

УДК 556.531(477.53):582.232:504.453
© 2012

*Авраменко Н. І., аспірант **
Полтавська державна аграрна академія

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ БОРТЬБИ З ЕВТРОФІКАЦІЄЮ

Рецензент – кандидат сільськогосподарських наук М. А. Піщаленко

Розглядаються основні чинники, які дадуть змогу знизити чисельність синьо-зелених водоростей – головних збудників процесу евтрофікації. Встановлено інтенсивність процесу евтрофікації води в річці Ворскла. Визначено оптимальні умови для розвитку ціанобактерій. Наведено результати досліджень із вивчення впливу різних хімічних речовин на розмноження мікроорганізмів. Охарактеризовано евтрофікаційні процеси річки Ворскла, з якої проводився збір агроекологічної інформації; вказано кількісний склад синьо-зелених водоростей. Розроблено заходи боротьби з процесами евтрофікації води в річці Ворскла.

Ключові слова: синьо-зелені водорості (ціанобактерії), процес евтрофікації («цвітіння» водойм), хімічні речовини, мікроскопічне дослідження, розмноження ціанобактерій, фосфат-іону (PO^3_4), підрахунок клітинних елементів.

Постановка проблеми. Зі зростанням міського населення і розвитком промислового виробництва збільшилася кількість стічних вод і підвищилася концентрація забруднень, що призвело до забруднення річок і морів. Це викликало бурхливе розмноження окремих водоростей і «цвітіння» природних водойм. У результаті цього зникає кисень, що згубно відображається на рибах та інших мешканцях водойм. Окрім того, різко знизилася швидкість течії річок, а час добігання води до гирла річки, навпаки, збільшився в кілька разів.

Це створило сприятливі умови для «цвітіння» води, тобто розвитку синьо-зелених водоростей, ідеальним середовищем для яких є обширні, добре прогріті сонцем річні мілководдя, багаті на фосфор та азот через велику кількість органічних речовин, які містяться в стічних водах і дощових стоках із ґрунту.

Слова відомого вченого В. І. Вернадського: «Меняется лик Земли, исчезает девственная природа», сказані шістьдесят п'ять років тому, в наш час дістали підтвердження.

Аналіз основних досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Синьо-зелені водорості (ціанобактерії) – найпростіші одноклітинні, колоніальні та багатоклітинні (нитчасті) організми, зазвичай мікроскопічні, рідше утворюють кульки, скориночки розміром до 10 см. Деякі нитчасті ціанобактерії здатні пересуватися шляхом ковзання (клітини часто покриті слизом і ковзаючи по цій слизі, деякі форми можуть рухатися зі швидкістю 2–11 мкм/с, тобто трохи менше 4 см/год). При цьому в рухомих форм ніколи не буває джгутиків. Більшість синьо-зелених водоростей нерухомі.

Клітини їх не містять відокремленого ядра, мітохондрій, пластид і вакуолей. Забарвлення обумовлене зеленим пігментом хлорофілом і синім пігментом фікоціаніном. У них наявний також червоний пігмент фікоеритрин і помаранчевий – каротиноїд. Харчуються ці водорості автотрофно (тобто, шляхом фотосинтезу) і гетеротрофно (шляхом поглинання з навколишнього середовища органічних речовин) [5].

Розмножуються ціанобактерії діленням (одноклітинні) та гормогоніями – ділянками ниток (багатоклітинні). Крім того для розмноження служать: акінети, що утворюються з вегетативних клітин; ендоспори, що виникають по декілька в материнській клітині; екзоспори, відділяються із зовнішнього боку клітин, і нанноцити – дрібні клітини, що з'являються в масі за швидкого ділення вмісту материнської клітини. Статевий процес у ціанобактерій немає, однак спостерігаються випадки перекомбінуванням спадкових ознак за допомогою трансформації [6].

Відмираючи, синьо-зелені водорості завдають значної шкоди: в воду у великій кількості поступають феноли, індол, скатол та інші отруйні речовини і продукти їх розпаду. Риба залишає такі водойми, – вода в них стає непридатною навіть для рекреаційних цілей [1].

* Керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор П. В. Писаренко

Ціанобактерії розмножуються наступним чином: із кожної ціанобактерії через певний період виходять дві ціанобактерії. Кожна з двох нових дочірніх ціанобактерій, у свою чергу, починає рости, а згодом також ділиться на дві частини. Процес продовжується до тих пір, допоки для нових ціанобактерій достатньо простору і живильної речовини.

Нехай у початковий момент ціанобактерій було N_0 . Простежимо за числом ціанобактерій через інтервали часу, кратні t_0 .

Через час t_0 число ціанобактерій збільшиться на kN_0t_0 (де: k – коефіцієнт пропорційності), і їх стане: $N_1 = N_0 + kN_0t_0$.

Через $2t_0$ ціанобактерій буде вже: $N_2 = N_1 + kN_1t_0 = N_0(1 + kt_0)^2$.

Через інтервал часу nt_0 число ціанобактерій стане рівним:

$$N_n = N_0(1 + kt_0)^n = N_0 [1 + nkt_0 + n(n-1)(kt_0)^2/2! + n(n-1)(n-2)(kt_0)^3/3! + \dots]$$

(де: $3! = 1 \cdot 2 \cdot 3$ – функція $n!$, називається n -факторіалом).

Якщо n досить велике, то вираз можна спростити, так як, наприклад, вираз $n(n-1)(n-2)$ у цьому випадку, з великою точністю, рівне n^3 .

Кількість ціанобактерій, що утворилися за час nt_0 , у цьому випадку подамо у вигляді:

$$N_n = N_0 [1 + nkt_0 + (nkt_0)^2/2! + (nkt_0)^3/3! + \dots]$$

Припустимо, що $nkt_0 = 1$, тоді в дужках стоїть наступна сума:

$$1 + 1 + 1/2 + 1/3 + 1/24 + \dots = 2 + 0,5 + 0,1666667 + \dots = 2,718281828459045\dots$$

Це число називається натуральним числом e (неперовим числом). Воно було введено шотландським математиком Джоном Непером у 1614 році.

Отже, закон, за яким розмножуються ціанобактерії, має вигляд:

$$N = N_0 * e^{kt}$$

Така залежність називається експоненціальною [3].

Мета дослідження – вивчення впливу чинників, які дадуть змогу знизити чисельність синьо-зелених водоростей. Отримані результати допоможуть контролювати масове розмноження планктонних водоростей та визначити найбільш ефективні заходи боротьби з таким негативним явищем, як «цвітіння» води.

Зважаючи на вищевикладене, головними завданнями наших досліджень є:

- дослідити інтенсивність процесу евтрофікації води в річці Ворскла;
- визначити оптимальні умови для розвитку

ціанобактерій;

- встановити кількісний склад синьо-зелених водоростей;
- встановити вплив різних хімічних речовин на розмноження мікроорганізмів;
- розробити заходи боротьби з процесами евтрофікації води в річці Ворскла.

Предмет дослідження: евтрофікаційні процеси басейну р. Ворскла.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження проводилися впродовж весняно-літнього періоду 2011 року в різних районах річки Ворскла. Мікроскопічне дослідження передбачає підрахунок клітинних елементів у рахунковій камері й 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 задалегідь зафарбовують розчином Самсона. 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 (див. рис.) (площа сітки – 16 мм², глибина – 0,2 мм, об'єм – 3,2 мкл, розведення – 11:10) число елементів у 1 л розраховують за формулою:

$$\text{число елементів на площі сітки} \times 11 \div 3,2 \times 10 \times 10^6 = \text{число елементів на площі сітки} \div 3 \times 10^6$$

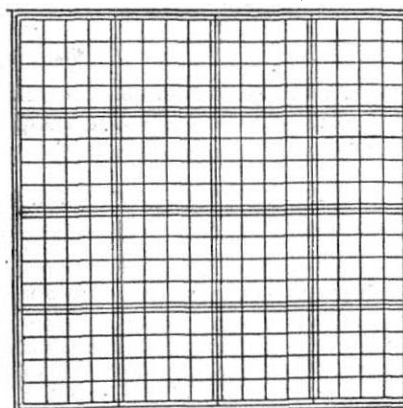


Рис. Сітка камери Фукса-Розенталя

Працюючи з невеликими обсягами матеріалу, піпеткою відмірюють 10 крапель досліджуваної рідини і краплю фарби, змішують їх на годинному склі, а потім заповнюють цим розчином

камеру. При значному вмісті клітин (понад 200 на площі сітки) підраховують половину сітки камери Фукса-Розенталя; отриманий результат подвоюють і розраховують як звичайно [4].

