65016, Ukraine

V. D. KARAULOV, PhD (Environmental Science),
Chief Specialist of the Department for Organisation of Security Measures
e-mail: vitdmdpss@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0151-3196>
Department of Safety Organisation and Investigation of Accidents and Events on Land Transport
of the State Service of Ukraine for Transport Safety
51, Antonovycha Str., Kyiv, 03150, Ukraine

V. V. TERZEMAN,
Postgraduate student of the Department of Environmental Science and Environmental Protection
e-mail: mikkymailz@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2298-1003>
Odesa I.I. Mechnikov National University,
15, Lvivska Str., Odesa, 65016, Ukraine

IMPROVED ASSESSMENT AND FORECASTING OF IRRIGATION WATER QUALITY

Purpose. Improvement of methodological approaches to assessing and forecasting the quality of irrigation water, taking into account its temporal variability, based on the analysis of irrigation properties of river waters in Odesa region.

Methods. Statistical, mathematical modelling and forecasting.

Results. It has been established that the assessment and forecast of irrigation water quality must be carried out taking into account the variability of their composition and properties over time. It has been shown that the use of average values of indicators for the previous period of time can lead to errors in assessing the quality of irrigation water. It is recommended to consider the risk of water quality deterioration for a separate indicator as the provision of the norm for this indicator. It is proposed, based on the experience of EU countries, to limit the risk of water quality deterioration to 10%. It is indicated that a significant drawback of the methodology for assessing the risk of soil salinization in DSTU 2730:2015 is the need to analyze hypothetical toxic salts in irrigation waters for each calculation of the classification indicator, which is very inconvenient when analyzing observation data for long periods of time. It is proposed to eliminate this drawback by using detailed typification of irrigation waters with a specific set of hypothetical salts in each of their subtypes, which allows providing formulas for calculating the $e(rCl)$ indicator for these subtypes of water. It is indicated that the simplification of mass calculations allows determining the parameters of the distribution law of the $e(rCl)$ indicator and assessing the risk of deterioration of water quality for different types of soils. It was established that in the conditions of the Odessa region, the risk of sodium salinization of the soil during irrigation can be assessed using the ratio of sodium and calcium concentrations (k_{Na1}). A significant part of the study is devoted to the testing and refinement of the proposed methods for assessing and forecasting irrigation water characteristics. The main results of the work were obtained for the first time in the domestic practice of environmental research.

Conclusions. Domestic methodological approaches to assessing and forecasting the quality of irrigation water require further development, especially in terms of taking into account the variability of these waters over time. Further research should also be directed at substantiating the limitation of the risks of water quality deterioration, since the European level of 10% adopted in the article is indicative.

KEYWORDS: *irrigation water source, improved quality assessment, risk of deterioration, EU regulations, risk forecasting*

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Furthermore, the authors have fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

Authors Contribution: all authors have contributed equally to this work

References

1. Skok, S.V. (2021). Assessment of the suitability of wastewater for crop irrigation. *Agrarian innovations*, 5, 75-79. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2021.5.12> (in Ukrainian)
2. Hranovska, L., Morozov, O., Pisarenko, P., & Vozhegov, S. (2022). Ecological problems of irrigated soils in the south of Ukraine. *Visnyk of V. N. Karazin, Series "Geology. Geography. Ecology"*. (57), 282-295. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-21>

