

В.К. Костенко
М.І. Таврель**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМИВІВ З ПОЛІВ НА ВИНИКНЕННЯ
ПРОЦЕСУ ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДОЗАБОРІВ**

Мета: Метою даного дослідження є розкриття механізму впливу зміни вмісту поживних речовин у хімічному складі водних біотопів на життєдіяльність ціанобактерій, зокрема їх розвиток та розмноження при наявності мінеральних добрив, таких як азот, фосфор і калій.

Методологія. Для проведення дослідження використовувалися експериментальні методи, включаючи лабораторні мікроскопічні дослідження та тестування впливу концентрацій основних біогенних елементів на чисельність ціанобактерій у водному середовищі. Спостереження за кольоровістю розчинів і наявністю осадів дозволяли визначати вплив мінеральних добрив на процеси евтрофікації та біологічного розвитку водних екосистем.

Результати. В статті розглянута проблема захисту водозаборів від евтрофікації, покликаної змивами мінеральних добрив з полів. Розкрито механізм впливу на життєдіяльність ціанобактерій змін вмісту поживних речовин у хімічному складі водних біотопів. В результаті досліджень встановлено, що розчинення у воді складного мінерального добрива (азот, фосфор і калій) у діапазоні до 10 г/л сприяє активному розвитку ціанобактерій, яке супроводжується повним зв'язуванням мінеральних добавок і інтенсивним поглинанням кисню. Додавання добрив у кількості більше 1 г/л сприяє різкому збільшенню темпів зростання популяції ціанобактерій, що провокує умови цвітіння розчинів. Збагачення кормової бази біотопів добривами забезпечує бурхливе зростання біоценозу і прискорене споживання розчинених речовин. Зареєстрована середня швидкість поглинання фосфору сягала більше 17 г/(л*добу), а азоту – 30 г/(л*добу). Утворення осаду та піни в дослідних судинах було пов'язано з вичерпанням поживних речовин та відмиранням гідробіонтів. Це явище може служити як індикатор зменшення кисню у воді. Результати експерименту підтвердили здатність ціанобактерій інтенсивно перетворювати розчинені у воді азот і фосфор в зв'язані органічні форми. Це відкриває перспективу створення біологічних способів та засобів захисту водозаборів від створення небезпечного середовища.

Наукова новизна: Вперше в дослідженнях проаналізовано механізм взаємодії мінеральних добрив з процесами розвитку ціанобактерій у водних біотопах. Отримані дані про критичні концентрації азоту та фосфору, які сприяють інтенсивному розвитку ціанобактерій та евтрофікації водних джерел, що мають важливе значення для охорони водних ресурсів. Також вперше встановлено, що при додаванні добрив у концентраціях більше 1 г/л спостерігається значне збільшення темпів зростання популяції ціанобактерій, що може призвести до цвітіння води та погіршення якості води в водозаборах.

Практична значимість: Результати дослідження можуть бути використані для розробки нових біологічних методів та технологій захисту водозаборів від процесів евтрофікації, що виникають через надлишкове внесення мінеральних добрив у сільському господарстві. Також отримані дані дозволяють більш точно прогнозувати та контролювати вплив антропогенних навантажень на водні екосистеми, що важливо для поліпшення якості води, зокрема в системах водопостачання. Розробка таких методів може бути важливим кроком у боротьбі з проблемами водозабезпечення та охорони водних ресурсів у районах з інтенсивним сільськогосподарським виробництвом.

Ключові слова: мінеральні добрива, ціанобактерії, біоценоз, штучний біотоп, евтрофікація.

Вступ.

Антропогенна діяльність завжди супроводжується виникненням негативних змін у довкіллі. Інтенсифікація сільського господарства та неконтрольоване використання мінеральних добрив призвело до потрапляння у водні об'єкти разом з поверхневим стоком сполук азоту та фосфору (до 75% всіх біогенних елементів, що надходять у водні джерела припадає на сільське господарство) [1,2,3]. Хоча азот і фосфор вважається важливими біогенними елементами у водній екосистемі, їх надлишок спричиняє активний розвиток ціанобактерій та зменшення кількості зелених водоростей, що продукують кисень. Це призводить до

виникнення кисневого дефіциту, і як наслідок – у ріках та водоймах спостерігається порушення екологічної рівноваги та погіршення умов існування гідробіонтів [4], це погіршує стан підних ресурсів в Україні. Тому актуальним залишається питання дослідження параметрів впливу мінеральних добрив на зміну гідрофізичних та гідробіологічних показників водойм.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Ціанобактеріальне цвітіння – розповсюджене явище у всьому світі, яке регулюється взаємодією географічних та екологічно різноманітних змінних умов

середовища. Довга еволюційна історія видів цвітіння ціанобактерій продиктувала високий ступінь толерантності та пристосованості як до короткотермінових (тобто сезонних, декадних), так і до тривалих (геологічних) змін довкілля.

У «плямах цвітіння» зосереджена основна біомаса патогенної мікрофлори водойм. Тому, окрім порушення екологічної рівноваги водойми, цвітіння деяких водоростей має багато медичних, економічних та соціальних наслідків [5]. Особливо небезпечним стає позбавлення розчиненого у воді кисню та поява токсичних речовин у такої що використовують до питва води.

