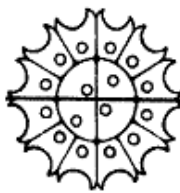


Том 33
4•2023



АЛГО
ЛОГІЯ

МІЖНАРОДНИЙ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ
ЖУРНАЛ

ALGOLOGIA

ЗАСНОВАНИЙ У БЕРЕЗНІ 1991 р.

• ВИХОДИТЬ 1 РАЗ НА ТРИ МІСЯЦІ • КИЇВ

ЗМІСТ

Екологія, ценологія, охорона та роль водоростей у природі

- 247** Шербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 2: Абіотичні чинники, кількісне різноманіття, домінуючий комплекс, трофічність та оцінка якості водного середовища
- 278** Суходольська І.Л., Грубінко В.В., Масовець Б.П. Особливості функціонування фітопланктону водойм міських територій (на прикладі Басівкутського водосховища, Україна)
- 292** Царенко П.М.[†], Заїменко Н.В., Демченко Е.М., Михайлюк Т.І., Дідик Н.П., Елланська Н.Е., Харитонova І.П., Бендеричек Т.Ю., Мельник В.І. Порівняльний аналіз ґрунтових екосистем заповідних та штучно створених букових лісів

Флора та географія

- 309** Борисова О.В. Особливості поширення *Nitellopsis obtusa* (Desv.) J.Groves (*Charophyta*, *Charales*) в Україні

Хроніка та інформація

- 324** Зінаїда Іванівна Ветрова (20.03.1931 – 17.08.2023)
- 328** Показчик статей, опублікованих у 2023 році

Наукові редактори випуску:

ВИНОГРАДОВА О.М., СЕМЕНЮК Н.Є.

Редактори

В.В. Несчетна, О.Є. Бондаренко

Адреса редакції: 01601 Київ, вул. Терещенківська, 2,
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАНУ, тел. 235-13-11

Address of the Editorial Office: M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine,
2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, tel. 235-13-11

e-mail: algologia@ukr.net

сайт: www.algologia.co.ua

Оригінал-макет виготовлено в редакції журналу «Альгологія»

Номер реєстраційного свідоцтва КВ-№ 21246-11046ПР від 27.02.2015

Затверджено до друку вченою радою Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАНУ
(протокол № 12 від 07 листопада 2023 р.)

Підп. до друку 30.11.2023. Формат 70×108/16. Ум.-друк. арк. 9,8. Обл.-вид. арк. 13,72.

Тираж 62 прим. Зам. №

Віддруковано ВД «Академперіодика» НАН України, вул. Терещенківська, 4, Київ 01024

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 544 від 27.07.2001

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

СЕМЕНЮК Н.Є.* (<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 водосховища 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 водосховища 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.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. 2023. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 2: Абіотичні чинники, кількісне різноманіття, домінуючий комплекс, трофічність 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, апріорі, 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. Щербаком (Vegetation..., 1989). У 90-ті рр. XX ст. фітопланктон водосховища було вивчено більш детально (Shcherbak, Maistrova, 2001; Maistrova, 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) (Barinova 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, Maistrova, 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- ники	Фітопланктон			Мікрофітобентос			Фітоепіфітон		
		Лотичні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом	Лотичні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом	Лотичні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом
<i>Cyanobacteria</i>	тис. кл.	1920–122525 30913±8649	2125–38246 11885±6795	1920–122525 26156±6880	976–2249 1531±220	*-9863 2183±1587	*-9863 1887±840	*-63 41±20	*-203 54±50	*-203 48±28
	%	63–99 90±3	30–95 55±11	30–99 81±5	31–81 56±8	*-71 25±13	*-81 39±9	*-37 16±11	*-30 8±7	*-37 11±6
<i>Bacillariophyta</i>	тис. кл.	168–1338 706±92	1418–9000 4309±1337	168–9000 1539±456	170–4573 1583±768	372–3893 1775±582	170–4573 1688±448	40–490 210±141	50–358 208±82	40–490 209±69
	%	1–20 5±1	4–56 36±10	1–56 13±4	14–67 40±8	28–100 70±12	14–100 56±9	58–83 70±7	50–100 86±12	50–100 79±7
<i>Chlorophyta</i>	тис. кл.	45–1110 615±90	150–1318 567±197	45–1318 603±81	20–122 59±17	*-100 58±14	*-122 58±10	8–38 21±9	*-134 36±33	*-134 30±18
	%	*-24 4±2	1–18 6±3	*-24 5±1	*-5 3±1	*-16 5±3	*-16 4±1	5–30 14±8	*-20 6±5	*-30 9±4
Інші	тис. кл.	*-678 154±52	*-858 200±165	*-858 165±54	*-10 5±2	*-17 5±3	*-17 5±2	*-3 1±1	*-2 1±1	*-3 1±1
	%	*-2 *	*-10 3±2	*-10 1±1	*	*	*	*	*	*
Σ	тис. кл.	2780–124155 32388±8742	7909–40106 16691±6378	2780–124155 28464±6842	1203–6847 3178±962	390–13874 4021±2079	390–13874 3638±1168	57–592 273±163	50–680 298±147	50–680 287±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 $3,263 \pm 0,680$ мг/дм³). У лотичних біотопах максимальні показники біомаси були вищими, ніж у лентичних і становили 0,531–11,636 мг/дм³ (у середньому $3,561 \pm 0,888$ мг/дм³) та 1,173–4,041 мг/дм³ (у середньому $2,371 \pm 0,495$ мг/дм³) відповідно (табл. 2). Основу біомаси в лотичних біотопах формували *Cyanobacteria* ($53 \pm 7\%$), в лентичних – *Bacillariophyta* ($70 \pm 6\%$). Показовим є те, що роль *Chlorophyta* у формуванні біомаси як у лотичних, так і в лентичних біотопах ($12 \pm 2\%$ та $14 \pm 6\%$ відповідно) була більш значущою, ніж у формуванні чисельності. Частка інших відділів водоростей у біомасі фітопланктону лотичних і лентичних біотопів становила всього $8 \pm 3\%$ та $4 \pm 2\%$ 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 мікрофітобентосу складали *Bacillariophyta*, частка яких була $70 \pm 12\%$; тоді як у лотичних вона не перевищувала $40 \pm 8\%$. У лотичних біотопах найчисельнішими були *Cyanobacteria* – $56 \pm 8\%$. 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 ($1,206 \pm 0,248$ мг/10 см²). Проте середні величини біомаси у лотичних і лентичних біотопах майже не відрізнялись ($1,267 \pm 0,358$ та $1,154 \pm 0,372$ 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		
		Лотичні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом	Лотичні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом	Лотичні біотопи	Лентичні біотопи	Загалом
<i>Cyanobacteria</i>	мг	0,025–9,301 2,427±0,775	0,014–0,575 0,250±0,105	0,014–9,301 1,883±0,616	0,078–0,329 0,200±0,043	*–0,235 0,078±0,044	*–0,329 0,134±0,035	*	*–0,016 0,004±0,003	*–0,016 0,002±0,002
	%	$\frac{5-89}{53 \pm 7}$	$\frac{* - 34}{12 \pm 6}$	$\frac{* - 89}{43 \pm 7}$	$\frac{6-48}{23 \pm 7}$	$\frac{* - 20}{5 \pm 3}$	$\frac{* - 48}{13 \pm 4}$	*	*–1 *	*–1 *
<i>Bacillariophyta</i>	мг	0,084–1,257 0,549±0,089	0,746–3,642 1,732±0,512	0,084–3,642 0,845±0,179	0,071–2,105 1,034±0,338	0,279–2,565 1,048±0,352	0,071–2,562 1,041±0,234	0,045–1,251 0,478±0,387	0,080–1,076 0,400±0,232	0,045–1,251 0,434±0,192
	%	$\frac{3-68}{27 \pm 6}$	$\frac{57-90}{70 \pm 6}$	$\frac{3-90}{38 \pm 6}$	$\frac{44-93}{73 \pm 8}$	$\frac{79-100}{91 \pm 3}$	$\frac{44-100}{83 \pm 5}$	$\frac{74-92}{86 \pm 6}$	$\frac{88-100}{97 \pm 2}$	$\frac{74-100}{92 \pm 3}$
<i>Chlorophyta</i>	мг	0,055–0,454 0,213±0,031	0,080–0,911 0,310±0,153	0,055–0,911 0,237±0,043	0,007–0,024 0,015±0,003	*–0,028 0,017±0,004	*–0,028 0,016±0,003	0,005–0,413 0,143±0,135	*–0,094 0,024±0,023	*–0,413 0,075±0,058
	%	$\frac{1-32}{12 \pm 2}$	$\frac{2-33}{14 \pm 6}$	$\frac{1 \pm 33}{12 \pm 2}$	$\frac{* - 8}{3 \pm 1}$	$\frac{* - 8}{2 \pm 1}$	$\frac{* - 8}{2 \pm 1}$	$\frac{8-25}{14 \pm 5}$	$\frac{* - 8}{2 \pm 1}$	$\frac{* - 24}{7 \pm 3}$
Інші	мг	*–2,236 0,370±0,187	*–0,157 0,078±0,032	*–2,236 0,297±0,142	*–0,061 0,018±0,011	*–0,024 0,011±0,005	*–0,061 0,015±0,006	*–0,031 0,008±0,005	*–0,031 0,007±0,005	*–0,031 0,007±0,005
	%	$\frac{* - 43}{8 \pm 3}$	$\frac{* - 12}{4 \pm 2}$	$\frac{* - 43}{7 \pm 2}$	$\frac{* - 4}{1 \pm 1}$	$\frac{* - 5}{1 \pm 1}$	$\frac{* - 5}{1 \pm 1}$	*	*–2 1±	*–2 *
Σ	мг	0,531–11,636 3,561±0,888	1,173–4,041 2,371±0,495	0,631–11,636 3,263±0,680	0,162–2,296 1,267±0,358	0,302–2,651 1,154±0,372	0,162–2,651 1,206±0,248	0,050–1,679 0,627±0,527	0,080–1,217 0,436±0,266	0,050–1,679 0,518±0,248

Примітка. Над рискою – межі коливань, під рискою – 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 альгоугрупованнях 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 тіньюлюбні 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, мікрофіто-бентосі та епіфітоні виділити 4 класи. На рис. 1 представлено розподіл цих класів частоти домінування видів за чисельністю й біомасою у фітопланктоні, мікрофітобентосі та фітоепіфітоні.

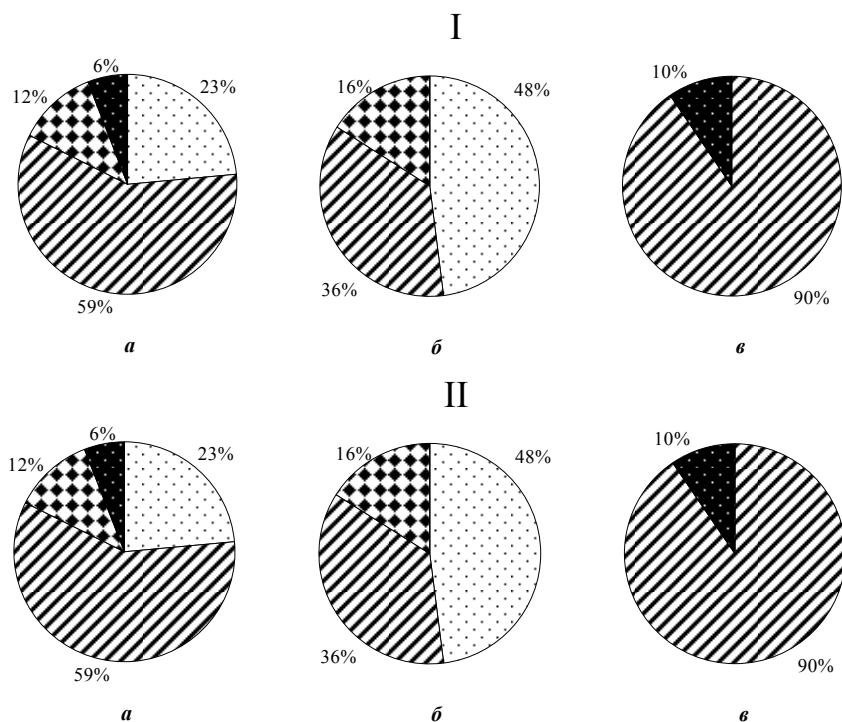


Рис. 1. Розподіл видів по класах частоти домінування за чисельністю (I) і біомасою (II) у фітопланктоні (а), мікрофітобентосі (б) та фітоепіфітоні (в) Канівського вдсх у літній сезон 2017–2022 рр. Відсотки біля кругових діаграм позначають частку видів-домінантів, які належать до відповідного класу

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).

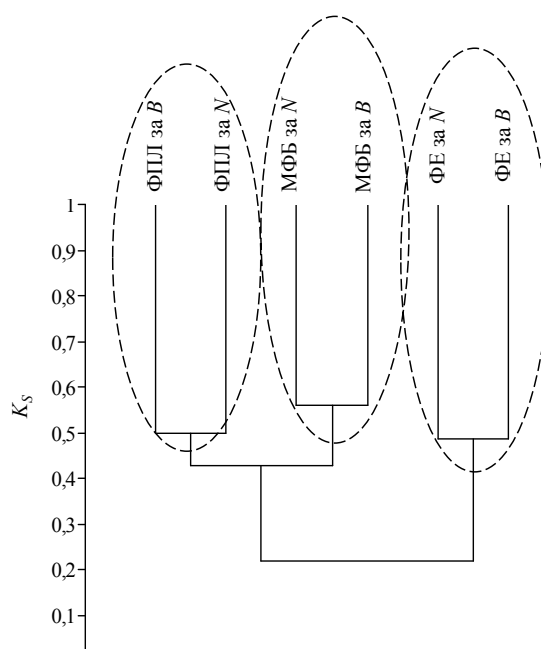


Рис. 2. Дендрограма подібності домінуючих комплексів фітопланктону (ФПЛ), мікрофітобентосу (МФБ) та фітоепіфітону (ФЕ) Канівського вдсх за чисельністю (N) і біомасою (B) за коефіцієнтом Серенсена (K_s)

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).

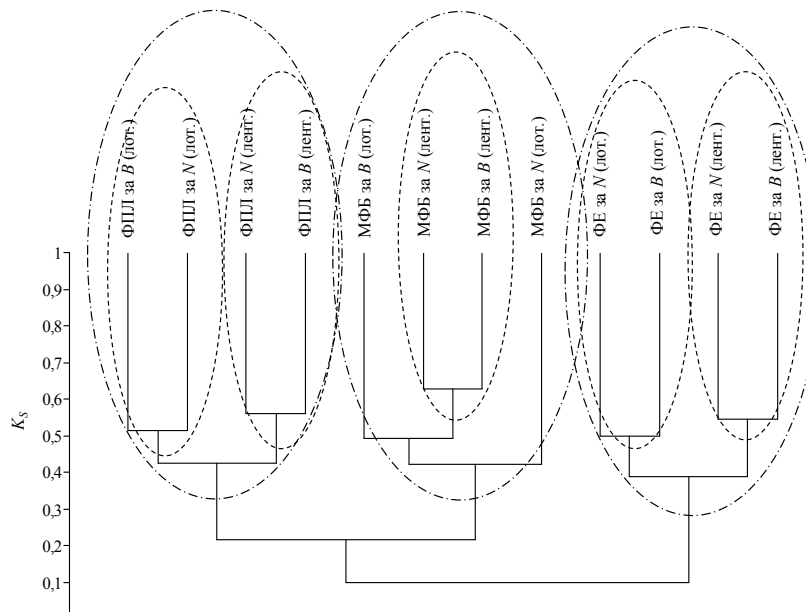


Рис. 3. Дендрограма подібності домінуючих комплексів фітопланктону (ФПЛ), мікрофітобентосу (МФБ) та фітоепіфітону (ФЕ) Канівського вдсх за чисельністю (N) і біомасою (B) у лотичних (лот.) і лентичних (лент.) біотопах за коефіцієнтом Серенсена (K_s)

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*, *Rhoicosphenia 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, Maystrova, 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 водсх 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 $\sum N$	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 прозорості 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 водосховище 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 прозорості 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 водосховище 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 водосховища можуть бути доповнені інформаційним індексом

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

- високий трофічний статус Канівського вдсх 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 мономінування *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 мономінування в планктоні впродовж ХХІ ст. порівняно з 90-ми роками ХХ ст. (див. табл. 1–3 та: Shcherbak, Maistrova, 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 sukcesій 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).

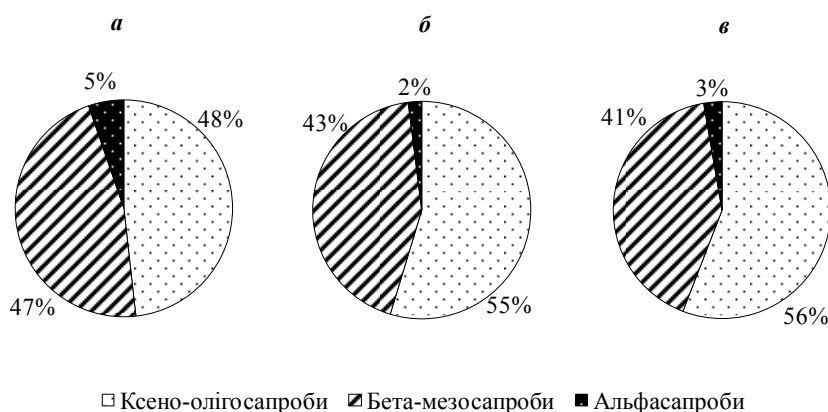


Рис. 4. Співвідношення водоростей-індикаторів сапробності в планктоні (а), бентосі (б) та епіфітоні (в) Канівського вдсх у літні сезони 2017–2022 рр.

Так, найбільша кількість видів-індикаторів з планктону, бентосу, перифітону практично в близькому співвідношенні належала до α -о-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, Maistrova, 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 (Экологическая 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 рисою – межі коливань показників, під рисою – 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

(лізисі) 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 складали 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 Пантиле-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. Topachevskyi. 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. Трансформация структуры литорального альгоценоза микрофитобентоса речной части Каневского водохранилища в пределах промышленной зоны г. Киева. *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. [Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Под ред. М.А. Шевченко. Киев: 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.
- Maystrova 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. [Оксиук 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. [Оксиук 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 Днепра 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 Днепра 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. Kyiv. 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*. Kyiv. 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., Maystrova N.V. 2001. *Phytoplankton of the Kyiv section of the Kaniv Reservoir and factors affecting its development*. Kyiv: 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., Maystrova 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. товариства 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., Maistrova 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>

СУХОДОЛЬСЬКА І.Л.¹ (<https://orcid.org/0000-0001-7502-3061>)

ГРУБІНКО В.В.^{2*} (<https://orcid.org/0000-0002-4057-9374>)

МАСОВЕЦЬ Б.П.¹ (<https://orcid.org/0000-0002-1138-9758>)

¹ Рівненський державний гуманітарний університет,

вул. Степана Бандери, 12, Рівне 33028, Україна

iryna.sukhodolska@rshu.edu.ua; bohdan.masovets@rshu.edu.ua

² Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,

вул. Максима Кривоноса, 2, Тернопіль 46027, Україна

*Адреса для листування: v.grubinko@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ФІТОПЛАНКТОНУ ВОДОЙМ МІСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ (НА ПРИКЛАДІ БАСІВКУТСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА, УКРАЇНА)

Реферат. Встановлено основні закономірності формування видового й таксономічного складу, структури та сезонної динаміки чисельності, біомаси й інформаційного різноманіття фітопланктону Басівкутського вдсх. У результаті дослідження (червень–жовтень 2022 р.) ідентифіковано 121 вид водоростей, представлених 125 внутрішньо-видовими таксонами, що належать до 84 родів, 45 родин, 29 порядків, 12 класів та 8 відділів. Флористичний спектр планктонних водоростей формували відділи: *Chlorophyta* (40,1% загальної кількості видів), *Bacillariophyta* (26,4%), *Euglenozoa* (13,2%) та *Cyanobacteria* (12,4%). Чисельність фітопланктону Басівкутського вдсх коливалася від 4654 тис. кл./дм³ (червень) до 14212 тис. кл./дм³ (серпень), а біомаса – від 0,8732 мг/дм³ (липень) до 9,4828 мг/дм³ (жовтень). Індекс Шеннона змінювався за біомасою (0,62–5,07 біт/мг) та чисельністю (2,13–4,50 біт/екз.). Середні значення індексу сапробності становили 1,74–2,14, що відповідає III класу якості води (слабо забруднена). Зростання інтенсивності розвитку *Cyanobacteria*, чисельність і біомаса яких досягала 86,1% та 33,2% відповідно, зумовило інтенсивне «цвітіння» води в літні місяці та було відгуком водоростевих угруповань на дію антропогенних чинників і змін клімату. За чисельністю та біомасою домінували *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault (10,5–32,2%

Надійшла до редакції 21.06.2023. Після доопрацювання 27.06.2023. Підписана до друку 29.06.2023.
Опублікована 20.12.2023

Ц и т у в а н н я . Суходольська І.Л., Грубінко В.В., Масовець Б.П. 2023. Особливості функціонування фітопланктону водойм міських територій (на прикладі Басівкутського водосховища, Україна). *Альгологія*. 33(4): 278–291. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.278>

і 10,6–12,4% відповідно) та *Cuspidothrix issatschenkoi* (Usachev) P.Rajaniemi, Komárek, R.Willame, P.Hrouzek, K.Kastovská, L.Hoffmann & K.Sivonen (11,6–31,2 і 10,2–14,5% відповідно). Восени у формуванні чисельності (39,5–74,0%) та біомаси (88,7–98,4%) істотну роль відігравали *Bacillariophyta*, серед яких найвищі показники мав дрібноклітинний вид *Stephanodiscus hantzschii* Grunow (16,9–65,4% і 51,1–92,9% відповідно). Це може свідчити про значене зростання ступеня трофності Басівкутського водосховища.

