



original article | 556.531:556.114 | doi: 10.31210/visnyk2020.03.16

## SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF REGULATING EUTROPHICATION PROCESSES OF WATER OBJECTS (ON THE EXAMPLE OF THE VORSKLA RIVER)

O. P. Korchahin

ORCID  [0000-0002-6541-5376](https://orcid.org/0000-0002-6541-5376)

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

E-mail [pavlo.pysarenko@pdaa.edu.ua](mailto:pavlo.pysarenko@pdaa.edu.ua)

### How to Cite

Korchahin, O. P. (2020). Scientific substantiation of regulating eutrophication processes of water objects (on the example of the Vorskla river). *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (3), 150–158. doi: 10.31210/visnyk2020.03.16

The article deals with investigating eutrophication process of water eco-systems. It has been mentioned that at present the development of theoretical foundations and search of practical measures in fighting mass development of cyanic bacteria in top layer water reservoirs are being actively conducted. At the same time, using bacteria for purification of surface water objects is insufficiently researched at present, so the need for studying eutrophication processes of water objects while using different methods of biological purification, arises. Thus, the purpose of the work was investigating chemical and biological methods of water objects' restoration by decreasing the amount of cyanic bacteria in them. Based on the conducted research, scientific recommendations have been proposed as to fighting surface water reservoirs' blooming. The investigation methods included conducting analytical, natural, laboratory studies, as well as calculation part. To investigate eutrophication process of water in the Vorskla river, samples were taken 0.2-0.5 m deep from the water reservoir top layer (in different districts of the city of Poltava and its outskirts). During the first stage of investigation, chemical methods of fighting water blooming were studied. The best result was achieved at applying potassium permanganate ( $0.2 \cdot 10^6$  cl/l), molybdenum liquid ( $0.3 \cdot 10^6$ ), magnesia mixture ( $0.4 \cdot 10^6$ ), chlorine ( $0.5 \cdot 10^6$ ), and ferrum chelate ( $0.6 \cdot 10^6$ ). During the second research stage, studying probiotics influence in fighting water blooming as to toxic effect to cyanic bacteria was conducted. It has been established that using biological methods of water objects' purification from cyanic bacteria are more effective in comparison with chemical methods. In particular, applying Sviteko-Agrobiotic-01 probiotic is 94 % effective in eliminating cyanic bacteria. The same result was obtained while using potassium permanganate ( $0.2 \cdot 10^6$ ). However, the negative effect of the mentioned above chemical method is that it results in secondary water reservoir pollution. The effectiveness of other chemical methods in fighting water blooming was also determined: molybdenum liquid (91 % effectiveness), magnesia mixture (88 %), chlorine (85 %), and ferrum chelate (82 %). Somewhat worse results were achieved at applying argentum nitrate (70 %) and barium chloride (41 %). The largest amount of blue-green algae remained active at using aluminum sulfate in combination with copper sulfate (26 % effectiveness). The conducted studies are basis for working out complex systems of water eco-systems' purification from cyanic bacteria using environmentally safe methods, which are one of the priority development of urbanized territories and sustainable development of the society.

**Key words:** water reservoir eutrophication, water eco-system, probiotics, cyanic bacteria, blue-green algae.

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ (НА ПРИКЛАДІ РІЧКИ ВОРСКЛИ)**

**О. П. Корчагин**

Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

У статті проведено дослідження процесу евтрофікації водних екосистем. Визначено, що нині у світі активно здійснюється розробка теоретичних основ і пошук практичних заходів з боротьби з масовим розвитком ціанобактерій у поверхневих водоймах. Водночас питання використання бактерій для очищення поверхневих водних об'єктів є на сьогодні недостатньо вивченими, постає потреба в дослідженні евтрофікаційних процесів водних об'єктів при використанні різних методів біологічного очищення. Зважаючи на це, метою роботи стало дослідження хімічних та біологічних методів відновлення водних об'єктів через зменшення в них кількості ціанобактерій, на основі чого надані наукові рекомендації щодо боротьби із «цвітінням» поверхневих водоймищ. Методика дослідження включала проведення аналітичних, натурних та лабораторних досліджень, розрахункову частину. Для дослідження процесу евтрофікації води в річці Ворскла було взято проби на глибині 0,2–0,5 м від поверхні водойми (в різних районах м. Полтави та на околицях міста). На першому етапі дослідження вивчали хімічні методи боротьби із «цвітінням води». Найкращий результат спостерігали при застосуванні перманганату калію ( $0,2 \cdot 10^6$  кл/л), молібденової рідини ( $0,3 \cdot 10^6$ ), магнезійної суміші ( $0,4 \cdot 10^6$ ), хлору ( $0,5 \cdot 10^6$ ) та хелату заліза ( $0,6 \cdot 10^6$ ). На другому етапі дослідження проводили вивчення пробіотиків для боротьби із «цвітінням води» на наявність токсичної дії до ціанобактерій. З'ясовано, що використання біологічних методів очищення водних об'єктів від ціанобактерій є більш ефективним порівняно з хімічними методами, зокрема використання пробіотику Світеко-Агробіотик-01, який ефективно знищує ціанобактерії до 94 %. Такий результат отримано при застосуванні перманганату калію ( $0,2 \cdot 10^6$ ), але негативним наслідком цього є те, що використання хімічних методів загалом створює вторинне забруднення водоймищ. Також визначено ефективність інших хімічних методів боротьби із «цвітінням води»: молібденової рідини (ефективність – 91 %), магнезійної суміші (88 %), хлору (85 %) та хелату заліза (82 %). Деяко гірші результати дало застосування нітрату срібла (70 %) та хлориду барію (41 %). Найбільша кількість синьо-зелених водоростей залишилася при дії на останні сульфату алюмінію спільно з мідним купоросом (26 %). Проведені дослідження є основою розробки комплексних систем очистки водних екосистем екологічно безпечними методами від ціанобактерій, що є одним із пріоритетів розвитку урбанізованих територій та сталого розвитку суспільства.