Кілька загальних родів ціанобактерій мають здатність продукувати токсини, звані ціанотоксинами, які впливають на людей, худобу, домашніх тварин і дику природу. На процес вироблення токсинів впливають щільність водоростей, генетичний потенціал і фактори навколишнього середовища – температура води, інтенсивність світла, водневий показник води (рН), характеристики вітру [6,7]. Важливим також є наявність взаємодії між водними організмами, такі як хижацтво і конкуренція за поживні речовини. Вироблення токсинів частіше зустрічається влітку, але може відбуватися будь-якою порою року [8]. Ці токсини є гепатотоксичними, нейротоксичними, дерматотоксичними, цитотоксичними, запальними і подразнюючими [9]. Тварини можуть піддаватися впливу ціанотоксинів під час пиття або контакту з водою в забруднених озерах і ставках. Люди найчастіше піддаються впливу ціанотоксинів під час купання, катання на плавзасобах в забруднених водах. Ускладняється підготовка питної води.

Також, збільшений розвиток синьо-зелених водоростей, який викликає «цвітіння» води з накопиченням надлишкової біомаси, створює технічні труднощі при подачі води в міську водопровідну мережу, погіршує її хімічний склад і санітарні показники. В наслідок чого стає неможливим очищення річкової води до вимог стандартів на питну воду на станціях первинного очищення водозаборів прибережних міст [10].

Не дивлячись на те, що евтрофікація, порушує екологічні умови водних систем і

зменшує біологічне різноманіття, у той же час, загальна кількість фітопланктону у водоймах є хорошим біологічним індикатором трофічного стану, оскільки водорості всюдишні, численні і швидко реагують на зміни у навколишньому середовищі та в екосистемі.

У природних умовах у водних екосистемах існує баланс між ціанобактеріями та іншими групами фітопланктону [11]. Проте, поширенню ціанобактерій сприяють специфічні чинники. Вони визначаються рядом особливостей, включаючи клітинну фізіологію (газові бульбашки в клітинах дозволяють регулювати плавучість), фізіологічну відповідь (наприклад, використання світла та поживних речовин), розмір клітин, структуру клітин і загальну морфологію. Переважання ціанобактерій над іншими видами відбувається за певних умов навколишнього середовища, включаючи оптимальну інтенсивність світла і температуру води, наявність поживних речовин і стабільність у товщі води [12]. Антропогенна діяльність, у вигляді інтенсивних промислових, побутових та агропромислових стоків, веде, у першу чергу, до суттєвих змін хімічного складу водного середовища, як біотопу для гідробіонтів.

Виходячи з цього, важливим є визначення того, як зміна параметрів водних екосистем впливає на характер існування ціанобактерій. Для цього доцільно дослідити як на розвиток фітопланктону, зокрема ціанобактерій, оказує дія зміни вмісту основних поживних для ціанобактерій сполук азоту і фосфору, а також концентрація розчиненого у воді кисню.

Мета статті (постановка завдання). Мета роботи – розкриття механізму впливу на стан вихідних до водозабору вод життєдіяльності ціанобактерій при зміні вмісту поживних речовин у хімічному складі водних біотопів.

Предмет дослідження – встановлення закономірностей процесу розмноження ціанобактерій в залежності від наявності основних видів споживчих речовин на прикладі комплексного мінерального добрива.

Об'єкт дослідження – вплив вмісту поживних речовин у штучному біотопі на розмноження ціанобактерій, при постійної

температурі та обмежених природньому освітленні і газообміні.

Методи досліджень – в роботі використано, переважно, експериментальний метод, що ґрунтується на лабораторних мікроскопних дослідженнях показників чисельності ціанобактерій, та тестових – впливу вмісту азоту та фосфору у водному середовищі. Крім того проводились візуальні спостереження кольоровості розчинів та наявності у судинах звисів і осаду.

Методи дослідження.

Для проведення експерименту при стабільних погодних умовах зі ставка-накопичувача «Нульовка» м. Покровськ було відібрано воду з природним вмістом гідробіонтів і такими показниками: температура – 24°C, концентрація розчиненого кисню – 5 мг/л, фонові концентрації фосфатів – 0,8 мг/л, нітратів – 5 мг/л. Враховуючи, що розмноження та активність ціанобактерій напряду залежить від температури води, для забезпечення стабільних результатів дослідження проводились у літній період часу, коли температура у лабораторії була в діапазоні 24...28°C. Освітлення приміщення було природне крізь вікна, що обмежувало процес фотосинтезу. Газообмін відбувався крізь вільну поверхню води у судини.

В якості хімічної добавки було обрано одну з найпопулярніших марок добрив, що наразі застосовується в агропромисловому комплексі, – «Майстер агро», яка у своєму складі містить 21% азоту, 12% фосфору та 21% калію.

На першому етапі досліджень визначали «критичний» вміст добрив, тобто концентрацію, при якій спостерігається загибель усіх представників споживаючих кисень гідробіонтів. Для цього з відібраної води було приготовлено сім зразків розчинів об'ємом один літр в які додали мінеральні добрива у концентрації до 100 г/л.

З урахуванням отриманих первинних даних, на другому етапі експерименту, з обраної для досліджень природної води було приготовлено сім зразків розчинів об'ємом по одному літру з концентрацією доданих добрив, г/л: №1 – 0 (контрольний); №2 – 0,1; №3 – 0,5; №4 – 1,0; №5 – 3,0; №6 – 5,0; №7 – 8,0.

За допомогою бінокулярного мікроскопу XSP-128B LED з приставкою Levenhuk M1000 PLUS та стандартної камери

Горяєва робили заміри чисельності представників водоростей.

Підрахунок чисельності ціанобактерій виконували методом Єгорова, він полягав у наступному. Складною паличкою обережно, щоб не пошкодити водорості, розмішували розчин та зразок досліджуваної води поміщали до камери Горяєва. Далі рахували ті ціанобактерії, що знаходилися у верхній та лівій частині клітини. Ціанобактерії, що знаходилися на правій та нижній межі клітини, при підрахунку не враховувалися. Для зменшення статистичної похибки підрахунок кількості водоростей у воді робили 10 разів, зразки води з ємності відбирали за допомогою піпетки з різних частин лабораторної склянки.

