

ЩЕРБАК В.І. (<https://orcid.org/0000-0002-1237-6465>)

СЕМЕНЮК Н.С.* (<https://orcid.org/0000-0003-4447-3507>)

ДАВИДОВ О.А. (<https://orcid.org/0009-0004-2381-723X>)

ЛАРІОНОВА Д.П. (<https://orcid.org/0009-0009-0222-9232>)

Інститут гідробіології НАН України,

просп. Володимира Івасюка, 12, Київ 04210, Україна

*Адреса для листування: ek424nat@ukr.net

СУЧАСНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІТОПЛАНКТОНУ, МІКРОФІТОБЕНТОСУ ТА ФІТОЕПІФІТОНУ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА. ПОВІДОМЛЕННЯ 2: АБІОТИЧНІ ЧИННИКИ, КІЛЬКІСНЕ РІЗНОМАНІТТЯ, ДОМІНУЮЧИЙ КОМПЛЕКС, ТРОФНІСТЬ ТА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА

Реферат. Розглянуто кількісне різноманіття та домінуючі комплекси фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоепіфітону лотичних і лентичних біотопів Канівського вдсх в літній сезон 2017–2022 рр. Проаналізовано їхній зв'язок з низкою абіотичних чинників, оцінено трофічний статус, інформаційне різноманіття за індексом Шеннона та якість води водосховища. Чисельність водоростей планктону складала 2780–124155 тис. кл./дм³, біомаса – 0,631–11,636 мг/дм³, бентосу – 390–13874 тис. кл./10 см² та 0,162–2,651 мг/10 см², епіфітону – 50–680 тис. кл./10 см² та 0,050–1,679 мг/10 см². У лотичних біотопах кількість фітопланктону була дещо вищою, ніж у лентичних, що зумовлено фітостоком з Київського вдсх та приток. Структурна організація фітопланктону та мікрофітобентосу представлена олігодомінантними комплексами *Cyanobacteria* – *Bacillariophyta* та *Bacillariophyta* – *Cyanobacteria* відповідно, а фітоепіфітону – монодомінантним комплексом *Bacillariophyta*. Доведено необхідність визначення домінуючих комплексів за чисельністю та біомасою. Домінуючі комплекси водоростевих угруповань чітко розділяються на три окремі кластери (для планктону, бентосу та епіфітону), а кожний з них – на два (для лотичних і лентичних біотопів). Подібність за

Надійшла до редакції 24.10.2023. Після доопрацювання 10.11.2023. Підписана до друку 20.11.2023.
Опублікована 20.12.2023

Цитування. Щербак В.І., Семенюк Н.С., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. 2023. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 2: Абіотичні чинники, кількісне різноманіття, домінуючий комплекс, трофність та оцінка якості водного середовища. *Альгологія*. 33(4): 247–277. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.247>

за коефіцієнтом Серенсена між фітопланктоном і мікрофітобентосом була вищою, ніж між фітопланктоном і фітоепіфітоном, що можна пояснити осіданням планктонних форм на дно за різних екологічних умов. Високі кількісні показники, різноманітні домінуючі комплекси водоростевих угруповань залежать від низки абіотичних чинників (інтенсивності сонячної інсоляції, потужності фотичної зони, літніх температур води, концентрації біогенних елементів). За фітопланктоном трофічний статус водосховища оцінюється як евтрофний–політрофний, а за контурними угрупованнями – як олігомезотрофний–мезотрофний. Встановлені відмінності узгоджуються з теорією «альтернативних стабільних режимів» і пояснюються тим, що в літній період водосховище знаходиться в режимі високої каламутності, коли масово розвиваються планктонні *Cyanobacteria*, які «екранують» поверхню води та пригнічують фотосинтез контурних угруповань. Якість води Канівського вдсх знаходиться в межах II–III класів (чисті–задовільно чисті води), наявність точкових чи розсіяних джерел забруднення води не встановлена, що в цілому співпадає з ретроспективними даними.

Ключові слова: кількісне різноманіття, чисельність, біомаса, домінуючий комплекс, абіотичні чинники, трофічність, якість водного середовища, фітопланктон, мікрофітобентос, фітоепіфітон, Канівське водосховище

Вступ

Незалежно від біотопічної приуроченості, таксономічного різноманіття різних щаблів систематичної ієрархії, невід’ємними характеристиками водоростевих угруповань є їхній кількісний розвиток за показниками чисельності та/або біомаси. Не вдаючись до багатогранної дискусії (Odum, 1953; Jørgensen, 1980; Reynolds, 1996) щодо пріоритетності кожного з них, вважаємо, що ці показники діалектично поєднані в одне ціле – структурно-функціональну організацію альгофлори. Використання тільки чисельності, апіорі, об’єктивніше відобразить кількісний розвиток дрібноклітинних форм, а використання біомаси – крупноклітинних. Біомаса є енергетичною основою формування потоків енергії. Чим більші розміри клітин, тим вища абсолютна первинна продукція, а найвища питома продукція (P/B -коефіцієнти) властива водоростевим популяціям із найдрібнішими клітинами і, як правило, не залежить від систематичної приналежності виду (Shcherbak, 1998, 2000).

Не менш важливим є використання чисельності для характеристики «цвітіння» води *Cyanobacteria*, а біомаси – для оцінки якості водного середовища, біоресурсного потенціалу чи біологічних загроз.

Отже, важливим у даній роботі є доведення необхідності паралельної оцінки кількісного розвитку водоростей за чисельністю та біомасою. Ретроспективний аналіз показав, що кількісний розвиток фітопланктону Дніпра до зарегулювання досліджувався Я.В. Роллом та Ю.М. Марковським (Roll, Markovskiy, 1955) і Г.Д. Приймаченко (Priymachenko, 1981).

Фрагментарні дослідження перших років існування Канівського вдсх узагальнені В.І. Щербак (Vegetation..., 1989). У 90-ті рр. ХХ ст. фітопланктон водосховища було вивчено більш детально (Shcherbak, Maystrova, 2001; Maystrova, 2002). У подальшому (2017–2019 рр.) була опублікована ще низка робіт (Shcherbak, Semeniuk, 2004; Shcherbak, Zadorozhnaya, 2013; Shcherbak et al., 2019).

Контурні водоростеві угруповання водосховища досліджувалися плеядою українських альгологів. Так, вивчення динаміки чисельності й біомаси мікрофітобентосу розпочато Л.В. Скорик (Vegetation..., 1989), надалі були роботи: Oksiyuk et al. (1999, 2005); Davydov, Larionova (2015), сукцесії мікрофітобентосу проаналізовані Л.П. Ярмошенко (Yarmoshenko, 2007).

До зарегулювання Середнього Дніпра фітоепіфітон не досліджувався. Кількісні показники фітоепіфітону Канівського вдсх представлені в роботах: Tarashchuk, 2009; Klochenko, Shevchenko, 2017; Shevchenko et al., 2019. Результати ґрунтовних досліджень фітоепіфітону викладені в роботах: Semeniuk, 2020; Semeniuk, Shcherbak, 2016; Shcherbak et al., 2016.

При всьому масиві даних щодо кількісного різноманіття водоростей відсутні результати комплексних робіт, виконаних одночасно для водоростей різних екологічних груп. Не виконувався й порівняльний аналіз кількісного розвитку та домінуючих комплексів фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоепіфітону лотичних і лентичних біотопів. Паралельна оцінка трофічного статусу та якості водного середовища Канівського вдсх за водоростями різних екологічних груп не проводилася.

Отже, метою даної роботи є характеристика кількісного різноманіття фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону, його структурної організації за чисельністю та біомасою, а також домінуючих комплексів за чисельністю та біомасою залежно від впливу низки абіотичних чинників, оцінка трофічного статусу, інформаційного різноманіття за індексом Шеннона та якості водного середовища за сапробіологічними показниками видів-індикаторів у лотичних і лентичних біотопах великого рівнинного водосховища в сучасних умовах.

Матеріали та методи

Опис методів відбору проб фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону, їхнього камерального опрацювання, карту-схему станцій спостережень на Канівському вдсх у літній сезон 2017–2022 рр. наведено раніше (Shcherbak et al., 2023).

Підрахунок чисельності (N) та біомаси (B) водоростей різних екологічних груп виконували згідно: Methods..., 2006 і приводили до величин: тис. кл./дм³, мг/дм³ (г/м³) водної товщі та тис. кл./10 м², мг/10 см² донного чи рослинного субстрату відповідно.

Інформаційне різноманіття обчислювали за індексом Шеннона з використанням чисельності (H_N) та біомаси (H_B) (Methods..., 2006).

Для виділення домінуючих комплексів (ДК) водоростевих угруповань різних екологічних груп був застосований уніфікований алгоритм, за якого домінуючими видами (D) вважалися ті, що складали від 10% і вище загальної чисельності чи біомаси альгопроби. Субдомінантами (C) вважалися види, чисельність чи біомаса яких становила від 5,0 до 9,9% відповідно (Shcherbak, 2002).

Порівняльний аналіз ДК за чисельністю та біомасою планктону, бентосу й епіфітону здійснювали за коефіцієнтом Серенсена K_S (Sørensen, 1948). За оригінальними даними проводили кластерний аналіз із побудовою дендрограм (прикладна програма Past 1.32). Оцінку якості водного середовища за кожною з екологічних груп водоростей здійснювали за різними методами:

- за видами-індикаторами різних зон сапробності – від χ -сапробів (дуже чисті води) до α -сапробів (брудні води) (Varinova et al., 2006);
- індексами сапробності Пантле-Букк у модифікації Сладечека, розрахованими за чисельністю (S_N) та біомасою (S_B) (Methods..., 2006);
- за основними абіотичними чинниками гідроекосистеми (Romanenko et al., 1990).

Трофічний статус лотичної та лентичної підсистем водосховища визначали за низкою показників фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону (Romanenko et al., 1990).

Паралельно з відбором альгологічних проб вимірювали температуру води, прозорість за диском Секкі. Фотичною зоною вважалася водна товща, яка дорівнювала величині потроєної прозорості за диском Секкі (Shcherbak, Kuzmenko, 1987).

Величини сонячної інсоляції зони ФАР наведено згідно з: Zadorozhna, Shcherbak, 2017, а гідрохімічний режим за Yakushin et al., 2019.

Таксони водоростей та латинські назви наведені у відповідності до *AlgaeBase* станом на 27.06.2023 р. (Guiry, Guiry, 2023).

Для статистичного опрацювання величин чисельності та біомаси використані комп'ютерні програми Statistica 6.0, Past 1.32.