**Ключові слова:** евтрофікація водоймищ, водна екосистема, пробіотики, ціанобактерії, синьо-зелені водорості.

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЭВТРОФИКАЦИИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ВОРСКЛА)**

**А. П. Корчагин**

Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава, Украина

В статье проведено исследование процесса эвтрофикации водных экосистем. Определено, что в настоящее время в мире активно осуществляется разработка теоретических основ и поиск практических мер по борьбе с массовым развитием цианобактерий в поверхностных водоемах. Результаты исследований доказывают, что использование биологических методов очистки водных объектов от цианобактерий является более эффективным по сравнению с химическими методами. В частности, использование пробиотика Свитек-Агробиотик-01 дает эффективность уничтожения цианобактерий до 94 %. Такой результат получен при применении перманганата калия ( $0,2 \cdot 10^6$ ), но негативным последствием этого является то, что использование химических методов в целом создает вторичное загрязнение водоемов. Также определена эффективность других химических методов борьбы с «цветением воды»: молибденовой жидкости (эффективность – 91 %), магнезильной смеси (88 %), хлора (85 %) и хелата железа (82 %). Несколько худшие результаты дало применение нитрата серебра (70 %) и хлорида бария (41 %). Наибольшее количество сине-зеленых водорослей

*осталось при воздействии на последние сульфата алюминия совместно с медным купоросом (26 %). Проведенные исследования являются основой разработки комплексных систем очистки водных экосистем экологически безопасными методами от цианобактерий, что является одним из приоритетов развития урбанизированных территорий и устойчивого развития общества.*

**Ключевые слова:** *эвтрофикация водоемов, водная экосистема, пробиотики, цианобактерии, сине-зеленые водоросли.*

### Вступ

Водні об'єкти урбанізованих територій мають важливе соціально-економічне значення, відіграють важливу роль у створенні комфортних умов проживання населення і покращення мікроклімату міського середовища. Але через безперервне зростання міського населення вони постійно зазнають значного техногенного навантаження. Нині водотоки урбанізованих територій є основними приймачами забруднюючих речовин, що надходять зі стічними водами промислових і сільськогосподарських підприємств та комунального господарства, а також з дощовими та талими водами з міських територій, промплощадок і сільськогосподарських угідь. Основними забруднюючими речовинами цих стоків є біогенні елементи, нафтопродукти, пестициди, синтетичні поверхнево-активні компоненти, органічні сполуки природного та антропогенного походження, важкі метали.

Низька стійкість водних об'єктів урбанізованих територій до постійного антропогенного навантаження призводить до зниження здібності гідробіоценозів до самовідновлення. Внаслідок цього більшість з них мають високий рівень хімічного і бактеріологічного забруднення й не придатні навіть для господарсько-побутового та рекреаційного використання.

Одним із негативних наслідків перенасичення ґрунтів і водойм хімікатами є евтрофікація водоймищ, пов'язана з підвищеним вмістом азоту та фосфору, «цвітінням» водоростей, їх накопиченням, відмиранням, розкладанням із інтенсивним поглинанням кисню з води, що спричиняє задуху водойм, і призводить до загибелі водної фауни. При цьому у глибоких водоймах цвітіння зазвичай відбувається у верхніх шарах, у мілководних – по всій глибині. При цвітінні переважає один або два види мікроорганізмів. Цвітіння триває певний час, а потім зникає. Воно може бути спричинене різними водоростями. На початку весни спостерігається цвітіння діатомовими водоростями, при цьому вода набуває жовтувато-коричневого кольору. Найбільш поширеними діатомовими водоростями, що призводять до цвітіння, є астеріонелла (*Astrionella*), сінедра (*Synedra*), мелозіра (*Melosira*). У середині літа – особливо останніми спекотними роками, нерідко спостерігається цвітіння водойм синьо-зеленими водоростями. Характерними представниками синьо-зелених водоростей, що спричиняють цвітіння, є анабена (*Anabaena*), осциляторія (*Oscillatoria*), які надають воді блакитно-зеленого кольору, неприємного присмаку й запаху [1]. До біогенних елементів, що саме й спричиняють евтрофікацію, відносяться насамперед азот, фосфор та кремній у різних сполуках. Найбільше значення мають фосфор та азот, що є обов'язковими елементами тканин будь-якого живого організму [2].