Температура води у дослідних зразках, під час проведення експерименту знаходилася в діапазоні 23...25°C.

Концентрацію кисню у дослідних зразках, а також концентрацію фосфатів та нітратів визначали лабораторним тестовим методом за допомогою «Rikka тест PO₄» та «Rikka тест NO₃».

Виклад основного матеріалу.

В ході першого етапу експерименту з оцінки, так званого, «критичного» вмісту добрив, було встановлено, що у зразках розчинів з концентрацією добрив до 10 г/л загибель гідробіонтів майже не відбувалась, при – 10...20 г/л спостерігалось зменшення кількості гідробіонтів до 50...70%, «критичним» ж виявився вміст добрив понад 30 г/л. Таким чином, для подальших досліджень було прийнято використання вихідних розчинів в яких сумарний вміст поживних речовин не перевищує 10 г/л, тобто в судинах початкова концентрація до 10%.

На початку експерименту встановили фонову кількість ціанобактерій у зразках природної води, вона становила близько $2,3 \cdot 10^6$ од./літр.

У досліджуваних зразках спостерігався ріст як представників ціанобактерій (рис.1) так і зелених водоростей.

Підрахунок кількості ціанобактерій, у дослідних розчинах, проводили на другому, п'ятому та восьмому тижні спостережень. В якості прикладу, знімки, при десятикратному збільшенні, еволюції водоростей у зразку №6 із початковою концентрацією добрив 5 г/л за період восьми тижнів представлені на рисунку 2.

Проведені у вказаний період спостереження показали, що наявність поживних добавок в цілому позитивно впливає на розмноження ціанобактерій, а по вичерпанню поживних ресурсів їх чисельність скорочується (табл.1). Так в контрольному посуді, без підкормки, ціанобактерії почали зникати і на кінець спостережень їх стало менше в чотири рази. При наявності малих, 0,1...0,5 г/л, доз підкормки процес скорочення чисельності гальмувався на другому-п'ятому тижнях (зразки №2 і №3). Додавання добрив у кількості близько 1 г/л (зразок №4) забезпечувало стабільне існування

ціанобактерії на майже постійному рівні за період спостережень. Але додавання добрив у діапазоні 3...5 г/л (зразки №5 і №6) сприяло значному зростанню кількості бактерій відносно вихідного рівня приблизно в 3,5..4,5 разів на другому тижні спостережень, та в 1,3...3,2 – на восьмому тижні. Додавання більших доз добрив, близьких до «критичного» (зразок №7), призводило до деякого зниження чисельності ціанобактерії на другому тижні, потім, на п'ятому тижню, до короткочасного троекратного росту чисельності, а в подальшому зниженню приблизно вдвічі відносно фоновому рівня.