Результати та обговорення

Абіотичні чинники, що визначають вегетацію водоростей. Кількісний розвиток водоростевих угруповань значною мірою визначається впливом низки абіотичних чинників.

Канівське вдсх з площею акваторії 675,0 км² і об'ємом води 2,62 км³ є мілководною лотично-лентичною гідроекосистемою. Глибини до 2 м становлять приблизно 38% акваторії, середня глибина – до 3 м. У літню межень на річкових ділянках швидкість течії становить 0,1–0,2 м/с, в затоках та озерних ділянках – до 0,1 м/с (Hydrology..., 1989).

Прозорість води за диском Секкі становила 0,8–1,1 м, фотична зона реєструвалася до придонних горизонтів більшої частини акваторії. Це є важливим чинником для вегетації водоростей планктону, особливо бентосу та епіфітону. Підтвердженням цього є встановлена пряма кореляційна залежність між сонячною інсоляцією та чисельністю й біомасою фітопланктону в літній сезон – $r = 0,28–0,35$ при $p = 0,02–0,004$. Максимальний розвиток водоростей реєструвався за $Q \approx 518$ МДж/м² × міс., а при зростанні Q до 619 МДж/м² × міс. і вище зменшувалися кількісні показники *Bacillariophyta* і, навпаки, вони зростали у *Cyanobacteria* (Zadorozhna, Shcherbak, 2017).

Літня температура води коливалася від 19,4 до 27,0 °С, і статистично достовірних відмінностей в її показниках у різні роки досліджень не встановлено. Лише зареєстровано більший прогрів води на мілководних ділянках, ніж глибоководних. Відповідно, між температурою води та чисельністю й біомасою фітопланктону та фітоепіфітону існує пряма кореляція: $r = 0,35–0,42$ при $p = 0,004–0,001$ (Semeniuk, Shcherbak, 2016; Zadorozhna, Shcherbak, 2017).

Встановлено (Semenyuk, Shcherbak, 2016; Semeniuk, 2020; Shcherbak et al., 2022), що при зростанні літньої температури води від 24,0 °С і вище (у наших дослідженнях – до 27,8 °С) у дніпровському фітопланктоні спостерігається більш інтенсивна вегетація *Cyanobacteria* (роди *Dolichospermum* (*Anabaena*), *Microcystis*, *Oscillatoria*) і пригнічення розвитку *Bacillariophyta* (роди *Aulacoseira*, *Cyclotella*, *Melosira*, *Stephanodiscus*), що, відповідно, впливає на загальні величини чисельності та біомаси водоростевих угруповань.

За мінералізацією та іонним складом водні маси водосховища відносяться до гідрокарбонатного класу групи кальцію (С_{II}Ca). Водночас спостерігається тенденція до зростання ступеня їх мінералізації за рахунок збільшення концентрації іонів K⁺, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ (Yakushin et al., 2019).

За багаторічними даними, вміст неорганічних форм азоту в літній сезон по акваторії водосховища коливається в таких межах: NH_4^+ – 0,184–0,546, NO_2^- – 0–0,067, NO_3^- – 0,031–0,058 мг N/дм³; неорганічного фосфору – 0,03–0,11 мг P/дм³, що характерно для евтрофних гідроекосистем. Це підтверджують також відносно високі показники вмісту розчинених органічних речовин. Так, перманганатна окиснюваність по акваторії коливалась у межах 10,2–14,4 мг O_2 /дм³, а дихроматна – у межах 24,0–29,2 мг O /дм³ (Shcherbak et al., 2016; Yakushin et al., 2019).

Важливим інтегральним показником, який визначає вплив біогенного режиму на інтенсивність вегетації водоростевих угруповань, є співвідношення пулів сумарного неорганічного азоту і фосфору (N : P), яке в літній сезон складає $6,6 \pm 0,4$ (Shcherbak, Maustrova, 2019). Це вказує на те, що неорганічний азот, і особливо фосфор, присутні в достатній кількості й жоден із цих біогенних елементів не є лімітуючим чинником життєдіяльності водоростей.

Отже, наведений аналіз абіотичних чинників свідчить про те, що в літній період у гідроекосистемі Канівського вдсх формуються сприятливі умови для вегетації водоростевих угруповань різних екологічних груп.

Кількісне різноманіття водоростей. Це одна з найважливіших характеристик різнотипних альгоугруповань, незалежно від їхньої біотопічної приуроченості. Саме кількісний розвиток автотрофної ланки визначає первинні процеси формування потоку енергії, колообігу речовин, що є енергетичною основою життєзабезпечення гідробіонтів вищих трофічних рівнів гідроекосистем.

Фітопланктон. Чисельність фітопланктону в період досліджень коливалась у межах декількох порядків: від 2780 до 124155 тис. кл./дм³ (середнє 28464 ± 6842 тис. кл./дм³). Аналіз просторового розподілу чисельності фітопланктону в лотичних і лентичних біотопах показав, що її величини суттєво відрізнялися. Встановлено, що максимальна та середня чисельність планктонних водоростей у лотичних біотопах перевищувала аналогічні показники для лентичних біотопів (табл. 1). Так, у лотичних біотопах чисельність становила 2780–124155 тис. кл./дм³ (середнє 32388 ± 8742 тис. кл./дм³), тоді як у лентичних – 7909–40106 тис. кл./дм³ (середнє 16691 ± 6378 тис. кл./дм³).

Структуру чисельності фітопланктону водосховища в літній сезон переважно формували *Cyanobacteria*, частка яких у лотичних біотопах була вищою ($90 \pm 3\%$), ніж у лентичних ($55 \pm 11\%$). Для *Bacillariophyta* відмічено зворотну закономірність: їхня частка більша в лентичних біотопах ($36 \pm 10\%$), тоді як у лотичних вона складала лише $5 \pm 1\%$. Натомість частка *Chlorophyta* була невисокою і майже не відрізнялась між лотичними та лентичними біотопами ($4 \pm 2\%$ і $6 \pm 3\%$ відповідно).

Таблиця 1. Чисельність фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону та її структура в біотопах Канівського водосховища в літні сезони 2017–2022 рр.

Відділ	Показ- ник	Фітопланктон			Мікрофітобентос			Фітоепіфітон		
		Лотичні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом	Лотичні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом	Лотичні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом
<i>Cyano bacteria</i>	тис. кл.	1920–122525	2125–38246	1920–122525	976–2249	*-9863	*-9863	*-63	*-203	*-203
	%	30913±8649	11885±6795	26156±6880	1531±220	2183±1587	1887±840	41±20	54±50	48±28
<i>Vacillariophyta</i>	тис. кл.	63–99	30–95	30–99	31–81	*-71	*-81	*-37	*-30	*-37
	%	90±3	55±11	81±5	56±8	2,5±13	39±9	16±11	8±7	11±6
<i>Chlorophyta</i>	тис. кл.	168–1338	1418–9000	168–9000	170–4573	372–3893	170–4573	40–490	50–358	40–490
	%	706±92	4309±1337	1539±456	1583±768	1775±582	1688±448	210±141	208±82	209±69
<i>Інші</i>	тис. кл.	1–20	4–56	1–56	14–67	28–100	14–100	58–83	50–100	50–100
	%	5±1	36±10	13±4	40±8	70±12	56±9	70±7	86±12	79±7
Інші	тис. кл.	45–1110	150–1318	45–1318	20–122	*-100	*-122	8–38	*-134	*-134
	%	615±90	567±197	603±81	59±17	58±14	58±10	21±9	36±33	30±18
Σ	тис. кл.	*-24	1–18	*-24	*-5	*-16	*-16	5–30	*-20	*-30
	%	4±2	6±3	5±1	3±1	5±3	4±1	14±8	6±5	9±4
Σ	тис. кл.	*-678	*-858	*-858	*-10	*-17	*-17	*-3	*-2	*-3
	%	154±52	200±165	165±54	5±2	5±3	5±2	1±1	1±1	1±1
Σ	тис. кл.	*-2	*-10	*-10	*	*	*	*	*	*
	%	*	3±2	1±1	*	*	*	*	*	*
Σ	тис. кл.	2780–124155	7909–40106	2780–124155	1203–6847	390–13874	390–13874	57–592	50–680	50–680
	%	32388±8742	16691±6378	28464±6842	3178±962	4021±2079	3638±1168	273±163	298±147	287±100

Примітки. Над ризикою – межі коливань, під ризикою – середні величини ± стандартна помилка.

Абсолютна чисельність для фітопланктону наведена в тис. кл./дм³, для мікрофітобентосу та фітоепіфітону – в тис. кл./10 см².

% – Частка чисельності даного відділу від загальної чисельності фітопланктону, мікрофітобентосу чи фітоепіфітону.

* Позначено величини абсолютної чисельності, менші за 1 тис. кл., а також відсоткові частки, менші за 1%.

Частки інших відділів (*Miozoa*, *Cryptista*, *Ochrophyta*, *Euglenozoa*) були несуттєві та не перевищували в лотичних біотопах 1%, в лентичних 3%.

Величини біомаси змінювались у межах 0,631–11,636 мг/дм³ (середнє 3,263 ± 0,680 мг/дм³). У лотичних біотопах максимальні показники біомаси були вищими, ніж у лентичних і становили 0,531–11,636 мг/дм³ (у середньому 3,561 ± 0,888 мг/дм³) та 1,173–4,041 мг/дм³ (у середньому 2,371 ± 0,495 мг/дм³) відповідно (табл. 2). Основу біомаси в лотичних біотопах формували *Cyanobacteria* (53 ± 7%), в лентичних – *Bacillariophyta* (70 ± 6%). Показовим є те, що роль *Chlorophyta* у формуванні біомаси як у лотичних, так і в лентичних біотопах (12 ± 2% та 14 ± 6% відповідно) була більш значущою, ніж у формуванні чисельності. Частка інших відділів водоростей у біомасі фітопланктону лотичних і лентичних біотопів становила всього 8 ± 3% та 4 ± 2% відповідно.

Отже, більш високі величини чисельності та біомаси фітопланктону характерні насамперед для лотичних біотопів, що може бути зумовлено як надходженням фітостоку з Київського вдсх та притоків (річки Десна, Стугна, Красна, Трубіж), так і формуванням кількісних показників за рахунок внутрішньоводойменних процесів. У лентичних біотопах (таких як затоки) завдяки більш уповільненому водообміну з основним руслом формуються переважно автохтонні водоростеві угруповання, а вплив алохтонного фітопланктону менш виражений і, відповідно, кількісні показники фітопланктону нижчі.