Натепер у світі активно здійснюється розробка теоретичних основ і пошук практичних заходів з боротьби з масовим розвитком ціанобактерій у поверхневих водоймах, що потребує глибокого аналізу та дослідження процесів евтрофікації, а також пошуку новітніх шляхів очищення водних об'єктів. Аналіз результатів попередніх досліджень (Ізраель Ю. [3], Ферейра Дж. [4], Яич К. [5], Клоерн Дж. [6], Сміс В. [7], Бакер Л. [8], Хорус І. [9], Лахті К. [10], Скулберг О. [11], Авраменко Н. [12] свідчить про перспективність використання біологічних методів очищення водних об'єктів, які дають змогу природнім шляхом відновити якість водних об'єктів, не призводячи до вторинного забруднення водоймищ. Водночас питання використання бактерій для очищення поверхневих водних об'єктів є на сьогодні недостатньо вивченими, постає потреба в дослідженні евтрофікаційних процесів водних об'єктів при використанні різних методів біологічного очищення.

Отже, метою цієї роботи є проведення досліджень хімічних та біологічних методів відновлення водних об'єктів через зменшення в них кількості ціанобактерій, на основі чого розробити наукові рекомендації щодо боротьби з «цвітінням» поверхневих водоймищ.

Зважаючи на вищевикладене, головними завданнями наших досліджень були такі: провести порівняння ефективності хімічних та біологічних методів боротьби із «цвітінням» поверхневих водоймищ; дослідити пробиотики (Світеко-ППВ, Світеко-ОПЛ, Світеко-Агробіотик-01) на наявність токсичної дії до ціанобактерій.

### Матеріали і методи досліджень

Мета досліджень обумовила потребу комплексного використання методів: натурних та лабораторних досліджень, статистичного аналізу спостережень за елементами хімічного складу води (методи моніторингу поверхневих вод), сучасних технологій для екологічної оцінки якості води, математичних розрахункових методів (використовувалися теорії баз даних і методи статистичного, регресійного аналізу тощо), теоретичного аналізу та узагальнення отриманих результатів [13–25].

*Метод № 1.* Дослідження проводили впродовж весняно-літнього періоду 2019 року в різних районах річки Ворскла. Мікроскопічне дослідження передбачає підрахунок клітинних елементів у рахунковій камері і при збільшеному вмісті клітинних елементів вивчення його мікроскопічного складу в забарвлених препаратах.

*Підрахунок клітинних елементів.* Кількість клітин підраховують після отримання необхідної рідини, використовуючи камеру Фукса-Розенталя чи камеру Горєва. Клітинні елементи заздалегідь зафарбовують розчином Самсона [12; 25]. Суміш набирають піпеткою і заповнюють нею підготовлену рахункову камеру. Підрахунок синьо-зелених водоростей проводять при опущеному конденсорі мікроскопа. Клітинні елементи підраховують на всій площі сітки камери. Рекомендується порахувати кількість у двох камерах і вивести середнє арифметичне.

При використанні камери Фукса-Розенталя (площа сітки – 16 мм<sup>2</sup>, глибина – 0,2 мм, об'єм – 3,2 мкл, розведення – 11 : 10) число елементів у 1 л розраховують за формулою: число елементів на площі сітки  $\times 11 \div 3,2 \times 10 \times 10^6 =$  число елементів на площі сітки  $\div 3 \times 10^6$ .

*Метод № 2.* Дослідження трьох препаратів наданих ТОВ «НВП Еко-Країна» (Світеко-ППВ, Світеко-ОПЛ, Світеко-Агробіотик-01) на наявність токсичної дії до ціанобактерій.

Визначали чутливість бактерій до антибіотичних речовин методом серійних розведень на твердому поживному середовищі – картопляному агарі, використовуючи крапельний метод. Для цього чашку Петрі з картопляним агаром (КА) засівали бактеріальною суспензією досліджуваних бактерій (концентрація бактеріальної суспензії  $1 \times 1^9$  колонієутворюючих одиниць/мл – КУО/мл), у кількості 0,1 мл на чашку і розтирали шпателем. Потім у кожен чашку вносили в центр по 0,1 мл препарату в різних концентраціях. Через 24–48 год інкубування чашок Петрі в термостаті при 28 °С робили облік зон відсутності росту досліджуваних бактерій.