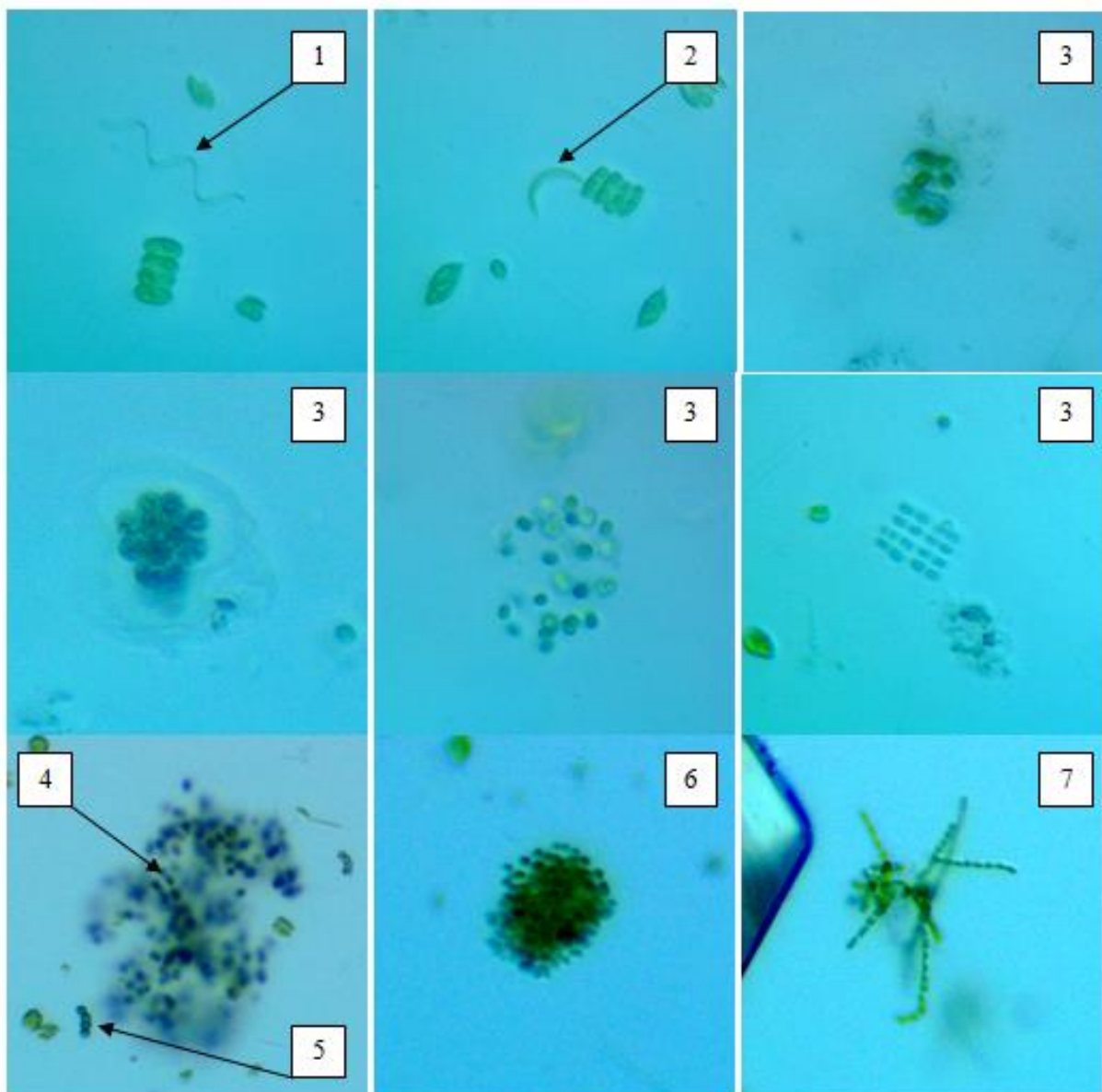


Рис.1. Ціанобактерії роду *Oscillatoriales* (1), *Dactylococcopsis raphides* (2), *Chroococcales* (3), *Microcystis aeruginosa* (4), *Nostoc* (5), *Pleurocapsales* (6), *Stigonematales* (7) у вихідній воді

Таблиця 1.

Вплив додатку добрив на динаміку чисельності ціанобактерій

№ зразка	Додано добрив, г/л	Кількість ціанобактерій, од/л·10 ⁶ % (до фону)			
		Фон	Тиждень спостережень		
			другий	п'ятий	восьмий
1	-	2,3/100	2,5/108	1,5/65	0,6/26
2	0,1		2,7/117	2,8/122	0,4/17
3	0,5		2,9/126	1,1/48	0,5/22
4	1,0		2,4/104	2,9/126	2,7/117
5	3,0		2,6/113	8,4/365	3,1/134
6	5,0		3,1/135	10,3/448	7,5/326
7	8,0		1,9/83	7,6/330	1,3/56

На восьмому тижні досліджень вимірювали концентрацію фосфатів та нітратів у дослідних зразках, а також

концентрацію кисню тестовим методом за допомогою «Rikka тест PO₄» та «Rikka тест NO₃» (табл.2).

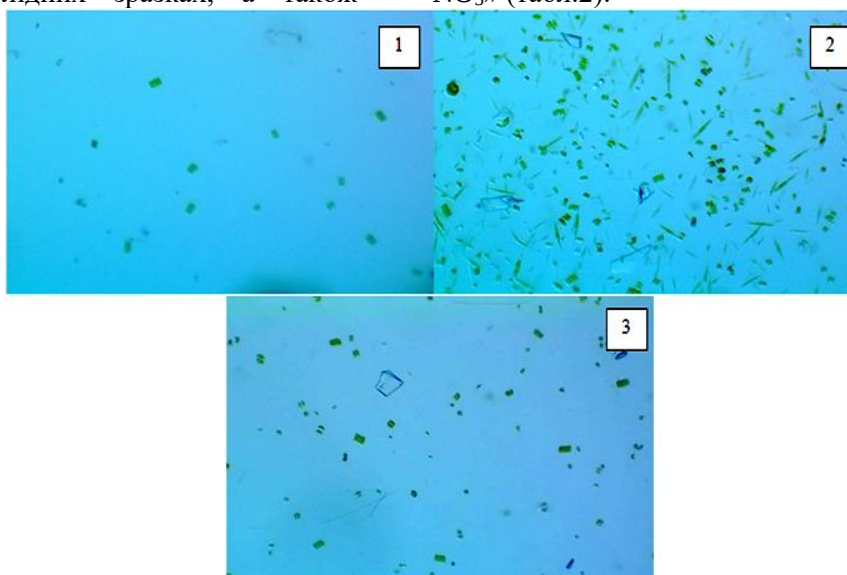


Рис. 2. Наявність гідробіонтів у зразку №6 станом на другий (1), п'ятий (2) та восьмий (3) тижні експерименту

Таблиця 2.

Результати вимірювання у зразках концентрацій фосфатів, нітратів та розчиненого кисню

№ зразка	Концентрації, мг/л								
	фонові			після додавання добрив			восьмий тиждень		
	PO ₄	NO ₃	O ₂	PO ₄	NO ₃	O ₂	PO ₄	NO ₃	O ₂
1	0,8	5	5	0,8	5	5	>2	5	8
2				12,8	26		2	10	8
3				60,8	110		1,5	100	<2
4				120,8	215		0,8	>50	2
5				360,8	635		0,1	20	<1
6				600,8	1055		<0,05	2	0

7				960,8	1685		<0,05	0	0
---	--	--	--	-------	------	--	-------	---	---

Протягом цілого періоду проведення експерименту проводився візуальний контроль змін кольору дослідних розчинів,

наявності осаду, а також появи плівок або бульбашок на поверхні. Результати такого роду процесів відображено у таблиці 3.

Таблиця 3.

