

УДК 574.21:581.4

DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.4-49.5>

ФІТОТЕСТУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ У МАГІСТРАЛЬНОМУ КАНАЛІ НА ЛІВОБЕРЕЖЖІ ХЕРСОНЩИНИ ПІСЛЯ ПІДРИВУ ГРЕБЛІ КАХОВСЬКОЇ ГЕС

Крупсй К.С., Оверченко А.В.

Запорізький державний медико-фармацевтичний університет
пр. Маяковського, 26, 69000, м. Запоріжжя
krupeyznu@gmail.com, overchenko.a.v@zsmu.edu.ua

Проведено фітотестування («Ростовий тест») токсичності води в Каховському магістральному каналі на окупованому лівобережжі Херсонщини після підриву греблі Каховської ГЕС (на території с. Софіївка). Зразки води відбирали 6 липня 2023 року (кількість точок забору води – 3).

Як тест-об'єкти обрали насіння звичайних сільськогосподарських рослин, що добре ростуть у досліджуваному регіоні та є недорогими й доступними, а саме: *Cucurbita pepo* (гарбуз звичайний); *Daucus carota* subsp. *sativus* (морква звичайна городня); *Solanum lycopersicum* (томат); *Cucurbita maxima* (гарбуз декоративний). Дослідження, проведене авторами, має методологічне та загальнонаукове значення, оскільки демонструє реальні можливості використання простих методів фітотестування для оцінки екологічного стану питної води та поверхневих водойм під час російської окупації, коли відтворити інші (інструментальні) методи аналізу води часто видається неможливим.

Органолептичні властивості води у контрольному та дослідних зразках здебільшого не перевищували норму. Проте зразок № 1 не відповідав нормативам якості за показниками запаху, забарвленості, смаку та рН. Автори рекомендують використовувати у фітотестуванні культури *D. carota* subsp. *sativus*, *S. lycopersicum*, *C. maxima*, оскільки досліджувана вода проявила помітну олігодинамічну дію на довжину коренів та паростків цих тест-рослин. Насіння рослини *C. pepo* майже ідентично відреагували на токсичність зразка № 1 та № 3 та не проростили за впливу води зі зразка № 2, тому їх не можна використовувати для оцінки токсичності води у певних ділянках водозабору, оскільки порівняльний аналіз впливу такої води та ці тест-культури є утрудненим. Перспективою подальших досліджень є збільшення кількості точок відбору проб води на КМК та розширення спектра тест-рослин, а також вивчення токсичності та якості води з КМК у динаміці. **Ключові слова:** фітотестування, ростовий тест, Каховський магістральний канал.

Phytotesting of water quality in the main canal on the left bank of the Kherson region after the Kakhovka hydroelectric power station dam was blown up. Krupic K., Overchenko A.

Phytotesting («Growth Test») of water toxicity in the Kakhovka main canal on the occupied left bank of the Kherson region after the Kakhovka hydroelectric power station dam was blown up (in the village of Sofiyivka) was conducted. Water samples were taken on July 6, 2023 (the number of water sampling points was 3).

The seeds of plants that grow well in the study region and are inexpensive and available were chosen as test objects, namely: *Cucurbita pepo*, *Daucus carota* subsp. *sativus*, *Solanum lycopersicum*, *Cucurbita maxima*. The study conducted by the authors is of methodological and general scientific importance, as it demonstrates the real possibilities of using simple phytotesting methods to assess the ecological state of drinking water and surface water bodies during the russian occupation, when it is often impossible to reproduce other (instrumental) methods of water analysis.

