УДК [574.1+581.526.325](285.3)

В. І. Щербак, Н. Є. Семенюк

Індикація впливу урбанізації на водойми за різноманіттям фітопланктону

(Представлено академіком НАН України В. Д. Романенком)

The method of assessing the anthropogenic influence upon the water-bodies on the urbanized territory with regard for the phytoplankton diversity is suggested. The following characteristics have been shown to be the most representative: general species composition, floristic diversity on the levels of orders and genera, coefficient of species similarity, occurrence rate, and informational diversity.

На сьогодні існує декілька підходів до характеристики водойм урбанізованих територій. За класифікацією С. О. Афанасьєва [1] водойми м. Київ поділяються на чотири типи залежно від походження: 1) озера, генетично пов'язані із заплавою р. Дніпро; 2) озера-стариці історичних русел річок м. Київ (каскад озер Опечень — стариці р. Почайна); 3) стави на водотоках; 4) безстічні озера.

Л. С. Балашов [2] класифікує водойми м. Київ за гідрологічним режимом: 1) водойми, розташовані у заплаві річок Дніпро і Десна; 2) стави на річках і струмках (постійних чи тимчасово пересихаючих), поповнення водою яких відбувається в основному за рахунок водотоку; 3) водойми, повний об'єм яких формується за рахунок грунтових вод і атмосферних опадів; 4) штучні водойми.

В. К. Хільчевський [3] виділяє всього два типи водойм на території міста: 1) заплавні водойми лівобережжя; 2) водойми правобережжя в руслах річок і струмків.

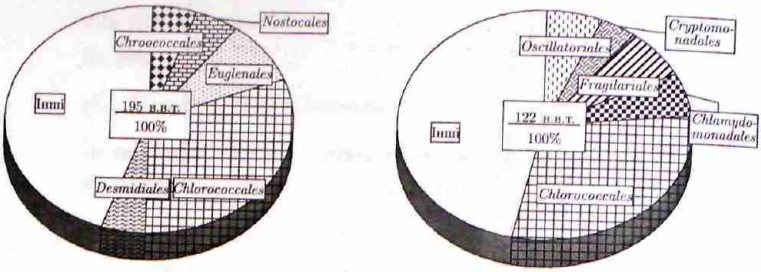
Дані підходи мають такі основні недоліки. По-перше, вони повною мірою не відображають усі типи водойм у межах міста, оскільки: а) на території Києва є як заплавні озера, що з'єднуються з Канівським водосховищем у роки з високим рівнем води (оз. Бабине), так і повністю ізольовані від водосховища (озера Тельбін, Вербне тощо); б) стави на водотоках характеризуються різним генезисом: деякі з них утворені внаслідок зарегулювання русел водотоків (рибоводні стави на р. Нивка), інші являють собою останець річки або струмка; наприклад, стави Бетонний (вул. Зодчих) і Бетонний-1 (вул. Булгакова) є останцями р. Нивка, яка при будівництві масиву Південна Борщагівка була переведена у підземний бетонний колектор. По-друге, класифікація водойм проводиться без урахування антропогенного впливу на урбанізованих територіях, відповідно до якого водойми подібного генезису і гідрологічного режиму істотно відрізняються за своїми екологічними характеристиками. Так, видове та інформаційне різноманіття фітопланктону в оз. Бабине значно вище, ніж в оз. Тягле, що пояснюється домінуванням у водоймі природних процесів і мінімальним антропогенним впливом [4].

Запропонований нами метод експертної оцінки ступеня урбанізації водойм дозволяє виділити 10 чинників, які згідно з літературними даними найповніше характеризують антропогенний вплив на водойми урбанізованих територій [5, 6] (табл. 1). Але в той же час не існує репрезентативної методології визначення інтенсивності дії кожного з них. Наприклад,

Таблиця 1. Основні чинники антропогенного впливу на водойми урбанізованих територій (на прикладі м. Київ)