Візуальні зміни розчинів та осадів у досліджуваних судинах

№ зразка	Вміст добрив г/л	Тиждень спостережень								
		другій			п'ятий			восьмий		
		Колір	Осад	Стан поверхні	Колір	Осад	Стан поверхні	Колір	Осад	Стан поверхні
1	-	Прозорий, зелений відтінок	-	-	Прозорий	Сліди	-	Прозорий	Тонкий коричн.	-
2	0,1	Також	-	-	Також	Тонкий коричн.	-	Також	Також	Біла плівка
3	0,5	-«»-	-	-	-«»-	Тонкий зелений	-	-«»-	Тонкий зелений	Також
4	1	-«»-	-	-	Прозорий, зелений відтінок	Також	-	-«»-	Також	Зелені бульбашки
5	3	-«»-	-	-	Також	-«»-	-	-«»-	Також	Також
6	5	-«»-	-	-	Мутний, зелений відтінок	-«»-	-	Мутний	Зелений	Тонка зелена з бульбашками
7	8	-«»-	-	-	Також	-«»-	Тонка плівка	також	Товстий зелений	Зелена з бульбашками

Обговорення результатів.

Ідея проекту полягала в дослідженні розвитку ціанобактеріальної частини біоценозу у штучно створених біотопах з дозованим вмістом поживних речовин, а саме азоту і фосфору, при постійній температурі і обмежених освітленні та газообміні. Це дозволяло обґрунтувати вихідні умови для ефективного водозабезпечення водозаборів та існуючого обладнання водоканалів.

Перший етап досліджень був присвячений встановленню «критичного» рівня азоту і фосфору у водному середовищі при якому неможливим є існування ціанобактерій. Було встановлено, що наявність домішок складного мінерального добрива у концентраціях більше 10г/л пришвидшує загибель ціанобактерій шляхом інтенсивного споживання розчиненого у рідині кисню та утворення токсичного анаеробного середовища. Вміст більше 30г/л визначає умови для лавиноподібного,

тривалістю кількох діб, повного зникнення ціанобактерій. Це дозволило обрати для подальших досліджень штучні біотопи, у яких існують початкові умови життєдіяльності аеробів, тобто такі що містять не більше 10 г/л мінеральних добрив.

На підставі результатів мікроскопічних досліджень (див. табл.1) побудовано графік динаміки наявності ціанобактерій в залежності від кількості доданих мінеральних добрив (рис.3). Він наглядно показує, що процес життєдіяльності ціанобактерій має не простий характер, його основними складовими частинами, за логікою, є споживання їстівних речовин та кисню і конкуренція з іншими видами гідробіонтів. По виснаженню у розчинах поживних речовин відбувається загибель гідробіонтів та утворення осаду, а в подальшому – розкладення органічних залишків з утворенням газів та флотацією частинок у вигляді піни.

На початку експерименту спостерігався рівномірний зріст водоростей у всіх зразках, але на п'ятому тижні спостережень відбулось значне прискорення у зразках №5, №6 та №7 з відповідною концентрацією добрив, г/л: 3, 5 та 8.

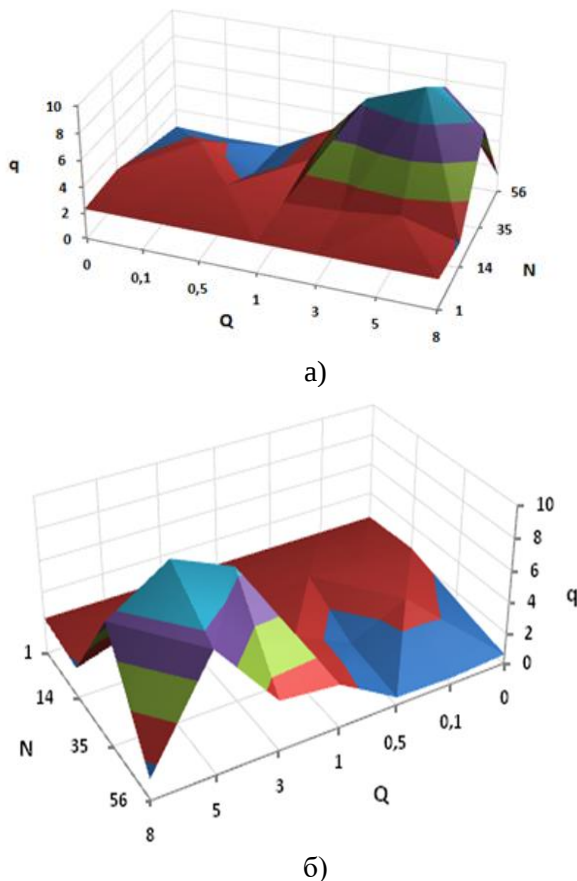


Рис. 3. Вплив додавання мінеральних добрив на динаміку чисельності ціанобактерій: а – проекція графіку при достатку споживчих речовин; б - при виснаженні; q – кількість ціанобактерій, од/л $\cdot 10^6$; Q – початковий вміст добрив, г/л; N – тривалість спостережень, діб

У зразках №1 та №2, де вміст поживних для ціанобактерій речовин мінімальний, концентрація кисню збільшується у період досліджень з 5 мг/л до 8 мг/л (див.табл.2), це пов'язано зі розростанням переважно зелених водоростей, що фотосинтезують кисень у процесі життєдіяльності. Обмеженість фосфорної та азотної кормової бази призвела до скорочення наприкінці експерименту чисельності ціанобактерій у 4...6 разів відносно фонові. Проте водорості, завдяки наявності достатніх для них світла та їжі, починають швидко розвиватися, про те свідчить поява

коричневого осаду у судинах №1, №2. У складі темного осаду превалюють останки водоростей діатомового виду. Розкладання відмерлих водоростей призвело до утворення піни білого кольору на восьмому тижні (див.табл.3).