Ключові слова: таксономічне, видове та інформаційне різноманіття, домінуючий комплекс водоростей, чисельність, біомаса, «цвітіння води»

Вступ

Стан водних екосистем та їхня стійкість до різних впливів у рівнинних водних об'єктах найчастіше визначають за найбільш масовим компонентом біоти – фітопланктоном. Він, як первинна автотрофна ланка трофічного ланцюга, швидко реагує на зміни умов середовища, об'єктивно віддзеркалює кліматичні зміни, характер і тривалість антропогенного впливу на водойми. Особливий інтерес викликають водні об'єкти міських територій, оскільки негативний тиск на них здійснюється постійно, а їхнє використання для рекреаційних цілей та рибальства безпосередньо впливає на здоров'я населення. Постійна зміна видового багатства й структури фітопланктону водойм міських територій пов'язана насамперед з його чутливістю до хімічного складу води. За оптимальних умов розвитку фітопланктон насичує воду киснем та біологічно активними сполуками, в значних кількостях поглинає хімічні речовини та сприяє покращенню якості води й самоочищенню водойми. Проте надмірне надходження біогенних речовин та інших забруднювачів до водойм зумовлює швидке зростання чисельності та біомаси тих видів фітопланктону, які викликають «цвітіння» води, виділяють небезпечні метаболіти й суттєво порушують внутрішньоводоймні потоки енергії та кругообіг речовин між різними трофічними рівнями (Minaeva, 2021). Відгук фітопланктону на дію різноманітних впливів найчастіше проявляється спрощенням структури угруповань, зміною відсотку дрібноклітинних видів, чисельності, біомаси, видового багатства та структурної організації домінуючого комплексу (Zotov, 2014; Shcherbak et al., 2022; Shelyuk, 2022).

Увага науковців зосереджена насамперед на вивченні фітопланктону великих водосховищ (Kruzhilina, 2010; Shcherbak, Zadorozhnaya, 2013; Sharamok et al., 2019; Shcherbak, 2019; Rudyk-Leuska et al., 2022; Shcherbak et al., 2022). Також досліджено структуру та часову динаміку фітопланктону окремих малих та середніх водосховищ (Shelyuk, 2020, 2022; Shevchenko, Kutishchev, 2021). Водночас фітопланктон більшості цих

водойм не досліджений, або досліджений фрагментарно, що ускладнює можливість порівняння отриманих результатів з ретроспективними даними для встановлення впливу різних чинників на його функціонування. До таких водойм належить Басівкутське вдсх, утворене розширенням русла р. Устя, правої притоки р. Горинь (басейн Прип'яті, Україна). Загальна площа водосховища 104 га (1,04 км²), довжина 3556 м, максимальна ширина 463 м, найбільша глибина 3,1 м, середня – 2 м, заростання водойми становить 5,6%. З північної сторони водосховища для зарегулювання та підтримання на заданому рівні об'єму води зведена гребля, функціонує русловий шлюз-регулятор (Petrovsky, 2017). Облаштовано піщаний пляж та працюють човнові станції. До водойми прилягають сільськогосподарські угіддя та міська забудова, що зумовлює значне антропогенне навантаження, пов'язане з проблемами каналізації у багатьох приватних будинках.

Мета роботи – визначити особливості сезонного розвитку фітопланктону Басівкутського водосховища.

Матеріали та методи

Відбір проб фітопланктону здійснювали впродовж червня–жовтня 2022 р. на ділянці Басівкутського вдсх (50°36'07.8"N 26°15'01.3"E). Проби відбирали на глибині 0,2–0,3 м в пластикові ємності об'ємом 0,5 дм³ і консервували формаліном. Після відстоювання їх концентрували до об'єму 0,05–0,1 дм³. Камеральну обробку проб, яка включала визначення видового складу, чисельності та біомаси водоростей, проводили з використанням світлового мікроскопу Laboval (Karl Zeiss, (Germany)). Підрахунок клітин проводили в камері Нажотта об'ємом 0,02 см³ у трьох повторностях. Біомасу визначали з використанням загальноприйнятого розрахунково-об'ємного методу. Домінуючими вважали водорості, чисельність чи біомаса яких перевищувала 10%, субдомінантами – водорості з показниками 5–10% відповідно. Таксономічна номенклатура водоростей наведена згідно з *AlgaeBase* (Guiry, Guiry, 2022).

Результати та обговорення

За досліджуваний період у фітопланктоні Басівкутського вдсх ідентифіковано 121 вид водоростей, представлених 125 внутрішньовидовими таксонами (ввт) з номенклатурним типом виду включно, з 8 відділів (*Chlorophyta* – 48(50), *Bacillariophyta* – 33(34), *Cyanobacteria* – 16(16), *Euglenozoa* – 15(16), *Miozoa* – 4(4), *Ochrophyta* – 3(3), *Cryptophyta* – 1(1), *Streptophyta* – 1(1)), 12 класів, 29 порядків, 45 родин і 84 родів (рис. 1, табл. 1).

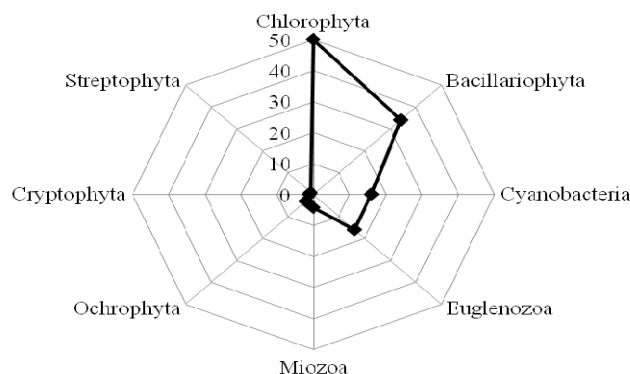


Рис. 1. Таксономічний склад фітопланктону Басівкутського водосховища

Таблиця 1. Таксономічний спектр водоростевих угруповань планктону Басівкутського водосховища

Відділ	Клас	Порядок	Родина	Рід	Вид	ввт	Родовий коефіцієнт
<i>Chlorophyta</i>	2	4	12	34	48	50	1,5
<i>Bacillariophyta</i>	3	12	15	22	33	34	1,5
<i>Cyanobacteria</i>	1	5	9	12	16	16	1,3
<i>Euglenozoa</i>	1	1	2	7	15	16	2,3
<i>Miozoa</i>	1	3	3	4	4	4	1,0
<i>Ochrophyta</i>	2	2	2	3	3	3	1,0
<i>Cryptophyta</i>	1	1	1	1	1	1	1,0
<i>Streptophyta</i>	1	1	1	1	1	1	1,0
Всього	12	29	45	84	121	125	1,5

Середнє значення родового коефіцієнта, розрахованого для фітопланктону досліджуваного водосховища, становить 1,5. Порівняння значень родового коефіцієнта, розрахованого для різних відділів водоростей, показало найбільше насичення родів видами та внутрішньовидовими таксонами *Euglenozoa*. У флористичному відношенні в Басівкутському вдсх переважали відділи *Chlorophyta* (40,0% загальної кількості видів) і *Bacillariophyta* (27,2%), на третьому місці за видовим багатством були *Cyanobacteria* та *Euglenozoa* (по 12,8%).

Сезонна динаміка фітопланктону Басівкутського вдсх відзначається максимальними піками розвитку водоростей влітку. Зокрема, у червні налічувалося 57 видів з 8 відділів. Переважали представники відділу

Chlorophyta (38,6% загальної кількості ввт). Відсоток *Bacillariophyta* і *Euglenozoa* становив відповідно 22,8 і 21,1%. Також досить широко був представлений відділ *Cyanobacteria* (10,5%). Сумарний відсоток інших відділів (*Streptophyta*, *Ochrophyta*, *Cryptophyta* та *Miozoa*) становив 7,0%.

Загальна чисельність фітопланктону в червні становила 4654 тис. кл./дм³, біомаса – 1,09 мг/дм³. За чисельністю домінували *Chlorophyta* (45,7%) і *Cyanobacteria* (43,7%), за біомасою – *Euglenozoa* (35,4%) і *Chlorophyta* (32,5%). Найбільш чисельними були *Cuspidothrix issatschenkoi* (Usachev) P.Rajaniemi, Komárek, R.Willame, P.Hrouzek, K.Kastovská, L.Hoffmann & K.Sivonen (11,6%) та *Synechococcus elongatus* (Nägeli) Nägeli (10,7%), субдомінували *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault (9,5%), *Coelastrum astroideum* De Notaris (7,9%), *Pectinodesmus pectinatus* f. *tortuosus* (Skuja) E.Hegewald (6,4%) та *Pediastrum duplex* Meyen (5,2%). За біомасою домінував *Trachelomonas woycickii* Koczwara (11,1%), субдомінували *Glenodinium* sp. (5,7%), *Chlamydomonas* sp. (6,6%), *T. hispida* (Perty) F.Stein (5,0%) і *Phacus limnophilus* (Lemmermann) E.W.Linton & Karnkowska (8,2%). Загальна чисельність фітопланктону в червні становила 4654 тис. кл./дм³, біомаса – 1,09 мг/дм³.

У липні кількість внутрішньовидових таксонів у Басівкутському вдсх не змінилася, проте кількість відділів зменшилася до шести. Найбільш широко були представлені відділи *Chlorophyta* та *Bacillariophyta* (45,6% і 26,3% відповідно). Відсоток *Euglenozoa* та *Cyanobacteria* становив по 12,3%, а сумарна частка *Ochrophyta* та *Miozoa* – 3,5%. Загальна чисельність фітопланктону в липні складала 9618 тис. кл./дм³, а біомаса знизилась до 0,87 мг/дм³. За чисельністю та біомасою домінували представники *Cyanobacteria* (86,1 і 28,7% відповідно). Зокрема, за чисельністю переважали *A. flos-aquae* (32,2%), *Cuspidothrix issatschenkoi* (26,5%) та *Merismopedia tranquilla* (Ehrenberg) Trevisan (12,2%), за біомасою – *A. flos-aquae* (12,4%), *C. issatschenkoi* (10,2%) та *Ulnaria acus* (Kützinger) Aboal (10,8%). Домінуючий комплекс за біомасою включав двох представників *Euglenozoa*: *Euglena* sp. (7,9%) та *Monomorpha pyrum* (Ehrenberg) Mereschowsky (6,8%). У серпні кількість видів скоротилася до 50 з шести відділів. Як і в попередні місяці, найбільш широко були представлені *Chlorophyta* (50%). Відсоток *Bacillariophyta*, *Cyanobacteria* та *Euglenozoa* становив відповідно 22,0; 14,0 і 10,0%, а сумарна частка *Miozoa* та *Cryptophyta* – по 4%.

У серпні загальна чисельність фітопланктону зросла до 14212 тис. кл./дм³, біомаса – до 1,07 мг/дм³. За кількісними показниками домінували *Cyanobacteria* (84,9 та 33,2%). Найбільший відсоток біомаси припадав на

Bacillariophyta (39,0%). Значний відсоток чисельності та біомаси належав *Chlorophyta* (11,0 та 18,7% відповідно). Склад домінантів за чисельністю та біомасою не змінився – *Cuspidothrix issatschenkoi* (31,2 і 14,5% відповідно) і *A. flos-aquae* (22,9 та 10,6% відповідно). Також значної чисельності досяг *Raphidiopsis setigera* (Aptekarj) Eberly (17,2%). За біомасою домінувала *Nitzschia subtilis* (Kützing) Grunow (10%). За біомасою субдомінували *Lindavia bodanica* (Eulenstein ex Grunow) T.Nakov, Guillory, Julius, Theriot & Alverson (7,6%), *Tabularia tabulata* (C.Agardh) Snoeijjs (5,5%), *Cyclotella* sp. (5,1%) і *Lobomonas ampla* Pascher (5,6%).

У вересні кількість видів скоротилася до 41 з шести відділів. За видовим складом переважали *Chlorophyta* і *Bacillariophyta* (46,3 і 24,4% відповідно). Відсоток *Cyanobacteria* становив 14,6%, а *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Cryptophyta* – 7,3, 4,9 та 2,5% відповідно. Загальна чисельність фітопланктону налічувала 6464 тис. кл./дм³, біомаса зросла до 2,03 мг/дм³. Високою чисельністю характеризувалися відділи *Cyanobacteria* (45,6%), *Bacillariophyta* (39,5%) і *Chlorophyta* (14,4%). За біомасою домінували *Bacillariophyta* (88,7%), за чисельністю – *Stephanodiscus hantzschii* Grunow і *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing (16,9 і 10,1% відповідно). Комплекс субдомінантів за чисельністю включав значну кількість видів: *Limnithrix planctonica* (Wołoszyńska) Meffert (9,6%), *Merismopedia minima* G.Beck (9,0%), *Microcystis pulvereae* (H.C.Wood) Forti (8,5%), *Cyclotella* sp. (8,5%), *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (O.Müller) Simonsen (6,1%) та *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek & Hindák (5,9%). За біомасою домінували центричні діатомові *Stephanodiscus hantzschii* (51,1%) і *Cyclotella* sp. (14,6%), субдомінантом виступала *Fragilaria crotonensis* Kitton (6,1%).

У жовтні ідентифіковано 32 ввт з п'яти відділів. У видовому складі більш широко були представлені *Bacillariophyta* і *Chlorophyta* (46,9 і 37,5% відповідно). Відсоток відділу *Cyanobacteria* становив 9,4%, а на види відділів *Ochromyxa* та *Cryptophyta* припадало по 3,1%. Загальна чисельність фітопланктону складала 7548 тис. кл./дм³, а біомаса стрімко зростала до максимального значення за весь період дослідження внаслідок масового розвитку *S. hantzschii* та становила 9,48 мг/дм³. За кількісними показниками переважали *Bacillariophyta* (74,0% чисельності та 98,4% біомаси), з яких абсолютним домінантом був *S. hantzschii* (65,4 і 92,9% відповідно). Також високою чисельністю характеризувався відділ *Cyanobacteria* (17,9%), зокрема *A. flos-aquae* (10,5%). Масовий розвиток *S. hantzschii* свідчив про значене зростання вмісту біогенних сполук у воді водосховища, а олігодомінантний характер розвитку фітопланктону на тлі високих кількісних показників – про порушення рівноваги умов існування

внаслідок зростання антропогенного навантаження на водойму. Крім нього виявлені інші індикатори евтрофування – представники родів *Aulacoseira*, *Cyclotella* та *Flagilaria*.

Впродовж червня–серпня найбільша кількість внутрішньовидових таксонів належала *Chlorophyta* (37,5–50,0%), а у жовтні – *Bacillariophyta* (46,9%). За чисельністю у водосховищі переважали *Chlorophyta* (червень – 45,7%), *Cyanobacteria* (липень–вересень 45,6–86,1%) та *Bacillariophyta* (жовтень – 74,0%). Найвищих показників біомаси у червні досягали *Euglenozoa* (35,4%), у липні – *Cyanobacteria* (28,7%), у серпні–жовтні – *Bacillariophyta* (39,0–98,4%).

Загалом фітопланктон водосховища можна охарактеризувати як полідомінантний. За кількісними показниками в основному домінували *Cyanobacteria*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* та *Euglenozoa*, за біомасою субдомінували *Cyanobacteria*, *Bacillariophyta*, *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Chlorophyta*. Найвищі показники біомаси спостерігалися у представників відділу *Cyanobacteria* впродовж липня та серпня (28,7 та 33,2% відповідно). Значної чисельності впродовж літніх місяців досягали *Cuspidothrix issatschenkoi* (540–4440 тис. кл./дм³), *A. flos-aquae* (440–3250 тис. кл./дм³), *Merismopedia tranquilla* (1152 тис. кл./дм³), *Raphidiopsis setigera* (2450 тис. кл./дм³) та *Synechococcus elongatus* (Nägeli) Nägeli (500 тис. кл./дм³). Зазначені види (*C. issatschenkoi* та *A. flos-aquae*) у липні та серпні домінували також за біомасою, що викликало інтенсивне «цвітіння» (рис. 2). Надмірний розвиток синьозелених водо- ростей супроводжувався виділенням високих концентрацій метаболітів, які впливали на ріст і розвиток цінних кормових організмів – зелених і діатомових водоростей, оскільки вони значно менше виїдаються зоопланктоном, ніж водорості інших відділів (Baruffa et al., 2021; Shcherbak et al., 2022). Крім того, температура води у водосховищі в червні–серпні (18–22 °C) сприяла масовому розвитку *Cyanobacteria*. Зниження температури води у вересні (14 °C) та жовтні (10 °C) зумовило також зменшення їхньої чисельності та біомаси (до 45,6 і 17,9% відповідно).

Індекс біологічного різноманіття за чисельністю варіював від 2,13 біт/екз. (жовтень) до 4,50 біт/екз. (червень), що свідчить про складність організації угруповання фітопланктону. За індексом біологічного різноманіття за біомасою спостерігався перехід від полідомінантної структури фітопланктону у червні–вересні ($H_B = 2,85–5,07$ біт/мг) до олігодомінантної у жовтні ($H_B = 0,60$ біт/мг) за рахунок абсолютного домінування *S. hantzschii* (92,9%). Індекс сапробності Басівкутського вдсх змінювався в незначних межах 1,74–2,14, що відповідало III класу якості вод (слабо забруднена). Відповідно до

екологічної класифікації якості поверхневих вод за біомасою фітопланктону, якість води змінювалася від II класу, 2-ї категорії «мезотрофна» (0,8732 мг/дм³, липень) до III класу, 5-ї категорії «евтрофно-політрофна» (9,48 мг/дм³, жовтень).



Рис. 2. «Цвітіння» води на різних ділянках Басівкутського водосховища влітку

На рівні класів провідна роль належала *Chlorophyceae* – 31,2%, *Bacillariophyceae* – 21,6%, *Cyanophyceae* – 12,8% та *Euglenophyceae* – 12,8%. Із 29 порядків основу флористичної структури фітопланктону формували два порядки, що охоплювали 40% загального видового багатства водоростей. Це *Sphaeropleales* – 34(27,2%) та *Euglenales* – 16(12,8%). Менш представленими були *Chlorellales*, *Bacillariales*, *Synechococcales*, *Nostocales*, *Chlamydomonadales*, *Cymbellales*, *Stephanodiscales*, *Naviculales*, *Fragilariales* та *Licmophorales*, а 17 порядків включали 1–2 внутрішньовидових таксона (19,2% загальної кількості внутрішньовидових таксонів, табл. 2).