Повторність дослідів – триразова. Відсутність затримки росту вказувала на резистентність мікроорганізмів до цієї концентрації препарату. Зони, діаметр яких не перевищує 15 мм, свідчать про слабку чутливість до препарату. Зони затримки росту від 15 до 25 мм фіксуються у чутливих мікроорганізмів, високочутливі характеризуються зонами з діаметром більш ніж 25 мм.

### Результати досліджень та їх обговорення

Однією з найбільших водойм на території Полтавської області є річка Ворскла. Для дослідження процесу евтрофікації води в р. Ворсклі бралися проби на глибині 0,2–0,5 м від поверхні водойми в різних районах м. Полтави та на околицях міста (травень-вересень 2019 р., всього чотири точки по 5 проб:

Т. 1 – с. Петрівка, Полтавського р-ну;

Т.2 – м. Полтава, вул. Сакко, р-н Дублянщина;

Т.3 – м. Полтава, вул. Б. Хмельницького;

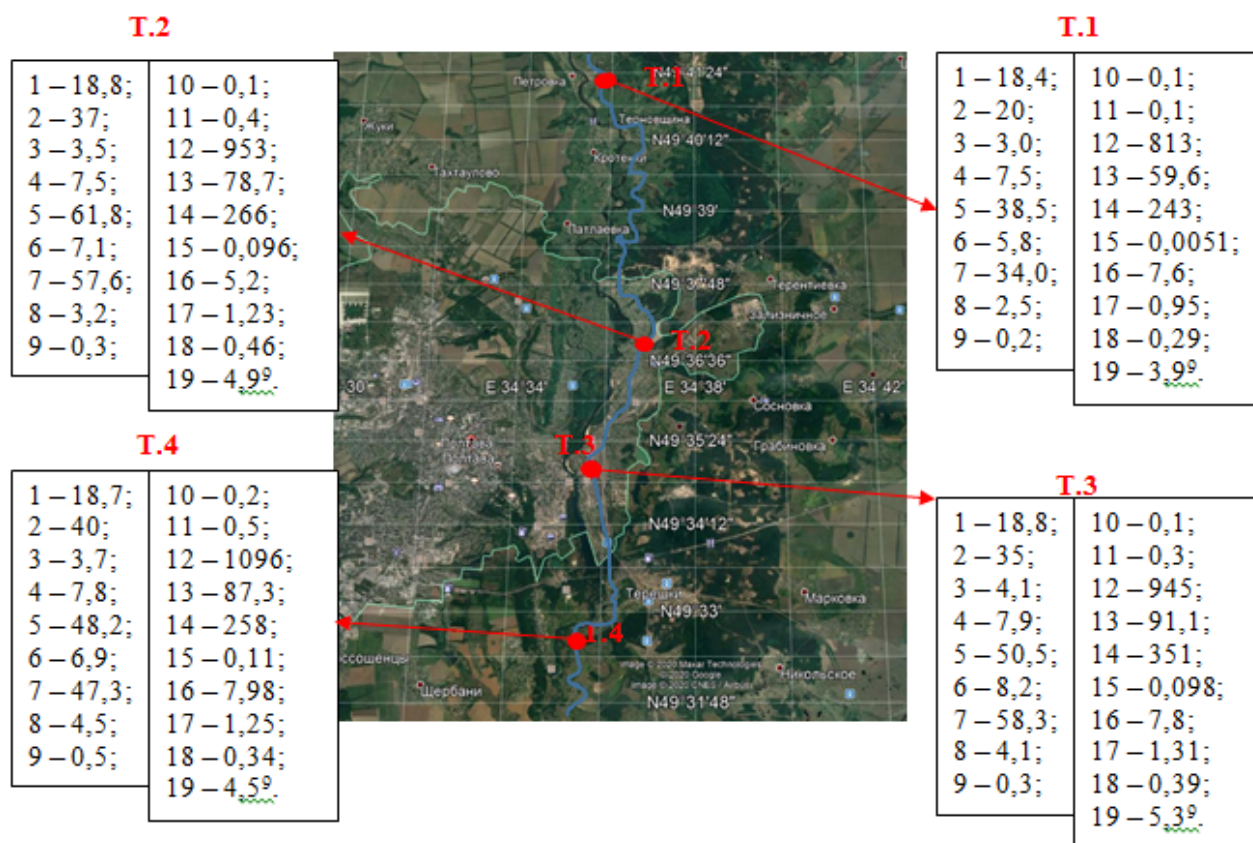
Т. 4 – с. Нижні Млини, передмістя м. Полтава) між 12:00 та 17:00 годинами.

