



original article | UDC 556.114 | doi: 10.31210/visnyk2021.02.16

IMPROVING EUTROPHICATION REGULATION OF WATER BODIES BY USING
BIOLOGICAL METHODS



P. V. Pysarenko

M. S. Samoilik

O. Yu. Dychenko*

M. S. Sereda

O. P. Korchahin

ORCID  [0000-0002-4915-265X](https://orcid.org/0000-0002-4915-265X)ORCID  [0000-0003-2410-865X](https://orcid.org/0000-0003-2410-865X)ORCID  [0000-0003-0113-9998](https://orcid.org/0000-0003-0113-9998)

Poltava State Agrarian Academy, Skovorody Str. 1/3, Poltava, 36003, Ukraine

*Corresponding author

E-mail: ksenijadichenko84@ukr.net

How to Cite

Pysarenko, P. V., Samoilik, M. S., Dychenko, O. Yu., Sereda, M. S., & Korchahin, O. P. (2021). Improving eutrophication regulation of water bodies by using biological methods. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (2), 135–144. doi: 10.31210/visnyk2021.02.16

The conducted study is a complex analysis of the influence of waters having different eutrophication level on the similarity, growth and root system of sown seeds. To estimate the phototoxic effect, the following indicators were used in the experiment: plantlets' height, roots' length, as well as the phyto-mass of plantlets and plant root system. The following plants having highly expressed stress-reaction on pollution were used as test ones: *Pisum sativum*, *Triticum aestivum*, *Lepidium sativum*. The phytotoxic effect is considered significant if it makes more than 20%. The possibility of using probiotics to fight the process of "water bloom" was studied. The assessment of phytotoxic effect of the examined water samples before and after their purifying with Sviteco-Agrobiotic-01 probiotic (in 1 : 100 solution) as to germinating capacity, growth, and root system of the sown seeds was conducted. It has been determined that after purifying with probiotics, all the water samples concerning *Triticum aestivum* and *Lepidium sativum* biometric indicators were regarded non-toxic (the toxicity was absent); moreover, clear dynamics to increasing the purification effect at impurities' concentration increase in the water was registered. As a result of the study, the effectiveness of applying probiotic preparations to decrease water phyto-toxicity has been established, that enables to suppose the possibility of regulating the processes of surface waters' eutrophication by using probiotics. In order to assess the effectiveness of applying probiotic preparations to regulate water systems' eutrophication, the study of water samples before and after purification was conducted by chemical indicators. It has been established that Sviteco-Agrobiotic-01 had the highest effect as to the majority of substances. Moreover, the effectiveness of purification was the following: by BOD₅– 39 %, COD – 33 %, suspended matters – 18 %, ammonium nitrogen – 33 %, manganese – 20 %. It has been found that the use of probiotic preparations is more effective in comparison with chemical methods; in particular, the application of Sviteco-Agrobiotic-01 probiotic eliminates 70–80 % of cyanobacteria. The same result was obtained while using potassium permanganate, but the negative effect of this method is the fact that the use of chemical methods leads to repeated water bodies' pollution. Our study proves the possibility for developing complex systems of surface water bodies' purification with environmentally safe methods to prevent water reservoirs' bloom, which is one of the priorities in the development of urbanized areas and sustainable development of the society.

Key words: water bodies, eutrophication, probiotics, biometric indicators, effectiveness, phytotoxic effect.

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ
ЗА ДОПОМОГОЮ БІОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ

П. В. Писаренко, М. С. Самойлік, О. Ю. Диченко, М. С. Серета, О. П. Корчагін

Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, 36003, Україна

Проведене дослідження є комплексним аналізом впливу вод різного рівня евтрофікації на схожість, ріст та кореневу систему висіяного насіння. Для оцінки фітотоксичного ефекту в досліді були використані такі показники: висота проростків, довжина коренів, а також фітомаса проростків і кореневої системи рослин. Як тест-культури були використані рослини, що мають яскраво виражену стрес-реакцією на забруднення: *Pisum sativum*, *Triticum aestivum*, *Lepidium sativum*. Фітотоксичний ефект вважається значущим, якщо становить понад 20 %. Досліджено можливість використання пробіотиків для боротьби з процесом «цвітіння води». Проведено оцінку фітотоксичного ефекту досліджуваних зразків води до та після очистки їх пробіотиком Світеко-Агробіотик-01 (у розведенні 1 : 100) на схожість, ріст та кореневу систему висіяного насіння. Визначено, що після очистки пробіотиком усі зразки води по всіх біометричних показниках *Triticum aestivum* та *Lepidium sativum* віднесено до нетоксичних (відсутня токсичність), причому зафіксовано чітку динаміку до збільшення ефекту очистки при збільшенні концентрації забруднень у воді. У результаті дослідження встановлено ефективність використання пробіотичних препаратів для зниження фітотоксичності води, що дає змогу зробити припущення про можливість регулювання процесів евтрофікації поверхневих вод за допомогою пробіотиків. Для оцінки ефективності використання пробіотичних препаратів для регулювання евтрофікації водних систем проведено дослідження зразків води до та після очистки за хімічними показниками. З'ясовано, що найвищий ефект по більшості речовин мав СвітекоАгробіотик-01. Ефективність очистки була такою: по БСК5 – 39 %, ХСК – 33 %, зваженим речовинам – 18 %, азоту амонійному – 33 %, марганцю – 20 %. Встановлено, що використання пробіотичних препаратів є більш ефективним порівняно з хімічними методами, зокрема використання пробіотику Світеко-Агробіотик-01 дає ефективність знищення ціанобактерій до 70–80 %. Такий результат отримано при застосуванні перманганату калію, але негативним моментом цього методу є те, що використання хімічних методів створює вторинне забруднення водоймищ. Це дає можливість розробити комплексні системи очистки поверхневих водних об'єктів екологічно безпечними методами від цвітіння водоймищ, що є одним із пріоритетів розвитку урбанізованих територій та сталого розвитку суспільства.