The organoleptic properties of the water in the control and test samples mostly did not exceed the standard. However, sample 1 did not meet the quality standards in terms of odor, color, taste, and pH. The authors recommend the use of *D. carota* subsp. *sativus*, *S. lycopersicum*, and *C. maxima* in phytotesting, as the water under study had a noticeable oligodynamic effect on the length of roots and sprouts of these test plants. Seeds of *C. pepo* reacted equally to the toxicity of samples 1 and 3 and did not germinate when exposed to water from sample 2, so they cannot be used to assess the toxicity of water in certain areas of water intake, since a comparative analysis of the impact of such water and these test crops is difficult. The prospect of further research is to increase the number of water sampling points at the KMC and expand the range of test plants, as well as to study the toxicity and quality of water from the KMC in the dynamics. **Key words:** phytotesting, growth test, Kakhovka Main Canal.

Постановка проблеми. Фітотестування є різновидом біотестування, де рослинні модельні системи використовують як тест-об'єкти. Відомо, що для біотестування необхідно обирати чутливих організмів, які будуть поступово реагувати зміною певних індикаторних ознак за впливу різного роду забруднень. Важливо обирати для біотестування організми на певних (чутливих) стадіях індивідуального розвитку. Так, перспективним напрямком у фітотестуванні є пророщування тест-насіння, оскільки цей етап є найчутливішим до впливу чинників навко-

лишнього середовища [1]. На етапі проростання тест-об'єктів проводять вимірювання широкого спектра біопараметрів (довжина коренів, паростків, фіксують морфологічні зміни кореневої та стеблової частини тощо). Окрім того, фітотестування є недорогим, простим у застосуванні методом визначення якості води / ґрунту не тільки в мирний час, але й в умовах війни та техногенних катастроф.

Актуальність дослідження пов'язана з необхідністю пошуку зручних, простих, економічних методів визначення якості води на тимчасово окупованих

територіях України та / або територіях, що зазнали техногенної катастрофи.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Проведене дослідження демонструє можливість визначення якості питної води та господарсько-побутових вод мешканцями тимчасово окупованих територій України нескладними й легкодоступними методами фітотестування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Каховський магістральний канал (КМК) був споруджений у 1979 р. Його довжина складає близько 130 км, а весь проєктний потенціал Каховської зрошувальної системи є одним із найбільших у світі та Європі. Головна функція КМК – це забезпечення достатнього водного режиму сільськогосподарських угідь. Окрім того, КМК обводнює посушливі регіони Херсонської та Запорізької областей і забезпечує питною водою села, що розташовані уздовж каналу, а також м. Бердянськ та м. Мелітополь [2]. Після російської окупації експлуатація каналу зазнала труднощів, а ще пізніше, після підриву російськими окупантами греблі Каховської ГЕС, якість води в ньому стала стрімко погіршуватися, а рівень – знижуватися. З цього періоду КМК також активно почали використовувати для миття машин, прання, скидання відходів тощо. Виходячи з цього, ймовірними видами забруднень в КМК можуть бути не тільки комунальні скиди неочищених зворотних вод з очисних споруд населених пунктів, які знаходяться поруч, поверхневі стоки з полів у період танення снігу й опадів [3–5], але й тверді відходи та поверхнево-активні речовини. На відновлення Каховської меліоративної системи внаслідок значного зниження води знадобиться декілька років. Ситуація, що склалася, критично вплине не тільки на Херсонську область, але й частково на Запорізьку та Дніпропетровську. Тому пошук доступних і чутливих методів оцінки якості води у КМК є актуальним та першочерговим завданням сьогодення.

Мета. Визначити та порівняти якість води Каховського магістрального каналу, що відібрана у 3-х точках на окупованому лівому березі Херсонщини за допомогою фітотестування.

Об'єктом дослідження були індикаторні ознаки тест-рослин (довжина коренів та паростків) в умовах комплексного забруднення води Каховського магістрального каналу.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В умовах окупації проведення наукових досліджень, у тому числі екологічного моніторингу, здебільшого стає неможливим. Автори пропонують використовувати доступний метод «Ростового тесту» для швидкої та інформативної екологічної оцінки стану поверхневих джерел та питної води на прикладі визначення якості води Каховського

магістрального каналу на території с. Софіївка Херсонської області.