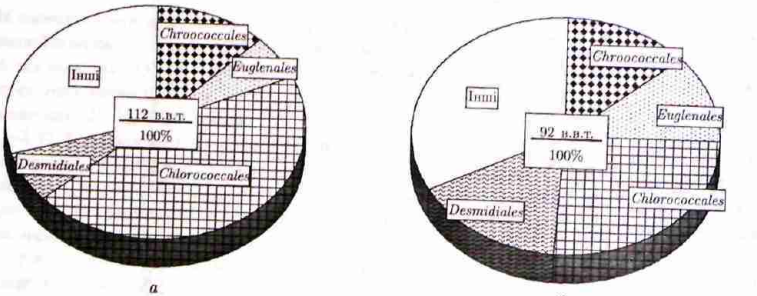
№ п/п	Чинники урбанізації	Озера				Стави на водотоках			
		заплавні	стариці	безстічні					
		Бабине	Опечень-верхнє	Синє	Голубе	став на р. Нивка	Бетонний на р. Нивка	став на стр. Сирець	Оріхуватський
1	Часткова чи повна відсутність прибережних захисних смуг	–	+	+	+	+	+	+	+
2	Штучна зміна морфометричних характеристик водойми	–	+	–	+	+	+	+	+
3	Техногенна трансформація берегів (бетонування, дамбування)	–	–	–	+	–	+	+	+
4	Наявність в межах водоохоронної зони								
	автомобільних доріг	–	+	+	+	+	+	+	+
	автостоянок та автозаправок	–	+	–	–	–	+	+	–
5	Зливовий стік								
	з промислової забудови	–	+	–	–	–	–	–	–
	з житлової забудови	–	+	+	+	+	+	+	–
6	Рекреація	+	+	+	+	+	+	+	+
7	Аматорське рибальство	+	+	+	+	+	+	+	+
8	Браконьєрський вилов безхребетних і риб	+	+	+	+	+	+	+	+

Примітка. "–" — вплив даного чинника на водойму відсутній, "+" — вплив даного чинника на водойму існує.



а *б*

Рис. 1. Видове і флористичне різноманіття фітопланктону заплавного оз. Бабине (*а*) та озера-стариці Опечень-верхнє (*б*). Тут і на рис. 2, 3 в. в. т. — видові і внутрішньовидові таксони включно з тими, що містять номенклатурний тип виду



а *б*

Рис. 2. Видове і флористичне різноманіття фітопланктону безстічних озер Синє (*а*) і Голубе (*б*)

неможливо оцінити ступінь негативної дії на водну екосистему зливового стоку, автостоянки, розташованої в межах водоохоронної зони, або техногенної трансформації берегів тощо.

Згідно з Рамковою Директивою ЄС 2000/6, основними критеріями екологічного стану водойм є біологічні показники. У більшості водних екосистем основним компонентом біоти, що визначає її різноманіття, потоки енергії та кругообіг речовин, є фітопланктон.

Мета роботи — за різноманіттям фітопланктону розробити методологію оцінки впливу урбанізації на екологічний стан водойм.

На основі натурних досліджень [4–6] встановлено, що для характеристики стану водних екосистем можуть слугувати не усі показники різноманіття фітопланктону. Так, на рівні відділів і класів відмінності у видовому і флористичному різноманітті фітопланктону водойм не репрезентативні. У той же час на рівні порядків і родів відмічаємо тенденцію: флористичні спектри фітопланктону відрізняються не тільки залежно від генезису водойм, а й від впливу урбанізації на їх екосистеми (рис. 1–3).

Наприклад, особливістю безстічних озер є високе різноманіття *Chroococcales* (12–13%), *Chlorococcales* (26–45%) і *Desmidiales* (7–16%) (див. рис. 2). У ставах високим різноманіттям

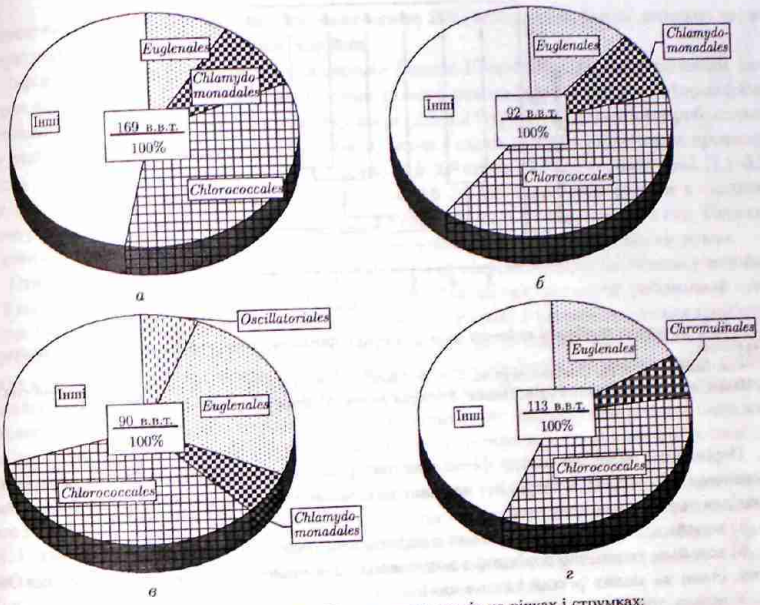


Рис. 3. Видове і флористичне різноманіття фітопланктону ставів на річках і струмках: колишнього рибоводного ставу на р. Нивка (*а*), ставу Бетонний на р. Нивка (*б*), ландшафтно-рекреаційного ставу на стр. Сирець (*в*), ставу Оріхуватський (*г*)