Дослідження проводили в сертифікованій лабораторії ПДАА по гідрофізичним, гідрохімічним та гідробіологічним показникам, усереднені дані яких за травень-вересень 2019 р. наведені на рис. 1.

На першому етапі дослідження вивчали хімічні методи боротьби із «цвітінням води» за методом 1. Для цього взяті проби води на різних ділянках р. Ворскли модифікували введенням в неї мінеральних добрив: суперфосфату  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , хлориду кадмію  $\text{KCl}$ , сульфату амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в концентраціях 2–2,5 % та ін.

Візуально розвиток процесу евтрофікації проявляється появою зеленого кольору модельної води. Тривалість експерименту – 5 діб. Оптимальними для розвитку планктонних водоростей є: температура – 25 °С; інтенсивність освітлення – 4500 лк; концентрація мінеральних добрив – 2,5 %. Результати використання хімічних методів боротьби з «цвітінням води» дали змогу встановити таке.





**Рис. 1. Вміст речовин у різних районах річки Вороскли, 2019 р.**

(де 1 - температура, °C; 2 - кольоровість, градуси; 3 - мутність, бали; 4 - рН; 5 - ХСК, мгО/дм<sup>3</sup>; 6 - БПК<sub>5</sub>, мгО/дм<sup>3</sup>; 7 - нітрат-іони, мг/дм<sup>3</sup>; 8 - нітрит-іони, мг/дм<sup>3</sup>; 9 - свинець, мг/дм<sup>3</sup>; 10 - марганець, мг/дм<sup>3</sup>; 11 - залізо загальне, мг/дм<sup>3</sup>; 12 - сухий залишок, мг/дм<sup>3</sup>; 13 - хлориди, мг/дм<sup>3</sup>; 14 - сульфати, мг/дм<sup>3</sup>; 15 - нафтопродукти, мг/дм<sup>3</sup>; 16 - розчинний кисень; 17 - амоній-іони у перерахунку на азот амонійний, мг/дм<sup>3</sup>; 18 - фосфат-іони у перерахунку на мінеральний фосфор, мг/дм<sup>3</sup>; 19 - вміст водоростей, кл/л).

**1. Коагулянт – сульфат алюмінію (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) у дозі до 18 мг/л разом з мідним купоросом (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O).**

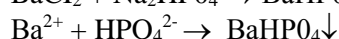
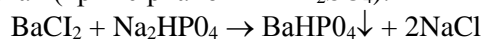
Додавання сульфату алюмінію (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) у дозі до 18 мг/л разом з мідним купоросом (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O), у наших дослідах призвело до скорочення кількості водоростей з 3,4\*10<sup>6</sup> до 2,5\*10<sup>6</sup> кл/л.

Широко відомий приклад успішного запобігання «цвітіння води» за рахунок послідовної обробки Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> і CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O мілководного озера Коуртіль (Франція). Внесення Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> у водойму у травні призвело до помітного скорочення чисельності ціанобактерії Microcystis, але повністю не запобігло її розвитку. Тому наприкінці червня, коли ціанобактерії ще не утворили плівок цвітіння, був доданий CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O. Після обробки міддю колонії мікроцістиса не спостерігали у планктоні озера протягом двох місяців [20].

**2. Перманганат калію – KMnO<sub>4</sub>** у дозі до 0,8 мг/л скоротив чисельність синьо-зелених водоростей з 3,4\*10<sup>6</sup> до 0,2\*10<sup>6</sup> кл/л.

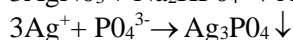
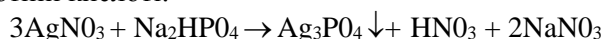
**3. Хлор** у дозі до 2,5 мг/л знизив кількість синьо-зелених водоростей з 3,4\*10<sup>6</sup> до 0,5\*10<sup>6</sup> кл/л.

**4. Хлорид барію** утворив з аніоном PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> білий осад гідрофосфату барію BaHPO<sub>4</sub>, розчинний у кислотах (крім сірчаної к-ти H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>):



Це призвело до скорочення числа синьо-зелених водоростей з 3,4\*10<sup>6</sup> до 2,0\*10<sup>6</sup> кл/л.

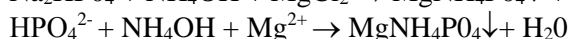
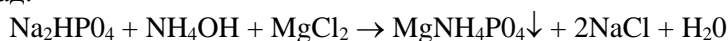
**5. Нітрат срібла  $\text{AgNO}_3$**  з аніонами  $\text{PO}_4^{3-}$  дав жовтий осад фосфату срібла  $\text{Ag}_3\text{PO}_4$ , розчинний в азотній кислоті:



Кількість синьо-зелених водоростей знизилась з  $3,4 \cdot 10^6$  до  $1,0 \cdot 10^6$  кл/л.