Ключові слова: водні об'єкти, евтрофікація, пробіотики, біометричні показники, ефективність, фітотоксичний ефект.

Вступ

Природне водоймище є біологічно збалансованою екологічною системою, налаштованою на самоочищення і самовідновлення. Цей природний стан біологічного балансу може бути порушений як у результаті природного старіння водоймища, так і в результаті штучного забруднення водоймища органічними речовинами і поживними елементами. Потрапивши у водоймище, органіка частково розчиняється у воді, частково опускається на дно водоймища, де формується органічна біомаса донного мулу, що піддається розкладанню гнильними бактеріями і грибами. При розкладанні, органічні речовини інтенсивно забирають з води розчинений кисень, натомість виділяють у воду продукти розпаду – поживні (біогенні) елементи азоту, фосфору. Надлишок органічних речовин і поживних елементів призводить спочатку до порушення біологічної рівноваги і пригнічення біологічного самоочищення водоймища, а потім до зміни типу екосистеми ставка або озера на евтрофний – тобто до заболочування [1–12].

В умовах зростаючого антропогенного впливу вирішення завдань попередження деградації водного середовища та раціонального природокористування набуло винятково важливого значення. Відповідно до Указу Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» (від 30 вересня 2019 року № 722/2019) стале управління водними ресурсами визначено як одна із пріоритетних цілей сталого розвитку України.

Значний внесок у розробку теоретичних основ і пошук практичних заходів щодо боротьби з масовим розвитком ціанобактерій у поверхневих водоймах зробили значна кількість як вітчизняних, так і закордонних учених [10–23]. Водночас при всьому комплексі методів боротьби з евтрофікацією, що наводиться в науковій літературі, питання використання бактерій, зокрема пробіотиків, для очищення поверхневих водних об'єктів, є на сьогодні недостатньо вивченими. Широкому застосуванню пробіотичних препаратів перешкоджає недостатня вивченість цього напрямку: відсутня наукова і науково-практична база, порівняльні дослідження різних пробіотиків, методики розрахунку необхідних доз прибутків для отримання заданого ефекту очищення тощо.

Метою проведення цих досліджень є обґрунтувати ефективність використання пробіотичних препаратів для регулювання процесу евтрофікації водних систем. Головним *завданням* досліджень було теоретично обґрунтувати та експериментально довести ефективність використання пробіотичних препаратів для регулювання процесу евтрофікації водних систем, довести комплексний вплив пробіотиків на процес очистки як для передбачення, так і ліквідації наслідків евтрофікації.

Матеріали і методи досліджень

Для дослідження процесу евтрофікації води в річці Ворскла було взято проби на глибині 0,2–0,5 м від поверхні водойми, в різних районах міста Полтави та на околицях міста, а саме: ділянка № 1 (Т. 1) – с. Петрівка, Полтавського р-ну; ділянка № 2 (Т. 2) – м. Полтава, вул. Сакко, р-н Дублянщина; ділянка № 3 (Т. 3) – м. Полтава, вул. Сакко, р-н Дублянщина; ділянка № 4 (Т. 4) – с. Нижні Млини, передмістя м. Полтави. *Проби води бралися між 12:00 та 17:00 годинами.*

Під час проведення досліджень використовували теоретичні (аналіз, синтез, системний аналіз) та прикладні (польові, лабораторні) методи досліджень. Проби на гідрохімічні та гідрофізичні параметри відбирали приладом батометром Паталаса об'ємом 1 л у пластикові пляшки об'ємом 0,5 л. Усі вимірювання гідрохімічних параметрів проводились протягом 24 годин після відбору проб. Достовірність результатів забезпечувалась внутрішньо-лабораторним контролем визначення похибок складу проб води, впровадженням програмного обчислення результатів досліджень та побудови калібрувальних графіків на комп'ютері, неодноразовою участю в міжлабораторних та міжнародній інтеркалібраціях контролю якості вимірювань.

Для комплексної оцінки фітотоксичності води, набраної на різних ділянках р. Ворскли 2018–2020 рр., проведено визначення фітотоксичності методом проростків [13–23]. Визначення фітотоксичного впливу водного середовища на ріст і кореневу систему рослин здійснювали на підставі розрахунку за формулою:

$$ФЕ = [(M_0 - M_k) / M_0] \times 100 \%,$$

де M_0 – маса або ростові показники рослин із контрольним зразком води;

M_k – маса або ростові показники рослин у воді, що досліджується.

Всі дослідження проведені в чотирикратній повторності.

