

УДК 504.06

Яцолт А.Р., Каларашук І.В. (Україна, Вінниця)

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ БІОМАСИ ФІТОПЛАНКТОНУ В ЕВТРОФНИХ ОЗЕРАХ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Водні ресурси є найважливішим природним чинником, який визначає розвиток економіки, розміщення продуктивних сил, комфортність життя населення. Залежність суспільства від водних ресурсів зростає, підвищуються вимоги до якості води. У Водній (рамковій) Директиві ЄС 2000/60/ЄС райони питних водозаборів і водойм, схильні до антропогенного евтрофування, віднесені до зон, що підлягають особливій охороні, із суворішою регламентацією антропогенного навантаження. Цю умову не можливо виконати без забезпечення стабільного функціонування екосистеми водного об'єкту, без збереження її цілісності та стійкості.

Наявність чистої води буде критичною проблемою життєзабезпечення в ХХІ столітті, а особливо наявність прісної води, придатної для питних цілей. За прогнозами вже до 2025 р. із нестачею води, придатної для питних цілей, може зіткнутися 2/3 населення планети. В Україні проблема чистої води особливо гостра, оскільки вона є одною з найменше забезпечених водою країн Європи [1, 2].

Сьогодні в Україні не залишилося поверхневих водних джерел з 1-ї категорії якості (тобто чистої) води по основних санітарно-хімічних і мікробіологічних показниках. Якщо за даними МОЗ щорічно від вживання недоброякісної питної води страждає кожен 10-й житель планети, то в Україні воду невідповідну вимогам “Державних стандартних правил і норм...” п'є кожен п'ятий її житель.

Як наслідок масової та незбалансованої евтрофікації більша частка флори та фауни водойми може бути знищеною, а екосистема водойми – різко та катастрофічно зміненою.

Для евтрофних водойм характерні багаті та різноманітні літоральна та субліторальна рослинність, велика кількість планктону. Розбалансована евтрофікація може призводити до вибухового розвитку одноклітинних водоростей – гіпоксії (дефіциту кисню) та, як наслідок, загибелі вищої рослинності, риб та інших тварин.

“Цвітіння” води – комплексне, негативне природно-антропогенне явище, причиною якого є поєднання цілого ряду чинників, пов'язаних не тільки зі змінами стану водної середовища схильного до “цвітіння” водойми, але й із забрудненням його донних відкладень. При “цвітінні” змінюється не лише видовий склад і біомаса планктонних водоростей, але і гідрохімічний режим водойми, склад і стан водної біоти, спрямованість й інтенсивність процесів обміну речовин і енергією між компонентами водних екосистем. Це сприяє збідненню видового складу біоти, зниження стійкості екосистеми, гіперпродукція й накопичення органічної речовини, погіршення якості води [2].

За даними світової статистики приблизно в 40-50% випадках “цвітіння” у воді накопичуються високі концентрації токсинів і алергенних з'єднань, що супроводжують загибель і захворювання в риб, птахів, тваринних, людей. Зі всіх численних відділів водоростей токсичну дію відмічено в представників дінофітових (Dinophyta); отруйних перідіней (Dinophyceae, Peridineae), а також золотистих (Chrysophyta), зелених (Chlorophyta) і синьо-зелених (Cyanophyta) водоростей [4].

Проводити моделювання у водних об'єктах можна із використанням середньорічних моделей із постійними коефіцієнтами, або сезонних моделей зі змінними коефіцієнтами.

Передбачається, що весь азот у водоймі можна представити, як неорганічний (де N_I – змінна) і органічний (де P, B, Z, N_0 – змінні). Органічний азот, у свою чергу підрозділяється на живий (де P, B, Z – змінні) і неживий (де N_0 – змінна).

Для моделювання зміни біомаси фітопланктону в евтрофних озерах використаємо сезонні моделі зі змінними коефіцієнтами, так, як вони враховують такий аргумент як час. У даних моделях у якості змінних величин будуть використані наступні параметри: температура води, освітленість та скиди азоту.

Використаємо модель із 4 диференціальних рівнянь [3]:

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dt} &= k_0 I(t)P + k_1 I(t)T(t)N_1P - k_2P - k_4PZ, \\ \frac{dZ}{dt} &= k_4PZ + k_8N_0Z - (k_7 + k_9)Z, \\ \frac{dN_0}{dt} &= C_2(t) + k_2P - k_3T(t)N_0 - k_6N_0 - k_8N_0Z + k_7Z, \\ \frac{dN_1}{dt} &= C_1(t) + k_3T(t)N_0 - k_1I(t)T(t)N_1P - k_5N_1, \end{aligned} \quad (1)$$

де $C_1(t)$ і $C_2(t)$ – скиди у водойму мінерального та органічного азоту, які визначаються за рахунок надходжень до водосховища, $T(t)$ – температура води й $I(t)$ – освітленість води [2].

