



Ukrainian Journal of Natural Sciences
№ 14
Український журнал природничих наук
№ 14

ISSN: 2786-6335 print
ISSN: 2786-6343 online

УДК 582.261./ .279

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.9>

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ДИНАМІКА АЛЬГОУГРУПОВАНЬ В ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ УМОВАХ

В. І. Щербак¹, Н. Є. Семенюк², О. А. Давидов³, Ю. С. Шелюк⁴

Досліджено просторово-часову динаміку альгоугруповань в умовах мікрокосму. Використаний дослідниками мікрокосм в умовах експерименту наповнювався атмосферними опадами чи дощовим стоком із залізного даху прилеглого будинку, тому водорості могли потрапляти до нього кількома шляхами: а) вітровим перенесенням; б) разом із частками ґрунту; в) із дощовим стоком із даху будинку тощо. Специфічними характеристиками гідрохімічного режиму мікрокосму був високий уміст сульфатів, хлоридів, а також заліза й низькі концентрації мінерального фосфору та кремнію. Авторами встановлено, що за період реалізації досліджень в мікрокосмі сформувались дві системи: бентосна з монодомінуванням ниткуватої ціанобактерії *Leptolyngbya boryana* (Gomont) Anagn. et Komárek і планктонно-нейстонна з монодомінуванням зеленої джгутикової водорості *Naematococcus pluvialis* Flotow. Ці два альгоугруповання у процесі життєдіяльності були пов'язані в мікрокосмі біотичними зв'язками: 1) антагоністичними – «цвітіння» *N. pluvialis* зумовило екранування водної товщі та конкуренцію за біогенні елементи, що призвело до пригнічення вегетації *L. boryana*; 2) синергічними – після закінчення вегетації *N. pluvialis* у водну товщу надійшла значна кількість поживних речовин, яка є аутогенною енергетичною субсидією для розвитку *L. boryana*. За результатами дослідження було зроблено припущення, що завдяки мас ефекту в мікрокосм можуть потрапляти різні види водоростей, проте внаслідок сортування

¹ доктор біологічних наук, професор,
провідний науковий співробітник
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: ek424nat@ukr.net
ORCID: 0000-0002-1237-6465

² доктор біологічних наук, старший дослідник,
в.о. провідного наукового співробітника
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: natasemenyuk@gmail.com
ORCID: 0000-0003-4447-3507

³ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник,
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: davydovoleg01@gmail.com
ORCID: 0009-0004-2381-723X

⁴ доктор біологічних наук, професор,
професор кафедри ботаніки, біоресурсів і збереження біорізноманіття
(Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир)
e-mail: Shelyuk_Yulya@ukr.net
ORCID: 0000-0001-6429-1028

видів у значній кількості розвивались лише два види (*L. boryana* та *H. fluviatilis*), для яких умови мікрокосму були найбільш сприятливими.

Проведення експериментальних досліджень якісного і кількісного розмаїття альгоугруповань з використанням мікрокосму є одним із перспективних напрямів гідробіологічних і альгологічних досліджень. Отримання емпіричних репрезентативних даних стало можливим за паралельного вивчення основних абіотичних чинників, які визначають розмаїття альгоугруповань і дозволяють врахувати вплив довкілля у значно ширших умовах, ніж у суто лабораторних дослідженнях.

Ключові слова: альгоугруповання, біотопічна приуроченість, фітопланктон, мікрофітобентос, фітоплейстон-нейстон, фітопагон, сезонна динаміка, мікрокосм.

SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF ALGAL COMMUNITIENS IN THE EXPERIMENTAL CONDITIONS

V. I. Shcherbak, N. Ye. Semeniuk, O. A. Davydov, Yu. S. Shelyuk

The paper deals with spatial and temporal dynamics of algal communities under the microcosm conditions. The microcosm used in the experiment was filled with rainfall or storm runoff out of the rainwater pipe from the iron roof of the adjacent building. Therefore, algae could be brought to the microcosm: a) by air; b) with soil particles; c) with storm runoff from the building roof etc. The hydrochemical conditions in the microcosm were marked by high content of sulphates, chlorides, iron, and low concentrations of mineral phosphorus and silicon. During the observation period two systems formed in the microcosm: benthic system dominated by a filamentous cyanobacteria *Leptolyngbya boryana* (Gomont) Anagn. et Komárek and planktonic-neustic dominated by a flagellate green algae *Haematococcus pluvialis* Flotow. These two algal communities were linked by biotic interactions: 1) antagonistic – algal blooms by *H. pluvialis* caused shadowing of the water column and competition for nutrients, thus suppressing *L. boryana* vegetation; 2) synergetic – after the vegetation of *H. pluvialis* was over, the water column was enriched with nutrient, which were the autogenic energy subsidy for *L. boryana* development. An assumption has been made, that diverse algae can be brought to the microcosm due to mass effect, however only two species developed in large quantities owing to environment species sorting – *L. boryana* and *H. fluviatilis*.

Conducting experimental studies of the qualitative and quantitative diversity of algal communities using microcosms is one of the promising areas of hydrobiological and algological research. Obtaining empirical representative data has become possible through the parallel study of the main abiotic factors that determine the diversity of algal communities and allow the influence of the environment to be taken into account in much broader conditions than in purely laboratory studies.

Key words: algal communities, biotopic preference, phytoplankton, microphytobenthos, pleuston-neuston, ice-related community, seasonal periodicity, microcosm.

Вступ

Відомо (Продромус, 2024а, 2024б), що альгофлора України формується 6 553 видами, представленими 7 538 видовими та внутрішньовидовими таксонами (далі – ввт), які належать до одного відділу прокаріотів (Cyanobacteria) і одинадцяти відділів еукаріотів. Серед відділів найрізноманітніше представлені Heterokontophyta (згідно з міжнародним електронним каталогом “AlgaeBase” (Guiry & Guiry, 2025), це відділ, який об’єднав Bacillariophyta та Ochrophyta) і Chlorophyta. Встановлено (Козійчук, 2020; Щербак і Семенюк, 2023; Щербак та ін., 2023; Shelyuk, 2023; Shcherbak et al., 2025), що водорості цих відділів зазвичай є основою розмаїття (флористичних спектрів) альгофлори більшості континентальних водойм і водотоків України.

Узагальнюючий аналіз біотопічної приуроченості водоростей за літературними й авторськими даними (Щербак та ін., 2025) показав, що водорості на нашій планеті вегетують в гідросфері, літосфері й атмосфері. У процесі вегетації водорості можуть змінювати свою біотопічну приуроченість, що зазвичай зумовлено як особливостями конкретної водоростевої популяції, так і впливом різних абіотичних, кліматичних, антропогенних чинників тощо. Наприклад, види Cyanobacteria, які спричиняють «цвітіння» води, упродовж вегетаційного сезону можуть мігрувати між різними екологічними нішами: плейстон ↔ нейстон ↔ планктон ↔ бентос ↔ обростання.

З’ясування закономірностей переходу водоростей між різними екологічними нішами та механізмів, що їх визначають,

потребує проведення комплексних спеціальних досліджень як альгологів, так і гідробіологів. Важливим є встановлення швидкості та спрямованості відгуку водоростей різних екологічних груп на зміну умов у тих компонентах наземних чи водних екосистем, до яких у конкретний період приурочена вегетація водоростей.

Очевидно, що проведення таких досліджень у природних чи антропогенно змінених водних екосистемах є методично складним. Це пов'язано з тим, що на організм водорості як відкрити біологічну систему впливає низка чинників, комбінована дія яких може бути синергічною чи антагоністичною. З огляду на це можуть бути проведені експериментальні дослідження не у природних, а в модельних екосистемах, наприклад у мікрокосмі. Мікрокосм – це спрощена модель екосистеми (штучно створений водний об'єкт), що використовується в біологічних і екологічних дослідженнях (Gregušová et al., 2025). Важливою умовою застосування мікрокосму має бути можливість отримати такі експериментальні дані, які можуть бути використані для репрезентативної інтерпретації масивів натурних даних з польових досліджень різнотипних гідроекосистем.