**6. Магнезіальна суміш.** До 5–6 крапель хлориду магнію додали кілька крапель розчину аміаку, утворений осад гідроксиду магнію розчинили, додаючи хлорид амонію, а потім додали кілька крапель розчину гідрофосфату натрію  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ . Утворений білий осад магній-амоній фосфату  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$  вказав на присутність аніонів  $\text{PO}_4^{3-}$ .

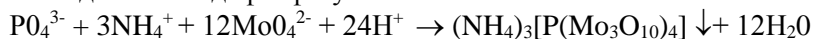
Магнезіальна суміш (суміш  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$  і  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) з аніонами  $\text{PO}_4^{3-}$  утворила білий кристалічний осад:



Кількість синьо-зелених водоростей знизилась з  $3,4 \cdot 10^6$  до  $0,4 \cdot 10^6$  кл/л.

**7. Молібденова рідина.** У пробірку помістили 8 крапель розчину молібдату амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  і 8 крапель концентрованої азотної кислоти. До суміші додали 2–3 краплі розчину фосфату натрію, перемішали скляною паличкою і злегка нагріли до 40–50 °С на водяній бані. Аніони  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}^{2-}$  відновлюють шестивалентний молібден  $\text{MoO}_4^{2-}$  до молібденової сині (суміш сполук молібдену різних ступенів окислення). Тому розчин набув синього кольору. Для видалення відновників прокип'ятили 2–3 краплі розчину з 1–2 краплями концентрованої азотної кислоти, після чого провели реакцію відкриття аніонів  $\text{PO}_4^{3-}$ .

Розчин молібдату амонію  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$  в азотній кислоті утворив з аніонами  $\text{PO}_4^{3-}$  жовтий кристалічний осад 12-молібдофосфату амонію:



Умови проведення дослідів: реакція проводилась при  $\text{pH} \leq 1$ ; помірне нагрівання сприяло утворенню осаду; аніони-відновники і  $\text{HCl}$  заважають проведенню реакції [21].

У результаті проведеного дослідів кількість синьо-зелених водоростей знизилась з  $3,4 \cdot 10^6$  до  $0,3 \cdot 10^6$  кл/л.

**8. Хелат Fe** знизив кількість синьо-зелених водоростей з  $3,4 \cdot 10^6$  до  $0,6 \cdot 10^6$  кл/л (рис. 2).

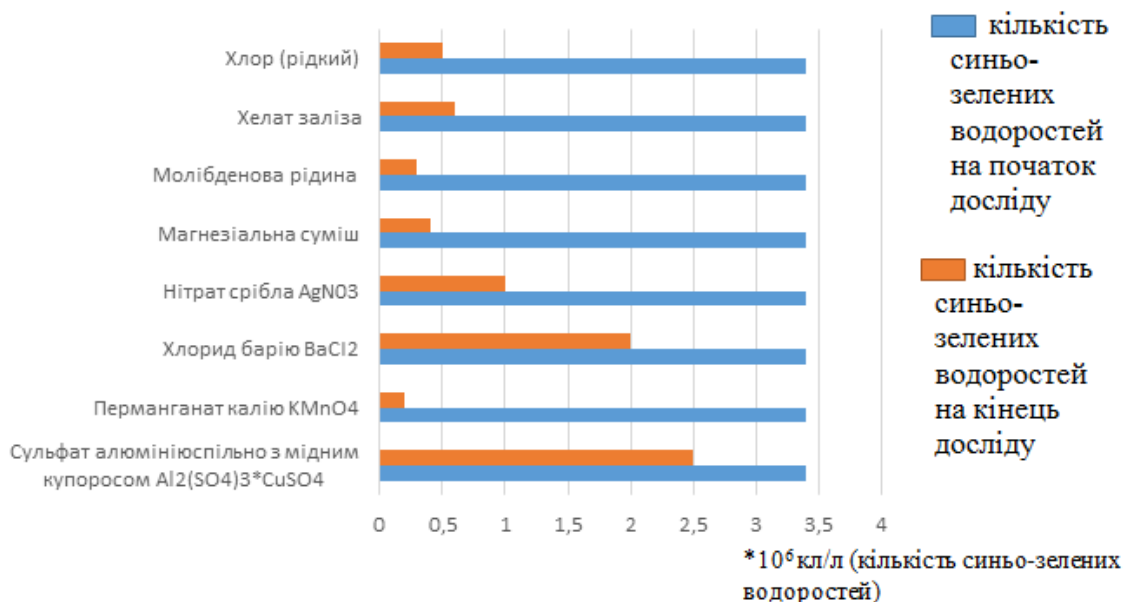


Рис. 2. Результати дослідження хімічних методів боротьби із «цвітінням води»

Найкращий результат отримано при застосуванні перманганату калію ( $0,2 \cdot 10^6$ ), молібденової рідини ( $0,3 \cdot 10^6$ ), магнезіальної суміші ( $0,4 \cdot 10^6$ ), хлору ( $0,5 \cdot 10^6$ ) та хелату заліза ( $0,6 \cdot 10^6$ ). Деяко гірші результати дало застосування нітрату срібла ( $1,0 \cdot 10^6$ ) та хлориду барію ( $2,0 \cdot 10^6$ ). Найбільша кіль-

## СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

кiсть синьо-зелених водоростей залишилася у разi дiї на останнi сульфату алюмiнiю разом з мiдним купоросом ( $2,5 \cdot 10^6$ ).