Додавання добрив у кількості більше 1г/л сприяє різкому збільшенню темпів зростання популяції ціанобактерії, що провокує умови цвітіння розчинів. Більш багатий біотоп забезпечує бурний зріст чисельності бактерій у кілька разів, наприклад №5 і №6. Але їх бурна діяльність потребує суттєвих кількостей добрив та кисню, і після вичерпання ресурсів біотопу, після п'ятого тижня, чисельність ціанобактерій різко знижується. Це підтверджує практична відсутність фосфору, азоту і кисню у розчинах на восьмому тижні (див.табл.2). Розчинені елементи були витрачені на будівництво клітин бактерій і водоростей, тобто перейшли з рідкого стану у зв'язаний (колоїдний або квазітвердий). Наявність значної маси загиблих гідробіонтів при вичерпанні поживних речовин призвела до утворенню доволі значного осаду зеленого кольору та помутнінню розчинів.

Постачання кисню з вільної поверхні розчинів та фотосинтез були обмежені. На харчування ціанобактерії витрачався переважно розчинений у воді кисень. У зразках №3 та №4 підсумкова концентрація кисню зменшується до рівня не більш 2 мг/л, а у зразку №5 – <1 мг/л. У зразках №6 та №7 кисень взагалі не спостерігається, це пояснюється тим, що в них активно розповсюдилися представники ціанобактерій і витратили весь кисень і переважну частину добрив.

На перший погляд, здається що у зразку №7 розвиток ціанобактерії відбувався менш інтенсивно ніж у №5 і №6, проте відсутність добрив та кисню в розчині на восьмому тижні, а також найраніше: помутніння розчину, утворення великого осаду зеленого кольору та піни з бульбашками свідчать про наявність бурхливого процесу споживання добрив та кисню в строк коротший ніж періодичність проведення спостережень.

Середня швидкість поглинання добрив і азоту у дослідних судинах за результатами експеримент суттєво різнилась по мірі зростання концентрації від 0,19 до 17,14 г/(л*добу) для фосфору, та від 0,28 до 30,0

г/(л·добу) – азоту, вона була пропорційна чисельності біоценозу. У тих зразках (№№5-7) де процес життєдіяльності ціанобактерії наближався до скінчення, тобто вміст кисню у розчині наближався до нуля, співвідношення поглинутих фосфору і азоту було приблизно таким як у доданої дози добрива. З цього слідує що біоценоз вживав у їжу практично вісь споживний ресурс біотопу. Нажаль, частота проведення спостережень була низькою, що слід відмітити як недолік методики. Це примусило отримувати чисельні та часові показники лише у першому наближенні.

Остаточні розчини були позбавлені азоту і фосфору, тобто відбулась певна демінералізація води. Це означає що, існує можливість забезпечувати очищення біологічним способом, наприклад, стоків з аграрних полів, які у своєму складі містять добрива. Для ефективного попередження розвитку анаеробів демінералізовану воду доцільно збагатити киснем, наприклад за допомогою аераторів для неглибоких водойм [13,14]. Осад і піна, що утворюються при цьому, містять концентровані фосфорні та азотні сполуки які можуть служити напівфабрикатом для виготовлення добрив.

Висновок.

Проведений експеримент з оцінки життєдіяльності ціанобактеріального біоценозу в штучному біотопі з дозованим вмістом споживчих речовин дозволив отримати наступні висновки.

- Розчинення у воді широко використаного у сільському господарстві

складного мінерального добрива (азот, фосфор і калій) у діапазоні 0...30 г/л дозволяє існування в неї ціанобактеріального біоценозу.

- У діапазоні до 10 г/л додавання добрива сприяє активному розвитку ціанобактерій яке супроводжується повним зв'язуванням мінеральних добавок і поглинанням кисню. Вичерпання споживних ресурсів призводить до зубожіння біоценозу і утворенню анаеробного середовища.

- Додавання добрив у кількості більше 1 г/л сприяє різкому збільшенню темпів зростання популяції ціанобактерії що провокує умови цвітіння розчинів.

- Збагачення кормової бази біотопів забезпечує бурхливе зростання біоценозу і прискорене споживання розчинених речовин. Зареєстрована середня швидкість поглинання фосфору сягала більше 17 г/(л·добу), а азоту - 30 г/(л·добу).

- Утворення осаду та піни в дослідних судинах було пов'язано з вичерпанням поживних речовин та відмиранням гідробіонтів. Це явище може служити як індикатор зменшення кисню у воді.

- Результати експерименту підтвердили здатність ціанобактерій інтенсивно перетворювати розчинені у воді азот і фосфор в зв'язані органічні форми. Це відкриває перспективу створення біологічних способів та засобів очищення вихідних вод для водозаборів з наступною їх аерацією.

Список літератури

1. Akedrin T.N., Koffi K., Thiegb K., Akaffou D.S., Ouattara A. Distribution spatiosaisonnière des cyanobactéries le long du cours d'eau, la Lobo, haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire), Tropicultura, 2017. 35(4), P. 288–299. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.1083>
2. Comparison of satellite reflectance algorithms for estimating chlorophyll-a in a temperate reservoir using coincident hyperspectral aircraft imagery and dense coincident surface observations / R. Beck et al. Remote Sensing of Environment. 2016. №178. P.15–30. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.002>
3. Celikkol S., Fortin N., Tromas N., Andriananjanamanantsoa H., Greer C.W.