Новизна. Вперше було проведено фітотестування якості води Каховського магістрального каналу на лівобережжі Херсонщини з урахуванням наслідків техногенної катастрофи, що сталася в червні 2023 року (підриву греблі Каховської ГЕС).

Методологічне або загальнонаукове значення. Проведені авторами дослідження якості води у КМК методами фітотестування демонструють реальні можливості застосування розповсюджених тест-рослин та їх ознак для оцінки екологічного стану поверхневих водоем населених пунктів України в умовах російської окупації.

Матеріали та методи дослідження. Визначення органолептичних, фізико-хімічних властивостей зразків води та порівняння їх з санітарними нормами проводили за наказом МОЗ України № 400 від 12.05.2010 року (зі змінами) та методичними рекомендаціями [6–9].

Токсичність досліджуваних зразків води визначали за допомогою методу «Ростового тесту». В якості тест-культур були обрані рослини, що швидко проростають та вирощуються у Херсонській області:

- 1 – *Cucurbita pepo* (гарбуз звичайний);
- 2 – *Daucus carota* subsp. *sativus* (морква звичайна городня);
- 3 – *Solanum lycopersicum* (томат);
- 4 – *Cucurbita maxima* (гарбуз декоративний).

Зразки води відбирали 6 липня 2023 року (через місяць після підриву російськими окупантами греблі Каховської ГЕС). Місце відбору – Каховський магістральний канал, що бере початок з Каховського водосховища. Зона затоплення знаходиться за 35 км від досліджуваних точок, де відбирали зразки води. Місця відбору проб розташовані в Каховському районі на території с. Софіївка Херсонської області (рис. 1, 2). Точка відбору проби води № 1 розташована за 60 км від місця підриву Каховської ГЕС; № 2 – за 59 км; № 3 – за 58 км від місця підриву Каховської ГЕС.

Проби відбирали починаючи з ділянки № 1 (вище за течією), потім – № 2 та № 3 (нижче першого місця забору води). Контролем була кип'ячена відстояна водогінна вода, забрана в смт Новотроїцьке Херсонської області (100 км від місця підриву Каховської ГЕС). Відбір проб води проводили у чисті пастеризовані скляні місткості з широким горлом. Температура води на момент відбору проб коливалася від +20 до +22,5 °С, температура атмосферного повітря – +26 °С. Оподи відсутні.

Перед висаджуванням насіння в чисті пластикові тари (з перегородками) у два шари розкладали марлю та зволожували кожний зразок однаковою кількістю досліджуваної води. Після цього насіння розклали на вологу марлю та на три доби накрили ємності склом. Два-три рази на добу ємності відкривали на провітрювання протягом 15 хв. На 4-ту добу

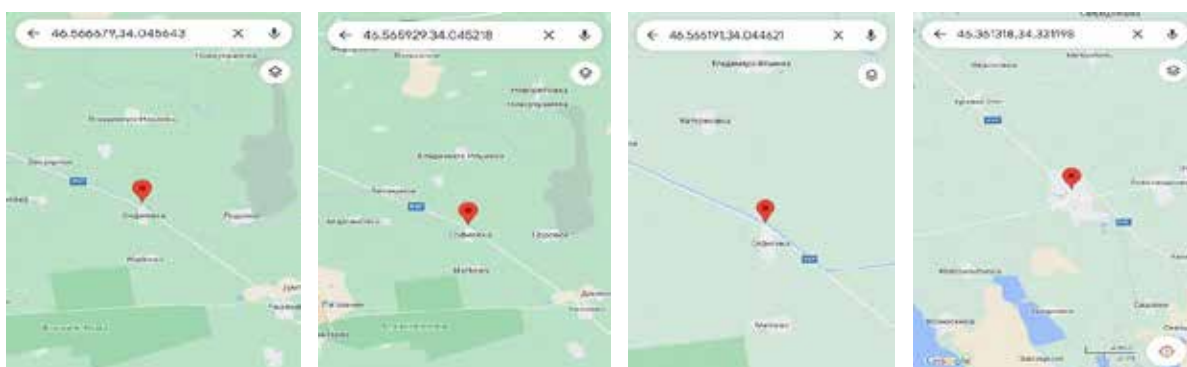


Точка відбору № 1

Точка відбору № 2

Точка відбору № 3

Рис. 1. Фото місцевості, де відбирали зразки води з Каховського магістрального каналу