На другому етапi дослiдження проводили вивчення пробiотикiв для боротьби з «цвiтiнням води», зокрема три препарати наданих ТОВ «НВП Еко-Країна» (Свiтеко-ППВ, Свiтеко-ОПЛ, Свiтеко-Агробiотик-01) на наявнiсть токсичної дiї до цiанобактерiй за методом №2. Результати наведенi в таблицi.

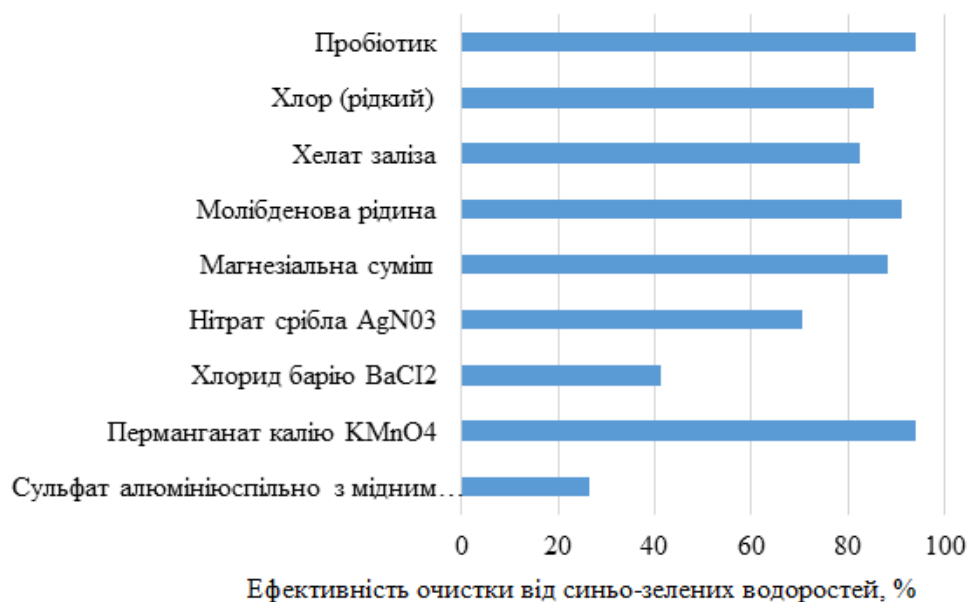
### Чутливiсть цiанобактерiй до препаратiв SVITECO

Тест-культури цiанобактерiй	Зони вiдсутностi росту цiанобактерiй, мм (розведення препаратiв)*						
	нативний	1:10 <sup>-1</sup>	1:10 <sup>-2</sup>	1:10 <sup>-3</sup>	1:10 <sup>-4</sup>	1:10 <sup>-5</sup>	1:10 <sup>-6</sup>
<b>Препарат Свiтеко-ППВ</b>							
<i>Microcystis flos-aquae</i>	20	15	0	0	0	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	БЦ повна	40	28	0	0	0	0
<b>Препарат Свiтеко-ОПЛ</b>							
<i>Microcystis flos-aquae</i>	15	13	10	БС-18	БС- 9	0	0
<i>Asterionella formosa</i>	50	40	15	13	0	0	0
<b>Препарат Свiтеко-Агробiотик-01</b>							
<i>Microcystis flos-aquae</i>	50	30	25	25	10	БС сл..	0
<i>Asterionella formosa</i>	40	35	30	15	10	0	0

Примiтки: \* БС – бактерiостатична дiя

Отже, дослiджений препарат **Свiтеко-Агробiотик-01** проявляє високу антицiанобактерiальну активнiсть до цiанобактерiй у розведеннi 1 : 100. Препарати Свiтеко-ППВ i Свiтеко-ОПЛ мають вибiркову антибактерiальну дiю щодо деяких цiанобактерiй у розведеннi 1 : 100.