Мікрофітобентос. Чисельність донних водоростей становила від 390 до 13874 тис. кл./10 см² (у середньому 3638 ± 1168 тис. кл./10 см²). На відміну від фітопланктону, максимальні показники чисельності в лентичних біотопах були вдвічі вищими, ніж у лотичних. У лентичних біотопах основу чисельності мікрофтобентосу складали *Bacillariophyta*, частка яких була 70 ± 12%; тоді як у лотичних вона не перевищувала 40 ± 8%. У лотичних біотопах найчисельнішими були *Cyanobacteria* – 56 ± 8%. Розвиток *Chlorophyta* у мікрофітобентосі, як і у фітопланктоні, був незначним – 3–5% загальної чисельності угруповання. Частка інших відділів як у лотичних, так і в лентичних біотопах становила менше 1% (див. табл. 1). Діапазон коливань показників біомаси у мікрофітобентосі складав 0,162–2,651 мг/10 см² (1,206 ± 0,248 мг/10 см²). Проте середні величини біомаси у лотичних і лентичних біотопах майже не відрізнялись (1,267 ± 0,358 та 1,154 ± 0,372 мг/10 см² відповідно). Аналогічна закономірність була характерна і для максимальних показників біомаси (2,296 та 2,651 мг/10 см²). У структурі біомаси водоростей на дні як у лотичних, так і лентичних біотопах переважали *Bacillariophyta*, частка

Таблиця 2. Біомаса фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоепіфітону та її структура в біотопах Канівського водосховища в літні сезони 2017–2022 рр.

Відділ	Показники	Фітопланктон			Мікрофітобентос			Фітоепіфітон		
		Логічні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом	Логічні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом	Логічні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом
<i>Cyanobacteria</i>	мг	0,025–9,301	0,014–0,575	0,014–9,301	0,078–0,329	*–0,235	*–0,329	*	*–0,016	*–0,016
	%	2,427±0,775 5–89 53±7	*–34 12±6	1,883±0,616 *–89 43±7	0,200±0,043 6–48 23±7	0,078±0,044 *–20 5±3	0,134±0,035 *–48 13±4	*	*–1 *	*–1 *
<i>Vacillariophyta</i>	мг	0,084–1,257	0,746–3,642	0,084–3,642	0,071–2,105	0,279–2,565	0,071–2,562	0,045–1,251	0,080–1,076	0,045–1,251
	%	0,549±0,089 3–68 27±6	1,732±0,512 57–90 70±6	0,845±0,179 3–90 38±6	1,034±0,338 44–93 73±8	1,048±0,352 79–100 91±3	1,041±0,234 44–100 83±5	0,478±0,387 74–92 86±6	0,400±0,232 88–100 97±2	0,434±0,192 74–100 92±3
<i>Chlorophyta</i>	мг	0,055–0,454	0,080–0,911	0,055–0,911	0,007–0,024	*–0,028	*–0,028	0,005–0,413	*–0,094	*–0,413
	%	0,213±0,031 1–32 12±2	0,310±0,153 2–33 14±6	0,237±0,043 1±33 12±2	0,015±0,003 *–8 3±1	0,017±0,004 *–8 2±1	0,016±0,003 *–8 2±1	0,143±0,135 8–25 14±5	0,024±0,023 *–8 2±1	0,075±0,058 *–24 7±3
Інші	мг	*–2,236	*–0,157	*–2,236	*–0,061	*–0,024	*–0,061	*–0,015	*–0,031	*–0,031
	%	0,370±0,187 *–43 8±3	0,078±0,032 *–12 4±2	0,297±0,142 *–43 7±2	0,018±0,011 *–4 1±*	0,011±0,005 *–5 1±1	0,015±0,006 *–5 1±*	0,005±0,005 *–5 1±*	0,008±0,007 *–2 1±*	0,007±0,005 *–2 *
Σ	мг	0,531–11,636	1,173–4,041	0,631–11,636	0,162–2,296	0,302–2,651	0,162–2,651	0,050–1,679	0,080–1,217	0,050–1,679
		3,561±0,888	2,371±0,495	3,263±0,680	1,267±0,358	1,154±0,372	1,206±0,248	0,627±0,527	0,436±0,266	0,518±0,248

Примітка. Над ризкою – межі коливань, під ризкою – середні величини ± стандартна помилка.

Абсолютна біомаса для фітопланктону наведена в мг/дм³, для мікрофітобентосу та фітоепіфітону – в мг/10 см².

% – Частка біомаси даного відділу від загальної біомаси фітопланктону, мікрофітобентосу чи фітоепіфітону.

* Позначено величини абсолютної біомаси, менші за 0,001 мг, а також відсоткові частки, менші за 1%.

яких складала $73 \pm 8\%$ та $91 \pm 3\%$ відповідно. Значно меншими показниками біомаси характеризувалися *Cyanobacteria*, частка яких у загальній біомасі мікрофітобентосу була найбільшою в лотичних біотопах ($23 \pm 7\%$), тоді як у лентичних вона не перевищувала $5 \pm 3\%$. Така сама тенденція відмічена для фітопланктону. Частка *Chlorophyta* у формуванні біомаси мікрофіто-бентосу лотичних і лентичних біотопів становила 3 ± 1 та $2 \pm 1\%$ відпо-відно й була в декілька разів меншою, ніж у фітопланктоні (див. табл. 2).

Таким чином, у мікрофітобентосі переважали *Bacillariophyta*. Особливістю цього альгоугруповання є те, що в лотичних біотопах *Cyanobacteria* в основному були представлені планктонними формами, які за рясністю перевищували відповідні показники в лентичних біотопах. У цілому, мікрофітобентос є угрупованням, до складу якого входять водорості різних екологічних груп та систематичних відділів. Вплив фітопланктону на показники чисельності та біомаси мікрофітобентосу і його структуру особливо вагомий в лотичних біотопах, у яких гідродинаміка водних мас більш виражена, що інтенсифікує процеси осідання планктонних водоростей з товщі води на дно.

Фітоепіфітон. Показники кількісного розвитку фітоепіфітону за чисельністю коливались у межах 50–680 тис. кл./10 см² (у середньому 287 ± 100 тис. кл./10 см²). Межі коливань чисельності фітоепіфітону в лотичних і лентичних біотопах були подібними. Основу чисельності формували *Bacillariophyta*, частка яких складала $70 \pm 7\%$ у лотичних біотопах і $86 \pm 12\%$ у лентичних. Особливістю фітоепіфітону було те, що частка *Cyanobacteria* була найнижчою, а *Chlorophyta* – найвищою серед досліджених екологічних груп водоростей. Слід зазначити, що в лотичних біотопах частка *Cyanobacteria* була вищою, а *Chlorophyta* – вищою, ніж у лентичних (див. табл. 1).

Біомаса фітоепіфітону змінювалася від 0,050 до 1,679 мг/10 см² і в середньому складала $0,518 \pm 0,248$ мг/10 см². Як і для чисельності, межі її коливань у лотичних і лентичних біотопах суттєво не відрізнялися. Структуру біомаси формували переважно *Bacillariophyta* ($86 \pm 6\%$ у лотичних біотопах і $97 \pm 2\%$ – у лентичних). Крім того, у лотичних біотопах відмічена більш значима роль *Chlorophyta* ($14 \pm 5\%$), ніж у лентичних ($2 \pm 1\%$) (див. табл. 2).

Отже, кількісний розвиток планктонних і контурних угруповань водоростей за чисельністю та біомасою в Канівському вдсх характеризувався амплітудою коливань у межах декількох порядків. Основу кількісного різноманіття формували *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria* і меншою мірою *Chlorophyta*. У фітопланктоні за чисельністю домінували дрібно-

клітинні *Cyanobacteria*, а за біомасою – крупноклітинні *Bacillariophyta* і *Cyanobacteria*. У контурних альгогрупуваннях переважали *Bacillariophyta*.

Також всі досліджені екологічні групи водоростей у лотичних біотопах мали більшу частку *Cyanobacteria*, ніж у лентичних. Для фітопланктону це можна пояснити зокрема впливом фітостоку з Київського вдсх та приток, для контурних угруповань – осіданням планктонних форм на різнотипні субстрати за рахунок гідродинамічних процесів і різних стадій вегетації водоростей.

Отже, в літні періоди 2017–2022 рр. у Канівському вдсх у планктоні домінував олігодомінантний комплекс *Cyanobacteria–Bacillariophyta*, у мікрофітобентосі – *Bacillariophyta–Cyanobacteria*, а субдомінантами в обох угрупованнях були *Chlorophyta*. Особливість фітоепіфітону полягала в чітко вираженому монодомінуванні *Bacillariophyta*, а субдомінуючий комплекс був олігодомінантний – *Cyanobacteria–Chlorophyta*. Вважаємо, що одним із важливих чинників, який визначає провідну роль *Bacillariophyta* в контурних угрупованнях у літній сезон – період масової вегетації *Cyanobacteria* в поверхневих горизонтах, є те, що діатомеї – більш тньолюбні водорості (Shcherbak, Kuzmenko, 1987).

Таким чином, встановлені відмінності в структурній організації та особливостях вегетації водоростей дозволяють різнотипним альгоугрупованням формувати високі показники кількісного розвитку автотрофної ланки, що забезпечує життєдіяльність гідробіонтів вищих трофічних рівнів.

Домінуючий комплекс. Характерною ознакою водоростевих угруповань планктону, бентосу та епіфітону континентальних водойм і водотоків є їхнє високе таксономічне різноманіття на всіх щаблях систематичної ієрархії, що підтверджують попередні оригінальні матеріали (Shcherbak et al., 2023). Але у формуванні потоків енергії та колообігу речовин, самоочищенні-самозабрудненні, міграції хімічних речовин (також токсичних, радіоактивних) провідна роль належить домінуючим видам. У ботанічній, зоологічній та гідробіологічній науці існує низка методів визначення домінуючих видів¹, але загальний алгоритм дій для їхнього виділення на сьогодні відсутній.

Як свідчать узагальнення багаторічних оригінальних даних, для альгологічних досліджень найбільш інформаційним і репрезентативним є методичний підхід, за яким домінуючі види виділяються за їхніми відсотковими частками в загальній чисельності та/або біомасі проби. Це

¹ У різних літературних джерелах використовуються терміни: «масові види», «найчисленніші види» «провідні види», «головні види», «ядро видів» чи «види-едифікатори», тобто види, що визначають властивості фітоценозу (Biological glossary, 1986).