характеризуються порядки *Euglenales* (9–26%), *Chlorococcales* (33–40%) і *Chlamydomonadales* (6–10%). При цьому встановлено, що частка *Euglenales* у фітопланктоні ставів залежить від ступеня урбанізації прилеглих територій. Так, у колишньому рибоводному ставі на р. Нивка, який розташований у лісопарковій зоні і на даний час не використовується для розведення риби, *Euglenales* формують 9% видового різноманіття фітопланктону. У той же час у ландшафтно-рекреаційних ставах, які знаходяться під впливом житлової забудови, автомобільних доріг та автостоянок, частка водоростей цього порядку значно вища: у ставі Бетонний — 12%, у ставі Оріхуватський — 17%, а у ставі на стр. Сирець досягає 26% (див. рис. 3).

На рівні родів також спостерігаються певні відмінності. Специфічною ознакою озера-стариці Опечень-верхнє є домінування роду *Oscillatoria* (5%), безстічних озер — роду *Cosmarium* (4–8%), ставу на стр. Сирець — родів *Phacus* і *Lepocinclis* (по 7% відповідно).

Встановлено, що більш репрезентативні відмінності спостерігаються на рівні загальної кількості видів і внутрішньовидових таксонів. Найвищим видовим різноманіттям фітопланктону характеризується заплавне озеро (195 видів і внутрішньовидових таксонів, включно з тими, що містять номенклатурний тип виду — в. в. т.) і колишній рибоводний став (169 в. в. т.). Більш низьке різноманіття в озері-стариці (122 в. в. т.) і найнижче — у безстічних озерах (92–112 в. в. т.) та ландшафтно-рекреаційних ставах (90–113 в. в. т.) (див. рис. 1–3).

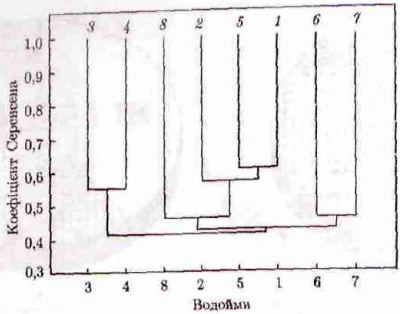


Рис. 4. Дендрограма подібності видового складу літнього фітопланктону водойм м. Київ за коефіцієнтом Серенсена:
1 — оз. Бабине; *2* — оз. Опечень-верхнє; *3* — оз. Синє; *4* — оз. Голубе; *5* — колишній рибоводний став на р. Нивка; *6* — став Бетонний на р. Нивка; *7* — став на стр. Сирець; *8* — став Оріхуватський

Порівняння видового складу фітопланктону різнотипних водойм на основі коефіцієнта Серенсена [7] (рис. 4) показує, що на рівні мінімальної подібності ($K_S < 0{,}5$) усі водойми розділяються на два кластери:

а) водойми, генетично не пов'язані з водотоками (безстічні озера Синє і Голубе);

б) водойми, генетично пов'язані з водотоками (заплавне оз. Бабине, озеро-стариця Опечень, стави на малих річках і струмках).

У межах другої групи водойм відокремлюється кластер, який включає два стави: став Бетонний на р. Нивка і став на стр. Сирець. Об'єднання даних водойм в один кластер зумовлено дією на їх екосистеми не тільки природних чинників (подібний гідрологічний режим), а і антропогенних (відсутність водоохоронних зон, наявність у межах прибережної смуги автомобільних доріг з інтенсивним рухом, автостоянок).

Також відмічаємо високу видову подібність ($K_S > 0{,}5$) фітопланктону природного заплавного оз. Бабине і колишнього рибоводного ставу на р. Нивка. Отже, в природних водоймах і у водоймах, де на даний час сукцесія екосистеми спрямована на відновлення природних процесів, фітопланктон характеризується високим видовим різноманіттям і значною подібністю видового складу.

Отже, кластерний аналіз подібності видового складу фітопланктону дозволяє розмежувати водойми з різним гідрологічним режимом, а також виділити водні екосистеми з домінуванням природних або антропогенних чинників.