Також використання пробiотику Свiтеко-Агробiотик-01 у дослiдах за методом №1 (але протягом 12 дiб) призвело до скорочення кiлькостi водоростей з  $3,4 \cdot 10^6$  до  $0,2 \cdot 10^6$  кл/л, що становить досить високу ефективнiсть очистки порiвняно з хiмiчними методами – 94 % (рис. 3)



**Рис. 3. Ефективність очистки різних методів від синьо-зелених водоростей**

### Висновки

Отже, з'ясовано, що використання біологічних методів очищення водних об'єктів від цiанобактерiй є більш ефективним порiвняно з хiмiчними методами, зокрема використання пробiотику Свiтеко-Агробiотик-01 ефективно знищує цiанобактерiї до 94 %. Такий результат отримано при застосуванні перманганату калію ( $0,2 \cdot 10^6$ ), але негативним наслідком цього є те, що використання хiмiчних методiв загалом створює вторинне забруднення водоймищ. Також визначено ефективнiсть iнших хiмiчних

методів боротьби з «цвітінням води»: молібденової рідини (ефективність – 91%), магнезійної суміші (88 %), хлору (85 %) та хелату заліза (82 %). Дещо гірші результати показало застосування нітрату срібла (70 %) та хлориду барію (41 %). Найбільша кількість синьо-зелених водоростей залишилася у разі на останні сульфату алюмінію разом з мідним купоросом (26 %).

*Перспективи подальших досліджень.* Встановлено, що використання біологічних методів, зокрема пробіотику є перспективним методом боротьби із «цвітінням води». Водночас у подальшому постає необхідність вивчити дії різних видів бактерій, зокрема пробіотиків, на різні види ціанобактерій, що призводять до «цвітіння» водоймищ, їхню комплексну дію та визначення умов ефективної (зокрема синергічної) дії. Це дає можливість розробити комплексні системи очистки поверхневих водних об'єктів екологічно безпечними методами від ціанобактерій, що є одним із пріоритетів розвитку урбанізованих територій та сталого розвитку суспільства.

## References

1. Klymenko, M. O. (2006). *Monitorynh dovkillia*. Kyiv: Akademiia [In Ukrainian].
2. Yatsyk, A. V., & Shmakov, V. A. (2012). *Hidroekolohiia*. Kyiv: Urozhai [In Ukrainian].
3. Izrael, Yu. A. (1984). *Ekologiya i kontrol sostoyaniya prirodnoj sredy*. Moskva: Gidrometeoizdat [In Russian].
4. Ferreira, J. G., Andersen, J. H., Borja, A., Bricker, S. B., Camp, J., Cardoso da Silva, M., Garcés, E., Heiskanen, A.-S., Humborg, C., Ignatiades, L., Lancelot, C., Menesguen, A., Tett, P., Hoepffner, N., & Claussen, U. (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.
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 (CyanoHABs): Developing a Public Health Response. *Lake and Reservoir Management*, 18 (1), 20–31. doi: 10.1080/07438140209353926.
9. Chorus, I., & Bartram, J. (Eds.). (1999). *Toxic Cyanobacteria in Water*. doi: 10.4324/9780203478073.
10. Lahti, K., Rapala, J., Kivimäki, A.-L., Kukkonen, J., Niemelä, M., & Sivonen, K. (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.
13. GOST 4192-82. Voda pitevaya. Metody opredeleniya mineralnykh azotsoderzhashih veshestv. (Dejstvuyushij ot 1983-01-01). (1983). Moskva [In Russian].
14. DSTU ISO 9297:2007 Yakist vody. Vyznachennia khlorodyv. Tytruvannia nitratom sribla iz zastosuvanniam khromatu yak indykatora (metod Mora) (ISO 9297:1989, IDT). 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). (2012). 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 № 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-a. (Dejstvuyushij ot 1991-01-01). (2019). Moskva [In Russian].
21. DSTU ISO 6060:2003. Yakist vody. Vyznachannia khimichnoi potreby v kysni (ISO 6060:1989, IDT). 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. Vysockaya, E. V., Byh, A. I., Pecherskaya, A. I., Bespalov, Yu. G., Matvienko, R. V., & Tarasova, A. L. (2018). Matematicheskoe modelirovanie vliyaniya evtrofikacii na strukturu i dinamiku otnoshenij v ozernom zooplanktone. *Sistemi Obrobki Informaciyi*, (4 (155)), 57–65. doi: 10.30748/soi.2018.155.08.
24. Porumb, F. (1992). On the development of *Noctiluca scintillans* under eutrophication of Romanian Black Sea waters. *Marine Coastal Eutrophication*, 907–920. doi: 10.1016/b978-0-444-89990-3.50078-x.
25. 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 27.07.2020 р.

**Бібліографічний опис для цитування:**

Корчагін О. П. Наукове обґрунтування регулювання процесів евтрофікації водних об'єктів (на прикладі річки Ворскли). *Вісник ПДАА*. 2020. № 3. С. 150–158.

© Корчагін Олександр Павлович, 2020