Результати досліджень та їх обговорення

Одержані результати попередніх досліджень показали необхідність очистки водних систем біологічними методами. На сьогодні використання пробіотичних препаратів для очистки компонентів довкілля, зокрема водних систем, недостатньо вивчений напрям. Тому проведено дослідження застосування пробіотичних препаратів для регулювання евтрофікації водних систем.

Для дослідження використано пробіотичні препарати, а саме: Світеко-ППВ, Світеко-ОПЛ, СвітекоАгробіотик-01. Проведене дослідження є комплексним аналізом фітотоксичного ефекту водних зразків до і після очистки їх пробіотичними препаратами на схожість, ріст та кореневу систему висадженого насіння гороху посівного (*Pisum sativum*), пшениці озимої (*Triticum aestivum*) та кресалату (*Lepidium sativum*). Дослід проводився 14 діб.

Порівняння кількості пророслого насіння гороху на зразках води до та після очистки води пробіотичними препаратами зображено на рис. 1. Контролем була водопровідна питна вода, причому після додавання до неї пробіотику проростання насіння збільшилося на 1,5 %, що вказує на стимуляційний ефект цього препарату. Відповідно, у зразку води з Т. 1 проростання насіння збільшилося на 4 %, Т. 2 – на 6 %, Т. 3 і Т. 4 – на 7 %. Можна констатувати, що при більшому забрудненні води (по важким металам, фенолам, кількості синьо-зелених водоростей) спостерігається більший стимуляційний ефект.

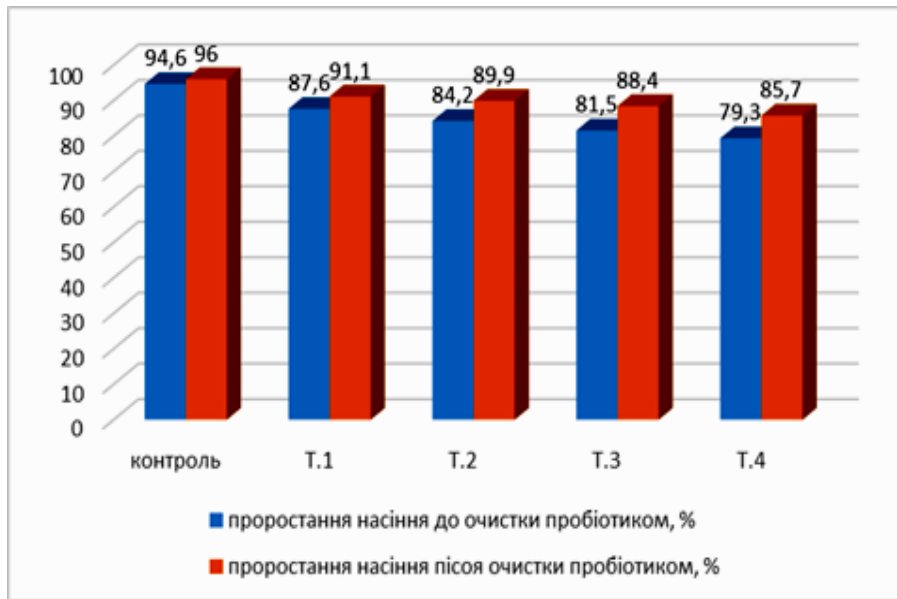


Рис. 1. Кількість пророслого насіння гороху на зразках води до та після очистки води пробіотичними препаратами

За даними таблиці 1 проведено порівняння біометричних показників рослин гороху до та після очистки пробіотиком. Фітотоксичність води після очистки води зменшилася по всім біометричним показникам (табл. 2), але враховуючи низьку чутливість гороху до такого діапазону забруднення, у подальшому проведені аналогічні дослідження на пшениці озимій та крес-салаті.

1. Біометричні показники зразків води (ФЕ) різного рівня евтрофікації, очищеної пробіотиком

Зразок води, місце відбору	Горох посівний (<i>Pisum sativum</i>)									
	по проростанню		по довжині коренів		по масі коренів		по довжині наземної частини		по масі наземної частини	
	проростання насіння до очистки, %	проростання насіння після очистки, %	довжина коренів до очистки, см	довжина коренів після очистки, см	маса коренів до очистки, мг	з маса коренів після очистки, мг	довжина наземної частини до очистки, см	довжина наземної частини після очистки, см	маса наземної частини до очистки, мг	маса наземної частини після очистки, мг
контроль	94,6	96	13,3	13,7	15,5	15,6	31,8	32,0	22,1	22,5
T. 1	87,6	91,1	12,3	12,9	13,9	15,1	29,4	31,5	19,8	21,8
T. 2	84,2	89,9	11,5	12,4	13,4	15	28,5	31,2	19,5	21,1
T. 3	81,5	88,4	10,8	11,9	14,0	14,8	26,7	29,5	17,2	20,4
T. 4	79,3	85,7	10,6	11,7	13,5	14,7	25,8	28,4	17,5	20,1

Порівняння кількості пророслого насіння пшениці озимі та ФЕ на зразках води до та після очистки води пробіотичними препаратами приведено на рис. 2 та 3.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

2. Фітотоксичний ефект зразків води (ФЕ) різного рівня евтрофікації, очищеної пробіотиком