Bioavailable Nutrients (N and P) and Precipitation Patterns Drive Cyanobacterial Blooms in Missisquoi Bay, Lake Champlain. Microorganisms, 2021. №9, 2097. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102097>

4. Kostenko V., Tavrel M., Bohomaz O., Zavyalova O., Kostenko T., Myhalenko K., Kostyrka O. Experimental Testing of Water Body Aeration Airlift Technology. Ecological Engineering & Environmental Technology, 2022. №23(3), P. 184–192. <https://doi.org/10.12912/27197050/147635>

5. Kostenko V., Zavyalova O., Chepak O., Pokalyuk V. Mitigating the adverse environmental impact resulting from closing down of mining enterprises. Mining of Mineral Deposits, 2018. №12, P.105–112. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.105>

6. Malovanyy, M., Nikiforov, V., Kharlamova, O., & Sinelnikov A. (2015). Оцінювання екологічної небезпеки в акваторіях дніпровських водосховищ внаслідок неконтрольованого розвитку ціанобактерій. Scientific Bulletin of UNFU, №25(6), P.159-164. <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/930>

7. Мальований М.С., Никифоров В.В., Синельников О.Д., Харламова О.В., Бунько В.Я. Вплив гідродинамічної кавітації на біологічні об'єкти. Технології харчової, легкої та хімічної промисловості, 2015. №5/4(25), C.41–45. https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/2099/1/%235_2014.pdf

8. Marmen S., Blank L., Al-Ashhab A., Malik A., Ganzert L., Lalar M., Grossart H.P., Sher D. The Role of Land Use Types and Water Chemical Properties in Structuring the Microbiomes of a Connected Lake System. Frontiers in Microbiology, 2020. №11, P. 89. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00089>

9. Matthews M.W., Odermatt D. Improved algorithm for routine monitoring of cyanobacteria and eutrophication in inland and near-coastal waters. Remote Sensing of Environment, 2015. №156, P.374–382. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.010>

10. Matthews M.W., Bernard S. Characterizing the Absorption Properties for Remote Sensing of Three Small Optically-Diverse South African Reservoirs. Remote Sensing, 2013. №5(9), P.4370-4404. <https://doi.org/10.3390/rs5094370>

11. Michalak A.M., Anderson E.J., Beletsky D., Boland S., Bosch N.S., Bridgeman T.B., Chaffin J.D., Cho K., Confesor R., Daloglu I. et al. Record-setting algal bloom in Lake Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. The Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 2013. №110, P.6448–6452. <https://doi.org/10.1073/pnas.121600611>

12. Padedda B.M., Sechi N., Lai G.G., Mariani M.A., Pulina S., Sarria M., Satta C.T., Viridis T., Buscarinu P., Lugliè A. Consequences of eutrophication in the management of water resources in Mediterranean reservoirs: a case study of Lake Cedrina (Sardinia, Italy). Global Ecology and Conservation, 2017. №12, P. 21–35. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.08.004>

13. Stumpf R.P., Wynne T.T., Baker D.B., Fahnenstiel G.L. Interannual Variability of Cyanobacterial Blooms in Lake Erie. PLoS ONE 2012. №7(8), P.42-44. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042444>

14. Tavrel M., Kostenko V., Bohomaz O., Kostenko T., Zemlianskyi O., Pidhornyy M. Recirculating Airlift for Aeration of Shallow Water Bodies. Ecological Engineering & Environmental Technology, 2022. №23(5), P.177–187. <https://doi.org/10.12912/27197050/152114>

References

1. Akedrin T.N., Koffi K., Thiegbba K., Akaffou D.S., Ouattara A. 2017. Distribution spatiosaisonnière des cyanobactéries le long du cours d'eau, la Lobo, haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire), Tropicultura, 35(4), 288–299. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.1083>

2. Beck R.A., Zhan S., Liu H., Tong S., Yang B., Xu M., Ye Z., Huang Y., Wu Q., Wang S., et al. 2016. Comparison of satellite reflectance algorithms for estimating chlorophyll-a in a temperate reservoir using coincident hyperspectral aircraft imagery and dense coincident surface observations. Remote Sensing of Environment, 178, 15–30. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.002>

3. Celikkol S., Fortin N., Tromas N., Andriananjanantsoa H., Greer C.W. 2021. Bioavailable Nutrients (N and P) and Precipitation Patterns Drive Cyanobacterial Blooms in Missisquoi Bay, Lake Champlain. Microorganisms, 9, 2097. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9102097>

4. Kostenko V., Tavrel M., Bohomaz O., Zavyalova O., Kostenko T., Myhalenko K., Kostyrka O. 2022. Experimental Testing of Water Body Aeration Airlift Technology. Ecological Engineering & Environmental Technology, 23(3), 184–192. <https://doi.org/10.12912/27197050/147635>

5. Kostenko V., Zavyalova O., Chepak O., Pokalyuk V. 2018. Mitigating the adverse environmental impact resulting from closing down of mining enterprises. Mining of Mineral Deposits, 12, 105–112. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.105>

6. Malovanyy M.S., Nykyforov V.V., Kharlamova O.V., Synelnikov O.D. 2015. Assessment of ecological danger in the water areas of the Dnipro reservoirs due to the uncontrolled development of cyanobacteria.

Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine, 25(6), 159–164.

<https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/930>

7. Malovanyy M.S., Nykyforov V.V., Synelnikov O.D. et al. 2015. The influence of hydrodynamic cavitation on biological objects. Technologies of food, light and chemical industry, 5/4(25), 41–45. https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/2099/1/%235_2014.pdf

8. Marmen S., Blank L., Al-Ashhab A., Malik A., Ganzert L., Lalar M., Grossart H.P., Sher D. 2020. The Role of Land Use Types and Water Chemical Properties in Structuring the Microbiomes of a Connected Lake System. Frontiers in Microbiology, 11, 89. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00089>

9. Matthews M.W., Odermatt D. 2015. Improved algorithm for routine monitoring of cyanobacteria and eutrophication in inland and near-coastal waters. Remote Sensing of Environment, 156, 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.10.010>

10. Matthews M.W., Bernard S. 2013. Characterizing the Absorption Properties for Remote Sensing of Three Small Optically-Diverse South African Reservoirs. Remote Sensing, 5(9), 4370–4404. <https://doi.org/10.3390/rs5094370>