Дану модель було реалізовано в програмному пакеті Model Vision Studium.

Для того, щоб в Model Vision Studium можна було здійснити імітаційне моделювання потрібно задати усі необхідні змінні та параметри моделі. На рис. 1 зображено, які змінні містяться в класі нашої моделі:

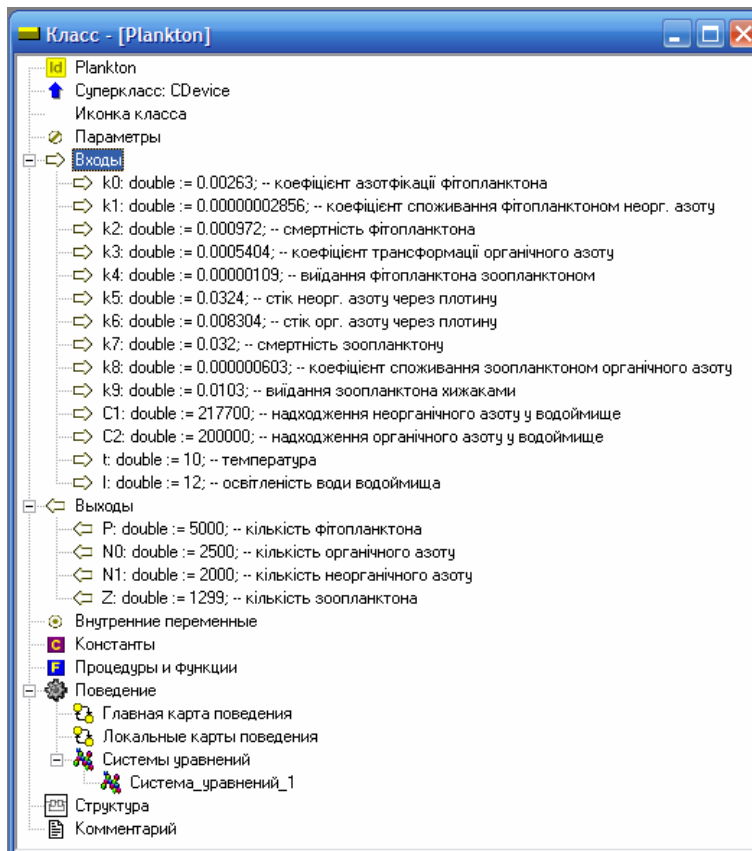


Рисунок 1 – Змінні та параметри моделі

Для аналізу зміни біомаси фітопланктону в евтрофних озерах за допомогою математичного моделювання запропоновано метод ідентифікації оптимальних параметрів моделі:

1. обрати параметри, які будуть задовольняти оптимальним умовам;
2. зібрати та підготувати вхідні дані;
3. провести моделювання зміни біомаси фітопланктону в евтрофних озерах за моделю, що реалізовано в Model Vision Studium:
4. вміст органічного та неорганічного азоту малий;
5. вміст органічного та неорганічного азоту великий;
6. вміст органічного азоту великий, а неорганічного азоту малий;
7. вміст органічного азоту малий, а неорганічного азоту великий;
8. провести аналіз моделювання відповідно до встановлених критеріїв та вибрати оптимальні параметри.

Моделюючи забруднення евтрофних озер біогенами, які впливають на біомасу фітопланктону використовуючи розроблену методика розглянемо наступні приклади.

Варіант № 1. Розглянемо випадок, коли до водойми потрапляє мала кількість органічного та неорганічного азоту, освітленість води низька і температура води середня. При такій ситуації спостерігається поступове зростання досліджуваних показників: підвищення органічного азоту та поступове збільшення біомаси фітопланктону і зоопланктону. Лише після 11–14 днів спостерігається різкий спад органічного та неорганічного азоту і підвищення кількості зоопланктону (рис. 2).

Варіант № 2. Розглянемо випадок, коли до водойми потрапляє середня кількість органічного та неорганічного азоту, освітленість води та температура води також середні. У даному варіанті спостерігається різке збільшення кількості зоопланктону у водоймі за короткий проміжок часу, після різкого спаду органічного азоту та фітопланктону (рис. 3).