Фітопланктон Басівкутського вдсх представлений 45 родинами. Серед них 15 провідних, до яких увійшли 84 ввт (67,2% загальної кількості). Найбагатшою виявилась родина *Scenedesmaceae*, що включала 17 ввт (13,6%). Також ядро планктонної альгофлори формували *Bacillariaceae*, *Euglenaceae*, *Phacaceae*, *Hydrodictyaceae*, *Selenastraceae* та *Chlorellaceae*, 29 родин налічували 1–2 ввт, їхній відсоток становив 32,8% загальної кількості внутрішньовидових таксонів (табл. 3).

Таблиця 2. Провідні порядки та порядки, представлені 1-2 видами у фітопланктоні Басівкутського водосховища

№	Порядок	Кількість ввт	Відсоток загальної кількості ввт, %
1	<i>Sphaeropleales</i>	34	27,2
2	<i>Euglenales</i>	16	12,8
3	<i>Chlorellales</i>	9	7,2
4	<i>Bacillariales</i>	8	6,4
5	<i>Synechococcales</i>	6	4,8
6	<i>Nostocales, Chlamydomonadales</i>	по 5	8,0 (по 4,0)
7	<i>Cymbellales, Stephanodiscales, Naviculales</i>	по 4	9,6 (по 3,2)
8	<i>Fragilariales, Licmophorales</i>	по 3	4,8 (по 2,4)
Всього видів у провідних порядках		101	80,8
9	<i>Chroococcales, Oscillatoriales, Peridinales, Rhabdonematales, Goniochloridales, Trebouxiophyceae, Aulacoseirales</i>	по 2 (14)	11,2 (по 1,6)
10	<i>Spirulinales, Gonyaulacales, Suessiales, Cryptomonadales, Desmidiaceae, Rhopalodiales, Surirellales, Thalassiosiphysales, Thalassiosirales, Synurales</i>	по 1 (10)	8,0 (по 0,8)
Порядки, представлені 1–2 видами (17)		24	19,2
Всього видів (ввт)		121(125)	100

Таблиця 3. Провідні родини та родини, представлені 1-2 видами у фітопланктоні Басівкутського водосховища

№	Родина	Кількість ввт	Відсоток загальної кількості ввт, %
1	<i>Scenedesmaceae</i>	17	13,6
2	<i>Bacillariaceae, Euglenaceae, Phacaceae</i>	по 8	19,2 (по 6,4)
3	<i>Hydrodictyaceae</i>	6	4,8
4	<i>Selenastraceae, Chlorellaceae</i>	по 5	8,0 (по 4,0)
5	<i>Oocystaceae, Stephanodiscaceae, Aphanizomenonaceae</i>	по 4	9,6 (по 3,2)
6	<i>Merismopediaceae, Chlamydomonadaceae, Cymbellaceae, Ulnariaceae, Naviculaceae</i>	по 3	12,0 (по 2,4)
Всього видів у провідних родинях		84	67,2
7	<i>Microcystaceae, Oscillatoriaceae, Peridiniaceae, Phacotaceae, Sphaeropleaceae, Schroederiaceae, Neochloridaceae, Trebouxiaceae, Fragilariaceae, Tabellariaceae, Goniochloridaceae, Aulacoseiraceae</i>	по 2 (12)	19,2 (по 1,6)

8	<i>Nostocaceae, Coelosphaeriaceae, Pseudanabaenaceae, Synechococcaceae, Spirulinaceae, Tovelliaceae, Hemidiniaceae, Cryptomonadaceae, Closteriaceae, Gomphonemataceae, Staurosiraceae, Sellaphoraceae, Rhopalodiaceae, Surirellaceae, Catenulaceae, Thalassiosiraceae, Mallomonadaceae</i>	по 1 (17)	13,6 (по 0,8)
	Родини, представлені 1-2 видами (29)	41	32,8
	Всього видів (ввт)	121 (125)	100

Таблиця 4. Провідні роди та роди, представлені 1-2 видами у фітопланктоні Басівкутського водосховища

№	Рід	Кількість видів	Відсоток загальної кількості видів, %
1	<i>Nitzschia</i>	7	5,6
2	<i>Desmodesmus</i>	6	4,8
3	<i>Trachelomonas, Phacus, Scenedesmus</i>	по 4	9,6 (по 3,2)
4	<i>Tetradesmus, Merismopedia, Lepocinclis</i>	по 3	7,2 (по 2,4)
	Всього видів у провідних родах	34	27,2
5	<i>Microcystis, Oscillatoria, Euglena, Lobomonas, Ankistrodesmus, Schroederia, Tetraëdron, Lemmermannia, Nephrochlamys, Cymbella, Fragilaria, Ulnaria, Navicula, Lindavia, Aulacoseira</i>	по 2 (15)	24,0 (по 1,6)
6	<i>Aphanizomenon, Cuspidothrix, Dolichospermum, Raphidiopsis, Anabaena, Snowella, Limnothrix, Synechococcus, Spirulina, Katodinium, Glenodinium, Peridinium, Hemidinium, Cryptomonas, Monomorphina, Strombomonas, Discoplastis, Chlamydomonas, Phacotus, Pteromonas, Monoraphidium, Raphidocelis, Selenastrum, Ankyra, Polyedriopsis, Monactinus, Pseudopediastrium, Pediastrum, Stauridium, Chlorotetraëdron, Golenkinia, Comasiella, Coelastrum, Actinastrum, Chlorella, Dicellula, Pectinodesmus, Hindakia, Micractinium, Lagerheimia, Oocystis, Closterium, Tryblionella, Paraplaconeis, Gomphonema, Staurosirella, Tabularia, Mayamaea, Sellaphora, Asterionella, Diatoma, Epithemia, Surirella, Amphora, Cyclotella, Stephanodiscus, Stephanocyclus, Tetraëdriella, Pseudostaurastrum, Mallomonas, Tetrastrum</i>	по 1(61)	48,8 (по 0,8)
	Роди, представлені 1-2 видами (75)	91	72,8

На рівні родів ядро флористичного спектру сформоване 8 родами з відділів *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, *Euglenozoa* та *Cyanobacteria*, які включали 34 ввт (27,2%, табл. 4). Найбільш представлені роди *Nitzschia* Hassall та *Desmodesmus* (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald. Широко представлені роди *Trachelomonas* Ehrenberg, *Phacus* Dujardin, *Scenedesmus* Meyen, *Tetradismus* G.M.Smith, *Merismopedia* Meyen та *Lepocinclis* Perty.

У фітопланктоні Басівкутського вдсх 75 родів представлені лише 1-2 ввт (72,8%), що свідчить про несприятливі умови для їхнього розвитку. Загалом для фітопланктону цього водосховища характерне зростання біомаси внаслідок масового розвитку 1-2 ввт водоростей (вересень, жовтень); збільшення кількості родів і родин, які представлені 1–2 видами водоростей; домінування дрібноклітинних видів водоростей; переважання за біомасою представників відділу *Cyanobacteria*, *Bacillariophyta* та *Euglenozoa*. Характерне також домінування за чисельністю представників відділу *Cyanobacteria* та *Bacillariophyta*; інтенсивне «цвітіння» води влітку; збільшення відсотку *Chlorophyta* та зменшення частки *Bacillariophyta*. Зазначені особливості відображають відгук фітопланктону на кліматичні зміни та вплив антропогенного навантаження на водосховище.

Висновки

Видовий склад водоростей Басівкутського вдсх представлений 121 видом водоростей, 125 внутрішньовидовими таксонами (ввт) з номенклатурним типом виду включно, які належать до 84 родів, 45 родин, 29 порядків, 12 класів, 8 відділів. За видовим багатством найбільш представлені *Chlorophyta* (48 видів, 50 ввт, 40,0% загальної кількості видів), *Bacillariophyta* (33 видів, 34 ввт, 27,2%), *Cyanobacteria* (16 видів, 12,8%) та *Euglenozoa* (15 видів, 16 ввт, 12,8%). Чисельність фітопланктону змінювалася від 4654 тис. кл./дм³ (червень) до 14212 тис. кл./дм³ (серпень), а біомаса від 0,8732 мг/дм³ (липень) до 9,4828 мг/дм³ (жовтень).

Угруповання водоростей фітопланктону водосховища характеризуються полідомінантною структурою. Домінуючий комплекс за біомасою та чисельністю представлений переважно видами відділів *Bacillariophyta* та *Cyanobacteria*. Субдомінували за чисельністю представники відділів *Cyanobacteria*, *Bacillariophyta* та *Chlorophyta*, за біомасою – *Bacillariophyta*, *Euglenozoa*, *Cyanobacteria* та *Miozoa*. Індекс біологічного різноманіття за біомасою становив 0,62–5,07 біт/мг, за чисельністю – 2,13–4,50 біт/екз., що свідчить про складність організації угруповання фітопланктону.

Якість води за біомасою фітопланктону у водосховищі змінювалася від II класу, 2-ї категорії «мезотрофна» (0,8732 мг/дм³, липень) до III класу, 5-ї категорії «евтрофно-політрофна» (9,4828 мг/дм³, жовтень). Провідні

порядки водоростей представлені *Sphaeropleales* – 34 види (27,2%), *Euglenales* – 16 видів (12,8%), *Chlorellales* – 9 видів (7,2%) та *Bacillariales* – 8 видів (6,4%). Перше місце серед провідних родин належало *Scenedesmaceae* – 17 видів (13,6%), друге – *Bacillariaceae*, *Euglenaceae*, *Phacaceae* – по 8 видів (по 6,4%), третє – *Hydrodictyaceae* – 6 видів (4,8%). Найбільш різноманітно були представлені роди *Nitzschia* Hassall (7 видів), *Desmodesmus* (R.Chodat) S.S.An, T.Friedl & E.Hegewald (6), *Trachelomonas* Ehrenberg (4), *Phacus* Dujardin (4) та *Scenedesmus* Meyen (4).

Список літератури

- Baruffa A.S., Sposito V., Faggian R. 2021. Climate change and cyanobacteria harmful algae blooms: adaptation practices for developing countries. *Mar. Fresh. Res.* 72: 1722–1734. <https://doi.org/10.1071/MF21081>
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2022. *AlgaeBase*. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>
- Kruzhilina S. 2010. Dynamics of qualitative development of phytoplankton of the Kremenchuk reservoir and its structural indices. *Fisher. Sci.Ukr.* 3: 14–19. [Кружиліна С.В. 2010. Багаторічна динаміка кількісного розвитку фітопланктону Кременчуцького водосховища та його структурні показники та його структурні показники фітопланктону Кременчуцького водосховища. *Рибогосп. наука України*. 3: 14–19].
- Minaeva H.M. 2021. Structural and functional characteristics of phytoplankton of lower Dnipro waterflows. *Sci. Bull. Nat. Sci. (Biol. Sci.)*. 30(6): 75–83. [Мінаєва Г.М. 2021. Структурно-функціональні характеристики фітопланктону водотоків нижнього Дніпра. *Природ. альманах (біол. науки)*. 30(6): 75–83]. <https://doi.org/10.32999/ksu2524-0838/2021-30-8>
- Petrovsky A.V. 2017. *Passport of the water object. Basivkut water storage with an area of 104,0000 ha, located within the city of Rivne*. Rivne: 1–23. [Петровський А.В. 2017. *Паспорт водного об'єкта. Басівкутське водосховище площею 104,0000 га, розташоване в межах міста Рівне*. Рівне. 23 р.].
- Rudyk-Leuska N.Ya., Leuskyi M.V., Makarenko A.A., Yevtushenko N.Yu. 2022. Current position of phytoplankton species diversity and water quality assessment of Kremenchuk Reservoir according to saprobity index. *Bull. Sumy Nat. Agrar. Univ.* 48(2): 139–147. [Рудик-Леуська Н.Я., Леуський М.В., Макаренко А.А., Євтушенко М.Ю. 2022. Сучасний стан видового різноманіття фітопланктону та оцінка якості води Кременчуцького водосховища за індексом сапробності. *Вісн. Сум. нац. аграр. ун-ту*. 48(2): 139–147]. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.19>
- Sharamok T.S., Fedonenko O.V., Kurchenko V.O., Nikolenko Y.V. 2019. Hydroecological assessment of Zaporizhia reservoir. *Issue Bioindicat. Ecol.* 24(2): 137–149. [Шарамок Т.С., Федоненко О.В., Курченко В.О., Ніколенко Ю.В. 2019. Гідроекологічна оцінка Запорізького водосховища. *Питання біоіндикації та екології*. 24(2): 137–149].

- Shcherbak V.I. 2019. Response of phytoplankton of the Kiev Reservoir to the increase in summer temperatures. *Hydrobiol. J.* 55(1): 18–35.
- 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., Semenyuk N.Ye., Yakushin V.M. 2022. Phytoplankton structural and functional organization in a large lowland reservoir under conditions of global climate change (case-study of Kaniv Reservoir). *Hydrobiol. J.* 58(4): 3–27. [Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Якушин В.М. 2022. Структурно-функціональна організація фітопланктону великого рівнинного водосховища в умовах глобальних кліматичних змін (на прикладі Канівського водосховища). *Гідробиол. журн.* 58(4): 3–27].
- Shelyuk Yu. 2020. Peculiarities of transformation of phytoplankton of Zhytomir Reservoir. *Visn. Lviv Univ. Ser. Biol.* 83: 49–57. [Шелюк Ю. 2020. Особливості трансформації фітопланктону Житомирського водосховища (р. Тетерів, басейн Дніпра, Україна). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.* 83: 49–57]. <https://doi.org/10.30970/vlubs.2020.83.06>
- Shelyuk Yu.S. 2022. Features of formation and functioning of phytoplankton of small reservoirs. *Algologia.* 32(2): 152–166. [Шелюк Ю.С. 2022. Особливості формування й функціонування фітопланктону малих водосховищ. *Альгологія.* 32(2): 152–166]. <https://doi.org/10.15407/alg32.02.152>
- Shevchenko V.Yu., Kutishchev P.S. 2021. Hydrobiological characteristics of small reservoirs of Mykolaiv region. *Tavr. Sci. Bull.* 117: 324–327. [Шевченко В.Ю., Кутіщев П.С. 2021. Гідробиологічні характеристики малих водосховищ Миколаївської області. *Тавр. наук. вісн.* 117: 324–327]. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.43>
- Zotov A. 2014. Comparative analysis of national and european methods of aquatic quality assessment with phytoplanktons indicators. *Visn. Lviv Univ. Ser. Biol.* 67: 3–17. [Зотов А. 2014. Порівняльний аналіз національних і європейських методик оцінки якості водного середовища за допомогою індикаторів фітопланктону. *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.* 67: 3–17].

Sukhodolska I. ¹ (<https://orcid.org/0000-0001-7502-3061>)

Grubinko V. ² (<https://orcid.org/0000-0002-4057-9374>)

Masovets B. ¹ (<https://orcid.org/0000-0002-1138-9758>)

¹ Rivne State University for the Humanities,
12 Stepan Bandery Str., Rivne 33028, Ukraine

² Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Ped. University,
2 Maxyma Kryvonosa Str., Ternopil 46027, Ukraine

Characteristics of phytoplankton functioning in urban water reservoirs (on the example of Basivkut Reservoir, Ukraine)

The study states fundamental patterns of development for species and taxonomic composition, structure and seasonal population dynamics, biomass and informational diversity of phytoplankton

in Basivkut Reservoir. During the research (June–October, 2022) it has been identified 121 algae species represented with 125 intraspecific taxa that belong to 84 genera, 43 families, 29 orders, 12 classes and 8 divisions. Floristic aspect of plankton algae is presented with *Chlorophyta* (40.1% of the total species number), *Bacillariophyta* (26.4%), *Euglenozoa* (13.2%) and *Cyanobacteria* (12.4%). The population of phytoplankton in Basivkut water storage was ranging from 4654 thous. cells/dm³ to 14212 thous. cells/dm³ (August), and the population of biomass was changing from 0.8732 mg/dm³ (July) to 9.4828 mg/dm³ (October). Shannon index has changed within 0.62–5.07 bit/mg according to biomass, 2.13–4.50 bit/sp. according to the population. The average values of the saprobic index have ranged from 1.74 to 2.14 that correspond to the third class of water quality (poorly polluted). The author highlights the increasing of *Cyanobacteria* development whose population and biomass reached 86.1% and 33.2% that caused intensive algal blooms in all summer months and is the impact of algal groups on the anthropogenic factors effect and climate changes. *Aphanizomenon flos-aquae* (10.5–32.2% and 10.6–12.4%) and *Cuspidothrix issatschenkoi* (11.6–31.2% and 10.2–14.5%) have dominated according to their population and biomass. *Bacillariophyta* impacted on population (39.5–74.0%) and biomass (88.7–98.4%) in autumn. Small cell type *Stephanodiscus hantzschii* has been characterized with significant population (16.9–65.4%) and biomass (51.1–92.9%) that focuses on increasing degree of trophic level in the Basivkut water storage.

Key words: taxonomic, species and informative diversity, algae dominating complex, population, biomass, algal blooms

ЦАРЕНКО П.М.^{1†} (<https://orcid.org/0000-0003-0711-8573>)
ЗАІМЕНКО Н.В.² (<https://orcid.org/0000-0003-2379-1223>)
ДЕМЧЕНКО Е.М.¹ (<https://orcid.org/0000-0003-4997-6744>)
МИХАЙЛЮК Т.І.^{1*} (<https://orcid.org/0000-0002-7769-2848>)
ДІДИК Н.П.^{2*} (<https://orcid.org/0000-0002-8969-2239>)
ЕЛЛАНСЬКА Н.Е.² (<https://orcid.org/0000-0002-3634-5313>)
ХАРИТОНОВА І.П.² (<https://orcid.org/0000-0001-9540-5278>)
БЕНДЕРИЧЕК Т.Ю.² (<https://orcid.org/0000-0003-2954-0118>)
МЕЛЬНИК В.І.² (<https://orcid.org/0000-0001-8315-8468>)

¹ Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,
вул. Терещенківська, 2, Київ 01601, Україна

² Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України,
вул. Тимірязєвська, 1, Київ 01014, Україна

*Адреса для листування: nataliya_didyk@ukr.net; t-mikhailyuk@ukr.net

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ҐРУНТОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЗАПОВІДНИХ ТА ШТУЧНО СТВОРЕНИХ БУКОВИХ ЛІСІВ

Реферат. Досліджено особливості ґрунтових екосистем (склад водоростей, мікробіоценоз, агрохімічні та агрофізичні показники) букових пралісів Угольсько-Широколужанського масиву Карпатського біосферного заповідника, а також штучних насаджень буку європейського (*Fagus sylvatica* L.) на ботаніко-географічній ділянці «Українські Карпати» Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України. Зразки ґрунту відбирали з травня по вересень упродовж 2020–2021 рр. Аналізували видовий склад мікрowodоростей ґрунту, чисельність еколого-трофічних груп мікроорганізмів, агрофізичні та агрохімічні характеристики ґрунтів. Переважання зелених водоростей зі значним різноманіттям джгутикових представників і повна відсутність ціанопрокарот є типовими ознаками лісових ґрунтів. Незначна кількість виявлених видів (12 – у букових пралісах та 15 – у штучних насадженнях буку) вказує на затінені лісові екосистеми зі збідненим підліском, якими є букові ліси. Попри спільні риси

Надійшла до редакції 24.10.2023. Після доопрацювання 15.11.2023. Підписана до друку 20.11.2023.
Опублікована 20.12.2023

Ц и т у в а н н я . Царенко П.М.[†], Заіменко Н.В., Демченко Е.М., Михайлюк Т.І., Дідик Н.П., Елланська Н.Е., Харитонова І.П., Бендеричек Т.Ю., Мельник В.І. 2023. Порівняльний аналіз ґрунтових екосистем заповідних та штучно створених букових лісів. *Альгологія*. 33(4): 292–308. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.292>

видовий склад водоростей ґрунтів обох фітоценозів досить різний. Ґрунти під буковими пралісами характеризуються значним переважанням зелених водоростей, серед яких суттєву частку складають требуксієфіцієві представники з аерофітною причетністю, що вказує на гірський характер ґрунтової альгофлори. Ґрунти під штучними насадженнями буку характеризуються багатшим видовим різноманіттям і переважанням хлорофіцієвих зелених водоростей, що є типовим для рівнинних лісів. Характерною особливістю заповідних та штучно створених букових лісів була відносна висока чисельність мікроміцетів. Кореляційний аналіз результатів досліджень показав позитивний зв'язок між водоростевим різноманіттям та чисельністю двох еколого-трофічних груп мікроорганізмів: актиноміцетів та аммоніфікаторів. Зростання альгорізноманіття позитивно корелювало з вмістом кальцію та магнію і негативно – з вмістом фосфору.