Мета роботи – дослідити особливості сезонної і просторової динаміки розмаїття альгоутгруповань у модельних умовах мікрокосму за дії низки абіотичних чинників, а також апробувати даний методичний підхід для дослідження водоростевих угруповань в контексті теорії метаугруповань.

Матеріал і методи

Експериментальні дослідження проводили впродовж лютого – жовтня 2025 р. в мікрокосмі такого розміру: 90 см (довжина), 55 см (ширина), 32 см (висота), з відповідним об'ємом $\approx 158 \text{ дм}^3$. Залежно від погодних умов (інтенсивність випаровування чи надходження дощових опадів) рівень води міг коливатись у межах 2–4 см, відповідно, дещо змінювався об'єм водних мас. Водний баланс у мікрокосмі формувався суто дощовими водами, які безпосередньо випадали на поверхню мікрокосму, і дощовим стоком із залізного даху будинку, розміщеного поряд. Інші джерела надходження води були відсутні.

Місцезрешташування мікрокосму – Київська область, Бучанський район, смт Бабинці; географічні координати – 50,652403 пн. ш., 30,02905 сх. д. За гідрографічним поділом території це басейн р.

Ірпін'я (лівий доплив Дніпра). На відстані 120–260 м від мікрокосму розташовані два невеликі штучні ставки та колишній меліоративний канал, який навесні наповнюється водою, а із другої половини літа пересихає.

Альгологічні проби плейстону – нейстону відбирали з поверхневого горизонту, планктону – із глибини 10–15 см (об'єм проби – $0,25 \text{ дм}^3$), а мікрофітобентосу – з бокових стінок і дна мікрокосму. Проби водоростей у живому стані опрацьовували в камері Нажотта об'ємом $0,02 \text{ см}^3$ під світловим мікроскопом “Carl Zeiss”, з окулярами $7\times$, $15\times$ об'єктивами $20\times$, $40\times$, $90\times$.

Особливістю сезонних експериментальних досліджень було те, що взимку (лютий) за мінусових температур повітря водні маси мікрокосму замерзли до дна з утворенням специфічного тимчасового водоростевого угруповання – альгопагону. Із прорубленої ополонки пробу альгопагону було відібрано разом із придонним шаром льоду. У розмороженому вигляді альгопробу в нефіксованому (живому) стані опрацьовували під мікроскопом.

Для кількісного оцінювання розвитку водоростей було використано два методи:

- шкалу Вислоуха (Методи ..., 2006);
- розрахунок чисельності та біомаси лічильно-об'ємним методом.

Визначення таксономічного складу водоростей проводили за загальновідомими визначниками й узгоджували із сучасною таксономічною номенклатурою відповідно до AlgaeBase та «Продромусу спорових рослин України. Водорості».⁵

Для характеристики добової динаміки температурного режиму повітря (з інтервалом в 4 години) використовували дані Укргідрометцентру. З огляду на відносно невеликий об'єм мікрокосму було прийнято, що температура води в ньому відповідає температурі повітря. Величини рН вимірювали портативним рН-метром, вміст розчиненого кисню – оксиметром AZ-8403. Комплексне гідрохімічне оцінювання води

⁵ Автори висловлюють щирі вдячність чл.-кор. НАН України, д-ру біол. наук заступнику директора Інституту ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України О.М. Виноградовій за допомогу у визначенні *Cyanobacteria* й інші слушні поради та ст. наук. співроб. Інституту гідробіології НАН України, канд. геогр. Наук А.О. Морозовій за проведені комплексні гідрохімічні аналізи та люб'язно надані первинні дані.

(головні іони, мінералізація, вміст біогенних елементів, заліза, силіцію) у мікрокосмі виконували згідно з (Методи ..., 2006).² Для статистичного опрацювання натурних даних була застосована прикладна програма "Past 4.03".

Результати та їх обговорення

Абіотичні характеристики. Оскільки фізичним і хімічним характеристикам водних мас притаманна добова мінливість, температуру повітря та показники рН у мікрокосмі реєстрували впродовж двох діб – 26–28 липня 2025 р. з інтервалом в 4 години. Надалі проводили епізодичні вимірювання рН, температури води, вмісту розчинного кисню.