11. Michalak A.M., Anderson E.J., Beletsky D., Boland S., Bosch N.S., Bridgeman T.B., Chaffin J.D., Cho K., Confesor R., Daloglu I. et al. 2013. Record-setting algal bloom in Lake Erie caused by agricultural and meteorological trends consistent with expected future conditions. The Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 110, 6448–6452. <https://doi.org/10.1073/pnas.121600611>

12. Padedda B.M., Sechi N., Lai G.G., Mariani M.A., Pulina S., Sarria M., Satta C.T., Virdis T., Buscarinu P., Lugliè A. 2017. Consequences of eutrophication in the management of water resources in Mediterranean reservoirs: a case study of Lake Cedrino (Sardinia, Italy). Global Ecology and Conservation, 12, 21–35. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.08.004>

13. Stumpf R.P., Wynne T.T., Baker D.B., Fahnenstiel G.L. 2012. Interannual Variability of Cyanobacterial Blooms in Lake Erie. PLoS ONE 7(8), 42–44. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042444>

14. Tavrel M., Kostenko V., Bohomaz O., Kostenko T., Zemlianskyi O., Pidhornyy M. 2022. Recirculating Airlift for Aeration of Shallow Water Bodies. Ecological Engineering & Environmental Technology, 23(5), 177–187. <https://doi.org/10.12912/27197050/152114>

Костенко Віктор Климентович – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (82100, Україна, Львівська область, м. Дрогобич, вул. Шевченка, 9); професор кафедри безпеки праці та охорони довкілля ТУ «Метінвест Політехніка» (69008, Україна, Запорізька обл., м. Запоріжжя, Південне шосе, 80)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6564> E-mail: vk.kostenko@gmail.com

Таврель Марина Ігорівна – старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля ТУ «Метінвест Політехніка» (69008, Україна, Запорізька обл., м. Запоріжжя, Південне шосе, 80)

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7666-4554> E-mail: maryna.tavrel@mipolytech.education

RESEARCH ON THE IMPACT OF FIELD RUNOFF ON THE OCCURRENCE OF THE EUTROPHICATION PROCESS OF WATER INTAKES

Purpose. The goal of this study is to reveal the mechanism of the impact of changes in the nutrient content of the chemical composition of aquatic habitats on the life activity of cyanobacteria, particularly their development and reproduction in the presence of mineral fertilizers such as nitrogen, phosphorus, and potassium.

Research Methodology. Experimental methods were used to conduct the research, including laboratory microscopic studies and testing the impact of concentrations of key biogenic elements on the cyanobacteria population in aquatic environments. Observations of the color of solutions and the presence of sediment allowed the determination of the effect of mineral fertilizers on the processes of eutrophication and biological development of aquatic ecosystems.

Results. The article discusses the problem of protecting water intakes from eutrophication caused by runoff of mineral fertilizers from fields. It reveals the mechanism of the impact of nutrient changes in the chemical composition of aquatic habitats on the life activity of cyanobacteria. The research found that the dissolution of complex mineral fertilizers (nitrogen, phosphorus, and potassium) in water at concentrations up to 10 g/L

promotes the active development of cyanobacteria, accompanied by the complete binding of mineral additives and intense oxygen consumption. Adding fertilizers in quantities greater than 1 g/L leads to a sharp increase in the growth rate of the cyanobacteria population, triggering conditions for water bloom. Enrichment of the habitat's food base with fertilizers results in explosive growth of the biocenosis and accelerated consumption of dissolved substances. The average phosphorus absorption rate reached more than 17 g/(Lday), and nitrogen absorption reached 30 g/(Lday). The formation of sediment and foam in experimental vessels was associated with the depletion of nutrients and the death of hydrobionts. This phenomenon may serve as an indicator of reduced oxygen levels in the water. The results of the experiment confirmed the ability of cyanobacteria to intensively convert dissolved nitrogen and phosphorus in water into bound organic forms. This opens up prospects for creating biological methods and means of protecting water intakes from the creation of hazardous environments.

Scientific novelty. *For the first time, the interaction mechanism between mineral fertilizers and the processes of cyanobacteria development in aquatic habitats has been analyzed. The obtained data on critical concentrations of nitrogen and phosphorus that contribute to the intense development of cyanobacteria and eutrophication of water sources are important for water resource protection. It was also found for the first time that the addition of fertilizers at concentrations greater than 1 g/L leads to a significant increase in the growth rate of the cyanobacteria population, which can result in water blooming and deterioration of water quality at water intakes.*

Practical significance. *The results of the study can be used to develop new biological methods and technologies for protecting water intakes from eutrophication processes caused by excessive use of mineral fertilizers in agriculture. The obtained data also allow for more accurate forecasting and control of the impact of anthropogenic load on aquatic ecosystems, which is important for improving water quality, particularly in water supply systems. Developing such methods may be an important step in addressing water supply issues and water resource protection in regions with intensive agricultural production.*

Key words: *mineral fertilizers, cyanobacteria, biocenosis, artificial habitat, eutrophication.*

Viktor Kostenko - Dr, Prof., Head of the Department of Environmental Protection (9, Shevchenka Street, Drohobych, Lviv region, 82100, Ukraine).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8439-6564> E-mail: vk.kostenko@gmail.com

Maryna Tavrel - Senior lecturer of the Department of Occupational Safety and Environmental Protection of TU «Metinvest Polytechnic», (69008, Ukraine, Zaporizhia region, Zaporizhia city, 80 Southern Highway).

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7666-4554> E-mail: maryna.tavrel@mipolytech.education