Ключові слова: *Fagus sylvatica*, праліси, штучні насадження, ґрунтові екосистеми, водорості, мікробіоценоз, біорізноманіття, мінеральне живлення, трансформація органічної речовини

Вступ

За умов сучасної екологічної кризи збереження й відтворення аборигенної природної рослинності є однією з найважливіших глобальних екологічних проблем людської цивілізації на нинішньому етапі її розвитку (Yeremeev, 2020). Важливий внесок у вирішення цієї проблеми належить ботанічним садам та дендропаркам, які працюють над тим, щоб відтворити реліктову аборигенну рослинність і максимально наблизити її біорізноманіття, трофічні зв'язки та екологічні послуги до природних екосистем, яких, на жаль, залишилося дуже мало.

В Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка НАН України (НБС) більше 70 років існують штучно створені лісові та лучно-степові фітоценози (ботаніко-географічні ділянки), які моделюють природну рослинність помірного кліматичного поясу Євразійського континенту. Протягом усього періоду існування модельні фітоценози постійно поповнювалися посадковим матеріалом з еталонних природних фітоценозів природно-заповідного фонду України. Поступово сформувалися стабільні клімаксові угруповання, які містять у своєму складі як інтродуковані, так і аборигенні види з незначною домішкою інвазивної рослинності. Таким чином, відбулася конвергенція флористичного складу та ценотичної структури штучно створених модельних фітоценозів до відповідних природних угруповань (Melnyk et al., 2010; Shnyder, 2018).

Об'єктами наших досліджень є природні реліктові букові праліси Карпатського біосферного заповідника та штучно створені модельні

фітоценози цієї лісоутворюючої породи на території НБС. Реліктові букові ліси, які майже не зазнали антропогенної трансформації, збереглися в малодоступних ділянках Карпат і займають в Україні площу понад 92 тис. га. В 2017 р. ЮНЕСКО визнала букові праліси Карпатського біосферного заповідника (КБЗ) та Ужанського національного природного парку об'єктом всесвітньої природної спадщини.

В середині минулого століття на території НБС було створено експозицію «Буковий ліс» за зразком букових пралісів Карпатського заповідника. Вона займає площу 1,2 га та розташована на пологіму схилі уступу I правої надзапавної тераси Дніпра (крутизна схилу 10–15°), в межах ботаніко-географічної ділянки «Українські Карпати» (Melnyk et al., 2010). Основу сучасного 70-річного букового деревостану складають дерева *Fagus sylvatica* L., середня висота яких 25 м, середній діаметр стовбура 35 см, зімкненість крон 0,9. В негустому підліску зустрічаються *Daphne mezereum* L., *Lonicera xylosteum* L., *Rubus idaeus* L., *R. hirtus* Waldest. Kit., *Sambucus nigra* L., *S. racemosa* L. тощо (Melnyk et al., 2010).

Результати вивчення інтродукції бука європейського в зеленій зоні м. Києва свідчать про його успішну адаптацію до кліматичних та едафічних умов регіону, де він формує стійкі насадження та відзначається високою насінневою продуктивністю (Melnyk et al., 2010). З огляду на високу наукову, екологічну та ландшафтно-естетичну цінність буку європейського актуальним є вивчення консортивних зв'язків цієї лісоутворюючої породи з іншими компонентами екосистеми, зокрема такими, як ґрунтові мікроводорості та мікробіоценоз.

У сформованих біогеоценозах мікроводорості є обов'язковим компонентом ґрунтових екосистем (Kostikov et al., 2001). Для ризосфери вищих рослин характерні специфічність складу та збільшення чисельності водоростей та інших мікроорганізмів. Хоча існує приуроченість певних груп мікроводоростей до того чи іншого типу рослинних асоціацій, консортивні зв'язки, які формуються між водоростями, мікроорганізмами та вищими рослинами, є достатньо лабільними, що дозволяє їм змінюватися й пристосовуватися до нових умов середовища. Мікроводорості чутливо реагують на зміни, що відбуваються в ґрунті й мають велике індикаторне значення (Algae, 1989). Чисельність, різноманіття та загальна біомаса ґрунтових водоростей розглядається як важливий маркер цілісності та стійкості ґрунтових екосистем (Algae, 1989). Адаптаційно-регуляторні властивості ґрунтової мікробіоти дозволяють переносити тривалі флуктуації кліматичних факторів та антропогенне навантаження, відіграють провідну роль у процесах саморегуляції та трансформації

ґрунтів у напрямку згладжування прояву несприятливих факторів середовища (Hollerbach, Shtina, 1969).

Метою наших досліджень був порівняльний аналіз складу водоростей та мікробіоценозів ґрунтових екосистем природних (Угольсько-Широколужанські букові праліси) та штучно створених насаджень буку європейського (експозиція «Буковий ліс» на ботаніко-географічній ділянці «Українські Карпати» НБС) в залежності від інших біологічних, агрохімічних та агрофізичних характеристик ґрунту.

Матеріали та методи

Об'єкти досліджень – ґрунтові екосистеми реліктових та штучних букових лісів. Було досліджено Угольсько-Широколужанські букові праліси Карпатського біосферного заповідника та штучні букові насадження на ботаніко-географічній ділянці «Українські Карпати» НБС імені М.М. Гришка НАН України (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристика досліджених локалітетів

Локація	Тип ґрунту	Рослинність	Підстилка, см
Угольсько-Широколужанські букові праліси	Бурозем	Суцільний древостан <i>Fagus sylvatica</i>	2–5
Ботаніко-географічна ділянка «Українські Карпати», НБС НАНУ	Світло-сірий опідзолений суглинистий	Суцільний древостан <i>Fagus sylvatica</i>	2–5

Зразки ґрунту відбирали в третій декаді травня, в другій декаді липня та в третій декаді вересня впродовж 2020–2021 рр. на 5 стаціонарних пробних ділянках площею $5 \times 5 \text{ м}^2$, буром (5 проб з ділянки) на глибині 0–20 см. Вивчали видовий склад мікробіодоростей ґрунту та чисельність еколого-трофічних груп мікроорганізмів. Паралельно оцінювали агрофізичні та агрохімічні характеристики ґрунтів.

Альгологічні дослідження проводили з використанням традиційних методів постановки культур (Hollerbach, Shtina, 1969; Kostikov et al., 2001). Для отримання накопичувальних культур часточки ґрунту висівали на поверхню агаризованого середовища Болда (1N BBM) (Bischoff, Bold, 1963). Культури вирощували в стандартних лабораторних умовах, з 12-годинним чергуванням світлової та темної фаз і освітленням 25 мкмоль фотонів $\cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ при температурі $+20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Дослідження накопичуваль-

них культур проводили, починаючи з третього тижня культивування. Ізольовані колонії водоростей переглядали під стереомікроскопом МБС-1 (Росія) та відсівали на поживне середовище в чашки Петрі для подальшого виділення альгологічно чистих культур, які очищали шляхом багаторазових пересівів.

Очищені штами водоростей культивували на середовищах 1N та 3N BBM (Bischoff, Bold, 1963), при умовах, вказаних вище. Ідентифікація та морфологічні дослідження виділених культур виконані за допомогою світлового мікроскопа Olympus BX51 з диференціальною інтерференційною оптикою Номарського (DIC). Мікрофотографії отримані з використанням камери Olympus LC30, приєднаної до мікроскопа, і опрацьовані за допомогою програмного забезпечення cellSens Entry.

Мікробіологічні аналізи проводили методом посіву ґрунтових суспензій у відповідних розведеннях на агаризовані живильні середовища за загальноприйнятими методиками. Підраховували кількість бактерій, які споживають мінеральні (крохмаль-аміачний агар, КАА) та органічні (м'ясо-пептонний агар, ПА) сполуки азоту, мікроміцетів (середовище Чапека), актиноміцетів (КАА). Співвідношення окремих еколого-трофічних груп мікроорганізмів (коефіцієнт мінералізації – іммобілізації) розраховували за К.І. Андреюк (Andreyuk et al., 1990), показник трансформачії органічної речовини визначали за В.Д. Мухой (Mukha, 2004). Загальну кількість колоній, яку підраховували при посівах ґрунтових суспензій, оцінювали за чисельністю колонієутворюючих одиниць (КУО).

Вимірювання рН ґрунтового розчину після зняття дослідів проводили на кондуктометрі Cond 315i (WTWGmbH, 2015 р.). Окисно-відновний потенціал визначали за допомогою приладу pH/ORP Meter HI 2211 (HannaInstruments, 2005 р.). Вміст біогенних елементів у ґрунті аналізували на оптично-емісійному спектрометрі з індуктивно зв'язаною плазмою iCAP6300 Duo (Thermo-Fisher, США, 2007 р.). Підготовку зразків ґрунту для аналізу виконували за Рінксом-Ноллендорфом (Rinkis, Nollendorf, 1982). Вміст розчинних карбонатів у ґрунтовому розчині оцінювали методом титрування сірчаною кислотою за додавання індикатора метилоранж до зміни забарвлення розчину з жовтого на помаранчевий (Pecheneva, 1998).

Статистичний аналіз результатів досліджень проводили з використанням дисперсійного аналізу за допомогою програмного забезпечення StatSoft Statistica 10.0 та Microsoft Office Excel 2007.

Результати та обговорення

У ґрунтах букових фітоценозів у цілому виявлено 26 видів водоростей з 3 відділів: *Chlorophyta*, *Charophyta* та *Heterokontophyta* (табл. 2, 3; рис. 1, 2).

Таблиця 2. Видовий склад водоростей ґрунтів досліджених лісових фітоценозів

Види за відділами та класами	Частота трапляння в пробах, %	
	Буковий праліс (КБЗ)	Букові насадження (НБС)
<i>Chlorophyta</i>		
<i>Chlorophyceae</i>		
<i>Heterochlamydomonas callunae</i> (Ettl) Mikhailyuk & Demchenko		80
<i>Heterochlamydomonas</i> sp.		20
<i>Chlamydomonas</i> cf. <i>asymmetrica</i> Korshikov		20
<i>Chloromonas chlorococcoides</i> (Ettl & Schwarz) Matsukaki, Hara & Nozaki	16,7	
<i>Chloromonas</i> sp.	16,7	
<i>Lobochlamys</i> sp.	16,7	
<i>Palmellopsis</i> sp.	33,3	20
<i>Eubrownia</i> cf. <i>aggregata</i> (Brown & Bold) Watanabe & Lewis		60
<i>Chlorosarcinopsis</i> sp.		20
<i>Chlorococcum oleofaciens</i> Trainor & Bold		20
<i>Protosiphon botryoides</i> (Kützinger) Klebs		20
<i>Bracteacoccus</i> cf. <i>grandis</i> Bischoff & Bold	16,7	
<i>Trebouxiophyceae</i>		
<i>Neocystis</i> sp.	50	
<i>Elliptochloris subsphaerica</i> (Reisigl) Ettl & Gärtner	50	
<i>Parietochloris alveolaris</i> (Bold) Watanabe & Floyd		20
<i>Pseudochlorella</i> sp.	16,7	
<i>Trebouxia</i> sp.		20
<i>Coccomyxa</i> cf. <i>simplex</i> Mainx	33,3	
<i>Diplosphaera chodatii</i> Bialosuknia	16,7	
<i>Nannochloris</i> sp.		60
<i>Charophyta</i>		
<i>Klebsormidiophyceae</i>		
<i>Interfilum terricola</i> (J.B.Petersen) Mikhailyuk & al.	66,7	
<i>Heterokontophyta</i>		

<i>Xantophyceae</i>		
<i>Botrydiopsis</i> cf. <i>arhiza</i> Borzi	16,7	
<i>Eustigmatophyceae</i>		
<i>Vischeria magna</i> (Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf & Friedl		20
<i>Pleurogaster lunaris</i> Pascher		40
<i>Bacillariophyceae</i>		
<i>Mayamaea atomus</i> (Kützing) Lange-Bertalot		20
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow		80

Таблиця 3. Систематична структура альгофлор ґрунтів досліджених лісових фітоценозів

Відділи та класи	Кількість видів, шт./%		
	Буковий праліс (КБЗ)	Букові насадження (НБС)	Всього
<i>Chlorophyta</i>	10/83,4	11/73,3	20/76,9
<i>Chlorophyceae</i>	5	8	12
<i>Trebouxiophyceae</i>	5	3	8
<i>Charophyta</i>	1/8,3	–	1/3,8
<i>Klebsormidiophyceae</i>	1	–	1
<i>Heterokontophyta</i>	1/8,3	4/26,7	5/19,3
<i>Xantophyceae</i>	1	–	1
<i>Eustigmatophyceae</i>	–	2	2
<i>Bacillariophyceae</i>	–	2	2
Всього видів	12/100	15/100	26/100

Знайдено виключно еукаріотичні водорості, серед яких переважали представники відділів *Chlorophyta* (20 видів) та *Charophyta* (1 вид). Незначна кількість видів належала відділу *Heterokontophyta* (5 видів, у складі жовтозелених (*Xantophyceae*, 1 вид), евстигматофітових (*Eustigmatophyceae*, 2 види) та діатомових водоростей (*Bacillariophyceae*, 2 види). Серед найрізноманітніших зелених водоростей видовий склад розподілено між двома класами – *Chlorophyceae* (12 видів) та *Trebouxiophyceae* (8 видів). Досліджені ґрунти обох фітоценозів загалом характеризуються значним переважанням зелених водоростей (76,9% видового складу) та повною відсутністю ціанобактерій (табл. 3). Ці риси альгофлори є типовими для лісових ґрунтів, низький рН яких є несприятливим для розвитку ціанобактерій та прийнятним для поширення представників *Chlorophyta* (Aleksakhina, Shtina, 1984; Kostikov, Darienko,

1996). Інша характерна риса досліджених ґрунтових альгофлор – невисоке загальне видове різноманіття водоростей, яких виявлено 12 видів у букових пралісах та 15 видів у штучних насадженнях буку. Невисоке видове різноманіття водоростей – ознака, типова для затінених лісів зі збідненим підліском та трав'янистим покривом, якими є грабові, кленові та букові ліси (Aleksakhina, Shtina, 1984; Demchenko et al., 1998).

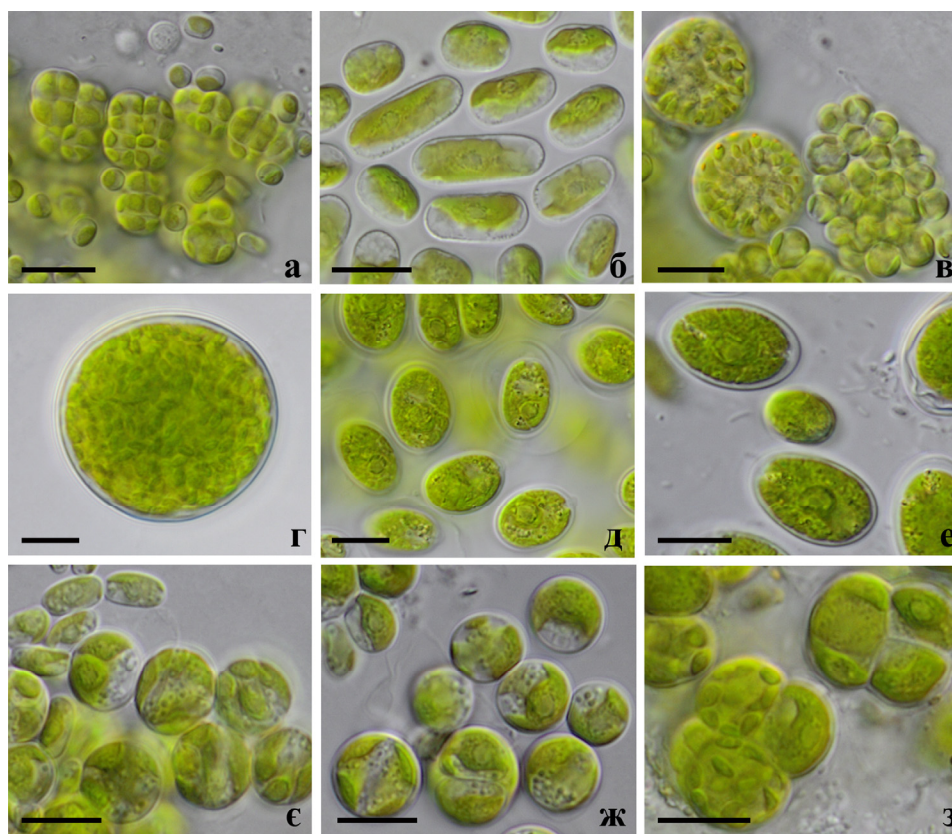


Рис. 1. Види водоростей, виявлені в ґрунтах під буковими пралісами (КБЗ): а – *Diplosphaera chodatii*; б – *Interfilum terricola*; в – *Botrydiopsis* cf. *arhiza*; г – *Bracteacoccus* cf. *grandis*; д – *Chloromonas chlorococcoides*; е – *Chloromonas* sp.; є, ж – *Elliptochloris subsphaerica*; з – *Pseudochlorella* sp. Шкала 10 мкм

Так, кількість видів у ґрунтах пралісів коливалась від 2 до 4 видів/пробу (середня кількість – 3,5 видів/пробу). Ґрунти штучних насаджень буку були дещо різноманітніші на водорості, тут виявлено від 4 до 7 видів/пробу (середня кількість – 5,4 видів/пробу). Ще одна типова ознака лісових ґрунтів – високе різноманіття зелених джгутикових водоростей (Aleksakhina, Shtina, 1984; Kostikov, 1991; Demchenko et al., 1998; Demchenko, 1999), які у вивчених ґрунтах представляють 23%

загального видового складу, по 25 і 20% видового складу водоростей ґрунтів букових пралісів та штучних насаджень буку відповідно.