пов'язано з тим, що кількісні показники альгофлори досить мінливі, залежать від низки чинників, а часто й від дії одного чинника. Так, вид в одному випадку може бути домінуючим за чисельністю в сотні тисяч клітин, а в іншому – бути представленим лише декількома сотнями клітин. Вважаємо, що найприйнятнішим є методичний підхід, за яким домінуючі види становлять від 10% і вище, а субдомінанти – від 5,0 до 9,9% загальної чисельності чи біомаси проби. Необхідність введення категорії «субдомінант», як зазначено вище, ґрунтується на високій динаміці змін кількісних показників розвитку водоростей в залежності від дії різних чинників. Причому перехід виду з категорії «домінант» до категорії «субдомінант» і навпаки може простежуватись у досить короткі відрізки часу (доба) або простору (декілька кілометрів), особливо коли вегетація виду відбувається в різних біотопах (затоки, русло, стариця).

Цей процес досить часто реєструється при зміні біотопічної приуроченості: перехід виду з планктону до бентосу, з планктону – до епіфітону. Рідше можливий і обернений процес. Так, літні типово планктонні *Cyanobacteria* (види родів *Dolichospermum* (*Anabaena*), *Aphanizomenon*, *Microcystis*) зі зниженням температури води опускаються на дно і в складі бентосної флори переживають зимовий період. Весняний прогрів води до 15–18 °С і вище зумовлює їхній перехід до планктону і початок масового розвитку – «цвітіння» води.

З ідентифікованих у водосховищі 311 видів і внутрішньовидових таксонів, включаючи номенклатурний тип виду (Shcherbak et al., 2023), в якості домінантів і субдомінантів за показниками чисельності та/або біомаси було виділено 76 видів. Зокрема: *Cyanobacteria* – 22, *Miozoa* – 2, *Ochrophyta* – 1 *Bacillariophyta* – 38, *Charophyta* – 1 та *Chlorophyta* – 16 видів. Їхнє флористичне різноманіття представлено: 29, 2, 1, 51, 1 і 16% відповідно.

Отже, за систематичною ієрархією домінанти та субдомінанти відповідали *Cyanobacteria*–*Bacillariophyta*–*Chlorophyta*-комплексу, що в літні періоди є характерною ознакою альгоугруповань більшості водойм і водотоків як України, так і країн ЄС.

У табл. 3 (див. електронний додаток до статті*) наведено повний список домінантів і субдомінантів з конкретними величинами чисельності та/або біомаси та їхніми частками у фітопланктоні, бентосі, епіфітоні для лотичних і лентичних біотопів Канівського вдсх у літній сезон 2017–2022 рр.

* <https://doi.org/10.15407/alg33.04.247>

Встановлено тільки 9 видів, які виступали в якості лише домінантів у планктоні, бентосі й епіфітоні як за чисельністю, так і за біомасою. Це найбільш характерно для *Microcystis wesenbergii*, *Anagnostidinema amphibium*, *Oscillatoria tenuis* та *Staurosira binodis*.

Значна кількість видів (30) були лише субдомінантами. Зокрема: *Aulacoseira distans*, *Cymbella lanceolata*, *Amphora libyca* та *A. ovalis* (див. табл. 3). Цікаво, що найбільшою була кількість видів (37), які залежно від екологічних умов можуть бути як домінантами, так і субдомінантами. Типові представники: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Microcystis aeruginosa*, *M. pulvereae*, *Rhabdoderma lineare*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *A. granulata*, *Cocconeis placentula* var. *placentula*, *Fragillaria virescens*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Pediastrum duplex* (див. табл. 3).

Проведене ранжування видів-домінантів (Д) і субдомінантів (С) дозволило за частотою їхнього домінування у фітопланктоні, мікрофітобентосі та епіфітоні виділити 4 класи. На рис. 1 представлено розподіл цих класів частоти домінування видів за чисельністю й біомасою у фітопланктоні, мікрофітобентосі та фітоепіфітоні.

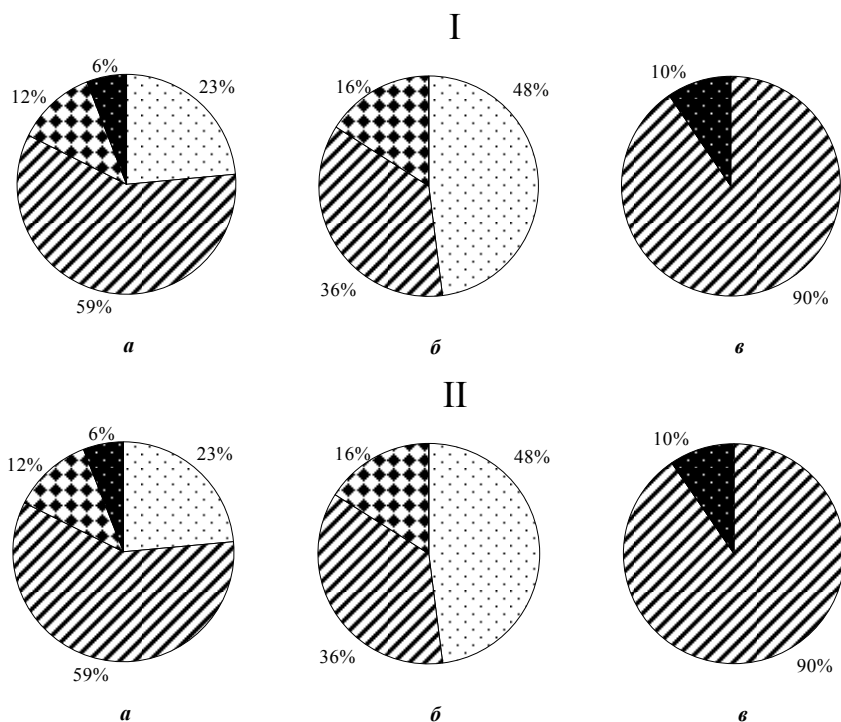


Рис. 1. Розподіл видів по класах частоти домінування за чисельністю (I) і біомасою (II) у фітопланктоні (а), мікрофітобентосі (б) та фітоепіфітоні (в) Канівського вдсх у літній сезоні 2017–2022 рр. Відсотки біля кругових діаграм позначають частку видів-домінантів, які належать до відповідного класу

З рисунку видно, що для фітопланктону та мікрофітобентосу найбільшу кількість D і C становлять види з 1-го і 2-го класів, а у фітоепіфітоні вони представлені переважно 2-м класом. Також екологічні угруповання водоростей відрізняються за кількістю D і C (див. рис. 1).

Порівняння видового складу домінуючого комплексу (ДК), виділеного за чисельністю й біомасою для всіх досліджених груп водоростей за допомогою коефіцієнта Серенсена (K_S), показало певні відмінності. Мінімальний показник $K_S = 0,130$ зареєстрований між ДК за чисельністю мікрофітобентосу та ДК за чисельністю фітоепіфітону, максимальний показник $K_S = 0,560$ – між ДК мікрофітобентосу за чисельністю та біомасою (табл. 4).

Таблиця 4. Коефіцієнти Серенсена (K_S) для ДК фітопланктону (ФПЛ), мікрофітобентосу (МФБ) та фітоепіфітону (ФЕ) Канівського вдсх за чисельністю (N) і біомасою (B)

K_S	ФПЛ за N	МФБ за N	ФЕ за N	ФПЛ за B	МФБ за B	ФЕ за B
ФПЛ за N	1	0,381	0,158	0,500	0,143	0,069
МФБ за N	–	1	0,130	0,429	0,560	0,000
ФЕ за N	–	–	1	0,192	0,217	0,485
ФПЛ за B	–	–	–	1	0,286	0,140
МФБ за B	–	–	–	–	1	0,162
ФЕ за B	–	–	–	–	–	1

На основі всього масиву оригінальних даних було проведено кластерний аналіз. Отримана дендрограма чітко розділилась на три кластери (рис. 2).

Отримані величини K_S дозволяють стверджувати, що видовий склад ДК планктону, бентосу й епіфітону суттєво відрізняється. При цьому ДК, виділені лише за чисельністю чи біомасою, не можуть повною мірою характеризувати різноманіття досліджуваних водоростевих угруповань. Це особливо важливо враховувати для гетерогенних континентальних гідроекосистем, які формуються лотичними і лентичними біотопами. Підтвердженням наведеного вище є те, що розрахований за оригінальними даними K_S для всього ДК (76 видів), виділеного за чисельністю та біомасою, складає 0,580. Аналогічні дані отримані при порівнянні ДК лотичних і ДК лентичних біотопів Канівського вдсх (табл. 5).

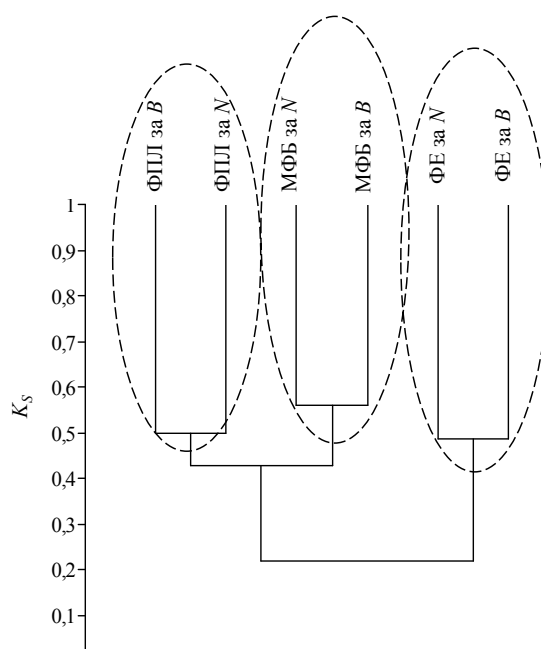


Рис. 2. Дендрограма подібності домінуючих комплексів фітопланктону (ФПЛ), мікрофітобентосу (МФБ) та фітоепіфітону (ФЕ) Канівського вдсх за чисельністю (N) і біомасою (B) за коефіцієнтом Серенсена (K_S)

Таблиця 5. Порівняння домінуючих комплексів (за N та B) фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоепіфітону в лотичних і лентичних біотопах за коефіцієнтом Серенсена (K_S)

Екологічна група	K_S між лотичними і лентичними екосистемами	
	ДК за N	ДК за B
Фітопланктон	0,522	0,488
Мікрофітобентос	0,485	0,571
Фітоепіфітон	0,385	0,500

Якщо розглядати ДК за чисельністю, то з наведених у таблиці даних видно, що найбільша подібність між лотичними та лентичними біотопами характерна для фітопланктону, менша – для мікрофітобентосу, найменша – для фітоепіфітону. Якщо ж розглядати ДК за біомасою, то найбільша подібність між лотичними та лентичними біотопами характерна для фітомікробентосу.