Мінімальна температура повітря (19,0–19,2 °C) спостерігалась о 2-й год. ночі та 6-й год. ранку, а максимальна (27,6–28,4 °C) – о 14-й і 18-й год. дня. Показники рН упродовж доби коливалися від 8,07–8,08 до 9,29–9,35. Загалом, упродовж дводобового

експерименту встановлено виражену синхронність у добовій динаміці температури повітря та рН води (рис. 1).

Абсолютний вмісту кисню коливався в межах 7,84–10,21 мг O₂/дм³, а насичення води киснем становило 84,5–121,4%. Вміст головних іонів у воді мікрокосму визначали впродовж липня – серпня 2025 р., оскільки це період максимального розвитку гідробіонтів у басейні Дніпра. Аналіз отриманих даних (табл. 1) вказує на специфічність іонного складу води в досліджуваному мікрокосмі: досить висока концентрація катіонів K⁺ + Na⁺, аніона SO₄²⁻ і Cl⁻; відносно низький вміст Ca²⁺ і Mg²⁺.

За класифікацією поверхневих вод суші за іонним складом (Романенко та ін., 2001), вода в мікрокосмі належить до сульфатно-натрієвого типу, тоді як дніпровські води – до гідрокарбонатного (Хільчевський та ін., 2019).

Мінералізація води змінювалась у межах 216,244–308,551 мг/дм³ (у середньому

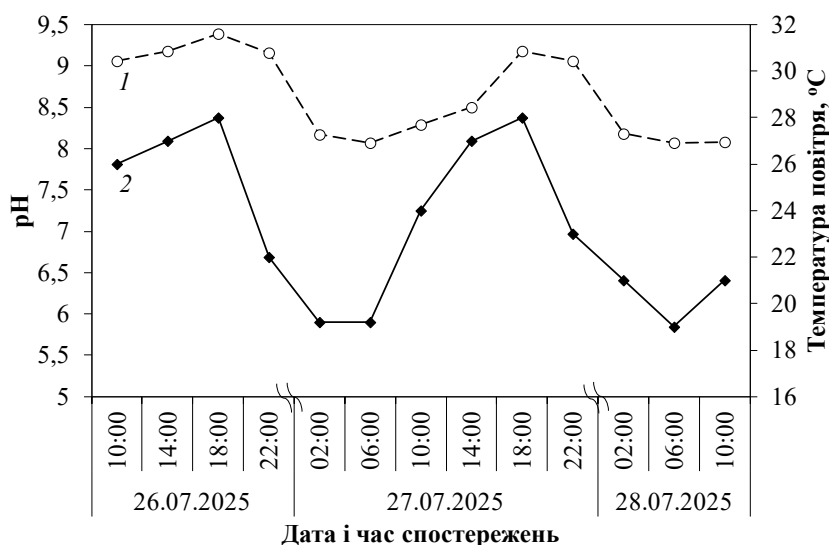


Рис. 1. Добова динаміка рН води (1) і температури повітря (2) у мікрокосмі

Таблиця 1
Вміст головних іонів (мг/дм³) у воді мікрокосму в липні – серпні 2025 р.¹

Іон	Межі коливань	Середні величини
Ca ²⁺	0,512–0,994	1,000
Mg ²⁺	0,486–0,994	0,608
K ⁺ + Na ⁺	64,900–112,320	94,200
Cl ⁻	4,391–9,980	7,090
SO ₄ ²⁻	152,020–197,882	170,880
HCO ₃ ⁻	5,284–8,498	6,100

Примітка. 1 – тут і в табл. 2 гідрохімічні дані люб'язно надані А.О. Морозовою.

276,680 мг/дм³), що відповідає мінералізації води дніпровських водосховищ (Yakushin et al., 2017). Водночас жорсткість води є досить низькою, що, вочевидь, зумовлено дощовим водозабезпеченням мікрокосму. Окрім того, встановлено досить високий вміст заліза (Fe), середні значення якого становили 0,150 мг Fe/дм³, що, очевидно, було зумовлено надходженням дощової води із залізного даху прилеглого будинку.