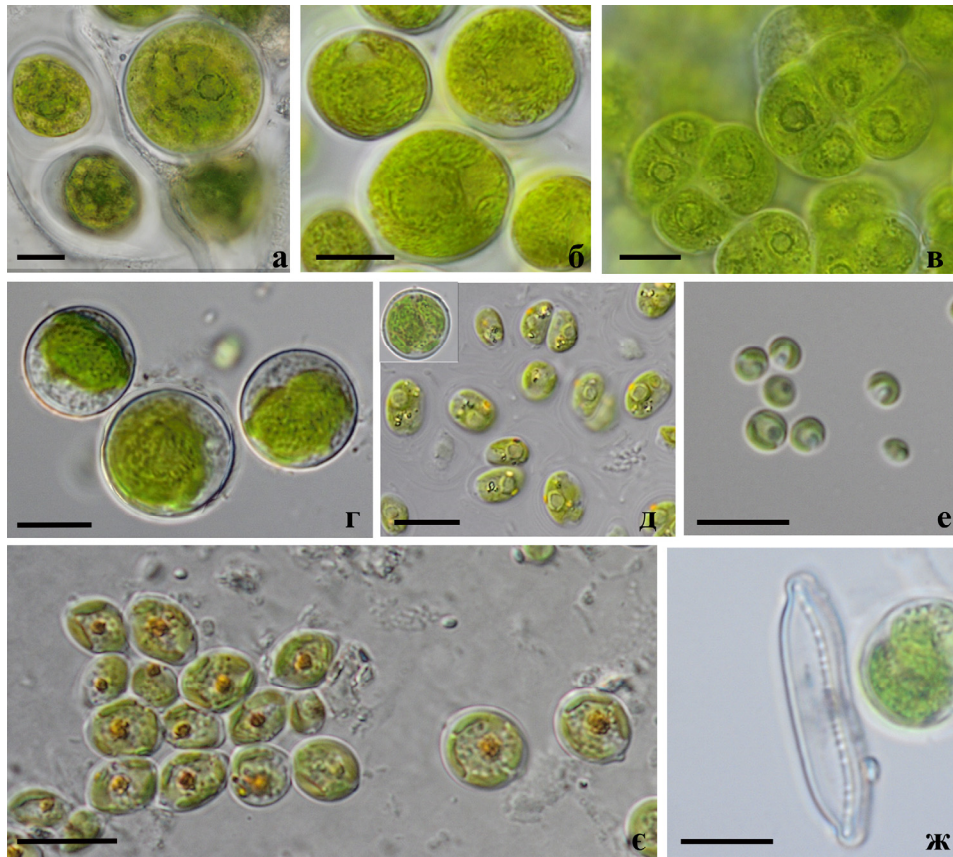


Рис. 2. Види водоростей, виявлені в ґрунтах під штучними насадженнями буку (НБС): а – *Protosiphon botryoides*; б – *Palmellopsis* sp.; в – *Eubrownia* cf. *aggregata*; г – *Parietochloris alveolaris*; д – *Heterochlamydomonas callunae*; е – *Nannochloris* sp.; є – *Pleurogaster lunaris*; ж – *Hantzschia amphioxys*. Шкала 10 мкм

Попри виразні спільні риси ґрунтових альгофлор досліджених фітоценозів, склад водоростей обох ділянок на рівні видів дуже різний. Зокрема, виявлено лише одного спільного представника – *Palmellopsis* sp., якого не вдалося визначити до рівня виду, тому при більш детальному дослідженні, можливо, цю спільну рису теж буде втрачено. Основу водоростевих угруповань у ґрунтах під буковими пралісами складають зелені водорості (83.4% видового складу), що розподілені між класами *Chlorophyceae* та *Trebouxiophyceae* порівну.

Значне різноманіття представників требуксієфіцієвих водоростей, серед яких багато видів, типових для аерофітних місцезростань (Ettl,

Gärtner, 2014), є характерним для гірських ґрунтів, які містять уламки гірських порід і межують зі скальними виходами (Kostikov, Darienko, 1996; Romanenko, 1999; Darienko, 2000).

Види *Diplosphaera chodatii*, *Elliptochloris subsphaerica*, *Neocystis* sp. є поширеними в обростанні каміння та скель (Mikhailyuk et al., 2011; Ettl, Gärtner, 2014), що пояснює їх значне трапляння (в останніх двох видів – у 50% проб) у гірських ґрунтах під буковими пралісами. Інший, значно поширений у ґрунтах пралісів вид харофітової водорості – *Interfilum terricola*, типовий серед аерофітних місцезростань (в обростанні каміння та кори дерев), хоча в ґрунтах також трапляється (Kostikov et al., 2001; Mikhailyuk et al., 2011), знайдений по всій території України (Borisova et al., 2016). Цікавим представником ґрунтів під буковими пралісами можна вважати требуксієфіцієву водорість *Pseudochlorella* sp., яку, на жаль, визначити до рівня виду не вдалося.

Ґрунти під штучними насадженнями буку характеризуються багатшим складом водоростей. Лідирують зелені представники (73.3%), але трапляються також діатомові та евстигматофіцієві водорості, серед яких досить часті *Hantzschia amphioxys* (у 80% проб) та *Pleurogaster lunaris* (у 40% проб). Останній вид є рідкісним, відомим як з мулу водойм, так і вологих ґрунтів (Matvienko, Dogadina, 1978; Ettl, Gärtner, 2014), в Україні виявлений з лісових ґрунтів Чернігівської та Сумської областей (Kostikov et al., 2001), також траплявся у річках Харківської обл. (Algae of Ukraine, 2006). Серед зелених водоростей переважають представники класу *Chlorophyceae* (8 видів), тоді як до класу *Trebouxiophyceae* належать лише 3 види. Такий розподіл зелених водоростей є типовим для ґрунтів рівнинних територій (Kostikov, 1991; Demchenko et al., 1998). Найчастіше траплялися *Heterochlamydomonas callunae* (у 80% проб), *Eubrownia* cf. *aggregata* та *Nannochloris* sp. (у 60% проб), два перші види є типовими представниками вологих та затінених ґрунтів. До цікавих знахідок можна віднести також *Protosiphon botryoides*, що є типовою ґрунтовою водорістю. Виявлений у Поліссі, Лісостепу та Степу України (Algae of Ukraine, 2011).

Порівняльний аналіз мікробіоценозів ґрунту заповідних та модельних букових лісів показав, що чисельність практично всіх досліджених еколого-трофічних груп мікроорганізмів в модельних букових насадженнях НБС була в 1,5–2,4 рази вищою порівняно із заповідними буковими пралісами (табл. 4). Це свідчить про сприятливіші едафічні умови для розвитку мікроорганізмів та інтенсивніші процеси трансформації і мінералізації органічної речовини в штучних насадженнях бука порівняно з заповідними пралісами. Останнє припущення підтверджують

результати агрофізичного та агрохімічного аналізів ґрунту досліджених екосистем (табл. 5, 6).

Таблиця 4. Чисельність мікроорганізмів (в 1 г сухого ґрунту) основних таксономічних та еколого-трофічних груп у ґрунтах досліджених лісових фітоценозів (усереднені дані за 2020–2021 рр.)

Лісовий фітоценоз	Мікроміцети, тис.	Актиноміцети, тис.	Амоніфікатори, млн	Мікроорганізми, що споживають мінеральний азот, млн
Буковий праліс (КБЗ)	45,9 ± 3,7	0,4 ± 0,1	3,4 ± 0,3	3,3 ± 0,4
Букові насадження (НБС)	81,3 ± 3,2	0,6 ± 0,4	6,8 ± 0,2	8,0 ± 1,0

Таблиця 5. Агрофізична характеристика ґрунтів досліджених лісових фітоценозів

Лісовий фітоценоз	Окисно-відновний потенціал, mV	Електропровідність, $\mu\text{S}/\text{cm}$	HCO_3 , м·екв./л
Буковий праліс (КБЗ)	127	75	0,5
Букові насадження (НБС)	89	97	0,3

Зокрема, електропровідність (яка корелює зі вмістом мінеральних солей), а також концентрації катіонів магнію, марганцю, заліза, аміачної та нітратної форм азоту в штучно створених насадженнях буку були суттєво вищими порівняно із заповідними буковими пралісами.

Очевидно, з цим пов'язане багатше видове різноманіття мікробіодоростей у ґрунті під буковими насадженнями НБС порівно з реліктовими пралісами. Цей самий ґрунт характеризувався вдвічі більшою чисельністю мікроорганізмів амоніфікаторів і тих, що споживають мінеральний азот. Характерною особливістю як реліктових пралісів, так і штучних насаджень буку європейського, була велика чисельність мікроміцетів, які склали, відповідно, 87% та 84% загальної чисельності мікроорганізмів, і незначна представленість актиноміцетів.

Таблиця 6. Вміст макро- та мікроелементів у ґрунтах ґрунтах досліджених лісових фітоценозів, мг/л ґрунту

Елемент	Лісовий фітоценоз	
	Буковий праліс (КБЗ)	Букові насадження (НБС)
NH_4^+	28,2±1,12	37,4±1,86
NO_3^-	8,3±0,65	55,2±3,72
P	137,2±9,17	121,6±8,96
K	94,1±8,54	67,9±5,36
Ca	2059,2±147,51	1667,5±139,80
Mg	203,7±12,64	409,1±31,73
Fe	412,4±31,58	521,8±44,02
Mn	93,2±8,71	275,9±18,31

Таке переважання мікроміцетів, серед яких багато симбіотрофів, свідчить про високий потенціал ґрунтової екосистеми до самовідновлення, що є характерним для клімаксових стадій природних фітоценозів (Tagas, 2014; Koriy et al., 2016).

З іншого боку, підвищені концентрації катіонів марганцю та заліза в ґрунті штучних насаджень буку можуть свідчити про можливу фітотоксичність ґрунту, особливо для рослин, які поновлюються насіннєвим шляхом.

Кореляційний аналіз результатів досліджень показав позитивний зв'язок між водоростевим різноманіттям та чисельністю двох екологічних груп мікроорганізмів: актиноміцетів ($R = 0,736$) та аммоніфікаторів ($R = 0,894$). Ценотичним взаємовідносинам між мікрководоростями та іншими мікроорганізмами присвячено чимало робіт (Sirenko, Kondratyeva, 1998; Sakevich, Usenko, 2008). Водорості впливають на накопичення в ґрунті органічних речовин, зокрема за рахунок азотфіксації ціано-бактеріями, змінюють фізико-хімічні властивості ґрунту, стимулюють їхню мікробіологічну активність, позитивно впливають на рослини за рахунок виділення фізіологічно активних речовин, є індикаторами стану ґрунтів та беруть участь у їхній рекультивациі (Algae, 1989).

Встановлено, що ціанобактерії та зелені мікрководорості активно продукують в оточуюче середовище амінокислоти, полісахариди, органічні

кислоти та інші сполуки (Sirenko, Kondratyeva, 1998; Kirpenko, 2013). Це стимулює ріст та розвиток численних гетеротрофних мікроорганізмів: грибів, бактерій, серед яких ідентифіковані амоніфікуючі, денітрифікуючі, олігонітрофільні та олігокарбофільні бактерії, а також стрептоміцети (Andreyuk et al., 1990). Слиз, який виділяють деякі види водоростей в оточуюче середовище, є важливою захисною структурою для супутніх мікроорганізмів, захищаючи їх від висихання та інсоляції (Mazor et al., 1996). Ці особливості, разом зі здатністю утворювати колонії, розмір яких може сягати кількох сантиметрів, дають можливість утворювати складні консорції з іншими мікроорганізмами ґрунту (Saint Martin et al., 1999). Аналіз кореляційних зв'язків між показником альгорізноманіття та вмістом макро- і мікроелементів у ґрунті виявив істотну позитивну кореляцію між вмістом кальцію ($R = 0,598$) та магнію ($R = 0,836$), тоді як концентрація фосфору в ґрунті негативно корелювала з кількістю виявлених видів мікроводоростей ($R = -0,904$).

Слід зауважити, що вибіркове поглинання мінеральних сполук мікроводоростями впливає на перерозподіл рухливих форм хімічних елементів по ґрунтовому профілю. Позитивним фактором хімічного впливу водоростей на ґрунт є покращення його аерації за рахунок кисню, що виділяється при фотосинтезі, а також залуження ґрунтового середовища. Розвиток мікроводоростей впливає на структурну організацію дрібних часток ґрунту, підвищує їхню водостійкість та запобігає виносу з поверхневого шару.

Висновки

Результати проведених порівняльних досліджень ґрунтових екосистем заповідних букових пралісів та їх штучно створеного аналогу на території НБС показав, що останній характеризується більш високим різноманіттям та чисельністю мікроорганізмів всіх еколого-трофічних груп. У ґрунті штучних насаджень бука більш інтенсивно протікають процеси трансформації та мінералізації органічної речовини, вище концентрації мінеральних солей, катіонів магнію, марганцю, заліза, аміачного та нітратного азоту.

Таким чином, ґрунтова екосистема під штучними насадженнями буку європейського більшою мірою проявляє риси лабільності та спроможності адаптуватися до несприятливих змін навколишнього середовища внаслідок антропогенного впливу або кліматичних змін.

Список літератури

- Aleksakhina T.Y., Shtina E.A. 1984. *Soil algae of forest biogeocenoses*. Moscow: Nauka. 150 p.
[Алексахина Т.И., Штина Э.А. 1984. *Почвенные водоросли лесных биогеоценозов*. Москва: Наука. 150 с.].
- Algae: Reference book*. 1989. Ed. S.P. Wasser. Kyiv: Nauk. Dumka. 608 p. [*Водоросли: Справочник*. 1989. Ред. С.П. Вассер. Київ: Наук. думка. 608 с.].
- Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography*. 2006. Eds P.M. Tsarenko, S. Wasser, E. Nevo. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.-G. Vol. 1. 713 p.
- Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography*. 2011. Eds P.M. Tsarenko, S. Wasser, E. Nevo. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.-G. Vol. 3. 511 p.
- Andreyuk E.I., Kopteva Zh.P., Zanina I.I. 1990. *Cyanobacteria*. Kyiv: Nauk. Dumka. 197 p.
[Андреюк Е.И., Коптева Ж.П., Занина И.И. 1990. *Цианобактерии*. Київ: Наук. думка. 197 с.].
- Bischoff H.W., Bold H.C. 1963. Phycological studies. IV. Some soil algae from Enchanted Rock and related algal species. *Univ. Texas Publ.* 6318: 1–95.
- Borisova O.V., Palamar-Mordvintseva H.M., Tsarenko P.M. 2016. *Flora of algae of Ukraine*. Vol. 12. *Charophyta*. Issue 2. *Mesostigmatophyceae, Klebsormidiophyceae, Coleohetophyceae, Charophyceae*. Kyiv. 281 p. [Борисова О.В., Паламар-Мордвинцева Г.М., Царенко П.М. 2016. *Флора водоростей України*. Т. 12. *Харофітові водорості*. Вип. 2. *Класи мезостігматофіцієві, клібсормідієфіцієві, колеохетофіцієві, харофіцієві*. Київ. 281 с.].
- Darlenko T.M. 2000. On the species composition of soil algae of the reserves of the Mountain Crimea (Ukraine). *Algologia*. 10(1): 54–62. [Дариенко Т.М. 2000. О видовом составе почвенных водорослей заповедников Горного Крыма (Украина). *Альгология*. 10(1): 54–62].
- Demchenko E.N. 1999. New species of algae for the flora of Ukraine from forest soils of Ukrainian Polesie. *Algologia*. 9(2): 40–41. [Демченко Э.Н. 1999. Новые для флоры Украины виды водорослей из лесных почв Украинского Полесья. *Альгология*. 9(2): 40–41].
- Demchenko E.N., Mikhailyuk T.I., Rybchinsky O.V. 1998. Soil algae of the main stages of secondary succession on the right bank massif of the Kaniv Nature Reserve (Ukraine). *Algologia*. 8(4): 400–410. [Демченко Э.Н., Михайлюк Т.И., Рыбчинский О.В. 1998. Почвенные водоросли основных стадий вторичной сукцессии на правобережном массиве Каневского природного заповедника (Украина). *Альгология*. 8(4): 400–410].
- Ettl H., Gärtner G. 2014. *Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen*. 2nd ed. Munich: Spektrum Akad. Verlag. 773 p.
- Hollerbach M.M., Shtyna E.A. 1969. *Soil algae*. Leningrad: Nauka. 228 p. [Голлербах М.М., Штина Э.А. 1969. *Почвенные водоросли*. Ленинград: Наука. 228 с.].
- Kirpenko N.I. 2013. *Allelopathic interactions of freshwater algae*. Kyiv: Nauk. Dumka. 255 p.
[Кирпенко Н.И. 2013. *Аллелопатическое взаимодействие пресноводных водорослей*. Киев: Наук. думка. 255 с.].

- Kopiy M., Oliferchuk V., Kopiy L. 2016. Species diversity of soil micromycetes in the territory of the Novorozdilsky Sulfur Quarry. *Sci. Bull. UNFU*. 26(3): 278–287. [Копій М., Оліферчук В., Копій Л. 2016. Видове різноманіття мікроміцетів ґрунту території Новorozдільського сірчаного кар'єру. *Наук. вісн. НЛТУ*. 26(3): 278–287]. <https://doi.org/10.15421/40260346>
- Kostikov I.Yu. 1991. Algae in the soils of broad-leaved forests of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Algologia*. 1(3): 42–50. [Костиков И.Ю. 1991. Водоросли почв широколиственных лесов Правобережной Лесостепи Украины. *Альгология*. 1(3): 42–50].
- Kostikov I.Yu., Darienko T.M. 1996. On the composition of soil algae in the Mountain Crimea (Ukraine). *Algologia*. 6(3): 285–294. [Костиков И.Ю., Дариенко Т.М. 1996. О составе почвенных водорослей Горного Крыма (Украина). *Альгология*. 6(3): 285–294].
- Kostikov I.Yu., Romanenko P.O., Demchenko E.M., Darienko T.M., Mikhailyuk T.I., Rybchinskiy O.V., Solonenko A.M. 2001. *The soil algae from Ukraine (history and methods of investigation, classification system, floristics)*. Kyiv: Phytosociocenter. 300 p. [Костиков И.Ю., Романенко П.О., Демченко Е.М., Дариенко Т. М., Михайлюк Т.И., Рибчинський О.В., Солоненко А.М. 2001. *Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори)*. Київ: Фітосоціоцентр. 300 с.].
- Matvienko O.M., Dogadina T.V. 1978. *Yellow-green algae – Xantophyta. Determinant of freshwater algae of the Ukrainian SSR*. X. Kyiv: Nauk. Dumka. 511 p. [Матвієнко О.М., Догадіна Т.В. 1978. *Жовтозелені водорості – Xantophyta. Визначник прісноводних водоростей Української РСР*. X. Київ: Наук. думка. 511 с.].
- Mazor G., Kidron G. J., Vonshak A., Abeliovich A. 1996. The role of cyanobacterial exopolysaccharides in structuring desert microbial crusts. *FEMS Microbiol. Ecol.* 21(2): 121–130.
- Melnyk V.I., Dzyba A.A., Kharchyshyn V.T., Savchuk R.I. 2010. Introduction of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in green belt of Kyiv. *Plant Introduct.* 1: 20–25. [Мельник В.І., Дзиба А.А., Харчишин В.Т., Савчук Р.І. 2010. Інтродукція бука європейського (*Fagus sylvatica* L.) в зелену зону м. Києва. *Інтродукція рослин*. 1: 20–25.]
- Mikhailyuk T.I., Kondratyuk S.Ya., Nyporko S.O., Darienko T.M., Demchenko E.M., Voytsekhovych A.O. 2011. *Lichens, bryophytes and terrestrial algae of granite canyons of Ukraine*. Kyiv: Alterpress. 398 p. [Михайлюк Т.І., Кондратюк С.Я., Нипорко С.О., Дариенко Т.М., Демченко Е.М., Войцехович А.О. 2011. *Лишайники, мохоподібні та наземні водорості гранітних каньйонів України*. Київ: Альтерпрес. 398 с.].
- Mukha V.D. 2004. *Natural-anthropogenic evolution of soils*. Moscow: Kolos. 271 p. [Муха В.Д. 2004. *Естественно-антропогенная эволюция почв*. Москва: Колос. 271 с.].
- Pecheneva S.Ia. 1998. Agrochemical analysis methods. *Havrysh*. 4: 24–26. [Печенева С.Я. 1998. Методы агрохимического анализа. *Гавриш*. 4: 24–26].
- Rinkis G.Ya., Nollendorf V.F. 1982. Balanced nutrition of plants with macro- and microelements. Riga: Zinatne. 202 p. [Ринькис Г.Я., Ноллендорф В.Ф. 1982. *Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами*. Рига: Зинатне. 202 с.].
- Romanenko P.A. 1999. Soil algae of alder slate in the Chernogora mountain range of the Carpathian Biosphere Reserve (Ukrainian Carpathians). *Algologia*. 9(2): 123–124.