У результаті кластерного аналізу з урахуванням біотопічного розподілу водоростевих угруповань (лотичні та лентичні біотопи)

отримано дендрограму, яка розділилася на три окремі великі кластери для ДК планктону, бентосу, епіфітону, виділені як за чисельністю, так і за біомасою. Важливо, що в межах кожного з них виокремилося по два кластери ДК – для лотичних і лентичних екосистем (рис. 3).

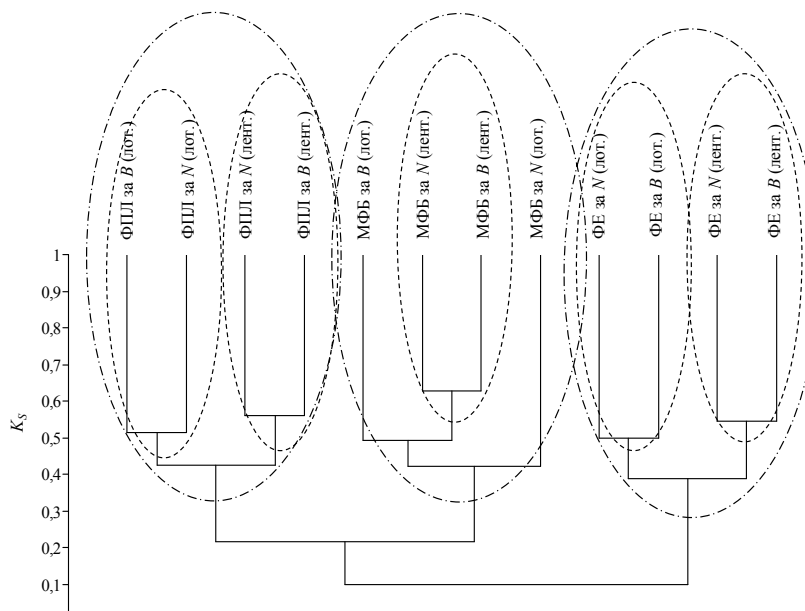


Рис. 3. Дендрограма подібності домінуючих комплексів фітопланктону (ФПЛ), мікрофітобентосу (МФБ) та фітоепіфітону (ФЕ) Канівського вдсх за чисельністю (N) і біомасою (B) у лотичних (лот.) і лентичних (лент.) біотопах за коефіцієнтом Серенсена (K_S)

Вищий рівень подібності між фітопланктоном та мікрофітобентосом, ніж між фітопланктоном та фітоепіфітоном, пояснюється наступним. У мікрофітобентосі зазвичай зустрічаються планктонні форми, які осідають з товщі води на дно внаслідок несприятливих гідрологічних умов (вітрохвильова активність, швидкість течії), або наприкінці вегетації чи за інших екологічних умов в екосистемі.

У той же час на вищих водяних рослинах в епіфітоні домінують переважно види, які пристосовані до прикріпленого способу життя (*Cocconeis placentula*, *Rhicosphenia abbreviata*, види роду *Cymbella* тощо). Хоча деякі планктонні форми, наприклад *Microcystis aeruginosa*, за рахунок колоніального слизу можуть затримуватися на рослинах і тимчасово входити до складу ДК.

Таким чином, можна вважати, що:

– при аналізі видового складу, кількісних показників (чисельність, біомаса) ДК різних водоростевих угруповань первинними є відмінності між ними;

– характеристика ДК залежить від того, який метод застосований при його виділенні – за показниками чисельності чи біомаси;

– важливою є біотопічна приуроченість водоростевих угруповань (у нашому випадку це лотичні та лентичні біотопи);

– для отримання інформативних та репрезентативних даних за видовим складом, кількісним розвитком ДК планктону, бентосу, епіфітону необхідно проводити їхнє виділення як за показниками чисельності, так і біомаси.

Трофність Канівського вдсх. Функціонування будь-якої екосистеми насамперед визначається потоками енергії й колообігом речовин. Енергетичною основою цих процесів є автотрофна ланка, яка у водних екосистемах залежить від кількісного розвитку зелених рослин, зокрема водоростевих угруповань різних екологічних груп, і є визначальною у формуванні трофічного статусу екосистем.

Існують різні класифікації різнотипних екосистем, включаючи водні, за кількісними показниками компонентів біоти – від гранично низьких (оліготрофних) до максимально високих (гіперевтрофних) (Odum, 1953).

На основі методики, розробленої для характеристики водних об'єктів України за гідробіологічними показниками (Methods..., 2006), та оригінальних даних щодо кількісних величин розвитку фітопланктону, фітобентосу, фітоепіфітону в літній сезон 2017–2022 р. (див. табл. 1, 2), було оцінено сучасний трофічний статус Канівського вдсх.

Актуальність і теоретичне значення цієї роботи полягає в комплексному методичному підході, коли для оцінки трофності паралельно аналізуються всі водоростеві угруповання, на відміну від підходу, за якого використовується тільки одне угруповання (зокрема, фітопланктон) (Shcherbak, Maistrova, 2001). Це дозволяє отримати більш об'єктивні дані та провести порівняльний аналіз трофності великого рівнинного внутрішньокаскадного водосховища в сучасних умовах довкілля за водоростями різних екологічних груп. Також це розширює можливості проведення ретроспективного аналізу з використанням більшої кількості публікацій за результатами раніше проведених досліджень.

У табл. 6 наведено оригінальні дані з комплексної оцінки трофності екосистеми Канівського вдсх в літній сезон 2017–2022 рр. за кількісними показниками водоростей планктону та контурних угруповань (бентосу й епіфітону).

Таблиця 6. Характеристика трофності Канівського вдсх за кількісними показниками водоростевих угруповань*

№	Екологічне угруповання	Кількісні показники	Величина градації	Трофність	
				Розряд	Переважаючий клас
1	Фіто-планктон	N , тис. кл./дм ³	Вища за середню – висока	евполітрофний–політрофний	політрофний
		% <i>Cyanobacteria</i> в ΣN	Вища за середню – дуже висока	евполітрофний–політрофний	евтрофний
		B , мг/дм ³	Середня – вища за середню	евтрофний–політрофний	евтрофний
Контурні угруповання					
2	Мікрофіто-бентос	N , тис. кл./10 см ²	Нижча за середню – вища за середню	мезотрофний–евполітрофний	мезотрофний
		B , мг/10 см ²	Нижча за середню	мезотрофний–евтрофний	мезотрофний
3	Фітоепіфітон	N , тис. кл./10 см ²	Дуже низька	олігомезотрофний	оліго-мезотрофний
		B , мг/10 см ²	Дуже низька – нижча за середню	олігомезотрофний–мезоевтрофний	мезоевтрофний

* Кількісні показники (чисельність, біомаса) і структурну організацію водоростей планктону, бентосу, епіфітону, використані для розрахунків, наведено в табл. 1, 2.

Отже, узагальнюючий аналіз дозволяє стверджувати наступне.

1. Отримання об'єктивних даних щодо водоростевих угруповань різних екологічних груп у формуванні трофічного статусу гідроекосистем є неможливим без визначення кількісних показників – величин чисельності й біомаси та їхньої просторово-часової динаміки.

2. Кількісні показники (чисельність, біомаса) кожного дослідженого водоростевого угруповання можуть бути використані для оцінки трофічного статусу гідроекосистеми.

3. Універсальність застосування методичного підходу дозволяє використовувати його як для лотичних, так і лентичних гідроекосистем.

4. Висока мінливість величин чисельності та біомаси водоростей планктонних і контурних угруповань повною мірою віддзеркалюється в отриманих категоріях трофності. Так, розряди трофності змінюються від оліго-мезотрофного до політрофного, тоді як класи трофності – від мезотрофного до евтрофного.

5. Отримані відмінності в показниках трофності за чисельністю водоростевих угруповань та їхньою біомасою зумовлені співвідношенням дрібноклітинних і крупноклітинних форм водоростей. Наприклад, у планктоні домінують дрібноклітинні *Cyanobacteria*, а в контурних угрупованнях – крупноклітинні *Bacillariophyta*.

6. Відмінність у результатах оцінки трофічного статусу гідро-екосистеми за планктоном і контурними угрупованнями зумовлена тим, що в літній період по акваторії водосховища в поверхневих горизонтах домінують *Cyanobacteria*, які екранують розвиток водоростей контурних угруповань. Очевидно, що виходячи з біології та екології водоростей у ранньовесняний, осінньо-зимовий періоди, показники трофності водоростей контурних угруповань будуть вищими.

7. Встановлена закономірність цілком узгоджується з «теорією альтернативних стабільних режимів», відповідно до якої у водних екосистемах існують два режими: «режим високої каламутності» (коли переважає розвиток фітопланктону) і «режим прозорі води» (переважає розвиток контурних угруповань – мікрофітобентосу, фітоепіфітону) (Hansson, 1992; Scheffer, Carpenter, 2001; Scheffer, Van Nes, 2007). Отже, згідно з цією теорією, в літній сезон Канівське вдсх знаходиться в «режимі високої каламутності», зумовленої інтенсивним розвитком планктонних *Cyanobacteria*. Водночас у ранньовесняний та осінньо-зимовий періоди вегетація фітопланктону є меншою. Відповідно, екосистема переходить у «режим прозорі води» і розвиток контурних угруповань інтенсифікується. Аналогічні закономірності для дніпровських екосистем були описані раніше (Shcherbak et al., 2020).

8. Для отримання репрезентативних даних з оцінки трофічного статусу будь-якої гідроекосистеми необхідно використовувати оригінальні дані, отримані в різні вегетаційні сезони, що є особливо актуальним за сучасних умов глобальних змін клімату.

9. Отримані оригінальні дані в сучасних умовах характеризують Канівське вдсх як високоевтрофну екосистему, в якій різнотипні водоростеві угруповання автотрофної ланки повністю забезпечують життєдіяльність і різноманіття гідробіонтів вищих трофічних рівнів.