Зразок води, місце відбору	Горох посівний (<i>Pisum sativum</i>)									
	по проростанню		по довжині коренів		по масі коренів		по довжині наземної частини		по масі наземної частини	
	ФЕ до очистки, %	ФЕ після очистки, %	ФЕ до очистки, %	ФЕ після очистки, %	ФЕ до очистки, %	ФЕ після очистки, %	ФЕ до очистки, %	ФЕ після очистки, %	ФЕ до очистки, %	ФЕ після очистки, %
T.1	7,40	5,10	7,5	5,8	6,27	3,21	7,55	1,56	10,41	3,11
T. 2	10,99	6,35	13,5	9,49	8,24	3,85	10,38	2,50	11,76	6,22
T.3	13,85	7,92	18,8	13,14	5,88	5,13	16,04	7,81	22,17	9,33
T.4	16,17	10,73	20,3	14,60	7,84	5,77	18,87	11,25	20,81	10,67

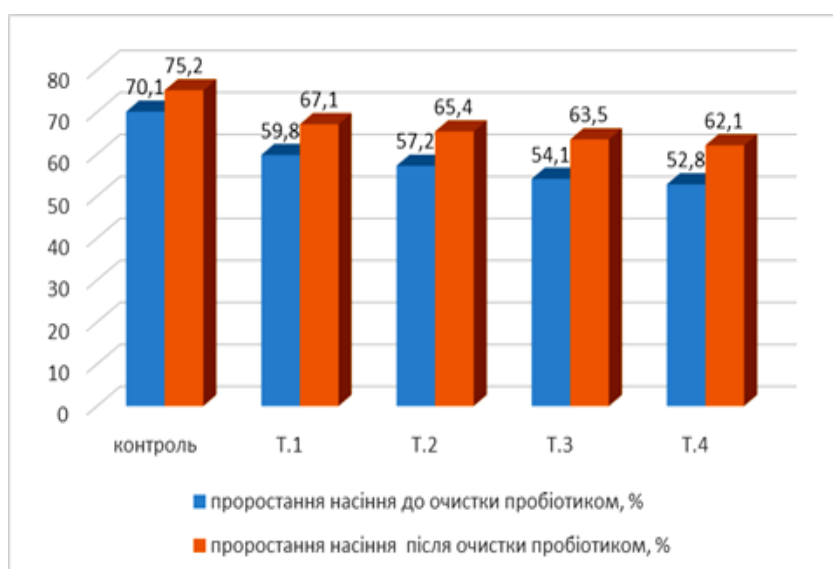


Рис. 2. Кількість пророслого насіння пшениці озимої на зразках води до та після очистки води пробіотичними препаратами

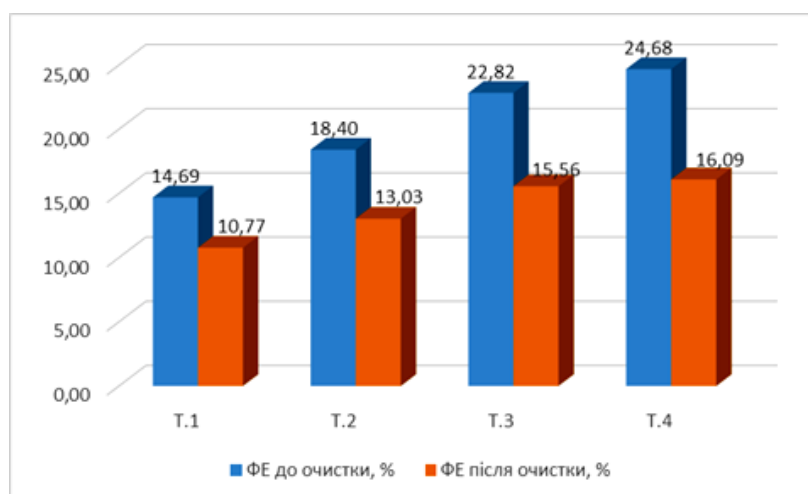


Рис. 3. Фітотоксичний ефект на зразках води (по пшениці озимій) до та після очистки води пробіотичними препаратами, %

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

У результаті очищення пробіотичними препаратами фітотоксичність води по кількості пророслого насіння у всіх зразках зменшилася на 5–9 %, а зразки води із Т. 3 і Т. 4 із середньотоксичних стали нетоксичними (відсутня токсичність води). Аналогічні дослідження за іншими біометричними показниками до та після очищення води пробіотиком наведено на рис. 4.