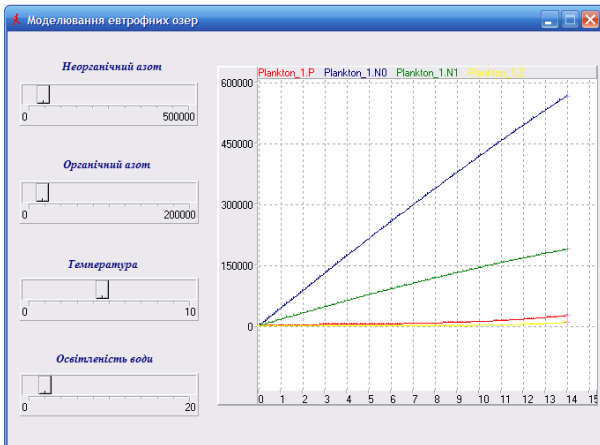


Рисунок 2 – Моделювання варіанту №1

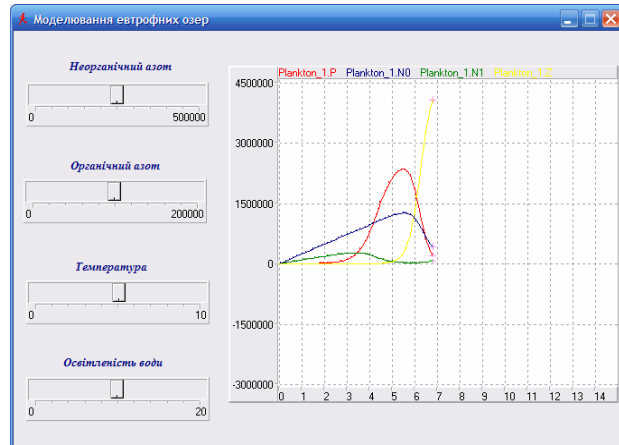


Рисунок 3 – Моделювання варіанту №2

Варіант № 3. Розглянемо випадок, коли до водойми потрапляє мала кількість неорганічного азоту, велика кількість органічного азоту, освітленість води та температура води середні. В даній ситуації спостерігається процес незначної зміни вмісту неорганічного і органічного азоту, який викликає різке збільшення чисельності зоопланктону в короткі терміни, кількість фітопланктону коливається (рис. 4).

Варіант № 4. Розглянемо випадок, коли до водойми потрапляє велика кількість неорганічного азоту, мала кількість органічного азоту, освітленість води та температура води середня. При великій кількості неорганічного азоту відбувається стрімкий розвиток фітопланктону та збільшується органічний азот за дуже короткий проміжок часу, після чого стрімко розвивається зоопланктон (рис. 5).

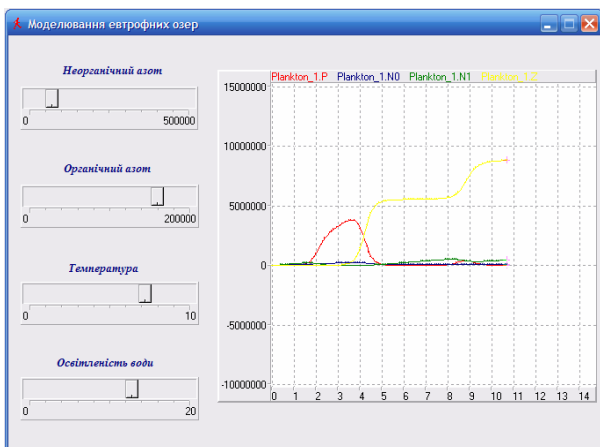


Рисунок 4 – Моделювання варіанту №3

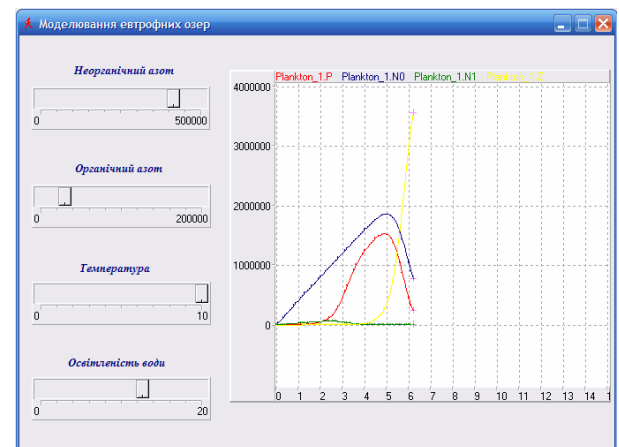


Рисунок 5 – Моделювання варіанту №4

Варіант № 5. Якщо зменшити початкову кількість неорганічного азоту ($N_1=1000$), а умову залишити як у варіанті №1, то буде спостерігатися така ж сама ситуація лише за коротший термін часу (рис. 6).

Варіант № 6. Якщо зменшити початкову кількість фітопланктону ($P=2000$), тоді розглянемо випадок, коли до водойми потрапляє мала кількість органічного та неорганічного азоту, освітленість води низька і температура води середня, то буде спостерігатись стабільна чисельність фітопланктону і зоопланктону (рис. 7).