Вважаємо, що наведені оригінальні дані щодо трофічного статусу Канівського вдсх можуть бути доповнені інформаційним індексом

Шеннона. Так, проведені розрахунки індексу Шеннона за чисельністю (H_N) дозволяють стверджувати:

– високий трофічний статус Канівського вдех у літні сезони 2017–2022 рр. підтверджують значні величини H_N – від 1,54–1,84 до 3,77–3,82 біт/екз;

– середнє значення H_N для планктону складало $2,09 \pm 0,19$ біт/екз, що є меншим, ніж для бентосу ($3,16 \pm 0,13$ біт/екз) та фітоепіфітону ($3,24 \pm 0,26$ біт/екз). Це зумовлено тим, що в планктоні спостерігалось монодомінування *Cyanobacteria*, середня частка яких складала $81 \pm 5\%$. У той же час у контурних угрупованнях частка цього відділу була значно меншою;

– для водоростей усіх екологічних груп вищі середні значення H_N отримані для лентичних біотопів (від $2,80 \pm 0,28$ біт/екз до $3,08 \pm 0,47$ біт/екз), нижчі – для лотичних (від $2,55 \pm 0,42$ біт/екз до $2,79 \pm 0,49$ біт/екз);

– порівняння сучасних оригінальних даних з ретроспективними показує тенденцію до певного зниження показників H_N фітопланктону як у лентичних, так і лотичних біотопах. Це повністю узгоджується зі збільшенням абсолютних і відносних кількісних показників *Cyanobacteria* та їхнього монодомінування в планктоні впродовж XXI ст. порівняно з 90-ми роками XX ст. (див. табл. 1–3 та: Shcherbak, Maystrova, 2001). Вважаємо, що основними чинниками, які зумовлюють інтенсифікацію розвитку *Cyanobacteria*, є зростання вмісту фосфатів (PO_4^{3-}) у воді та підвищення її температури.

Отже, використання інформаційного індексу Шеннона (H_N) паралельно з відомою методологією (Methods..., 2006) дозволяє отримати більший масив репрезентативних даних для оцінки трофності водних екосистем у сучасних умовах. При цьому індекс Шеннона (H_N) є досить інформативним при порівнянні оригінальних даних з ретроспективними, що дозволяє простежити тенденції сукцесій водоростевих угруповань.

Якість водного середовища. Загальновідомо, що водоростеві угруповання за своїми сапробіологічними характеристиками можуть використовуватись як біоіндикатори якості водного середовища.

Для отримання об'єктивніших даних, а також підтвердження репрезентативності біологічного методу паралельно було проведено визначення якості водного середовища за абіотичними (фізичними та гідрохімічними) показниками згідно з «Еколого-санітарною класифікацією поверхневих вод» (Romanenko et al., 1990).

Якість водного середовища за водоростевими угрупованнями. Оцінку виконано за наступними критеріями:

– за співвідношенням видів-індикаторів різних зон сапробності – від α -сапробів до α -р-сапробів;

– за кількісними індексами Пантле-Букк у модифікації Сладечека, розрахованими за чисельністю (S_N) та біомасою (S_B) видів-індикаторів.

Проведений сапробіологічний аналіз показав, що із 311 видових і внутрішньовидових таксонів водоростей Канівського вдсх (Shcherbak et al., 2023) для 223 встановлені сапробіологічні показники (Varinova et al., 2006). Так, зі 147 видів, ідентифікованих у планктоні, видами-індикаторами різних зон сапробності є 114 (78%); у мікрофітобентосі зі 188 видів і фітоепіфітоні зі 143 видів – 150 (82%) та 111 (78%) відповідно.

Отримані високі показники частки видів-індикаторів сапробності вказують на наступне:

– водорості є репрезентативними індикаторами якості водного середовища;

– видами-індикаторами якості води можуть слугувати водорості планктону, бентосу та епіфітону.

Аналіз отриманих оригінальних даних показав, що незалежно від біотопічної приуроченості в усіх водоростевих угрупованнях присутні види-індикатори кожної зони сапробності. Але за кількістю видів-індикаторів та часткою індикаторів кожної із зон встановлено суттєві відмінності (рис. 4).

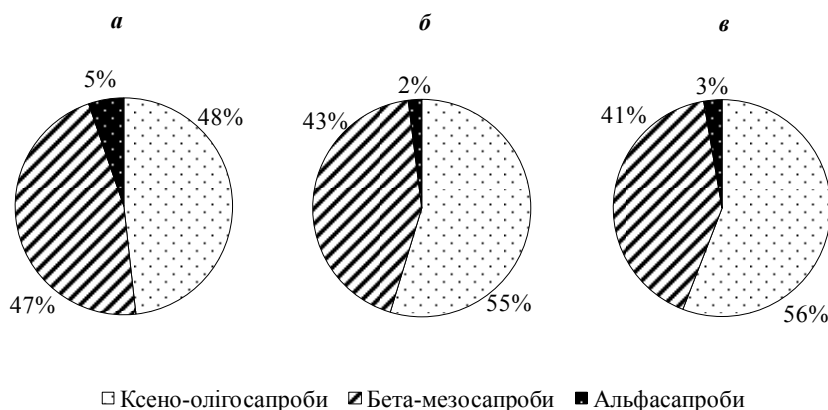


Рис. 4. Співвідношення водоростей-індикаторів сапробності в планктоні (а), бентосі (б) та епіфітоні (в) Канівського вдсх у літні сезони 2017–2022 рр.

Так, найбільша кількість видів-індикаторів з планктону, бентосу, перифітону практично в близькому співвідношенні належала до α -сапробів і β -мезосапробів. Згідно з Romanenko et al. (1990), це відповідає I та II класу якості вод (гранично чиста–чиста) та III класу (задовільно чиста).

З огляду на оцінку якості водного середовища Канівського вдсх в сучасних умовах важливо зауважити, що найменш різноманітно (3–6 таксонів, 2–5%) були представлені α -сапроби, які є індикаторами IV класу якості води (забруднена), і зовсім не ідентифіковані види-індикатори ρ -сапробної зони, характерні для «дуже брудних» вод. Це вказує на відсутність точкових чи розсіяних джерел значного надходження у водосховище побутово-стічних неочищених вод, що в цілому співпадає з раніше проведеними дослідженнями (Shcherbak, Maystrova, 2001).

Таблиця 7. Оцінка якості водного середовища за показниками індексу Пантле-Букк у модифікації Сладечека за чисельністю (S_N) і біомасою (S_B) водоростей-індикаторів сапробності в планктоні, бентосі та епіфітоні Канівського вдсх у літні сезони 2017–2022 рр.

Екологічне угруповання	Показник індексу сапробності		Якість водного середовища (Екологическая оценка..., 1990)			
	S_N	S_B	Зона сапробності	Категорія якості води	Клас якості води	
					Клас	Назва класу
Фітопланктон	<u>1.66–1.90</u> 1,76±0,01	<u>1.66–2.48</u> 1,94±0,04	β' – β'' - мезосапробні	Досить чисті – слабо забруднені	II– III	Чисті – задовільно чисті
Мікрофітобентос	<u>1.47–2.50</u> 1,98±0,09	<u>1.42–2.25</u> 1,95±0,06	α -олігосапробні– β'' -мезосапробні	Досить чисті – слабо забруднені	II– III	Чисті – задовільно чисті
Фітоепіфітон	<u>1.48–1.86</u> 1,67±0,05	<u>1.43–1.80</u> 1,65±0,06	α - олігосапробні– β' -мезосапробні	Чисті – досить чисті	II– III	Чисті – задовільно чисті

Примітка. Над рискою – межі коливань показників, під рискою – середні величини \pm стандартна помилка.

Аналіз отриманих числових значень індексів сапробності Пантле-Букк у модифікації Сладечека дозволяє стверджувати, що, як і в першому випадку, кожна з екологічних груп водоростей може характеризувати якість водного середовища. Порівняння індексів сапробності, розрахованих за чисельністю та біомасою видів-індикаторів, показало певну їхню відмінність для фітопланктону та мікрофітобентосу. Але це віддзеркалюється тільки на показниках зон сапробності та категоріях якості,

тоді як класи якості води ідентичні. У той же час показникам якості водного середовища за фітоепіфітоном притаманні величини, характерні для більш чистих вод, і практично не встановлено відмінностей між величинами S_N і S_B , що можна пояснити більшою специфічністю цієї групи водоростей та її більшою ізолюваністю від планктону та бентосу (табл. 7).

Отже, результати оцінки якості води, виконаної за двома біологічними методиками, співпадають, оскільки модальними класами є II і III, що відповідає критеріям «чисті» й «задовільно чисті» води.

Оцінка якості водного середовища за абіотичними чинниками

За гідрофізичними показниками (прозорість води за диском Секкі) якість водного середовища коливалась у межах, характерних для о-сапробної та β -мезосапробної зони. Це відповідає II–III класам якості води (чисті–задовільно чисті).

Згідно з використаною низкою гідрохімічних показників, якість водного середовища характеризувалася наступним чином:

за іонним складом:

– Cl^- – о-сапробна– β' -мезосапробна – II–III клас якості води (чисті–задовільно чисті води);

– SO_4^{2-} – о-сапробна зона – II клас якості води (чисті води);

– мінералізація води – о-сапробна зона – II клас (чисті води);

за вмістом біогенних елементів:

– NH_4^+ – β' -мезосапробна зона, III клас (задовільно чисті води);

– NO_2 – о-сапробна зона – II клас (чисті води);

– NO_3 – о-сапробна– β' -мезосапробна зона, II–III клас якості води (чисті – задовільно чисті води);

– PO_4^{3-} – о-сапробна– β' – β'' -мезосапробна – II–III клас якості води (чисті–задовільно чисті води);

– PO – β' – β'' -мезосапробна зона, III клас якості води (задовільно чисті води);

– BO – о-сапробна– β' -мезосапробна зона – II–III клас якості води (чисті–задовільно чисті води).

Отже, за низкою абіотичних показників якість водного середовища характеризується в межах о-сапробної– β' – β'' -мезосапробних зон, що відповідає II–III класу. При цьому модальним є II клас. Віднесення якості вод до III класу за іонами Cl^- , NH_4^+ і PO_4^{3-} вказує на певне антропогенне забруднення Канівського вдсх.

Отримані відмінності між результатами оцінки якості води за PO і BO показують, що основним джерелом органічних сполук у Канівському вдсх є легкоокиснювані органічні речовини, які утворюються при деструкції

(лізісі) водоростевих клітин. Це підтверджують також показники співвідношення ПО/ДО (Yakushin et al., 2019).

У цілому оцінка якості води, проведена за сапробіологічними характеристиками водоростей планктону, бентосу та епіфітону й низкою абіотичних показників, показала, що модальними класами якості водного середовища Канівського вдсх у літній період 2017–2022 рр. є II–III (чисті–задовільно чисті води). Важливо, що в планктоні, бентосі та епіфітоні тільки поодинокі траплялися α -мезосапроби (IV клас якості вод – забруднена вода), а також не ідентифіковано водоростей-індикаторів р-сапробної зони (V клас якості води – брудна вода). Це дозволяє припустити, що на сьогодні в пелагіалі та літоралі акваторії Канівського вдсх відсутні потужні точкові чи розсіяні джерела забруднення неочищеними стічними побутовими водами, які можуть значно погіршити якість водного середовища.