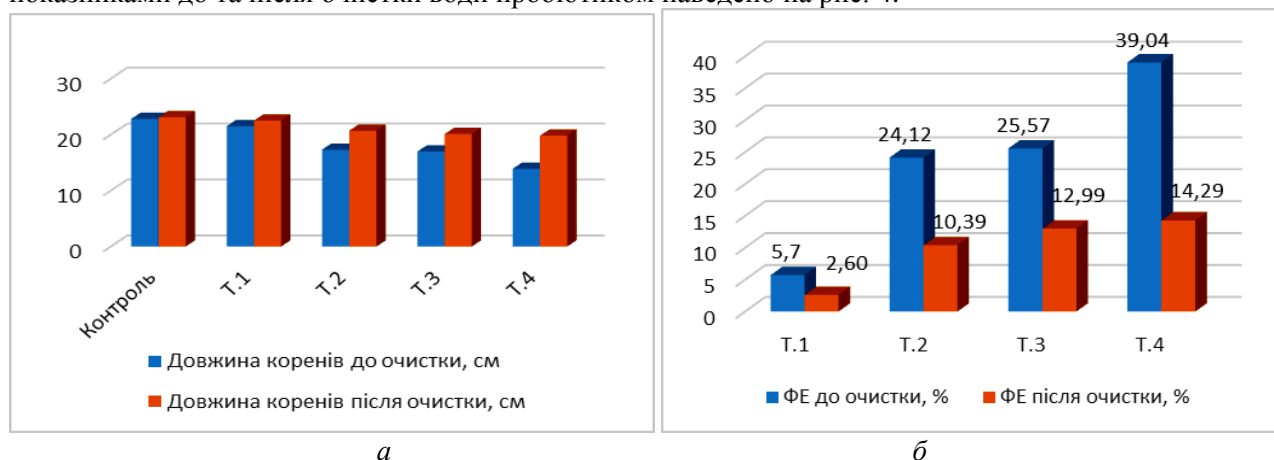


Рис. 4. Результати очищення води за допомогою пробіотиків (до та після очищення):
а – по довжині коренів пшениці, см; б – фітотоксичний ефект, %

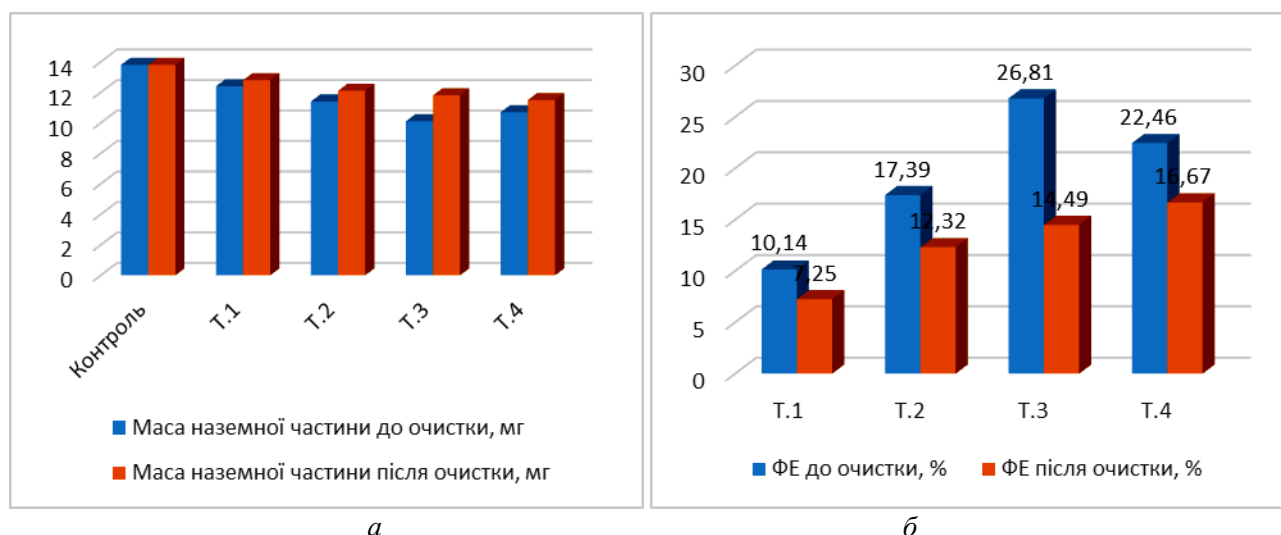


Рис. 5. Результати очищення зразків води за допомогою пробіотиків (до та після очищення):
а – по масі наземної частини пшениці, мг; б – фітотоксичний ефект, %

У результаті проведених досліджень встановлено, що після очищення пробіотиком усі зразки води за всіма біометричними показниками віднесено до нетоксичних (відсутня токсичність). Ефект зниження токсичності склав:

- по довжині коренів від 49 % до 63 %, причому найбільший ефект спостерігався на найбільш забрудненому зразку води;
- по масі коренів від 3 % до 51 %, причому найменший ефект спостерігався на найменш забрудненому зразку;
- по довжині наземної частини від 22 % до 53 %, зв'язок із забрудненням у цьому випадку відсутній;
- по масі наземної частини від 26 % до 45 %, причому зв'язок із забрудненням у цьому випадку знову відсутній.

Отже, при визначенні фітотоксичності по кореням спостерігалася чітка залежність щодо збільшення ефективності очищення пробіотиком при збільшенні рівня забруднення.