Зразок № 1

Зразок № 2

Зразок № 3

Контроль

Рис. 2. Точки відбору проб води з Каховського магістрального каналу на карті

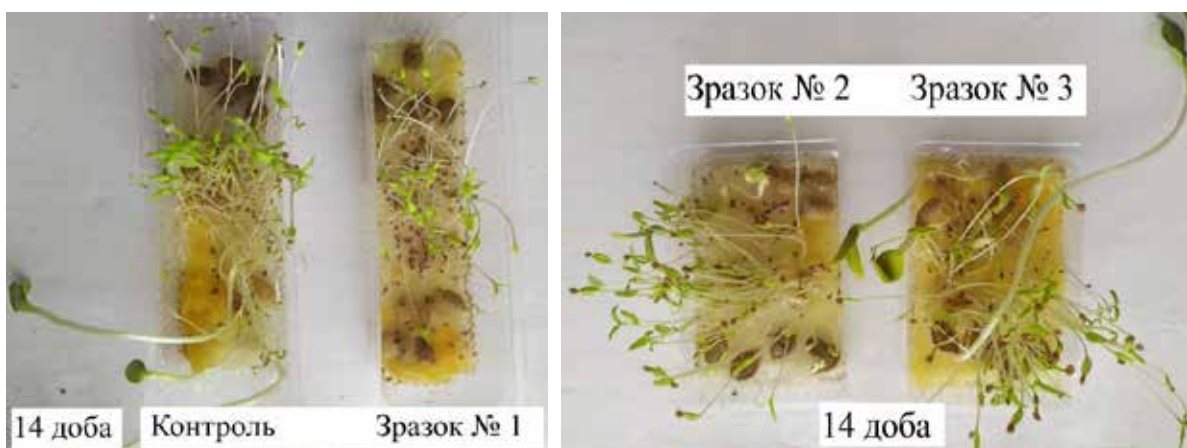


Рис. 3. Ріст тест-культур у досліджуваних зразках води

відкриті ємності поміщали на полицю, де підтримувалося освітлення протягом 14-ти годин (без прямого потрапляння сонячних променів). Вирощували тест-культури протягом 2-х тижнів з періодичним додаванням зразків води у ємності по мірі висихання та вивченням морфологічних змін (раннього пожовтіння, відхилень у розвитку кореневої системи, паростків не виявлено) (рис. 3). Дослід проводили у 3-х кратній повторності (кількість насінин – по 20 шт.).

На 2-му тижні рослини обережно виймали, підсушували на аркуші білого паперу та проводили вимірювання у кожного елемента вибірки довжини кореневої частини й паростків.

Обробка результатів ростового тесту. Після вимірювання необхідних біопараметрів, проводили обчислення середнього арифметичного ($X_{\text{ср.}}$) довжини кореня та паростків (L , см) кожного зразка та розраховували $x \pm m$, де m – похибка середнього

арифметичного. Статистичну достовірність середніх арифметичних розраховували за t-критерієм Стьюдента-Фішера [9, 10]. Фітотоксичний ефект (ФЕ) визначали у % за 2-ма біопараметрами: L кореня та L паростків за формулою [9]:

$$\text{ФЕ} = \frac{M_0 - M_x}{M_0} \cdot 100\%,$$

де M_0 – значення біопараметра у контрольному зразку; M_x – значення аналогічного біопараметра у дослідній пробі.

Всі обчислення проводили у програмі MS Excel 2010.