Таким чином, результати оцінки якості води за сапробіологічними характеристиками водоростей-індикаторів повною мірою корелюють з абіотичними показниками гідроекосистеми. Водночас однаково репрезентативними є дані, отримані з використанням сапробіологічних характеристик фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону. Останнє до певної міри спрощує використання водоростевих угруповань в якості біотичних складових при проведенні Державного моніторингу масивів поверхневих вод України, у підготовці високопрофесійних спеціалістів-альгологів, зменшує кількість необхідного польового і лабораторного обладнання, реактивів тощо.

Висновки

У період досліджень кількісні показники альгоугруповань коливались у межах декількох порядків. У фітопланктоні чисельність складала 2780–124155 тис. кл./дм³, біомаса – 0,631–11,636 мг/дм³. Відповідно, у мікрофітобентосі – 390–13874 тис. кл./10 см² та 0,162–2,651 мг/10 см², а в фітоепіфітоні – 50–680 тис. кл./10 см² та 0,050–1,679 мг/10 см². У лотичних біотопах розвиток фітопланктону був дещо вищим, ніж у лентичних, що зумовлено значним фітостоком з Київського вдсх і приток (річки Десна, Красна, Стугна, Трубіж) та інтенсивними внутрішньоводойними процесами. Для мікрофітобентосу характерна протилежна закономірність – вищі кількісні показники були в лентичних біотопах, а для фітоепіфітону таких відмінностей не встановлено. Структурна організація планктону та бентосу була представлена олігодомінантними комплексами *Cyanobacteria–Bacillariophyta* та *Bacillariophyta–Cyanobacteria*, а фітоепіфітону – моно-

домінантним комплексом *Bacillariophyta*. Субдомінантами в усіх угрупованнях виступали *Chlorophyta*.

Домінуючий комплекс за чисельністю та біомасою налічував 76 видів, які переважно належали до відділів *Cyanobacteria* (29%), *Bacillariophyta* (51%) і *Chlorophyta* (16%).

Висока мінливість кількісного розвитку зумовила те, що тільки домінантами виступали 9 видів, тільки субдомінантами – 30 видів, і найбільша кількість видів (37) за різних умов виступали в якості домінантів чи субдомінантів. Це вказує на те, що для об'єктивної характеристики домінуючого комплексу необхідно оперувати як видами-домінантами, так і видами-субдомінантами.

Кластерний аналіз показав, що домінуючі комплекси водоростевих угруповань чітко розділяються на три окремі кластери: для планктону, бентосу та епіфітону, а в кожному з них у свою чергу виділяється два – для лотичних і лентичних біотопів. Очевидно, це теж необхідно враховувати під час дослідження гетерогенних гідроекосистем, зокрема таких, як великі рівнинні водосховища.

Коефіцієнт Серенсена для домінуючих комплексів водоростевих угруповань за чисельністю чи біомасою коливався від 0,130 до 0,560. Це свідчить про нагальну необхідність використання обох методичних підходів для характеристики домінуючих комплексів водоростей планктону, бентосу та епіфітону.

Високі кількісні показники, різноманітні домінуючі комплекси водоростевих угруповань формуються за позитивного впливу низки абіотичних чинників. Наприклад, між інтенсивністю сонячної інсоляції та фітопланктоном існує пряма позитивна кореляція, а для контурних угруповань важливим є те, що фотична зона реєструється на більшій частині акваторії водосховища.

Сучасний феномен зростання літніх температур води є чинником, який сприяє розвитку *Cyanobacteria* та пригнічує вегетацію *Bacillariophyta*, тому останні більше домінують не в планктонних, а в контурних угрупованнях. При цьому вміст мінеральних форм азоту та фосфору є для них достатнім ресурсом, а отже не лімітує вегетації водоростей.

Встановлено, що кожне з водоростевих угруповань може бути використане для оцінки трофності лотичних і лентичних біотопів водосховища. Важливо, що за фітопланктоном трофічний статус водосховища характеризується в межах евтрофного–політрофного класів, а за контурними угрупованнями є дещо нижчим – у межах оліго-мезотрофного – мезотрофного класів. Встановлені відмінності зумовлені тим, що в літній період у поверхневих горизонтах домінують

Cyanobacteria, які до певної міри «екранують» розвиток контурних угруповань. Встановлена закономірність узгоджується із загальновідомою теорією «альтернативних стабільних режимів». Згідно з нею можна вважати, що в літній сезон Канівське водосховище перебуває в «режимі високої каламутності», а в осінньо-зимовий сезон, при зниженні розвитку планктонних *Cyanobacteria*, переходить у «режим прозорої води», коли більш інтенсивно вегетують контурні угруповання. Відповідно трофічний статус, визначений за контурними угрупованнями, в цей період буде характеризуватися вищими показниками.

Вважаємо, що оцінка трофності гідроекосистеми може бути доповнена також величинами інформаційного індексу Шеннона (H_N), особливо при проведенні ретроспективного аналізу.

Сапробіологічний аналіз показав, що види-індикатори в планктоні склали 78%, у контурних угрупованнях – 78–82% і належали до різних зон сапробності: від χ -о-сапробної до α -сапробної зони, що відповідає I–IV класам якості вод. З них модальними були II–III класи (чисті–задовільно чисті води). Аналогічні закономірності отримані також за кількісними індексами Пантле-Букк у модифікації Сладечека, які змінювались у межах: S_N – 1,47–2,50, S_B – 1,42–2,48. Важливо, що в жодній екологічній групі водоростей не було ідентифіковано видів-індикаторів ρ -сапробної зони (V клас якості – брудні води). Це дозволяє припустити, що на сьогодні в акваторію водосховища не надходять неочищені побутові стічні води з точкових чи розсіяних джерел забруднення води.

Таким чином, у літній період в останні роки водоростеві угруповання планктону, бентосу та епіфітону Канівського водосховища характеризуються високим кількісним розвитком, що дозволяє автотрофній ланці забезпечувати оптимальну життєдіяльність гідробіонтів вищих трофічних рівнів, а в межах м. Києва ще й різноманітні потреби соціуму.

Список літератури

- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. *Biodiversity of algae – indicators of the environment*. Tel Aviv: PiliesStud. 498 p. [Барінова С.С., Медведєва Л.А., Анисимова О.В. 2006. *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды*. Тель Авив: PiliesStud. 498 с.].
- Biological glossary*. 1986. Ed. K.M. Sytnyk, V.O. Topachevskiy. Kyiv: USE. 680 p. [Біологічний словник. 1986. За ред. К.М. Ситника, В.О. Топачевського. Київ: УРЕ. 680 с.].
- Davydov O.A., Larionova D.P. 2015. Transformation of the microphytobenthos littoral algal cenosis structure in the river section of Kaniv Water Reservoir within Kyiv industrial area. *Sci. Issues Ternop. Volodymyr Hnatiuk Nat. Ped. Univ.* 3–4(64): 147–178. [Давыдов О.А.,

- Ларионова Д.П. 2015. Трансформація структури литорального альгоценоза мікрофітобентоса річкової частини Канівського водохранилища в межах промислової зони г. Києва. *Наук. записки Терноп. Держ. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка*. 3–4(64): 147–178].
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2023. *AlgaeBase*. World-wide electron. Publ. Nat. Univ. Ireland, Galway.
- Hansson L.-A. 1988. Effects of competitive interactions on the biomass development of planktonic and periphytic algae in lakes. *Limnol. Oceanogr.* 33(1): 121–128.
- Hydrology and hydrochemistry of the Dnieper and its reservoirs*. 1989. Ed. M.A. Shevchenko. Kyiv: Nauk. Dumka. 216 p. [Гідрологія та гідрохімія Дніпра та його водохранилищ. Під ред. М.А. Шевченко. Київ: Наук. думка. 216 с.].
- Jørgensen S.E. 1980. *Lake Management (Water Development, Supply and Management)*. Oxford: Pergamon Press. 167 p.
- Klochenko P., Shevchenko T. 2017. Distribution of epiphytic algae on macrophytes of various ecological groups (the case study of water bodies in the Dnieper River basin). *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* 46(3): 283–293.
- Maistrova N.V. 2002. New floristic finding in the plankton of the Kaniv Reservoir. *Algologia*. 12(4): 451–459. [Майстрова Н.В. 2002. Новые флористические находки в планктоне Каневского водохранилища. *Альгология*. 12(4): 451–459].
- Methods of hydroecological investigations of surface waters*. 2006. Ed. V.D. Romanenko. Kyiv: Logos. 408 p. [Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. 2006. За ред. В.Д. Романенка. Київ: Логос. 408 с.].
- Odum E.P. 1953. *Fundamentals of ecology*. Philadelphia: Saunders Co. 384 p.
- Oksiyuk O.P., Timchenko V.M., Davydov O.A. et al. 1999. *State of ecosystem of the Kyiv section of Kaniv Water Reservoir and the ways of its regulation*. Kyiv. 60 p. [Оксиюк О.П., Тимченко В.М., Давыдов О.А. и др. 1999. *Состояние экосистемы Киевского участка Каневского водохранилища и пути его регулирования*. Киев. 60 с.].
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A., Dyachenko T.N. et al. 2005. *Benthic vegetation of the river section of the Kanev Reservoir*. Kyiv: Logos. 40 p. [Оксиюк О.П., Давыдов О.А., Дьяченко Т.Н. и др. 2005. *Донная растительность речного участка Каневского водохранилища*. Киев: Логос. 40 с.].
- Priymachenko A.D. 1981. *Phytoplankton and primary production of the Dnieper River and its reservoirs*. Kyiv: Nauk. Dumka. 228 p. [Приймаченко А.Д. 1981. *Фитопланктон и первичная продукция Днeпра и днепровских водохранилищ*. Киев: Наук. думка. 228 с.].
- Reynolds C.S. 1996. Algae. In: *River Biota. Diversity and Dynamics*. Oxford: Black. Sci. Pp. 6–26.
- Roll Ya.V., Markovskiy Yu.M. 1955. Plankton of the Middle Dnieper in connection with prognosing the Kremenchug Reservoir. *Zool. J.* 34(3): 506–521. [Ролл Я.В., Марковский Ю.М. 1955. Планктон среднего Днeпра в связи с прогнозом Кременчугского водохранилища. *Зоол. журн.* 34(3): 506–521].
- Romanenko V.D., Oksiyuk O.P., Zhukinskiy V.N. et al. 1990. *Ecological assessment of hydrotechnical construction impact upon water bodies*. Kyiv: Nauk. Dumka. 256 p.