Аналогічні дослідження проведено на крес-салаті (табл. 3). Результати зниження фітотоксичності зразків води внаслідок очищення їх пробіотиком відображено на рис. 5.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

3. Біометричні показники зразків води (ФЕ) різного рівня евтрофікації, після біологічної очистки за допомогою пробіотику

Зразок води, місце відбору	Крес-салат									
	по проростанню		по довжині коренів		по масі коренів		по довжині наземної частини		по масі наземної частини	
	проростання насіння до очистки, %	проростання насіння після очистки, %	довжина коренів до очистки, см	довжина коренів після очистки, см	маса коренів до очистки, мг	з маса коренів після очистки, мг	довжина наземної частини до очистки, см	довжина наземної частини після очистки, см	маса наземної частини до очистки, г	маса наземної частини після очистки, г
контроль	92	96	4,2	4,5	0,005	0,006	6,1	6,5	0,06	0,06
T. 1	84	90	3,3	4,1	0,004	0,005	5,2	6	0,05	0,06
T. 2	79	85	1,5	4	0,002	0,005	4,3	5,9	0,04	0,05
T. 3	70	86	1,5	3,8	0,001	0,005	3,5	5,5	0,04	0,05
T. 4	69	84	1,1	3,8	0,001	0,005	3,2	5,6	0,03	0,05

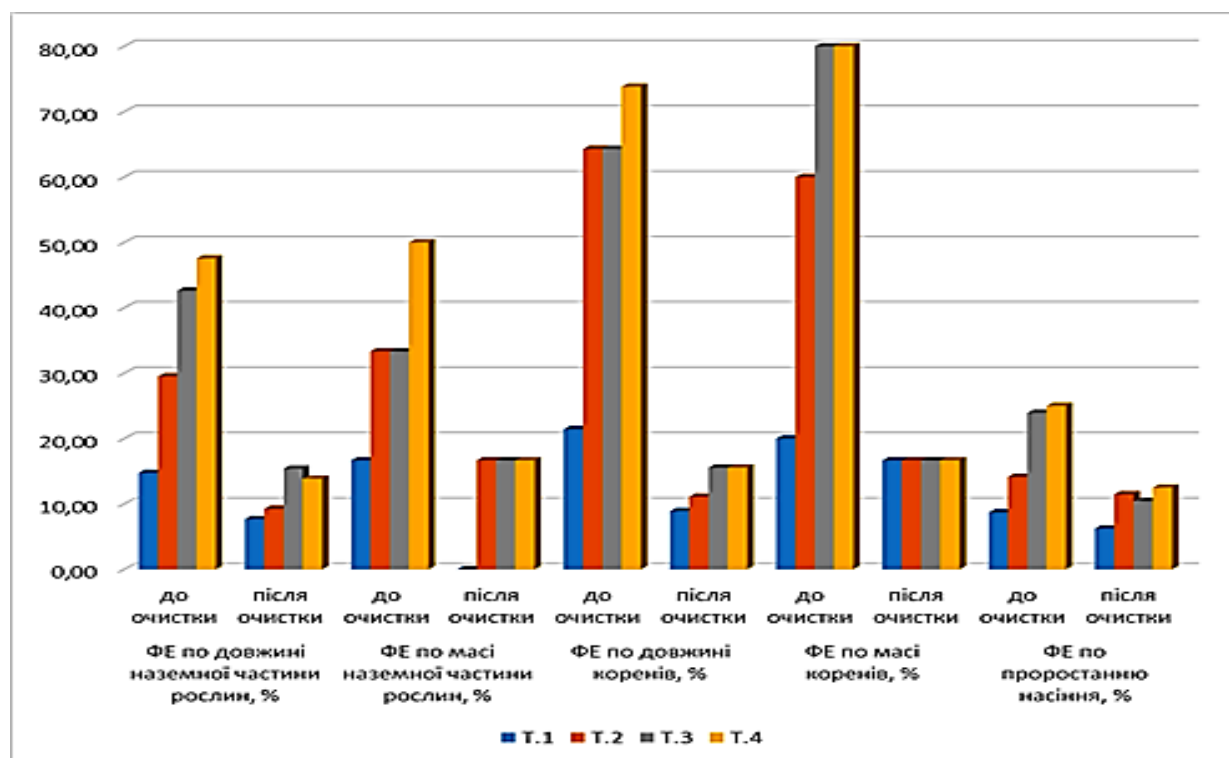


Рис. 5. Фітотоксичний ефект до і після очистки на крес-салаті, %

За результатами досліджень на крес-салаті встановлено таке: всі зразки води після очистки характеризувалися відсутністю токсичності; зразки води Т. 2, Т. 3 і Т. 4 характеризувалися ФЕ по довжині та масі коренів як високо токсичні, що пов'язано з чутливістю крес-салату до такого діапазону забруднень (важкі метали, феноли). У результаті очищення пробіотиком ці зразки води стали нетоксичними, що свідчить про нейтралізацію впливу забруднень; по довжині та масі наземної частини тільки зразок води Т. 4 характеризувався токсичністю вище середньої, зразки Т. 2 і Т. 3 – середньою токсичністю, після очищення води за допомогою пробіотику ФЕ цих зразків

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

характеризувався як нетоксичний; у всіх випадках зафіксовано чітку динаміку до збільшення ефекту очистки при збільшенні концентрації забруднень у воді.

Отже, у результаті дослідження встановлено ефективність використання пробіотичних препаратів для зниження фітотоксичності води, що дає змогу зробити припущення про можливість регулювання процесів евтрофікації поверхневих вод за допомогою пробіотиків.

Для оцінки ефективності використання пробіотичних препаратів для регулювання евтрофікації водних систем на другому етапі проведено дослідження зразків води до та після очистки за хімічними показниками.