Результати дослідження та їх обговорення. Органолептичні властивості води у контрольному та дослідних зразках здебільшого не перевищували норму (табл. 1). У зразку № 1 за температури 20 °C відмічався ледве помітний болотяний запах, проте за умов підігрівання води на водяній бані до температури 60 °C запах дещо посилювався та став гнильним і трохи землистим й хімічним (3 бали). Ймовірним джерелом такого запаху може бути сира земля та потрапляння органічних й неорганічних поліютантів у воду. Забарвленість та каламутність води у контролі та дослідних зразках не перевищувала норму (окрім проби № 1). У 1-му зразку відмічався помітний блідо-зелений колір (40 балів). Турбідиметричне

вимірювання каламутності показало, що всі зразки мають слабку опалесценцію, що свідчить про відсутність тонкодисперсних домішок. За показником «Смак та присмак» не відповідав нормам лише зразок води № 1 (відмічений солодкий смак). У контрольному зразку присмак був слабо-солоний. За водневим показником контрольний зразок води був слабколужний, що може бути пов'язано з наявністю підвищеного вмісту у воді $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. У варіанті № 1 рН води дорівнював 6,0 (при нормі водневого показника у поверхневих водах від 6,5 до 8,5 [1]). У зразку № 2 та № 3 рН зареєстрований на рівні 6,5 і 7,2, відповідно.

Оцінку токсичності води з КМК проводили на 4-х видах тест-рослин. Фітотоксичний ефект (ФЕ) 2-го зразку досліджуваної води на тест-культуру *S. perov* був 100 % (протягом 2-х тижнів росту коренів та паростків не спостерігалось) (табл. 2).

Вода варіанту № 1 та № 3 проявила майже однаковий негативний вплив на ці тест-рослини. Довжина коренів була 5,2 та 4,9 см, а паростків – 16,5 та 15,5 см, відповідно (при $p \leq 0,001$). Проте обидва зразки води були у 2 рази токсичнішими на корені рослин ніж на паростки.

Протилежні результати були отримані з тест-культурою *D. carota* subsp. *sativus* (табл. 3). Досліджувані проби води з КМК були більш токсичними для парост-

Таблиця 1

Визначення органолептичних та деяких фізико-хімічних показників зразків води з магістрального каналу та контролю

Найменування показника	Контроль	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Запах при T 20 °C, бали	0	1 (болотяний)	0	0
Запах при T 60 °C, бали	1 (металевий)	3 (гнильний)	1 (металевий)	0
Забарвленість, градуси	< 10	40 (блідо-зелений колір)	20	< 10
Каламутність, мг/дм ³	< 1	2,5	2	1,5
Смак і присмак, бали	< 2 (солоний присмак)	4 (солодкий смак)	0	0
Водневий показник (рН)	7,9	6,0	6,5	7,2

Таблиця 2

Оцінка якості води з магістрального каналу за допомогою «Ростового тесту» (тест-рослини – *Cucurbita pepo*)

Варіант	Довжина (L), см	Дисперсія (σ^2)	$X_{cp} \pm m$	Фітотоксичний ефект (ФЕ), %	
Контроль	L коренів	7,08	8,5±0,46	-	X_{cp}
	L паростків	2,66	20,5±0,27	-	
Варіант 1	L коренів	0,47	5,2±0,08**	38,8	29,1
	L паростків	0,81	16,5±0,14**	19,5	
Варіант 2	L коренів	-	-	100	100
	L паростків	-	-	100	
Варіант 3	L коренів	0,41	4,9±0,09**	42,3	33,3
	L паростків	3,9	15,5±0,32**	24,4	

Примітка тут та далі: * $p \leq 0,01$, ** $p \leq 0,001$.