- [Романенко В.Д., Окснюк О.П., Жукинський В.Н. и др. 1990. *Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты*. Киев: Наук. думка. 256 с.].
- Scheffer M., Van Nes E.H. 2007. Shallow lakes theory revisited: various alternative regimes driven by climate, nutrients, depth and lake size. *Hydrobiologia*. 584(1): 455–466.
- Scheffer M., Carpenter S., Foley J.A. et al. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*. 413: 591–596.
- Semeniuk N.Ye. 2020. *Epiphytic algal communities of the Dnieper basin waterbodies*: Dr. Sci. (Biol.) Abstract. Київ. 40 p. [Семенюк Н.Є. 2020. *Фітоеніфітон водних об'єктів басейну Дніпра*: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук. Київ. 40 с.].
- Semenyuk N.Ye., Shcherbak V.I. 2016. Structural and functional organization of phytoepiphyton of the Dnieper reservoirs and factors influencing its development. Rep. 1. Role of some hydrophysical factors. *Hydrobiol. J.* 52(5): 3–17.
- Shcherbak V.I. 1998. Production characteristics of dominant species of phytoplankton in the Dnieper water reservoirs. *Algologia*. 8(3): 286–294. [Щербак В.І. 1998. Продукционные характеристики доминирующих видов фитопланктона днепровских водохранилищ. *Альгология*. 8(3): 286–294].
- Shcherbak V.I. 2000. Photosynthetic Activity of Dominant Species of the Dnieper River Phytoplankton. *Hydrobiol. J.* 36(2): 71–84.
- Shcherbak V.I. 2002. Methods of studying phytoplankton. In: *Methodical fundamentals for hydrobiological studies of aquatic ecosystems*. Київ. Pp. 41–47. [Щербак В.І. 2002. Методи досліджень фітопланктону. В кн.: *Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем*. Київ. С. 41–47].
- Shcherbak V.I., Kuzmenko M.I. 1987. Intensity of photosynthesis by phytoplankton at various depths in the photic zone. *Hydrobiol. J.* 23(2): 20–23.
- Shcherbak V.I., Maistrova N.V. 2001. *Phytoplankton of the Kyiv section of the Kaniv Reservoir and factors affecting its development*. Київ: Ins. Hydrobiol. NAS Ukraine. 70 p. [Щербак В.І., Майстрова Н.В. 2001. *Фітопланктон кийівської ділянки Канівського водоймища та чинники, що його визначають*. Київ: Ін-т гідробіол. НАНУ. 70 с.].
- Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye. 2004. Effect of hydrological regime upon the phytoplankton structure in the adjacent water bodies of Kaniv water reservoir. In: *Science and education '2004: 7th International scientific and practical conference*. Dnipropetrovsk. Vol. 56. Biol. Sci. Pp. 77–79. [Щербак В.І., Семенюк Н.Є. 2004. Вплив гідрологічного режиму на структуру фітопланктону придаткових систем Канівського водосховища. В кн.: *Наука і освіта '2004: VII Міжнар. наук.-практ. конф.* Дніпропетровськ. Т. 56. Біол. науки. С. 77–79].
- Shcherbak V.I., Zadorozhnaya A.M. 2013. Seasonal dynamics of phytoplankton of the Kiev Section of the Kanev Reservoir. *Hydrobiol. J.* 49(4): 26–36.
- Shcherbak V.I., Maistrova N.V. 2019. Response of the Dnieper phytoplankton to nutrient regime alteration. In: *Prospects of hydroecological research in the context of environmental*

- problems and social challenges*: Proc. 8th Congr. Hydroecol. Soc. Ukraine. Kyiv. Pp. 100–102. [Щербак В.І., Майстрова Н.В. 2019. Реакція дніпровського фітопланктону на зміну біогенного режиму. В кн.: *Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів*: Зб. мат. VIII з'їзду Гідроекол. тов-ва України. Київ. С. 100–102].
- Shcherbak V.I., Yakushin V.M., Zadorozhnaya A.M. et al. 2016. Seasonal and interannual dynamics of phytoplankton, phytomicroepiphyton, and nutrients content in the River Section of the Kanev Reservoir. *Hydrobiol. J.* 52(1): 49–
- Shcherbak V.I., Maystrova N.V., Zadorozhna H.M. 2019. The Dnieper phytoplankton diversity. In: *Biodiversity and bioresource potential of the Dnieper water reservoirs under conditions of climate change and biological invasion*. Kyiv: Nauk. Dumka. Pp. 67–78. [Щербак В.І., Майстрова Н.В., Задорожна Г.М. 2019. Різноманіття дніпровського фітопланктону. В кн.: *Біорізноманіття та біоресурсний потенціал екосистем дніпровських водосховищ в умовах кліматичних змін і розвитку біологічної інвазії*. Київ: Наук. думка. С. 67–78].
- Shcherbak V., Sherman I., Semeniuk N., Kutishchev P. 2020. Autotrophic communities' diversity in natural and artificial water-bodies of a river estuary. A case-study of the Dnieper-Bug Estuary, Ukraine. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 20: 112–122.
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Yakushyn V.M. 2022. Phytoplankton structural and functional organization in a large lowland reservoir under the global climate change (case study of the Kaniv Reservoir). *Hydrobiol. J.* 2022. 58(6): 3–27.
- Shevchenko T.F., Klochenko P.D., Timchenko V.M., Dubnyak S.S. 2019. Epiphyton of a cascade plain reservoir under different hydrodynamic conditions. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 19(3): 407–416.
- Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye., Davydov O.A., Larionova D.P. 2023. Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv Reservoir. Rep. 1: Taxonomic, ecological diversity and spatial patterns. *Algologia*. 33(3): 147–184. [Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. 2023. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 1: Таксономічне, екологічне різноманіття та просторовий розподіл. *Альгологія*. 33(3): 147–184]. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147>
- Sørensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analyses of the vegetation of Danish commons. *Kong. Danske Videnskab. Selskab.* 5(4): 1–46.
- Tarashchuk O.S. 2009. Epiphyton algae communities of the river section of the Kanev Reservoir depending on ecological factors. *Hydrobiol. J.* 46(5): 33–50.
- Vegetation and bacterial population of the Dnieper and its reservoirs*. 1989. Eds L.A. Sirenko, I.L. Koreliakova, L.Ye. Mikhailenko. Kyiv: Nauk. Dumka. 232 p. [Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ. 1989. Под ред. Л.А. Сиренко, И.Л. Корелякова, Л.Е. Михайленко и др. Киев: Наук. думка. 232 с.].

- Yakushin V.M., Shcherbak V.I., Linchuk M.I. 2019. Hydrochemical regime of the water reservoirs under conditions of climate change. In: *Biodiversity and bioresource potential of the Dnieper water reservoirs under conditions of climate change and biological invasion*. Kyiv: Nauk. Dumka. Pp. 47–66. [Якушин В.М., Щербак В.І., Лінчук М.І. 2019. Гідрохімічний режим екосистем водосховищ в умовах змін клімату. В кн.: *Біорізноманіття та біоресурсний потенціал екосистем дніпровських водосховищ в умовах кліматичних змін і розвитку біологічної інвазії*. Київ: Наук. думка. С. 47–66].
- Yarmoshenko L.P. 2007. Formation of microphytobenthos in the upper part of Kaniv Reservoir under conditions of human impact: PhD (Biol.) Abstract. Kyiv. 24 p. [Ярмошенко Л.П. 2007. Формування мікрофітобентосу верхньої частини Канівського водосховища за умов антропогенного впливу: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. Київ. 24 с.].
- Zadorozhna G.M., Shcherbak V.I. 2017. Effect of solar radiation and water temperature on development of phytoplankton in the Kaniv Reservoir. *Hydrobiol. J.* 53(1): 18–27.

Shcherbak V.I. (<https://orcid.org/0000-0002-1237-6465>)

Semeniuk N.Ye. (<https://orcid.org/0000-0003-4447-3507>)

Davydov O.A. (<https://orcid.org/0009-0004-2381-723X>)

Larionova D.P. (<https://orcid.org/0009-0009-0222-9232>)

Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Prosp. Volodymyra Ivasiuka, Kyiv 04210, Ukraine

Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv Reservoir. Report 2: Abiotic variables, quantitative diversity, dominant species complex, trophic state, water quality

The paper studies quantitative diversity and dominant complexes of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton in lotic and lentic biotopes within the Kaniv Reservoir in summer seasons of 2017–2022, considers their association with some abiotic variables, assesses the trophic state, information diversity according to Shannon's index and water quality. The cell count of planktonic algae varied within 2780–124155 thous. cells · dm⁻³, biomass – 0.631–11.636 mg · dm⁻³, benthic algae – 390–13874 thous. cells · 10 cm⁻² and 0.162–2.651 mg · 10 cm⁻², epiphytic algae – 50–680 thous. cells · 10 cm⁻² and 0.050–1.679 mg · 10 cm⁻² respectively. In lotic biotopes the phytoplankton cell count was higher than in lentic biotopes due to algal inflow from the Kyiv Reservoir and tributaries. The structural organization of phytoplankton and microphytobenthos is represented by oligodominant complexes of *Cyanobacteria* – *Bacillariophyta* and *Bacillariophyta* – *Cyanobacteria* respectively, and phytoepiphyton – by monodominant complex of *Bacillariophyta*. The necessity to distinguish dominant complexes according to cell count and biomass has been proven. The dominant complexes of algal communities clearly divide into three clusters (for plankton, benthos and epiphyton), and each of

them – into two clusters (for lotic and lentic biotopes). The Sorensen similarity between phytoplankton and microphytobenthos was higher than between phytoplankton and phytoepiphyton, which can be explained by sedimentation of planktonic forms on the bottom under different ecological conditions. High cell count and biomass, diverse dominant complex of algal communities depend upon some abiotic variables (solar radiation, photic layer thickness, water temperature in summer, nutrient content). According to phytoplankton the trophic state of the Kaniv Reservoir is assessed as eutrophic–polytrophic, and according to contour algal communities – as oligo-mesotrophic–mesotrophic. This difference complies with the “alternative stable states” theory. That is, in summer the water reservoir is in “turbid state”, when planktonic *Cyanobacteria* grow intensively, screen the water surface and suppress the photosynthesis of benthic and epiphytic algal communities. The water quality of the Kaniv Reservoir is within the 1st–3rd classes (clean–satisfactory clean waters), there are no point of diffuse sources of water pollution, which mainly coincides with retrospective data.

Key words: quantitative development, cell count, biomass, dominant complex, abiotic variables, trophic state, water quality, phytoplankton, microphytobenthos, phytoepiphyton, Kaniv Reservoir

Citation. Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye., Davydov O.A., Larionova D.P. 2023. Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv Reservoir. Report 2: Abiotic variables, quantitative diversity, dominant species complex, trophic state, water quality. *Algologia*. 33(4): 247–277. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.247>