- [Романенко П.А. 1999. Почвенные водоросли ольхового сланика Черногорского массива Карпатского биосферного заповедника (Украинские Карпаты). *Альгология*. 9(2): 123–124].
- Saint Martin J.P., Pestrea S., Mansour B., Notonier R. 1999. Diatomees associees aux tapis microbiens: Une cle pour la comprehension des constructions microbiennes anciennes? *Cryptogam. Algologie*. 20(2): 108–109.
- Sakevich O.Y., Usenko O.M. 2008. *Allelopathy in hydroecosystems*. Kyiv: Logos. 342 p. [Сакевич О.Й., Усенко О.М. 2008. *Алелопатія в гідроекосистемах*. Київ: Логос. 342 с.].
- Shynder O. 2018. Natural plant communities on the territory of M.M. Gryshko National Botanical Garden of the NAS of Ukraine. In: *Landscape architecture in botanical gardens and arboreturns*: Mat. conf. (Kyiv–Uman'). Pp. 337–342. [Шиндер О.І. 2018. Природні угруповання на території Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України. В кн.: *Ландшафтна архітектура в ботанічних садах і дендропарках*: Мат. конф. (Київ – Умань). С. 337–342.]
- Sirenko L.A., Kondratyeva N.V. 1998. The role of *Cyanophyta* in nature. *Algologia*. 8(2): 117–131. [Сиренко Л.А., Кондратьєва Н.В. 1998. Роль *Cyanophyta* в природі. *Альгология*. 8(2): 117–131].
- Taras U.M. 2014. The use of indicators of the species diversity of soil micromycetes in the assessment of environmental disturbance due to the action of anthropogenic factors. *Sci. Bull. UNFU*. 24(8): 136–139. [Тарас У.М. 2014. Застосування показників видового різноманіття мікроміцетів ґрунту при оцінювання порушення навколишнього середовища внаслідок дії антропогенних факторів. *Наук. вісн. НЛТУ*. 24(8): 136–139].
- Yermeev R. 2020. Ecological problems of modernity. In: *Ecology. Human health. Problems and prospects of humanity*: Mat. conf. Kharkiv. Pp. 59–63. [Єремєєв Р. 2020. Екологічні проблеми сучасності. В кн.: *Екологія. Здоров'я людини. Проблеми та перспективи людства*: Мат. конф. Харків. С. 59–63].

Tsarenko P.M. ^{1†} (<https://orcid.org/0000-0003-0711-8573>)

Zaimenko N.V. ² (<https://orcid.org/0000-0003-2379-1223>)

Demchenko E.M. ¹ (<https://orcid.org/0000-0003-4997-6744>)

Mikhailyuk T.I. ¹ (<https://orcid.org/0000-0002-7769-2848>)

Didyk N.P. ² (<https://orcid.org/0000-0002-8969-2239>)

Ellanska N.E. ² (<https://orcid.org/0000-0002-3634-5313>)

Kharitonova I.P. ² (<https://orcid.org/0000-0001-9540-5278>)

Benderychek T.Yu. ² (<https://orcid.org/0000-0003-2954-0118>)

Melnyk V.I. ² (<https://orcid.org/0000-0001-8315-8468>)

¹ M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine,

2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01004, Ukraine

² M.M. Gryshko National Botanical Garden, NAS of Ukraine,

1 Tymiryazevska Str., Kyiv 01014, Ukraine

Comparative analysis of soil ecosystems of protected and artificially created beech forests

Peculiarities of soil ecosystems (algae, microbiocenosis, agrochemical and agrophysical characteristics) of the Uholsko-Shirokoluzhanskyi beech relict forests of the Carpathian Biosphere Reserve, as well as artificial European beech (*Fagus sylvatica* L.) plantations located on the botanical and geographical plots "Ukrainian Carpathians" of the M.M. Gryshko National Botanical Garden of NAS of Ukraine. Soil samples were collected from May to September during 2020–2021. The species composition of soil microalgae, the number of ecological and trophic groups of microorganisms, agrophysical and agrochemical characteristics of soils were analyzed. The predominance of green algae with a significant diversity of green flagellates and the complete absence of cyanobacteria are typical features of forest soils. The small number of detected species (12 in beech relict forests and 15 in artificial beech plantations) indicates shaded forest ecosystems which are typical for beech forests. Despite common features, the species composition of soil algae of both phytocenoses is quite different. The soils under the beech relict forests are characterized by a significant predominance of green algae, among which essential number of *Trebouxiophyceae* representatives with aerophytic ecology were found. It indicates the mountainous nature of the soil algal flora. Soils under artificial beech plantations are characterized by a richer species diversity and predominance of *Chlorophyceae* representatives, which is typical for lowland forests. A characteristic feature of protected and artificially created beech forests was the relative high number of micromycetes. Correlation analysis of research results showed a positive relationship between algal diversity and the abundance of two eco-trophic groups of microorganisms: actinomycetes and ammonifiers. In addition, the growth of algal diversity was positively correlated with the content of Ca and Mg, and negatively with the content of P.

Key words: *Fagus sylvatica*, relic forests, artificial plantations, soil ecosystems, algae, microbiocenosis, biodiversity, mineral nutrition, transformation of organic matter

Citation. Tsarenko P.M.[†], Zaimenko N.V., Demchenko E.M., Mikhailyuk T.I., Didyk N.P., Ellanska N.E., Kharitonova I.P., Benderychek T.Yu., Melnyk V.I. 2023. Comparative analysis of soil ecosystems of protected and artificially created beech forests. *Algologia*. 33(4): 292–308. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.292>

БОРИСОВА О.В. (<https://orcid.org/0000-0002-0941-5099>)

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,
вул. Терещенківська 2, Київ 01601, Україна
oborysova17@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ *NITELLOPSIS OBTUSA* (DESV.) J.GROVES (*CHAROPHYTA, CHARALES*) В УКРАЇНІ

Реферат. Представлено результати аналізу літературних та оригінальних даних щодо особливостей поширення в Україні реліктового виду макроскопічних харофітових водоростей *Nitellopsis obtusa* (Desv.) J.Groves (*Charophyta, Charales*), який включений до третього видання Червоної книги України. Його сучасний природний ареал охоплює територію Євразії в межах помірних і субтропічних широт від Португалії до Японії. Декілька місцезнаходжень виду також відомі в Північній Америці, в районі Великих озер, як результат випадкової інтродукції, що трапилася наприкінці XX ст. В більшості країн Європи та Азії вид трапляється спорадично. Його поширення лімітується наявністю водних об'єктів певного типу, а також такими чинниками, як загальна мінералізація води, її іонний склад та рН. Загалом зареєстровано 26 місцезнаходжень *N. obtusa* в Україні, включаючи історичні, втрачені та сучасні. Складено та проаналізовано список місцезнаходжень та картосхему поширення цього виду. Усі локалітети виявлені в межах Прип'ятсько-Деснянської, Середньодніпровської та Дніпровсько-Причорноморської альгофлористичних підпровінцій. Характер їхнього розташування підтверджує тенденцію розповсюдження *N. obtusa* в Україні виключно в долинах крупних річок, що найімовірніше пов'язано з відсутністю великих озер зі сталим гідрологічним та гідрохімічним режимами, а також екологічними та біологічними особливостями виду.

Ключові слова: *Charophyta, Charales, Nitellopsis obtusa*, біологія, екологія, поширення, Україна

Надійшла до редакції 02.10.2023. Після доопрацювання 03.11.2023. Підписана до друку 06.11.2023.
Опублікована 20.12.2023

Цитування. Борисова О.В. 2023. Особливості поширення *Nitellopsis obtusa* (Desv.) J.Groves (*Charophyta, Charales*) в Україні. *Альгологія*. 33(4): 309–323. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.309>

Вступ

Nitellopsis obtusa – євразійський реліктовий вид макроскопічних харофітових водоростей, викопні рештки якого відомі з початку четвертинного періоду (Krassavina, 1971; Soulie-Marsche, 2002). Рослини великі, дводомні, інкрустовані вапном, світло- або темно-зелені. Діагностичними ознаками виду є відсутність кори, рудиментарні прилистки, будова оогоніїв з п'ятиклітинною коронкою та наявність спеціальних вегетативних органів розмноження – ризоїдних зіркоподібних бульбочок (Hollerbach, Palamar-Mordvintseva, 1991). Сучасний природний ареал *N. obtusa* охоплює територію Євразії в межах помірних та субтропічних широт від Португалії до Японії. Декілька місцезнаходжень виявлено на території Північної Америки як результат випадкової інтродукції виду з корабельними баластними водами наприкінці XX ст. (Schloesser et al., 1986). Протягом 45 років він досить швидко натуралізувався в районі Великих озер (США, Мінесота) і нині вважається інвазійним (Glison et al., 2022).

Nitellopsis obtusa є широко поширеним видом в Європі. Його місцезнаходження виявлені на території 24 країн (Австрія, Болгарія, Бельгія, Велика Британія, Греція, Данія, Естонія, Іспанія, Італія, Латвія, Литва, Німеччина, Польща, Португалія, Румунія, Сербія, Словаччина, Україна, Угорщина, Фінляндія, Франція, Чехія, Швейцарія, Швеція). В Азії він відомий з Індії, Ірану, Казахстану, Китаю, М'янми, Узбекистану, Японії (Krause, 1997; Soulie-Marsche et al., 2002; Romanov, 2009; Guiry, Guiry, 2023). Проте всюди трапляється спорадично. Найбільша кількість його локалітетів виявлена в Німеччині, Франції, Бельгії та Китаї (Soulie-Marsche et al., 2002). У більшості країн Центральної та Східної Європи *N. obtusa* вважається звичайним видом (Simons, Nat, 1996; Urbaniak, Gabka, 2014; Sinkeviciene, Gudzinaskas, 2021). Водночас, цей вид включений як рідкісний, вразливий або зникаючий до Червоних книг Великої Британії (Stewart, Church, 1992), країн Скандинавського п-ва (Langangen, 2007), Швейцарії (Auderset Joy, Schwarzer, 2012), Японії (Kato et al., 2014) та ін. В Україні *N. obtusa* включений до Червоної книги (Red Data Book..., 2009) зі статусом рідкісний. Тому проведення моніторингових досліджень відомих та пошук нових локалітетів цього виду для оцінки ефективності природоохоронних заходів є актуальним.

Мета роботи – проаналізувати особливості біології, екології та поширення *Nitellopsis obtusa* в Україні.

Матеріали дослідження

У роботі використані літературні дані, матеріали гербарію Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (KW) та результати оригінальних досліджень.

Результати та обговорення

За результатами аналізу літературних даних та критичного перегляду гербарних матеріалів складено анотований список місцезнаходжень *Nitellopsis obtusa* та картосхему поширення його в Україні (див. рисунок). Список подано зі вказівкою адміністративних областей в межах альгофлористичних підпровінцій (Palamar-Mordvintseva, Tsarenko, 2015).

Пrip'ятсько-Деснянська альгофлористична підпровінція (ПпДсАП)

1. Волинська обл., Любашівський р-н, оз. Біле, 28.07.1998, П.М. Царенко (KW) (Palamar-Mordvintseva, Tsarenko, 2004).
2. Волинська обл., Шацький р-н, Шацький національний природний парк (НПП), с. Мельники, оз. Кримне, 27.06.2006, В.І. Гончаренко (KW) (Borysova, Honcharenko, 2011).
3. Волинська обл., Шацький р-н, Шацький НПП, оз. Остров'янське, 04.06.1983, В.П. Юнгер (KW) (Palamar-Mordvintseva, Tsarenko, 2004).
4. Волинська обл. Шацький р-н, Шацький НПП, оз. Пулемецьке та обводнене болото біля озера, 10.08.2006, Д.М. Якушенко (KW) (Borysova, Honcharenko, 2011).
5. Волинська обл., Шацький р-н, Шацький НПП, оз. Світязь, затоки Лука та Бужня, 05.08.2006, Д.М. Якушенко (KW) (Borysova, Honcharenko, 2007, 2011; Borysova et al., 2008).
6. Київська обл., Броварський р-н, болото, 16.06.1939, О.О. Топачевський (Hollerbach, Palamar-Mordvintseva, 1991) – втрачений локалітет.
7. Київська обл., Іванківський р-н, с. Страхолісся, Київське водосховище, Тетерівська затока, масово, 07.10. 2011, П.Д. Клоченко (KW) (Borysova et al., 2016).
8. Київська обл., м. Київ, Ботанічний сад ім. акад. О.В. Фоміна, басейн, 2005, Т.П. Мазур (Borysova et al., 2016) – втрачений локалітет.
9. Київська обл., м. Київ, Оболонь, оз. Голубе, зрідка, 11.06.2011, Г.Г. Ліліцька (KW) (Borysova et al., 2016).
10. Київська обл., м. Київ, парк Нивки, басейн, масово, 28.08.2005, Л.В. Войтенко (KW) (Borysova et al., 2016).

Середньодніпровська альгофлористична підпровінція (СДпАП)

11. Київська обл., м. Київ, Осокорки, оз. Вирлиця, 23.07.2004, Г.Г. Ліліцька (KW) (Borysova et al., 2016).

12. Київська обл., м. Київ, Осокорки, оз. Підбірне, 15.07.2007, Г.Г. Ліліцька (KW) (Borysova et al., 2016).

13. Київська обл., м. Київ, НПП «Голосіївський», оз Шапарня, масово, 16.06.2007, 15.08.2008, Г.Г. Ліліцька (KW); масово 09.2009, О.І. Прядко (KW); масово, 17.06.2010, О.В. Борисова, Г.Г. Ліліцька (KW) (Borysova et al., 2016).

14. Київська обл., Обухівський р-н, окол. м. Українка, р. Козинка, мілководдя біля дамби, поодинокі, 25.09. 2005, О.В. Борисова, Г.Г. Ліліцька (KW) (Palamar-Mordvintseva, Borysova, 2006).

15. Харківська обл., Дворічанський р-н, окол. с. Лиман-Другий, озеро, 28.08.2012, А.Б. Громакова (KW) (Borysova, Gromakova, 2019).

16. Харківська обл., Зміївський р-н, окол. с. Коробови Хутори, старе русло р. Сіверський Донець, затока Косач, масово на глибині 3,5 м, 10.08.1912, І. Савенков, (KW) (Burova (Gerasimova) et al., 2010) – втрачений локалітет.

17. Харківська обл., Зміївський р-н, окол. Сіверсько-Донецької біологічної станції, заплава р. Сіверський Донець, Генні озера, масово (Roll, 1926) – частково втрачений локалітет.

18. Харківська обл., Чугуєвський р-н, окол. смт Слобожанське, оз. Лиман, 28.05.2008, М.Л. Лунгу, А.М. Колесник (KW), 07.07.2010, А.Б. Громакова (KW), 14.07.2013, А.Б. Громакова (KW) (Borysova, Gromakova, 2017).

19. Харківська обл., Харківський р-н, окол. смт Безлюдівка, оз. Підборівське, 15.08.2013, А.Б. Громакова, М.Д. Жежера (KW) (Borysova, Gromakova, 2017).

20. Черкаська обл., Канівський р-н, о-в Підгуловщина, 20.06.1939 О.О. Топачевський (Hollerbach, Palamar-Mordvintseva, 1991) – втрачений локалітет.

Дніпровсько-Причорноморська альгофлористична підпровінція (ДпПчАП)

21. Дніпропетровська обл., Петриківський р-н, Дніпровсько-Орільський природний заповідник (ПЗ), невелика заплавна водойма, на глибині 4 м, масово, 28.08.2005, С.В. Соловійов (KW) (Burova (Gerasimova) et al., 2010).

22. Донецька обл., НПП «Святі гори», окол., с. Богородичне, оз. Оступне, масово (Khmelevsky, 1889).

23. Одеська обл., Білгород-Дністровський р-н, Дністровський лиман, верхів'я, зрідка, 28.06.2005, Ф.П. Ткаченко (Borisova, Tkachenko, 2008).

24. Одеська обл., Біляївський р-н, озера, утворені Дністром та Турунчуком (притока Дністра): Біле, Кучурган, Тудорове та ін., масово

(Podlesky, 1936), там же, всюди зрідка, 20.06.2005, Ф.П. Ткаченко (Borisova, Tkachenko, 2008).

25. Одеська обл., Болградський р-н, оз. Ялпуг, оз. Кугурлуй (Borisova, Tkachenko, 2008).

26. Херсонська обл., Білозерський р-н, біля с. Станіслав, Дніпровський лиман, західна частина (Pogrebniak, 1953) – втрачений локалітет.

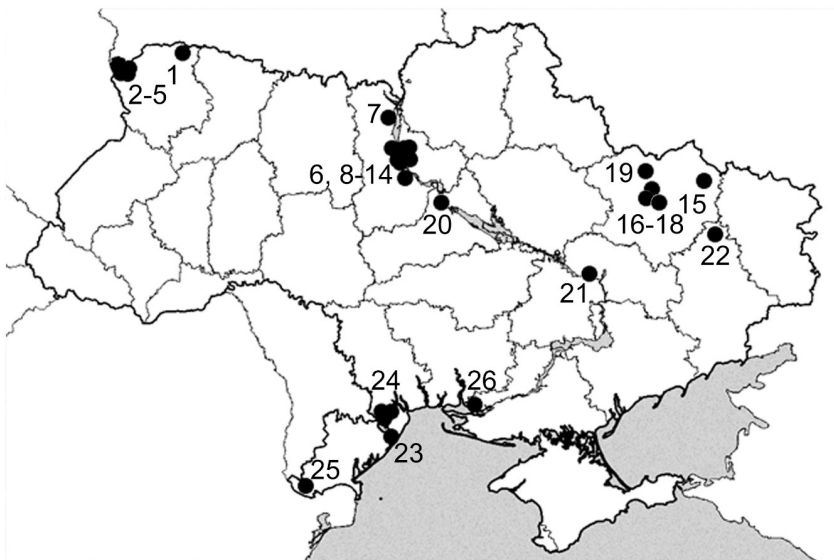


Рисунок. Карта-схема поширення *Nitellopsis obtusa* в Україні.

Розташування місцезнаходжень у басейнах річок: 1–5 – Західний Буг (ПпДсАП); 6–10 – Дніпро (ПпДсАП), 11–14, 20 (СДпАП), 21, 26 (ДпПчАП); 15–19, 22 – Сіверський Донець (СДпАП); 23, 24 – Дністер (ДпПчАП); 25 – Дунай (ДпПчАП). Нумерація місцезнаходжень відповідає такій у тексті статті

Як видно з наведеного списку, на сьогодні в Україні зареєстровано 26 місцезнаходжень *N. obtusa*, включаючи історичні (2), втрачені (5) та сучасні (19), які виявлені в окремих регіонах у межах трьох альгофлористичних підпровінцій (ПпДсАП, СДпАП та ДпПчАП).

До історичних відносяться локалітети *N. obtusa*, що наводяться на підставі результатів флористичних досліджень В.М. Хмелевського у 1888 р. (Khmelevsky, 1889) та І. Савенкова у 1912 р. (Borysova et al., 2016) заплавних водойм р. Сіверський Донець на території Харківської губернії (нині Донецька та Харківська область відповідно). Вперше В.М. Хмелевський описав масовий розвиток *N. obtusa* в оз. Оступне (Донецька обл., нині НПП «Святі гори»), де на глибині 2–3 м зростали виключно жіночі рослини. Масовий розвиток цього виду у заплавних

водоймах Сіверського Дінця (Харківська обл., Зміївський р-н) спостерігали також у 1910-х рр. І. Савенков (стариця) і М.В. Арнольд (озера) та у 1920-х рр. Я.В. Ролл (Генні озера) (Borysova et al., 2016; Borysova, Gromakova, 2019). До втрачених відносяться локалітети, які вже зникли внаслідок різних природних й антропогенних трансформацій (будівництва гідростанцій, осушення боліт, меліорації тощо).

Як відомо, *N. obtusa* належить до глибоководних видів. При цьому глибина його поселення може коливатися від 1 до 30 м, а найкращий ріст спостерігається на глибині 4–12 м. Найчастіше трапляється в стоячих або повільно текучих водах – великих озерах, бухтах, затоках, лагунах (Krassavina, 1971; Soulie-Marsche et al., 2002). По відношенню до солоності є індиферентом і добре росте як у прісних, так і солонуватих водах. Тяжіє до оліго-мезотрофних водойм з середньою загальною мінералізацією (500–700 мг/л), гідрокарбонатно-кальцієвим складом води та рН вище 7,5 (Hollerbach, Palamar-Mordvintseva, 1991; Gąbka, 2009).