Таблиця 3

**Оцінка якості води з магістрального каналу за допомогою «Ростового тесту»
(тест-рослини – *Daucus carota* subsp. *sativus*)**

Варіант	Довжина (L), см	Дисперсія (σ^2)	$X_{cp.} \pm m$	Фітотоксичний ефект (ФЕ), %	
Контроль	L коренів	1,24	3,0±0,12	-	$X_{cp.}$
	L паростків	0,61	6,9±0,08	-	
Варіант 1	L коренів	1,29	1,7±0,11**	43,3	51,4
	L паростків	1,23	2,8±0,13**	59,4	
Варіант 2	L коренів	1,21	2,0±0,12**	33,3	42,8
	L паростків	0,72	3,3±0,14**	52,2	
Варіант 3	L коренів	1,99	3,9±0,33*	23,0 ¹	-
	L паростків	2,44	6,4±0,31	7,2	

Примітка: 1 У зразку № 3 відмічений стимулюючий вплив води на ріст коренів порівняно з контролем.

Таблиця 4

**Оцінка якості води з магістрального каналу за допомогою «Ростового тесту»
(тест-рослини – *Solanum lycopersicum*)**

Варіант	Довжина (L), см	Дисперсія (σ^2)	$X_{cp.} \pm m$	Фітотоксичний ефект (ФЕ), %	
Контроль	L коренів	0,22	3,5±0,10	-	$X_{cp.}$
	L паростків	0,33	8,1±0,09	-	
Варіант 1	L коренів	0,02	0,6±0,02**	82,8	81,5
	L паростків	0,14	1,6±0,08**	80,2	
Варіант 2	L коренів	0,24	2,2±0,16**	37,1	43,8
	L паростків	0,96	4,0±0,26**	50,6	
Варіант 3	L коренів	0,23	2,4±0,19**	31,4	20
	L паростків	1,32	7,4±0,23**	8,6	

ків ніж коренів. ФЕ_{ср.} зразку № 1 дорівнював 51,3 %, № 2 – 42,8 %. Цікавим були результати «Ростового тесту» при вивченні токсичності води 3-го варіанту, де не було відмічено рівня статистичної значущості токсичного ефекту на паростки, проте у контрольному зразку довжина кореневої частини була нижчою ніж в пробі № 3 (в 1,3 рази). Цей зразок води проявив стимулюючий ефект на ріст коренів *D. carota* subsp. *sativus* (при $p \leq 0,01$). При вивченні органолептичних показників можна відмітити, що зразок № 3 за деякими параметрами більше був наближений до нормативних показників ніж контроль (а саме за запахом за Т 60 °С, смаком і присмаком та рН).

Для тест-насінин *S. lycopersicum* найбільший ФЕ проявила вода зразка № 1 (81,5 %). Відмічена тенденція геометричної прогресії (токсичність води знижується у міру зниження течії): ФЕ зразка № 2 у 2 рази менший ніж варіанту № 1 та у 2 рази більший у порівнянні з 3-м варіантом (табл. 4). Попри такий результат, вода зразка № 2 проявила в 1,3 раза токсичніший ефект на паростки тест-рослин, а варіант № 3 – на кореневу частину (у 3,6 раза).

Тест-культура *C. maxima* не проросла на досліджуваній воді № 1 (ФЕ – 100 %). Вода 2-го та 3-го варіанту проявила у 2,9 і 7,4 раза, відповідно, більший ФЕ на корені ніж на паростки *C. maxima*

(табл. 5). Проте довжина коренів тест-рослин у варіанті № 3 достовірно не відрізнялася від контролю. Також відмічена тенденція зниження рівня токсичності води від 1-го до 3-го зразка.

Отже, після порівняння отриманих результатів «Ростового тесту», органолептичних і деяких фізико-хімічних показників води з певних ділянок КМК можна зазначити, що зразок води № 1 не відповідав нормам за показниками забарвленості, смаку та водневим показником у порівнянні з іншими варіантами.

Найбільша олігодинамічна дія на вивчені показники була у тест-культури *D. carota* subsp. *sativus*, *S. lycopersicum* та *C. maxima*. Насіння тест-рослини *C. pepo* однаково відреагували на токсичність зразків № 1 та 3.