Проби води модифікувалися введенням у неї різних хімічних речовин, а саме: сульфатом алюмінію спільно з мідним купоросом, перманганатом калію, хлоридом барію, нітратом срібла, магnezіальною сумішшю, молібденовою рідиною, хелатом заліза та рідким хлором.

Результати досліджень. Для дослідження процесу евтрофікації води в річці Ворскла бралися проби на глибині 0,2–0,5 м від поверхні водойми, в різних районах м. Полтави та на околицях міста між 12:00 та 17:00 годинами. У сформованій загальній пробі було проведено підрахунок вмісту синьо-зелених водоростей, що склав $3,4 \times 10^6$ кл/л.

Взяті проби води модифікувалися введенням у неї мінеральних добрив: суперфосфату $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, хлориду кадмію KCl , сульфату амонію $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в концентраціях 2–2,5 % та ін.

Візуально розвиток процесу евтрофікації проявляється виникненням зеленого кольору моделі води. Тривалість експерименту – 5 діб.

Оптимальними для розвитку планктонних водоростей є:

- температура – 25 °C;
- інтенсивність освітлення – 4500 лк;
- концентрація мінеральних добрив – 2,5 %.

Застосування різних способів боротьби з «цвітінням» води:

1. *Коагулянт – сульфат алюмінію ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) дозою до 18 мг/л спільно з мідним купоросом ($\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$).*

Додавання сульфату алюмінію ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) дозою до 18 мг/л спільно з мідним купоросом ($\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$) у наших дослідах привело до скорочення кількості водоростей (з $3,4 \times 10^6$ до $2,5 \times 10^6$ кл/л).

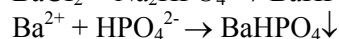
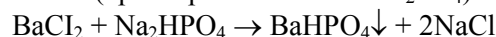
Широко відомий приклад успішного запобігання цвітінню води за рахунок послідовної обробки $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ і $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ мілководного озера Коуртіль (Франція). Внесення $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ у водойму в травні призвело до помітного скорочення чисельності ціанобактерії *Microcystis*, але повністю не запобігло її розвитку. Тому наприкінці червня, коли ціанобактерії ще не утворили плівки цвітіння, був доданий $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$. Після обробки міддю колонії мікроціста не зустрічалися в планктоні озера протягом двох місяців [7].

2. *Перманганат калію – KMnO_4 дозою до 0,8 мг/л скоротив чисельність синьо-зелених во-*

доростей з $3,4 \times 10^6$ до $0,2 \times 10^6$ кл/л.

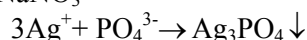
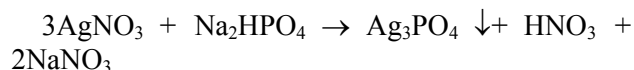
3. *Хлор дозою до 2,5 мг/л знизив кількість синьо-зелених водоростей із $3,4 \times 10^6$ до $0,5 \times 10^6$ кл/л.*

4. *Хлорид барію утворив з аніоном PO_4^{3-} білий осад гідрофосфату барію BaHPO_4 , розчинний у кислотах (крім сірчаної кислоти H_2SO_4):*



Це привело до скорочення числа синьо-зелених водоростей із $3,4 \times 10^6$ до $2,0 \times 10^6$ кл/л.

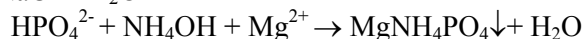
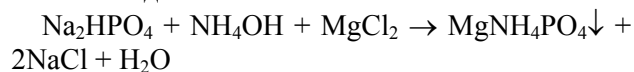
5. *Нітрат срібла AgNO_3 з аніонами PO_4^{3-} дав жовтий осад фосфату срібла Ag_3PO_4 , розчинний в азотній кислоті:*



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

6. *Магnezіальна 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 Na_2HPO_4 . Утворений білий осад магній-амоній фосфату MgNH_4PO_4 вказав на наявність аніонів PO_4^{3-} .