Загалом представлений список локалітетів свідчить про те, що в Україні *N. obtusa* трапляється здебільшого в басейнах великих річок – затоках та заплавних водоймах Дніпра, Дністра, Прип'яті, Сіверського Дінця та ін., а також у надзаплавних озерах сучасних річок і долин древніх водотоків (карстові, льодовикові, залишкові та ін.).

У межах СДпАП на території Волинської обл. *N. obtusa* знайдено в басейні р. Західний Буг, в озерах карстового походження Світязь, Остров'янське, Пулемецьке, Кримне (Шацький р-н, Шацький НПП) та оз. Біле (Любешівський р-н). Слід відмітити, що в 1950-х рр. в Шацьких озерах, серед яких оз. Світязь є найбільшим (площа 24 км², середня глибина 7,2 м, максимальна 58,4 м), домінували виключно *Chara virgata* Kütz. (= *C. delicatula* C.Agardh). та *C. globularis* Thuill. Проте з 1980-х рр. і дотепер внаслідок збільшення антропогенного навантаження та евтрофування водойм у видовому складі *Charales* досліджуваних озер відбуваються певні зміни, в першу чергу за рахунок скорочення площі зростання *C. virgata* та збільшення площ інших видів. Так, зникнення *C. virgata* у прибережному мілководді оз. Світязь супроводжується масовим розвитком у затоках Лука та Бужня видів *C. aspera* на глибині 0,3–3,0 м на піщаному дні та *N. obtusa* на мулистих або торф'янисто-мулистих субстратах. В обох локалітетах зарості *N. obtusa* здебільшого були представлені жіночими або стерильними рослинами. Нечисленні чоловічі рослини з антеридіями виявлені у затоці Бужня (Borysova et al., 2008). У мезотрофних озерах Остров'янське, Пулемецьке та Кримне з різним ступенем евтрофування, з каламутною або забарвленою водою та

мулистим дном *N. obtusa* зростає здебільшого на глибині 1,5 м, іноді з *C. globularis* (Borysova, Honcharenko, 2011).

На території Київської обл. зареєстровано п'ять локалітетів *N. obtusa* в межах ПпДсАП і чотири – в межах СДпАП. Серед них найцікавішими є місцезнаходження виду в Тетерівській затоці Київського вдсх (Іванківський р-н, с. Страхолісся) та оз. Шапарня (м. Київ, НПП «Голосіївський»), що розташоване у басейні р. Віта, притоки Дніпра. Решта локалітетів представлена малими водоймами м. Києва, які в свій час досліджувала Г.Г. Ліліцька з метою встановлення сучасного видового різноманіття центричних діатомей (*Coscinodiscophyceae*) (Lilitskaya, 2014). Усього Г.Г. Ліліцька обстежила 62 водних об'єкти: ставки (водойми повільного стоку природнього або штучного походження) – 22, озера – 22, річкові водойми з інтенсивним водообміном з Дніпром – 7, водотоки – 6 та інші (копань, ями, басейни) – 5 й попутно виявила п'ять місцезнаходжень *N. obtusa*, включаючи оз. Шапарня, де харові водорості цього виду зростали масово або поодинокі (Borysova, Lilitska, 2014). Масовий розвиток *N. obtusa* було зафіксовано також у двох цементних басейнах, один з них з тропічними водними рослинами на території Ботанічного саду ім. акад. О.В. Фоміна (Borysova et al., 2016).

У Тетерівській затоці Київського вдсх та в обстежених малих водоймах м. Києва, крім оз. Шапарня, популяції *N. obtusa* здебільшого були представлені чоловічими або нефертильними рослинами.

Озеро Шапарня має штучне походження, воно утворилося в природній улоговині в 1970-х рр. унаслідок видобутку торфу й заповнення кар'єру річною водою. Наразі його первісна площа помітно зменшилася через мізерну проточність та поступове заростання берегів очеретом, особливо його північної частини. Подібно до берегів, водна товща озера заросла різними видами водних рослин, зокрема харовими водоростями (Vyshnevsky, 2021).

У результаті альгологічних досліджень, регулярного збору зразків та ідентифікації харових водоростей протягом 2002–2017 рр. були виявлені зміни у видовому складі *Charales* озера, обумовлені природними процесами заростання озера. Так, на початку 2000-х рр. в озері спостерігався масовий розвиток *C. contraria* A.Braun ex Kütz. до 2007 р., після чого вид зник. Водночас у 2005–2008 рр. на глибині 1,5–4,0 м, активно розвивалися зарості *N. obtusa*, сформовані чоловічими рослинами з антеридіями. З'явився *C. globularis*, кущики якого поодинокі зростали серед очерету, і зник у 2008 р. під натиском *C. papilosa* Kütz. (= *C. intermedia* A.Braun), що вже активно розмножився в центрі озера. Найактивніший ріст *N. obtusa* спостерігався в 2010 р. При цьому зарості

цього виду на глибині 2–4 м формувалися чоловічими рослинами, а на глибині 0,5–1,5 м – жіночими, спільно з рослинами рідкого виду для світової флори – *Lychnothamnus barbatus* (Rupr.) Leonh. (Borysova et al., 2016). Після 2010 р. зникли всі види харових водоростей, крім *C. papilosa*, міцні зарості якого продовжують активно розвиватися донині та, ймовірно, здатні конкурувати з вищими водними рослинами.

У долині Дніпра (див. рисунок) виявлено ще три місцезнаходження *N. obtusa*. З них два історичних локалітета, вже втрачені внаслідок антропогенних трансформацій (будівництва гідроелектростанцій). Один локалітет у Черкаській обл. в межах СДпАП, другий – у Херсонській обл. в межах СДпАП у районі Дніпровсько-Бузького лиману. Проте сучасна знахідка на території Дніпровсько-Орільського природного заповідника (Дніпропетровська обл., Петриківський р-н) свідчить про ймовірність виявлення нових місцезнаходжень цього виду в долині Дніпра.

На території Харківської обл. в межах СДпАП *N. obtusa* трапляється в басейні Сіверського Дінця, де має невелику кількість історичних (1) та сучасних (4) локалітетів – заплавні озера Лиман, Підборівське, Генні озера та невелике озеро на надзаплавній терасі р. Оскіл (правої притоки Сіверського Дінця). Всюди відзначається активним ростом і часто формує щільні зарості фертильних рослин, що найімовірніше обумовлено характером гідрохімічного режиму вище перелічених водних об'єктів, які мають відносно невисоку загальну мінералізацію (200–700 мг/л), гідрокарбонатно-кальцієвий або сульфатно-кальцієво-магнієвий склад води та рН 8,0–8,4 (Borysova, Gromakova, 2019).

Серед сучасних локалітетів *N. obtusa* слід відзначити озеро Лиман, найбільше у Харківській обл. (нині водойма-охолоджувач Зміївської ТЕС, розташована в Чугуївському р-ні), яке утворилося на місці стариці р. Сіверський Донець, за кілька кілометрів від сучасного русла річки. На початку XX ст. проф. Харківського університету М.В. Арнольд (1916) спостерігав масовий розвиток червонокнижного *C. canescens* Loisel. – типового виду високомінералізованих солонуватих вод з оптимум росту при солоності 7–8‰. Однак зі спорудженням Зміївської ТЕС і необхідністю використання озера в якості водойми-охолоджувача воно було повністю модифіковано й заповнено прісною водою з р. Сіверській Донець. Це призвело до різкої зміни його гідрологічного та гідрохімічного режимів і, відповідно, зміни домінуючого виду харових водоростей озера, тобто до зникнення галофільного *C. canescens* та появи й активного розвитку прісноводного *N. obtusa*.

У межах СДпАП крім вище згаданого історичного локалітету в Херсонській обл. (Pogrebniak, 1953) нечисленні знахідки *N. obtusa*

відмічені на території Одеської обл. (Podlessky, 1936; Borisova Tkachenko, 2008). Подлеський В.І. (Підлісний) під час альгофлористичних досліджень південно-західної частини України протягом 20–30-х рр. минулого століття виявив і описав масовий розвиток *N. obtusa* (= *Tolipellopsis stelligera* (Bauer) Migula) в утворених Дністром і Турунчуком заплавлених озерах (нижня течія Дністра) (Podlessky, 1936). У 60–70-х рр. Н.В. Смірнова-Гараєва відмічала заростання цих озер вищою водною рослинністю без вказівки щодо наявності *N. obtusa* (Smirnova-Garaeva, 1980). У 2000-х рр. Ф.П. Ткаченко зі співробітниками знаходить поодинокі рослини в деяких озерах, раніше досліджених В.І. Подлеським (Біле, Тудорове, Кучурган), а також зрідка в інших озерах Одеської обл. (Кугурлуй, Ялпуг), у верхів'ї Дністровського лиману тощо, що найвірогідніше обумовлено зростаючим антропогенним тиском (Kovtun, Tkachenko, 2002; Borisova, Tkachenko, 2008).

Таким чином, результати аналізу свідчать про те що, основними обмежувальними чинниками для росту *N. obtusa* є тип водойми, ступінь мінералізації, хімічний склад води та активна реакція середовища.

Прикладом типових місцезростань *N. obtusa* є великі глибокі вулканічні озера (Віко, Болсена, Браччанно, Лаціо, Немі та ін.) в Італії (Azzella, 2014), озера Балканського п-ва (глибоке Шкодра та мілководне Преспа) (Blazencic et al., 2006), Південного Уралу (Велике Міасове, Слове) (Veisberg, Isakova, 2010), Польщі (Pelechaty et al., 2022), Литви (глибоке Дуся, мілководне заболочене Жувінтас) (Sinkeviciene, 2007), водойми в авандельті Волги (Zhuvogliad, Krivonosov, 1982) тощо. За оптимальних умов зростання вид здатен формувати довготривалі щільні моно- або маловидові зарості та конкурувати з деякими видами *Charales*, наприклад з *C. aspera* та *C. contraria*, і представниками судинних водних рослин (Azzella, 2014; Pelechaty et al., 2022).

Слід зазначити, що виду *N. obtusa* також притаманна висока екологічна пластичність, що збільшує його можливості виживати, тимчасово заселяючи затоки річок, кар'єри, рисові поля, приморські солонуваті водойми тощо (Simons, Nat, 1996; Krause, 1997; Pelechaty et al., 2022).

Як відомо, на території України не має великих глибоких озер та інших водойм зі сталим гідрологічним та гідрохімічним режимами (GEU, 1990; Marynych, Shishchenko, 2003), тобто типових місцезростань з оптимальними умовами для тривалого існування *N. obtusa*, що обумовлює рідкісність цього реліктового виду. Проте це пояснює приуроченість його локалітетів (70% озер) до заплавлених великих річок, де завдяки щорічній весняній повені, дощовим опадам або підйому ґрунтових вод періодично

утворюються нові водойми, придатні до тимчасового місцезростання *N. obtusa*.

Специфіка поширення *N. obtusa* в Україні обумовлена також біологічними особливостями цього дводомного виду, зокрема його здатністю розмножуватися статевим і нестатевим шляхом. Аналіз літературних джерел та результати опрацювання гербарних матеріалів КВ свідчать про те, що у виявлених місцезростаннях *N. obtusa* статеве розмноження спостерігається досить рідко. При цьому, як правило, жіночі та чоловічі рослини зростають в окремих водоймах або в їхніх окремих частинах (Hollerbach, Palamar-Mordvintseva, 1991; Glison et al., 2022). Найчастіше жіночі рослини трапляються на мілководі озер та заток з прозорою водою й освітленням всієї товщі води, чоловічі – на глибині до 4 м у затінку. Це можна пояснити тим, що найімовірніше утворення ооспор потребує великих енергетичних затрат, як, наприклад, у дводомних мохів (Lobachevska, 2012). Проте наявність нефертильних рослин зафіксована у більшості досліджених тимчасових водойм за різних умов зростання. Вони є найжиттєздатнішими завдяки вегетативному способу розмноження за допомогою бульбочок, специфічних репродуктивних органів, які доповнюють або повністю заміщають статеве розмноження, що має велике значення для адаптації виду до нових умов і, відповідно, до активної колонізації новоутворених водойм.

Однак, не менш велике значення має виявлена здатність виду розмножуватися статевим шляхом у тимчасових водоймах з успішним дозріванням оогоніїв, які у випадку погіршення умов зростання водоростей або висихання водойм можуть зберігатися у ґрунті тривалий час.

Висновки

На підставі критичного аналізу літературних джерел, власних спостережень та опрацювання гербарних матеріалів виявлено біологічні властивості та основні екологічні фактори, що обумовлюють особливості поширення на території України реліктового виду макроскопічних харофітових водоростей *N. obtusa*, включеного в третє видання Червоної книги України.

Загалом на сьогодні відомо 26 місцезнаходжень цього виду, що зареєстровані в межах Прип'ятсько-Деснянської (Волинська, Київська), Середньодніпровської (Київська, Харківська) та Дніпровсько-Причорноморської (Дніпропетровська, Одеська, Херсонська та Черкаська області) альгофлористичних підпровінцій. З них 2 історичних, 5 втрачених внаслідок природних або антропогенних трансформацій та 19 сучасних

локалітетів, які розташовані виключно у долинах великих річок: Дніпра, Дністра, Дунаю, Сіверського Дінця та ін. Встановлено, що основними обмежувальними чинниками для поширення *N. obtusa* в Україні є тип водойми, ступінь мінералізації, хімічний склад та активна реакція рН води.

За літературними даними, типовими місцезростаннями для *N. obtusa* є великі прісноводні оліготрофні озера Євразії зі сталим гідрологічним і гідрохімічним режимами та оптимальними умовами для постійного зростання цього виду. Проте такі водойми на території України відсутні, що обумовлює його рідкісність та приуроченість до заплав великих річок, де завдяки щорічним весняним повеням, дощовим опадам, підйому ґрунтових вод тощо утворюються нові водойми, придатні для тимчасового зростання *N. obtusa*.

Специфіка поширення *N. obtusa* в Україні обумовлена також біологічними особливостями цього дводомного виду, а саме: екологічною пластичністю, здатністю розмножуватися статевим та нестатевим шляхом, швидко колонізувати тимчасові заплавні водойми та переживати несприятливі умови у вигляді оогоніїв, здатних зберігатися в ґрунті тривалий час.

Список літератури

- Azzella M.M. 2014. Italian Volcanic lakes: a diversity hotspot and refuge for European charophytes *J. Limnol.* 73(3): 502–510.
- Blazencic J., Stevanovich B., Blazencic Z., Stevanovich V. 2006. Red data list of Charophytes in the Balkans. *Biodivers. Conserv.* 15: 3445–3457.
- Borisova E.V. 2005. Species composition and distribution of *Charales* in Ukraine. *Int. J. Algae.* 7(1): 88–102.
- Borysova O.V., Honcharenko V.I. 2007. To the study of the *Charales* lakes of the Shatsk National Nature Park (Volyn Polissia). *Visn. Lviv Univ. Ser. Biol.* 44: 94–101. [Борисова О.В., Гончаренко В.І. 2007. До вивчення *Charales* озер Шацького національного природного парку (Волинське Полісся). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.* 44: 94–101].
- Borisova E.V., Tkachenko F.P. 2008. Materials for the flora of *Charales* of the South-West of Ukraine. *Algologia.* 18(3): 287–298. [Борисова Е.В., Ткаченко Ф.П. Материали к флоре *Charales* юго-запада Украины. *Альгология.* 18(3): 287–298].
- Borisova E.V., Orlov A.A. 2009. *Charales* of Zhytomyr Polessie (Ukraine). *Algologia.* 19(2): 197–205. [Борисова Е.В., Орлов А.А. 2009. Харовые водоросли (*Charales*) Житомирского Полесья (Украина). *Альгология.* 19(2): 197–205].
- Borysova O.V., Honcharenko V.I. 2011. Distribution of *Charales species* in the lakes of Volyn Polissia (Ukraine). *Visn. Lviv. Univ. Ser. Biol.* 57: 94–101. [Борисова О.В., Гончаренко В.І. 2011. Розподіл видів *Charales* в озерах Волинського Полісся (Україна). *Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.* 57: 94–101].

- Borysova O.V., Lilitska G.G. 2014. New investigation on charophytes from Kyiv and its vicinity. In: *Abstracts 19th Meeting of the GEC*. Vilnius, Lithuania. Pp. 1–3.
- Borysova O.V., Gromakova A.B. 2017. A checklist of the Kharkiv Region *Charales* (*Charophyta*). *Chornomor. Bot. J.* 13(2): 215–223. [Борисова О.В., Громакова А.Б. 2017. *Charales* (*Charophyta*) у Харківській області. *Чорномор. бот. журн.* 13(2): 215–223].
- Borysova O.V., Gromakova A.B. 2019. Diversity and distribution of *Charales* (*Charophyta*) in the Kharkiv Region. *Chornomor. Bot. J.* 15(1): 43–53. [Борисова О.В., Громакова А.Б. 2019. Видове різноманіття та особливості поширення *Charales* (*Charophyta*) у Харківській області. *Чорномор. бот. журн.* 15(1): 43–53].
- Borisova E.V., Tsarenko P.M., Yakushenko D.N. 2008. Current diversity of *Charales* of lake Svitiaz (Shatsk national natural park, Volyn Polissia, Ukraine). *Algologia*. 18(4): 449–456. [Борисова Е.В., Царенко П.М., Якушенко Д.Н. Современное разнообразие *Charales* озера Свитязь (Шацкий национальный природный парк, Волынское Полесье, Украина). *Альгология*. 18(4): 449–456].
- Burova (Gerasimova) O.V., Borysova O.V., Lilitska G.G. 2010. New locations of *Nitellopsis obtusa* (Desv. in Loisel.) J.Groves, a rare species for the flora of Ukraine. In: *Actual problems of botany and ecology*: Mat. Int. conf. young sci. (Yalta, 21–25 Sept., 2010). Simferopol: ARIAL. 52 p. [Бурова (Герасимова) О.В., Борисова О.В., Ліліцька Г.Г. 2010. Нові місцезнаходження *Nitellopsis obtusa* (Desv. in Loisel.) J.Groves – рідкісного виду для флори України. В кн.: *Актуальні проблеми ботаніки та екології*: Мат. міжнар. конф. молодих учених (Ялта, 21–25 вер. 2010 р.). Сімферополь: АРІАЛ.].
- Gąbka M. 2009. *Charophytes of the Wielkopolska region (NW Poland): distribution, taxonomy, and autecology*. Poznań: Bogucki Wydaw. Nauk. 109 p.
- Geographic encyclopedia of Ukraine (GEU)*. 1990. Ed. O.M. Marynych. Kyiv: URE. Vol. 2. 480 p. [Географічна енциклопедія України (ГЕУ). 1990. Ред. О.М. Маринич. Київ: УРЕ. Т. 2. 480 с.].
- Glison W.J., Muthukrishnan R., Wagner C.K., Larkin D.J. 2022. Invasive *Nitellopsis obtusa* (starry stonewort) has distinct late-season phenology compared to native and other invasive macrophytes in Minnesota, USA. *Aquat. Bot.* 176: 103452.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2023. *AlgaeBase*. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway.
- Hollerbach M.M., Palamar-Mordvintseva G.M. 1991. *Charophyta*. In: *Identification manual of freshwater algae of Ukraine*. Issue 9. Kyiv: Nauk. Dumka. 196 p. [Голлербах М.М., Паламар-Мордвинцева Г.М. 1991. Харові водорості (*Charophyta*). В кн.: *Визначник прісноводних водоростей України*. Т. 9. Київ: Наук. думка. 196 с.].
- Kato S.H., Kawai M., Takimoto H., Suga K., Yohda K., Horiya S., Higuchi S., Sakayama H. 2014. Occurrence of the endangered species *Nitellopsis obtusa* (*Charales*, *Charophyceae*) in western Japan and the genetic differences within and among Japanese populations. *Phycol. Res.* 62: 222–227.
- Khmelevsky V.F. 1889. Materials to the flora of algae of Izyumsky District, Kharkov Province. *Trudy Obsch. Ispyt. Prirody Khark. Univ.* 23: 79–107. [Хмелевский В.Ф. 1889. Материалы