Головні висновки. Для оцінки токсичності питної води та поверхневих джерел водопостачання пропонуємо використовувати зручний та доступний метод «Ростового тесту» із використанням наступних тест-рослин: *D. carota* subsp. *sativus*, *S. lycopersicum*, *C. maxima*. Проведені дослідження на прикладі води з Каховського магістрального каналу, відібраної в 3-х місцях забору, продемонстрували, що забруднена вода чинить олігодинамічну дію на біопараметри (довжину кореня та паростків) цих тест-культур, що є цінним аспектом у біотестуванні.

**Оцінка якості води з магістрального каналу за допомогою «Ростового тесту»
(тест-рослини – *Cucurbita maxima*)**

Варіант	Довжина (L), см	Дисперсія (σ^2)	$X_{\text{ср.}} \pm m$	Фітотоксичний ефект (ФЕ), %	
Контроль	L коренів	0,48	2,8±0,23	-	$X_{\text{ср.}}$
	L паростків	1,64	14,2±0,18	-	
Варіант 1	L коренів	-	-	100	100
	L паростків	-	-	100	
Варіант 2	L коренів	0,83	2,4±0,21	14,3	27,9
	L паростків	0,78	8,3±0,19**	41,5	
Варіант 3	L коренів	0,72	2,7±0,18	3,6	15,2
	L паростків	0,74	10,4±0,14**	26,8	

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати дослідження можна використовувати на навчальних заняттях з «Гігієни та екології», «Біоіндикації та біотестування», «Ландшафтної меліорації» тощо. Результати фітотестування можуть допомогти визначити екологічні ризики від забруднення води різними полутантами, ксенобіотиками та оцінити їхні впливи на біопараметри тест-рослин. Одержані

висновки фітотестування дозволяють рекомендувати використовувати метод «Ростового тесту» для оцінки токсичності питної води та води інших категорій водопостачання та водокористування. Перспективою подальших досліджень є збільшення кількості точок забору води на КМК та спектру тест-рослин, вивчення зміни токсичності та якості води з часом, що є важливим показником екологічного стану водних ресурсів.

Література

- Сидорович М.М. Науково-дослідницький практикум з біотестування : навчальний посібник для підготовки магістрів зі спеціальностей 014. Середня освіта (Біологія та здоров'я людини), 091. Біологія. Херсон : ФОП Вишимирський В.С., 2019. 80 с.
- Васильюк Л.А., Нешпа О.В. Каховський магістральний канал як елемент меліоративного навантаження на природний ландшафт. *Актуальні виклики сучасної науки*. 2017. Вип. 5(13). С. 127-132.
- Хохлова Л., Лукашов Д. Якість води у магістральному каналі Каховської зрошувальної системи. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка*. 2018. Вип. 4(73). С. 24-29.
- Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Херсонській області за 2015–2017 роки Департаментів екології та природних ресурсів Херсонської й Запорізької обласної державної адміністрації [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua>
- Томільцева А.І., Яцик А.В., Мокін В.Б. та ін. Екологічні основи управління водними ресурсами : навчальний посібник. К. : Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. 200 с.
- Наказ МОЗ України від 12.05.2010 р. № 400 Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (із змінами, внесеними наказами МОЗ України від 18.02.2022 р. № 341).
- Мислюк О.О. Основи хімічної екології : навчальний посібник. К. : Кондор, 2012. 660 с.
- Кузишин О.В., Базюк Л.В. Хімія гідросфери : конспект лекцій. Івано-Франківськ : ДВНЗ «Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаніка», 2018. 78 с.
- Лисиця А.В. Біоіндикація і біотестування забруднених територій. Методичні рекомендації до практичних робіт. Рівне : Дока-центр, 2018. 77 с.
- Голованова І.А., Белікова І.В., Ляхова Н.О. Основи медичної статистики : навчальний посібник для аспірантів та клінічних ординаторів. Полтава : ВДНЗУ «УМСА», 2017. 113 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://elib.umsa.edu.ua/bitstream/umsa/10614/1/Posibnik_Statistika_17.pdf