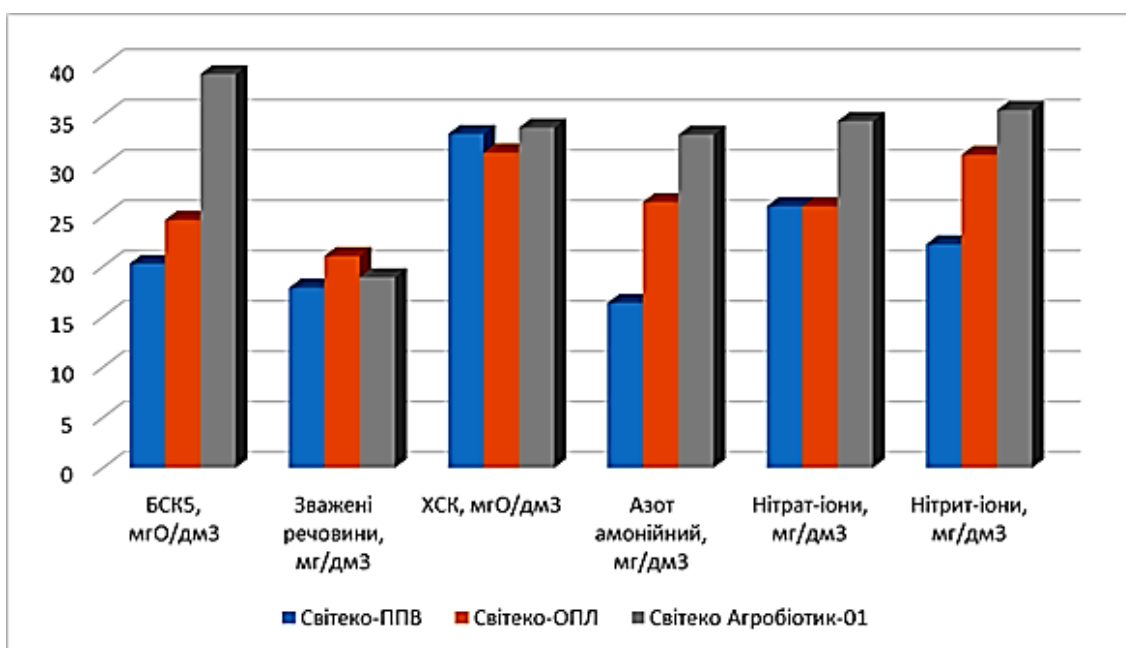


Рис. 6. Ефективність очистки води пробіотичними препаратами



Рис. 7. Ефективність хімічних та біологічних методів очистки водних систем (за вмістом фітопланктону)

У порівняльних дослідженнях тестувалися три пробіотичні препарати – Світеко-ППВ, Світеко-ОПЛ та СвітекоАгробіотик-01 (розбавлення 1 : 100). Експерименти проводилися у статичному (лабораторному) режимі. Для дослідження використовували найбільш забруднений зразок води, набраної у річці Ворсклі (Т. 4). Температура підтримувалася на рівні 20 °С. Період очистки становив

14 діб. У результаті проведеного дослідження з'ясовано, що найвищий ефект по більшості речовин мав СвітекоАгробіотик-01. Ефективність очистки була такою: по БСК₅ – 39 %, ХСК – 33 %, зваженим речовинам – 18 %, азоту амонійному – 33 %, марганцю – 20 %. Значний ефект спостерігався також по зниженню вмісту фітопланктону на 75 %.

На наступному етапі проведено порівняння хімічних та біологічних (пробіотик) методів регулювання процесів евтрофікації водних систем за кількістю синьо-зелених водоростей. Узагальнені результати дослідження представлені на рис. 7.

Висновки

У результаті проведених досліджень визначено, що після очистки пробіотиком усі зразки води за всіма біометричними показниками *Triticum aestivum* та *Lepidium sativum* віднесено до нетоксичних (відсутня токсичність), причому зафіксовано чітку динаміку до збільшення ефекту очистки при збільшенні концентрації забруднень у воді. Встановлено, що найвищий ефект по більшості речовин мав СвітекоАгробіотик-01. Ефективність очистки була такою: по БСК₅ – 39 %, ХСК – 33 %, зваженим речовинам – 18 %, азоту амонійному – 33 %, марганцю – 20 %. Проведено порівняння хімічних та біологічних (пробіотик) методів регулювання процесів евтрофікації водних систем за вмістом фітопланктону. Встановлено, що використання пробіотичних препаратів є більш ефективним порівняно з хімічними методами, зокрема використання пробіотику Світеко-Агробіотик-01 дає ефективність знищення ціанобактерій до 70–80 %. Такий результат отримано при застосуванні перманганату калію, але негативним моментом цього методу є те, що використання хімічних методів створює вторинне забруднення водоймищ. Це дає можливість розробити комплексні системи очистки поверхневих водних об'єктів екологічно безпечними методами від цвітіння водоймищ, що є одним із пріоритетів розвитку урбанізованих територій та сталого розвитку суспільства.