3. Kovalev, M.M., Zvezdun, O.M. & Mikhailova, D. (2020). Agroecological assessment of groundwater quality for microirrigation systems in the northern steppe of Ukraine. *Water bioresources and aquaculture*, 1, 16-23. <https://doi.org/10.32851/wba.2020.1.2> (in Ukrainian)
4. Morozov, O.V., Morozov, V.V., & Isachenko, S.O. (2019). Scientific and methodological approaches to assessing the quality of natural waters for irrigation (on the example of the Kakhovka irrigation system), *Water bioresources and aquaculture*, 1, 90–101. <https://doi.org/10.32851/wba.2019.1.8> (in Ukrainian)
5. Vorotyntseva, L.I. (2020). Systematic approach to sustainable management of irrigated soils in the context of climate change. *Agrochemistry and soil science*, 89, 41-50. <https://doi.org/10.31073/acss89-05> (in Ukrainian)
6. Snizhko, S.I. (2001). *Assessment and forecasting of natural water quality*, Kyiv, Nika-Tsentr. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/310832649_Assessment_and_forecasting_of_natural_water_quality (in Ukrainian)
7. Blazhko, A.P. (2024). Ecological assessment of surface water quality in the Dniester-Southern Bug interfluvium within the Odesa region for drip irrigation. *Bulletin of Odesa National Maritime University*. 74, 121-138. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2024-3-121-138> (in Ukrainian)
8. VND 33-5.5-02-97. *Water quality for irrigation. Environmental criteria*, Kharkiv, State Committee of Ukraine for Water Management. Retrieved from <https://ep3.nuwm.edu.ua/2472/7/nd002%20zah.pdf> (in Ukrainian)
9. DSTU 2730-94. *The quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria*, Kyiv, State Standard of Ukraine. (in Ukrainian)
10. DSTU 2730:2015. *The quality of natural water for irrigation. Agronomic criteria*, Kyiv, UkrNDNTs. Retrieved from https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/1-10395-zahyst_dovkilliya_yakist_pryrodnoyi_vody_dlya_zroshen.pdf (in Ukrainian)
11. Abbasi, T., & Abbasi, S.A. (2012). *Water quality indices*. Amsterdam: Elsevier Sci Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-54304-2.00016-6>
12. Bhat, M.A., Wani, S.A., Singh, V.K., Sahoo, J., Tomar, D., & Sanswal, R. (2018). An Overview of the Assessment of Groundwater Quality for Irrigation. *Journal of Agricultural Science and Food Research*, 9 (1), Retrieved from <https://www.longdom.org/open-access/an-overview-of-the-assessment-of-groundwater-quality-for-irrigation-17296.html>
13. Chorny, S., & Isaeva, V. (2022). Agronomic evaluation of irrigation water on the Southern Buh and Kamianska irrigation systems. *Journal of water and land development*, 54, 77–83. <https://doi.org/10.24425/jwld.2022.141557>
14. Hussain, G., Alquwaizany, A., & Al-Zarah, A. (2010). Guidelines for irrigation water quality and water management in the Kingdom of Saudi Arabia: an overview. *Journal of Applied Sciences*, 10 (2), 79–96. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.79.96>
15. Mishra, P.C. (2005) *Some Aspects of the Quality of Water in and around Rourkela*. PhD thesis. Odisha, India. <https://doi.org/10.1002/ird.2946>
16. Nnaji, J.C., Uzairu, A., Harrison, G.F.S., & Balarabe, M.L. (2010). Effect of Pollution on the Physico-chemical Parameters of Water and Sediments of River Galma, Zaria, Nigeria. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*, 1(2), 115–122. Available at: https://www.researchgate.net/publication/235914633_Effect_of_Pollution_on_the_Physico-Chemical_Parameters_of_Water_and_Sediments_of_River_Galma_Zaria_Nigeria
17. Nikolaou, G., Neocleous, D., Christophi, C., Heracleous, T., & Markou, M. (2020). Irrigation ground water quality characteristics: a case study of Cyprus. *Atmosphere*, 11. <https://doi.org/10.3390/atmos11030302>
18. Shaikh, P.R., Shaikh, I.R., & Bhosle, A.B. (2017). Water quality and sedimentary analyses of Siddheshwar dam (India) for assessing irrigational suitability. *Iranian Chemical Communication*, 5(3), 315–337. Retrieved from https://icc.journals.pnu.ac.ir/article_3678.html
19. Hailu, H., Wogi, L., & Feyissa, S. (2024). Assessment of Irrigation Water Quality Status in Dry Season Wheat Production in Selected Districts of West Hararge Zone, Ethiopia. *Cross Current International Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 6(4), 93–105. <https://doi.org/10.36344/ccjavs.2024.v06i04.002>
20. Anyango, G.W., Bhowmick, G.D., & Bhattacharya, N.S. (2024). A Critical Review of Irrigation Water Quality Index and Water Quality Management Practices in Micro-Irrigation for Efficient Policy Making. *Desalination and Water Treatment*, 318, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100304>
21. Zaman, M., Shahid, S.A., & Heng, L. (2018). Irrigation water quality. *Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques*, (pp. 113–131). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-96190-3>
22. Yurasov, S.M., Kuzmina, V.A., & Karaulov, V.D. (2021). Irrigative Assessment of Sasyk Water Quality. *Environmental problems*, 6(2), 69–77. <https://doi.org/10.23939/ep2021.02.069>
23. Karaulov, V.D., & Yurasov, S.M. (2022). Disadvantages of the methodology of DSTU 2730:2015 for assessing water quality for the risk of irrigation salinisation of soil and its improvement. *Grail of Science*, 23, 183-195. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.23.12.2022.29> (in Ukrainian)
24. Karaulov, V.D., Zhytkevych, M.Ia., & Yurasov, S.M. (2023). Improving the methodology for assessing the

- quality of irrigation water in DSTU 2730:2015. *The grail of science*, 25, 190–197. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.17.03.2023.030> (in Ukrainian)
25. Yurasov, S.M., Karaulov, V.D., & Zhytkevych, M.Ia. (2023). Irrigation properties of water and their variability on the example of water bodies in Odesa region. *Agrarian innovations*, 17, 62–68. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.8> (in Ukrainian)
26. Council Directive 75/440/EEC of 16 June 1975 concerning the quality required of surface water intended for the abstraction of drinking water in the Member States. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0440&from=en>
27. Council Directive 76/160/EEC of 8 December 1975 concerning the quality of bathing water. Retrieved from <http://river.bio.auth.gr/wp-content/uploads/2016/09/Directive-76-160-EEC-Bathing-Water.pdf>
28. Council Directive 78/659/EEC of 18 July 1978 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in order to support fish life. Retrieved from http://www.cawater-info.net/water_quality_in_ca/files/eu_659-78.pdf
29. Yurasov, S.M. (2024). Forecasting the risk of water quality deterioration by individual indicators. *Proceedings of the 79th reporting scientific conference of the academic staff and researchers of the FGME of the I. I. Mechnikov ONU*. pp. 45-48. Retrieved from <https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/13263a08-580f-4be6-bfdc-b4bbe07781e7/content> (in Ukrainian)
30. Yurasov, S.M., & Terzeman, V.V. (2023). *Water Quality: Assessment, Variability, Forecast, Regulation*, LAP LAMBERT Academic Publishing. Retrieved from <https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/product/9786206846079> (in Ukrainian)
31. Yurasov, S., Safranov, T., Chugai, A., Kuryanova, S., & Artvykh, Ju. (2022). Adapting the Methods for Assessing a Water Quality when Normalizing the Pollutant Discharges in Ukraine to the Regulatory Requirements of the European Union, *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(3), 167–176. <https://doi.org/10.12912/27197050/147447>

The article was received by the editors 08.02.2025

The article is recommended for printing 26.03.2025