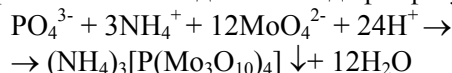
Магnezіальна суміш (суміш MgCl_2 , NH_4OH і NH_4Cl) з аніонами PO_4^{3-} утворила білий кристалічний осад:



Умови проведення досліду: уникати надлишку хлориду амонію, який може викликати утворення комплексних іонів. Кількість синьо-зелених водоростей знизилася з $3,4 \times 10^6$ до $0,4 \times 10^6$ 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 й злегка нагріли до 40–50 °C на водяній бані. Аніони SO_3^{2-} , S^{2-} відновлюють шестивалентний молібден 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 PO_4^{3-} .

Розчин молібдату амонію $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ в азотній кислоті утворив з аніонами PO_4^{3-} жовтий кристалічний осад 12-молібдофосфату амонію:



1. Залежність кількості синьо-зелених водоростей від дії різних хімічних речовин

Хімічні речовини	Кількість синьо-зелених водоростей, кл/л	
	на початку дослідів	у кінці дослідів
Сульфат алюмінію спільно з мідним купоросом $Al_2(SO_4)_3 \times CuSO_4$	$3,4 \times 10^6$	$2,5 \times 10^6$
Перманганат калію $KMnO_4$	$3,4 \times 10^6$	$0,2 \times 10^6$
Хлорид барію $BaCl_2$	$3,4 \times 10^6$	$2,0 \times 10^6$
Нітрат срібла $AgNO_3$	$3,4 \times 10^6$	$1,0 \times 10^6$
Магnezіальна суміш	$3,4 \times 10^6$	$0,4 \times 10^6$
Молибденова рідина	$3,4 \times 10^6$	$0,3 \times 10^6$
Хелат заліза	$3,4 \times 10^6$	
Хлор (рідкий)	$3,4 \times 10^6$	$0,5 \times 10^6$

Умови проведення дослідів:

- Реакція проводилася при $pH \leq 1$.
- Помірне нагрівання сприяло утворенню осаду.
- Аніони-відновники і HCl заважають проведенню реакції [2].

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

8. *Хелат Fe* знизив кількість синьо-зелених водоростей із $3,4 \times 10^9$ до $0,6 \times 10^9$ кл/л.

Отже, згідно з проведеними дослідів, можна зробити **висновок**, що розмноження синьо-зелених водоростей можна контролювати як шляхом безпосереднього впливу хімічних речо-

вин на останні, так і шляхом зниження у воді фосфат-іону (PO_4^{3-}), що у кінцевому результаті забезпечує зниження чисельності синьо-зелених водоростей.

Найбільш дієвий результат ми отримали від застосування перманганату калію ($0,2 \times 10^6$), молибденової рідини ($0,3 \times 10^6$), магnezіальної суміші ($0,4 \times 10^6$), хлору ($0,5 \times 10^6$) та хелату заліза ($0,6 \times 10^6$). Дещо гірші результати дало застосування нітрату срібла ($1,0 \times 10^6$) та хлориду барію ($2,0 \times 10^6$). Найбільша кількість синьо-зелених водоростей залишилася за дії на останні сульфату алюмінію спільно з мідним купоросом ($2,5 \times 10^6$).

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Колобанов С. К., Колобанова Е. С., Бельий Л. М. Вода в природе и технике. – К.: Кондор, 2002. – С. 97.
2. Логинов Н. Я., Воскресенский А. Г., Солодкин И. С. Аналитическая химия. – М.: Просвещение, 1979. – С. 254–258.
3. Проверьте свои знания: Энциклопедия / под ред. Н. Л. Вадченко. – Донецк: Стаклер, 1997. – С. 126.
4. Ронин В. С., Старобинев Г. В. Руководство по практическим занятиям по методам клинических лабораторных исследований. – Ярославль: Аккорд, 1991. – С. 119–120.
5. Хржановский В. Г., Пономаренко С. Ф. Практикум по курсу общей ботаники. – М.: Агропромиздат, 1989. – С. 190.
6. www.aquaforum.ua
7. www.biokomfort.com / Токсичное цветение воды