Розрахунок частоти зустрічальності видів у фітопланктоні показав, що із загального видового списку, отриманого у літній період для восьми водойм (озера Бабине, Опечень-верхнє, Синє, Голубе, колишній рибоводний став на р. Нивка, став на стр. Сирець, став Оріхуватський), який нараховує 370 в. в. т., лише 12 в. в. т. характеризуються 100% частотою зустрічальності, 33 в. в. т. виявлені у 50% водойм і найбільша кількість таксонів — 155 — зареєстрована лише в одній водоймі. Дана закономірність свідчить про високий рівень специфічності фітопланктону різнотипних водойм м. Київ. Отже, для характеристики екологічного стану водойм необхідно використовувати лише види, частота зустрічальності яких знаходиться в межах 20–50% загальної кількості водойм, прийнятої за 100%. У той же час

рідкісні види, частота зустрічальності яких менше 20%, дозволяють більш детально характеризувати специфіку конкретної водойми.

Інформаційне різноманіття фітопланктону (індекс Шеннона) є репрезентативним методом оцінки впливу урбанізації на водойми різного походження. Найвище інформаційне різноманіття спостерігається в заплавному озері (2,7–4,2 біт/екз.) і колишньому рибоводному ставі (3,8–4,7 біт/екз.), що вказує на домінування в даних водоймах природних процесів. Більш низький індекс Шеннона в озері-стариці (1,6–2,9 біт/екз.) і безстічних озерах (1,1–3,9 біт/екз.). Найнижче інформаційне різноманіття (0,6–3,9 біт/екз.) зареєстроване в ландшафтно-рекреаційних ставах: Оріхуватському, Бетонному на р. Нивка, ставі на стр. Сирець, у межах водоохоронних зон яких проходять автомобільні дороги з інтенсивним рухом.

Отже, різноманіття фітопланктону формується не тільки залежно від генезису водойм, а й від ступеня урбанізації прилеглих територій. Наприклад, колишній рибоводний став і став Бетонний знаходяться на одному водотоці (р. Нивка) і характеризуються подібним флористичним спектром фітопланктону (див. рис. 3, *а*, *б*). У той же час загальна кількість видів у рибоводному ставі перевищує цей показник для ставу Бетонний майже вдвічі, інформаційне різноманіття — втричі. Крім цього, на основі кластерного аналізу за коефіцієнтом Серенсена встановлено, що видовий склад фітопланктону рибоводного ставу є близьким до природного оз. Бабине. Це пояснюється низькою інтенсивністю впливу урбанізації на даний став.

Таким чином, для оцінки екологічного стану водойм урбанізованих територій, що є основою їх типізації, найбільш репрезентативними є такі показники різноманіття фітопланктону: 1) загальне видове різноманіття (кількість видів і внутрішньовидових таксонів); 2) флористичне різноманіття на рівні порядків і родів; 3) коефіцієнт подібності видового складу; 4) частота зустрічальності видів; 5) інформаційне різноманіття.

Запропонований метод базується на засадах Рамкової Директиви 2000/6 і дає чітке уявлення про тип водойми, її екологічний стан, дозволяє оцінити ступінь антропогенного впливу, невід'ємною складовою якого є урбанізація.

1. *Афанасьев С. А.* Характеристика гидробиологического состояния разнотипных водоемов г. Киева // Вестн. экологии. – 1996. – № 1–2. – С. 112–118.
2. *Балашов Л. С., Зуб Л. Н., Савицкий А. Л.* Типы водоемов Киева по флористическому составу высшей водной растительности // Биология внутрен. вод. – 2000. – № 1. – С. 5–13.
3. *Хільчевський В. К., Бойко О. В.* Гідролого-гідрохімічна характеристика озер і ставків території м. Києва // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – Київ: Ніка-Центр, 2001. – Т. 2. – С. 529–535.
4. *Щербак В. І., Семенюк Н. Є.* Визначення ступеню урбанізації водойм за структурним різноманіттям фітопланктону // Природ. альманах. Біол. науки. – Херсон: Персей, 2004. – Вип. 5. – С. 145–152.
5. *Щербак В. І., Семенюк Н. Є.* Порівняльна оцінка ступеню урбанізації водойм за різноманіттям фітопланктону // Наук. зап. Терноп. пед. ун-ту. Сер. Біологія. – 2005. – № 3(26). – С. 498–500.
6. *Щербак В. І., Семенюк Н. Є.* Роль структурної організації фітопланктону в формуванні біопродуктивності внутрішніх водойм м. Києва // Рибне гос-во. – Київ: Аграрна наука, 2004. – Вип. 63. – С. 292–295.
7. *Sorensen T.* A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content // Kongelige Danske videns, Selskab. Biol. Krifter. – 1948. – 5, No 4. – С. 1–34.

Інститут гідробіології НАН України, Київ

Надійшло до редакції 23.05.2006