Перспективи подальших досліджень. На основі проведеного експериментального дослідження ефективності використання пробіотичних препаратів для регулювання процесу евтрофікації водних систем у подальшому планується розробити методичні засади комплексної системи регулювання процесу евтрофікації водних систем за рахунок включення новітніх екологобезпечних методів регулювання процесу евтрофікації водних систем як необхідну умову сталого розвитку гідросистем.

References

1. Ferreira, J. G., & Andersen, J. H. (2011). Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 93 (2), 117–131. doi: 10.1016/j.ecss.2011.03.014
2. Klymenko, M. O. (2006). *Monitorynh dovkillia*. Kyiv: Akademiia [In Ukrainian].
3. Yatsyk, A. V., & Shmakov, V. A. (2012). *Hidroekolohiia*. Kyiv: Urozhai [In Ukrainian].
4. Izrael, Yu. A. (1984). *Ekologiya i kontrol sostoyaniya prirodnoj sredy*. Moskva: Gidrometeoizdat [In Russian].
5. Yang, X., Wu, X., Hao, H., & He, Z. (2008). Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 9 (3), 197–209. doi: 10.1631/jzus.b0710626
6. Cloern, J. (2001). Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210, 223–253. doi: 10.3354/meps210223
7. Smith, V. H., Joye, S. B., & Howarth, R. W. (2006). Eutrophication of freshwater and marine ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 51 (1 part 2), 351–355. doi: 10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0351
8. Backer, L. C. (2002). Cyanobacterial Harmful Algal Blooms (CyanHABs): Developing a Public Health Response. *Lake and Reservoir Management*, 18 (1), 20–31. doi: 10.1080/07438140209353926
9. Chorus, I., & Bartram, J. (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water*. doi: 10.4324/9780203478073
10. Lahti, K., Rapala, J., Kivimäki, A.-L., Kukkonen, J., & Niemelä, M. (2001). Occurrence of microcystins in raw water sources and treated drinking water of Finnish waterworks. *Water Science and Technology*, 43 (12), 225–228. doi: 10.2166/wst.2001.0744
11. Skulberg, O. M. (2005). Cyanobacteria/cyanotoxin research-Looking back for the future: The opening lecture of the 6th ICTC, Bergen, Norway. *Environmental Toxicology*, 20 (3), 220–228. doi: 10.1002/tox.20101
12. Avramenko, N. I. (2014). Sezonna minlyvist biohennykh rehovyn u richtsi Vorskla. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 1, 115–120. doi: 10.31210/visnyk2014.01.28 [In Ukrainian].

13. GOST 4192-82. Voda pitevaya. Metody opredeleniya mineralnyh azotsoderzhashih veshestv. (Dejstvuyushij ot 1983-01-01). (1983). Moskva [In Russian].
14. DSTU 9297:2007 Yakist vody. Vyznachennia khlorydiv. Tytruvannia nitratom sribla iz zastosuvanniam khromatu yak indykatora (metod Mora). Chynnyi vid 2009-01-01. (2009). Kyiv [In Ukrainian].
15. GOST 4389-72. Voda pitevaya. Metody opredeleniya sodержaniya sulfatov. (Dejstvuyushij ot 2018-09-12). (2018). Moskva [In Russian].
16. GOST 18309-72. Metod opredeleniya sodержaniya polifosfatov. (Dejstvuyushij ot 2018-09-12). (2018). Moskva [In Russian].
17. PND F 14.1;2.105-97. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii letuchih fenolov v prirodnyh i ochishennyh stochnyh vodah fotometricheskim metodom. (1997). Moskva [In Russian].
18. GOST 2477-65. Neft i nefteprodukty. Metod opredeleniya sodержaniya vody (s Izmeneniyami No 1, 2, 3). (Dejstvuyushij ot 2002-02-01). (2002). Moskva [In Russian].
19. GOST 18309-2014 Voda. Metody opredeleniya fosforsoderzhashih veshestv (s Popravkoj). (Dejstvuyushij ot 2016-01-01). (2016). Moskva [In Russian].
20. GOST 17.1.4.02-90. Voda. Metodika spektrofotometricheskogo opredeleniya hlorofilla. (Dejstvuyushij ot 2019-01-01). (2019). Moskva [In Russian].
21. DSTU 6060:2003. Yakist vody. Vyznachennia khimichnoi potreby v kysni. Chynnyi vid 2003-06-10. (2004). Kyiv [In Ukrainian].
22. Mathematical Modeling of Eutrophication Processes in Shallow Waters on Multiprocessor Computer System. (2016). *Bulletin of the South Ural State University. Series "Computational Mathematics and Software Engineering"*, 5 (3). doi: 10.14529/cmse160303.
23. Ormerod, S. J. (1993). Control of eutrophication in inland waters. *Environmental Pollution*, 80 (3), 309. doi: 10.1016/0269-7491(93)90057-u.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Писаренко П. В., Самойлік М. С., Диченко О. Ю., Серета М. С., Корчагін О. П. Удосконалення регулювання евтрофікації водних об'єктів за допомогою біологічних методів. *Вісник ПДАА*. 2021. № 2. С. 135–144.

© Писаренко Павло Вікторович, Самойлік Марина Сергіївна, Диченко Оксана Юріївна, Серета Максим Сергійович, Корчагін Олександр Павлович, 2021