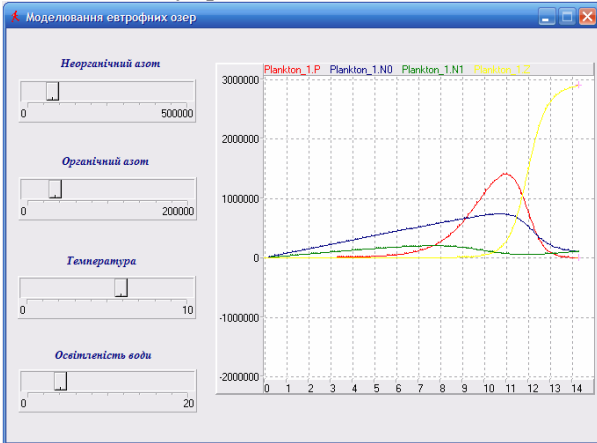


Рисунок 6 – Моделювання варіанту №5

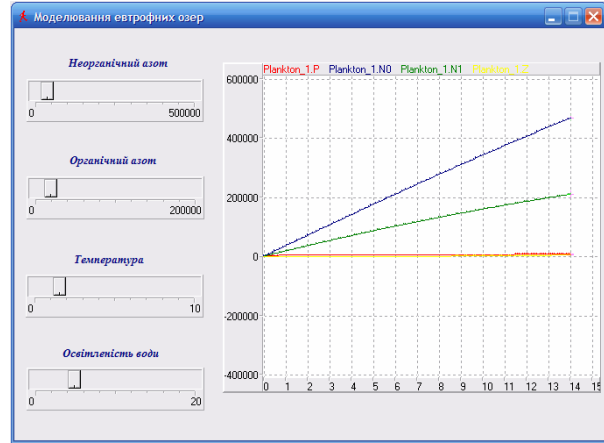


Рисунок 7 – Моделювання варіанту №6

Аналізуючи наступні випадки, можна зробити висновки, що при середніх та значних кількостях органічного та неорганічного азоту спостерігається зростання біомаси фітопланктону, який в основному викликати цвітіння води, що є небажаним процесом. Як видно з рис. 8 дані процеси є сезонними, тому із часом фітопланктону буде менше, а деколи чисельність його буде зростати, але не на дуже велику кількість.

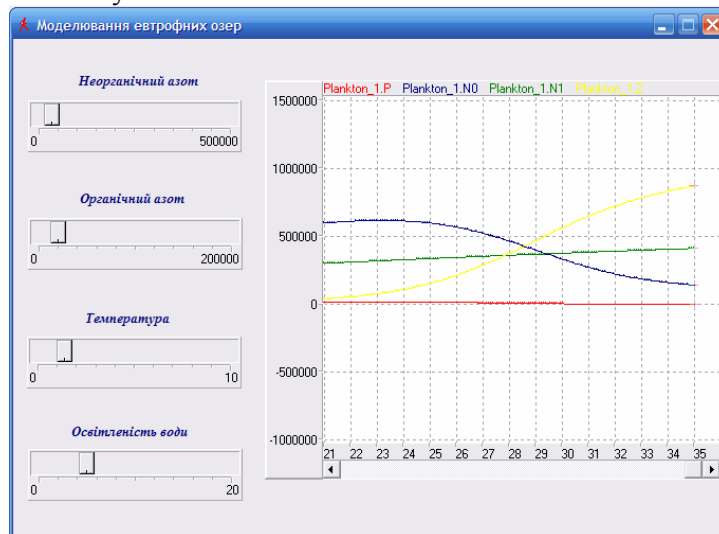


Рисунок 8 – Приклад сезонності використаних моделей

Тому з метою оптимізації скидів біогенез у водойму є скид мінімальних кількостей органічного та неорганічного азоту при середній температурі та світлості води. У такому випадку водойма зможе природно здійснювати самовідновлення. За рахунок збільшення чисельності зоопланктону у водоймі значно уповільниться кількість фітопланктону.

Таким чином, запропоновано та успішно апробовано метод ідентифікації оптимальних параметрів моделі зміни біомаси фітопланктону в евтрофних озерах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы \ \ Пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 282 с.

2. В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг, Т.Д. Зинченко. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. – Тольятти : 2003. – 386 с.
3. Мокін В.Б., Мокін Б.І. Математичні моделі та програми для оцінювання якості річкових вод. – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2000. – 152 с.
4. А.П.Левич, В.Н.Максимов, Н.Г.Булгаков. Теоретическая и экспериментальная экология фитопланктона. Управление структурой и функциями сообществ. – М. : Мир, 1997. – 420 с.