- к флоре водоростей Изюмского уезда, Харьковской губернии. *Тр. об-ва испыт. природы Харьк. ун-та*. 23: 79–107].
- Krassavina L.K. 1971. A comparative study on recent and fossil *Charophyta*: the fructification in *Nitellopsis obtusa* and gyrogonites of the *Tectochara* species. *Bot. J.* 56(1): 106–117. [Красавина Л.К. 1971. Сравнительное изучение современных и ископаемых харофитов: плодоношения *Nitellopsis obtusa* и гиругониты видов *Tectochara*. *Бот. журн.* 56(1): 106–117].
- Krause W. 1997. *Charales (Charophyceae)* Bd. 18. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Jena: Gustav Fischer Verlag. 102 p.
- Langangen A. 2007. *Charaphytes of the Nordic countries*. Oslo: Saeculum ANS. 102 p.
- Lilitskaya G.G. 2014. *Bacillariophyta* of small water bodies of Kiev (Ukraine). 3. Centric diatoms (*Coscinodiscophyceae*). *Algologia*. 28(1): 18–39. [Лилицкая Г.Г. 2014. *Bacillariophyta* малых водоемов г. Киева (Украина). 3. *Coscinodiscophyceae*. *Альгология*. 28(1): 18–39]. <https://doi.org/10.15407/alg28.01.018>
- Marynych O.M., Shishchenko P.G. 2003 *Physical geography of Ukraine. Textbook*. Kyiv: Znannya. 480 p. [Маринич О.М., Шищенко П.Г. 2003. Фізична географія України. Київ: Знання. 480 с.].
- Palamar-Mordvintseva G.M., Tsarenko P.M. 2004. *Charales* of the Volhynian Polessie (Ukraine). *Algologia*. 14(2): 178–184. [Паламарь-Мордвинцева Г.М., Царенко П.М. 2004. *Charales* Волынского Полесья. *Альгология*. 14(2): 178–184].
- Palamar-Mordvintseva G.M., Borisova E.V. 2006. *Algologia*. 16(4): 453–459. [Паламар-Мордвинцева Г.М., Борисова Е.В. 2006. Новые местонахождения *Charales* в Украине. *Альгология*. 16(4): 453–459].
- Palamar-Mordvintseva G.M., Tsarenko P.M. 2015. Algorfloristic zoning of Ukraine. *Int. J. Algae*. 17(4): 303–338. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v17.i4.10>
- Palamar-Mordvintseva G.M., Tsarenko P.M. 2016. *Flora of algae of Ukraine*. Vol. 12. *Charales*. Issue 2. Kyiv. 282 p. [Паламар-Мордвинцева Г.М., Царенко П.М. 2016. *Флора водоростей України*. Т. 12. *Харофітові водорості*. Вип. 2. Київ. 282 с.].
- Pelechaty M., Zhapparova B., Brzozowski M., Pukacz A. 2022. Impact of *Nitellopsis obtusa* (Desv.) J.Groves, a regionally alien and invasive charophyte, on macrophyte diversity in the species native range. *Hydrobiologia*. 849: 63–76.
- Podlessky V.I. 1936. *Charophyta* of the south-western of Ukraine. *J. Inst. Bot. UAN*. 7(15): 65–69. [Подлеський В.І. 1936. [*Charophyta* південно-західної УРСР. *Журн. Ін-ту бот. УАН*. 7(15): 65–69].
- Pogrebniak I.I. 1953. Phytobentos of Dnipro estuary. *Trudy Inst. Hydrobiol. UAS*. 31: 154–189. [Погребняк И.И. 1953. Фитобентос Днепровского лимана. *Тр. Ин-та гидробиологии УАН*. 31: 154–189].
- Red Data Book of Ukraine. Plant Kingdom*. 2009. Ed. Ya.P. Didukh. Kyiv: Globalkonsalting. 912 p. [*Червона книга України. Рослинний світ*. 2009. Ред. Я.П. Дідух. Київ: Глобалконсалтинг. 912 с.].

- Roll Ja.V. 1926. Preliminary data on the microflora of reservoirs in vicinities of the North Donetsk biological station. *Rus. Arch. Protistol.* 5(1/2):1–44. [Ролл Я.В. 1926. Предварительные сведения о микрофлоре водоемов окрестностей Северо-Донецкой биологической станции. *Рус. архив протистол.*: 5(1): 1–44].
- Romanov R.E. 2009. *Charophyta (Charales, Streptophyta)* of the southern part of West-Siberian plaine. *Plant World Asian Rus.* 1(3): 19–30 [Романов Р.Е. 2009. Харовые водоросли (*Charales, Streptophyta*) юга Западно-Сибирской равнины. *Раст. мир Азиат. России.* 3(1): 19–30].
- Schloesser D.W., Hudson P.L., Nichols S.J. 1986. Distribution and habitat of *Nitellopsis obtusa* (*Characeae*) in the Laurentian Great Lakes. *Hydrobiologia.* 133: 91–96.
- Simons J., Nat E. 1996. Past and present distribution of stoneworts (*Characeae*) in the Netherlands. *Hydrobiologia.* 340: 127–135.
- Sinkeviciene Z. 2007. Long-term changes of macrophyte vegetation in lakes of the Dovine River catchment area. *Ekologija.* 53(2): 22–29.
- Sinkeviciene Z., Gudzinaskas Z. 2021. Revision of the *Characeae* (*Charales, Charophyceae*) species and their distribution in Lithuania. *Botanica.* 27(2): 95–124.
- Soulie-Marsche I., Bennami M., Gemayel P. 2002. Biogeography of living and fossil *Nitellopsis* (*Charophyta*) in relationship to new finds from Morocco. *J. Biogeogr.* 29: 1703–1711.
- Stewart N.F., Church J.M. 1992. *Red data book of Britain and Ireland: Stoneworts*. Peterborough: JNCC. 144 p.
- Vyshnevsky V.I. 2021 *Reservoirs of Kyiv*. Kyiv: Nika-Centre. 280 p. [Вишневецький В.І. 2021. *Водойми Києва*. Київ: Ніка-Центр. 280 с.].
- Urbaniak J., Gąbka M. 2014. *Polish Charophytes. An illustration guide to identification*. Wroclow: Univ. Environ. Life Sci. 120 p.
- Zhuvogliad A.F., Krivonosov T.F. 1982. Species composition and productivity of the algae of Northern Caspian. *Bot. J.* 67(5): 671–674. [Живогляд А.Ф., Кривоновосов Т.А. 1982. О видовом составе и продуктивности харовых водорослей дельты Волги и Северного Каспия. *Бот. журн.* 67(5): 671–674].

Borysova O.V. (<https://orcid.org/0000-0002-0941-5099>)

M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine,
2 Tereshchenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

Distribution pattern of *Nitellopsis obtusa* (Desv.) J.Groves (*Charophyta, Charales*) in Ukraine

The article presents the results of the analysis of literature and original data on *Nitellopsis obtusa* (Desv.) J.Groves (*Charophyta, Charales*) included in *Red Data Book of Ukraine* and peculiarities of its distribution in Ukraine. This relict species is also regionally red-listed in its native Eurasian

range within temperate and subtropical latitudes from Portugal to Japan but invasive in North America, in the Great Lakes region, because of an accidental introduction in 20th century. In Central and Eastern Europe *N. obtusa* is a rather common species but it happens everywhere rather sporadically. Its distribution is limited by such factors as a type of water body, total mineralization, ionic composition of water and pH. Totally 26 localities of *N. obtusa* have been recorded, including historical, lost, and existing ones. A list of localities, and a map of the distribution of this species in Ukraine have been compiled and analyzed. All of them were found within the Pripyat-Desna, Middle Dnieper, Dnieper-Black Sea algofloristic subprovinces. However, the characteristic of their location confirms the trend of distribution of *N. obtusa* in Ukraine only in the valleys of large rivers, which is most likely due to the absence of large lakes with stable hydrological and hydrochemical regimes, as well as ecological and biological features of the species.

Key words: *Charophyta*, *Charales*, *Nitellopsis obtusa*, biology, ecology, distribution, Ukraine

**Зінаїда Іванівна Ветрова
(20.03.1931 – 17.08.2023)**

Наприкінці літа цього року надійшла сумна звістка – на 92-му році пішла з життя всесвітньо відомий фахівець з таксономії еугленофітових водоростей, доктор біологічних наук Зінаїда Іванівна Ветрова, яка понад 33 років свого життя віддала Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. З.І. Ветрова належить до найвідоміших представників Київської альгологічної школи, створеної О.В. Топачевським разом із Д.К. Зеровим і А.М. Окснером. Пік активності її наукової діяльності припадає на 1960–1990-ті роки.



Зінаїда Іванівна Асаул (з 1973 р. Ветрова) народилася 20 березня 1931 р. в с. Решетилівка Полтавської області в сім'ї службовців. Мати, Матрона Іванівна, працювала в Решетилівському сільпо, батько, Іван Микитович, – у держбанку. В 1943 р. батько загинув на фронті. У повоєнні роки (1947–1950) Зіна навчалася в Полтавському сільськогосподарському технікумі, пізніше – в Київському державному університеті імені Т.Г. Шевченка (1951–1956).

Після закінчення навчання працювала вчителем хімії в Черкаській та Полтавській областях, а з 1958 р. і до виходу на пенсію (1992) трудова діяльність З.І. Ветрової пов'язана з Інститутом ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. В період 1958–1961 рр. вона була аспіранткою, з 1961 до 1965 рр. працювала молодшим науковим співробітником відділу нижчих рослин, старшим (1965–1989), пізніше (1989–1992) – провідним науковим співробітником відділу спорових рослин. У 1961 р. Зінаїда Іванівна захистила кандидатську дисертацію на тему «Еугленофітові водорості Західноукраїнського Полісся», в 1986 – дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук у формі наукової доповіді: «Еугленофітові (Euglenophyta) Української ССР. Видовий склад, поширення, систематика, філогенетичні зв'язки, основні шляхи еволюції».

Багаторічні флористико-таксономічні дослідження, що охоплювали всі регіони України, дозволили З.І. Ветровій здійснити повну інвентаризацію та провести глибокий таксономічний аналіз флори евгленофітових водоростей. Як результат, 165 видів, 55 різновидів і 30 форм уперше наведені для території України, значно поповнили відомості про видове різноманіття евгленофітових водоростей Радянського Союзу, а 14 видів і 6 таксонів внутрішньовидового рангу з родів *Astasia*, *Euglena*, *Heteronema*, *Notosolenus*, *Peranema*, *Sphenomonas*, *Strombomonas*, *Trachelomonas*, *Gyropaigne* описані як нові для науки, та для 17 запропоновані нові таксономічні комбінації.

Особливу увагу Зінаїда Іванівна приділила групі безбарвних евгленових водоростей, які через значні методичні складності на той час були майже не вивчені. Вперше в світовій ботанічній науці вона опублікувала монографічне зведення (Ветрова, 1980), яке містило відомості про флору, екологію, географію та можливі шляхи еволюції цієї групи водоростей.

У результаті завершення інвентаризації видового різноманіття евгленофітових водоростей була створена наукова база для написання відповідних випусків «Флоры водоростей континентальных водоемов Украинской ССР». Перша частина першого випуску із серії запланованих у згаданому багатотомному виданні була підготовлена З.І. Ветровою в 1986 р. і присвячена представникам Eutreptiaceae та Euglenaceae (рід *Trachelomonas*, група I). Друга частина (Euglenaceae (роди *Trachelomonas*, група II, *Strombomonas*, *Euglena*) вийшла друком у 1993 р. Другий випуск було завершено лише у 2004 р., він включав решту родів родини Euglenaceae (*Lepocinclis*, *Phacus*, *Cryptoglana*, *Ascoglana*, *Colacium*, *Khawkinea*, *Astasia*, *Euglenopsis*, *Cyclidiopsis*). Був здійснений порівняльний аналіз флори евгленофітових водоростей усіх регіонів країни, виявлені закономірності розподілу видового складу в Україні. З.І. Ветровою було запропоновано оригінальний варіант системи евгленофітових, котрий якнайповніше відображав сучасний рівень знань про дану групу водоростей. Також критично переглянуто й узагальнено матеріали, що стосуються основних напрямів еволюції евгленофітових, висловлені оригінальні думки стосовно їхніх філогенетичних зв'язків.

У період 1961–1968 рр. Зінаїда Іванівна брала активну участь у проведенні науково-дослідних робіт, пов'язаних із масовим культивуванням одноклітинних зелених водоростей та їхнім застосуванням із метою інтенсифікації деяких біологічних процесів. Вона – один зі співавторів розробленого методу вирощування хлорели на відходах бродильного виробництва глибинним і поверхневим способами та

технологічного регламенту з використання біомаси водоростей для інтенсифікації виробництва дріжджів, а також співавтор винаходу (№ 152446 «Способ выращивания водорослей, например хлореллы»).

Зінаїда Іванівна Ветрова – автор п'яти монографій та понад 120 наукових праць, співавтор методичного посібника «Руководство для авторов "Флоры водорослей континентальных водоемов Украинской ССР"». Більше 30 років (1960–1992) З.І. Ветрова була одним із найактивніших авторів «Українського ботанічного журналу». Майже половина опублікованих нею наукових праць були надруковані в цьому виданні. Саме за цими статтями можна легко скласти хронологію флористичних і таксономічних досліджень евгленофітових водоростей: ефемерних водойм, озер, боліт, річок і ставків Західноукраїнського Полісся (1961–1962); річок лісостепової та степової зон України, Кримського півострова та Українських Карпат (1966–1968); ефемерних водойм і високогірних озер Українських Карпат (1969); Правобережного та Лівобережного Злакового Степу, Кримського півострова (1970–1971); Донецького, Волинського та Західного Лісостепу (1971–1973); водойм Поліського заповідника та заповідника «Провальський степ» (1974, 1984); Каховського, Київського та Кременчуцького водосховищ (1986–1988).

Теоретичний наробок З.І. Ветрової включає праці з питань класифікації, еволюції та походження евгленофітових водоростей: «Основні принципи класифікації евгленових водоростей» (1970), «Безбарвні евгленові водорості і напрями їх еволюції» (1971), «Походження та еволюція евгленофітових водоростей з позиції теорії ендосимбіогенезу» (1992) тощо.

На сьогодні роботи З.І. Ветрової не втрачають свого значення, особливо це стосується внеску в таксономію евгленофітів. Зокрема, з 20 описаних нових таксонів нині визнаються 18, тобто переважна їхня більшість. Один з видів *Heteronema* через номенклатурну неточність було нещодавно перейменовано на її честь – *Heteronema vetrovae* Kapustin & D.Davydov. Не можна не відзначити надзвичайно талановиті та високохудожні штрихові рисунки евгленофітових водоростей, виконані Зінаїдою Іванівною з її незмінною помічницею С.А. Блейх. Ці рисунки є гідною прикрасою флористичних і таксономічних робіт З.І. Ветрової, гарними ілюстраціями, що чітко передають морфологічні ознаки евгленофітів, організмів, які вважаються одними з найграціозніших і найкрасивіших серед мікрowodоростей.

Зінаїда Іванівна запам'яталася всім, хто її знав, своєю залюбленістю в роботу, невтомністю, ентузіазмом, доброзичливістю, почуттям гумору

та шанобливим ставленням до своїх вчителів і наставників, зокрема А.М. Окснера і Д.К. Зерова.

На жаль, на сьогодні у відділі фікології, ліхенології та бріології залишається все менше колег, хто мав щастя особисто знати Зінаїду Іванівну. Для них вона була взірцем справжнього, працелюбного науковця, відданого своїй справі.

Зінаїда Іванівна завжди вирізнялася чесністю та загостреним відчуттям несправедливого ставлення до колег, що стало причиною передчасного її виходу на пенсію на початку 1990-х років. Проте вона могла б ще передати свій досвід у підготовці нових поколінь фахівців, особливо таксономістів.

Світла пам'ять талановитому та плідному вченому, гарній людині, яка прожила довге та гідне життя.

Від колег

Морфологія, анатомія, цитологія

Садогурська С.С. Морфологічні особливості таксонів роду *Cystoseira* s. l. флори України **1, 3**

Екологія, ценологія, охорона та роль водоростей у природі

Суходольська І.Л., Басараба І.В. Сезонна динаміка альгофлори озера Засвітське (Рівненська обл., Україна)..... **2, 83**

Суходольська І.Л., Грубінко В.В., Масовець Б.П. Особливості функціонування фітопланктону водойм міських територій (на прикладі Басівкутського водосховища, Україна)..... **4, 278**

Царенко П.М.[†], Заїменко Н.В., Демченко Е.М., Михайлюк Т.І., Дідик Н.П., Елланська Н.Е., Харитоновна І.П., Бендеричек Т.Ю., Мельник В.І. Порівняльний аналіз ґрунтових екосистем заповідних та штучно створених букових лісів..... **4, 292**

Щербак В.І., Семенюк Н.Є. Структурно-функціональна характеристика фітопланктону, дерновин-подушок, детриту та якості води за дії основних абіотичних чинників ставків міської агломерації (смт Гостомель, Бучанський р-н Київської обл., Україна).
Повідомлення 1. Видове, таксономічне, екологічне різноманіття фітопланктону та характеристика дерновин-подушок за основних абіотичних складових ставків..... **1, 22**

Щербак В.І., Семенюк Н.Є. Структурно-функціональна характеристика фітопланктону, дерновин-подушок, детриту та якості води за дії основних абіотичних чинників ставків міської агломерації (смт Гостомель, Бучанський р-н Київської обл., Україна).
Повідомлення II. Кількісні показники, домінуючі комплекси фітопланктону, детриту та якості води міських ставків **2, 65**

Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища.
Повідомлення 1: Таксономічне, екологічне різноманіття та просторовий розподіл..... **3, 147**

Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища.
Повідомлення 2: Абіотичні чинники, кількісне різноманіття, домінуючий комплекс, трофічність та оцінка якості водного середовища..... **4, 247**

Флора та географія

Борисова О.В., Громакова А.Б., Бузова О.В. Видове різноманіття *Charales* (*Charophyta*) Закарпатської області (Україна)..... **3, 213**

* Напівжирним шрифтом позначений номер журналу, світлим – сторінка.

<i>Борисова О.В.</i> Особливості поширення <i>Nitellopsis obtusa</i> (Desv.) J.Groves (<i>Charophyta</i> , <i>Charales</i>) в Україні	4 , 309
<i>Брен О.Г., Подорожний С.М., Брен О.А., Солоненко А.М.</i> Розподіл водоростей за приуроченістю до місцеіснування в солоних приморських водоймах Приазовського національного природного парку (Україна).....	3 , 231
<i>Брянцева Ю.В.</i> Різноманіття та розподіл дінофлагелят у водоймах України (критико-систематична ревізія).....	2 , 98
<i>Герасимюк В.П.</i> Альгологічні дослідження мікрофітобентосу північно-західної частини Чорного моря	2 , 127
<i>Михайлюк Т.І., Виноградова О.М., Громакова А.Б., Глазер К., Карстен У.</i> Нові для флори України таксони наземних ціанобактерій, вивчені з використанням комплексного підходу	3 , 185

Нові та рідкісні таксони

<i>Бурова О.В.</i> <i>Pithophora roettleri</i> (Roth) Wittrock (<i>Chlorophyta</i>) – нова знахідка на території України	3 , 240
--	----------------

Короткі повідомлення

<i>Виноградова О.М., Нупорко С.О., Козир М.С.</i> Цікава знахідка представника роду <i>Stigonema</i> С.Agardh ex Bornet et Flahault (<i>Stigonemataceae</i> , <i>Nostocales</i> , <i>Cyanobacteria</i>) в Національному природному парку «Подільські Товтри» (Хмельницька обл., Україна).....	1 , 48
---	---------------

Хроніка та інформація

Пам'яті Петра Михайловича Царенка (12.07.1956 – 21.01.2023)	1 , 55
Зінаїда Іванівна Вєтрова (20.03.1931 – 17.08.2023)	4 , 324