Уважаємо, що експериментально отримані в мікрокосмі дані з добової динаміки гідрохімічних показників можуть слугувати методичним підґрунтям: а) для вибору часу проведення натурних досліджень у природних водних екосистемах; б) для інтерпретації результатів натурних досліджень; в) для з'ясування прямого чи опосередкованого впливу гідрохімічних чинників на альгоутруповання та інші компоненти біорізноманіття, бо відомо, що біогенні елементи можуть відігравати роль лімітуючого чинника (Liebig, 1840; Odum, 1959). Серед форм мінерального азоту у воді мікрокосму переважала амонійна форма NH₄⁺, що добре корелювало з відносно високими концентраціями розчиненого кисню, який використовується на окислення інших форм азоту. Розрахований авторами середній вміст загального мінерального азоту становив 0,622 мг N/дм³, тоді як концентрація фосфору є досить низькою (табл. 2).

Цікаво, що вміст мінерального фосфору в мікрокосмі є суттєво нижчим, ніж у Дніпрі (Ліщук, 2007; Shcherbak et al., 2016; Yakushin et al., 2017). Іншою особливістю мікрокосму є досить низький вміст кремнію (у середньому 1,150 мг Si/дм³), який, як відомо, є необхідним для вегетації *Bacillariophyta*.

Отже, специфічними характеристиками гідрохімічного режиму мікрокосму в літній період 2025 р. був високий вміст сульфатів, хлоридів, заліза й дуже низькі концентрації мінерального фосфору та кремнію,

що, безперечно, впливало на різноманіття водоростей.

Просторово-часова динаміка альгофлори. Бентосні водорості. У літньо-осінній період 2024 р. на білих емальованих стінках мікрокосму візуально було відмічено формування зелено-бурих обростань, а на дні утворився пухкий, досить потужний осад до 1,5–2 см завтовшки.

На початку лютого за стійких мінусових температур вода в мікрокосмі промерзла до дна (рис. 2-а). У пробах придонного пагона, відібраних упродовж лютого, у масовій кількості було виявлено представника *Cyanobacteria* – *Leptolyngbya boryana* (Gomont) Anagn. et Komárek. Наведемо детальну систематичну ієрархію цього виду. Згідно з (Кондратьєва, 1968): Cyanophyta – Gormogoniophyceae – Oscillatoriales – Plectonemataceae – *Plectonema boryanum* Gomont. Згідно з AlgaeBase (Guiry et Guiry, 2025): Cyanobacteria – Cyanophyceae – Leptolyngbyales – Leptolyngbyaceae – *Leptolyngbya* – *Leptolyngbya boryana* (Gomont) Anagn. et Komárek (Лептолінгбія Бопі).

Коротка еколого-географічна характеристика виду (Продромус, 2024а):

– поширення: Середньодніпровська, Дніпровсько-Причорноморська, Гірсько-кримська альгофлористичні провінції, Чорне море;

– за екологічною приуроченістю – терестріальний, субаерофітний вид;

– за типологічною приуроченістю – евтрофний, ґрунтовий, степовий, солончаковий, морський вид.

Цікаво, що за даними Л.П. Приходькової цей вид трапляється у степових фітоценозах, солончаках, солоних озерах, ефемерних водоймах (Продромус ..., 2024а), а також у фітообростаннях печери Джамал (Національний парк «Маунт Кармель», Ізраїль) (Vinogradova et al., 2000).

Масовий розвиток виду зафіксовано і в літніх пробах води (рис. 3).

Таблиця 2

Вміст біогенних елементів (мг/дм³) у воді мікрокосму в липні – серпні 2025 р.

Біогенний елемент	Межі коливань	Середні величини
Мінеральний азот, мг N/дм ³ :		
NH ₄ ⁺	0,472–0,798	0,580
NO ₂ ⁻	0,019–0,031	0,024
NO ₃ ⁻	0,009–3,000	0,016
Мінеральний фосфор, мг P/дм ³		
PO ₄ ³⁺	0,025–0,049	0,042

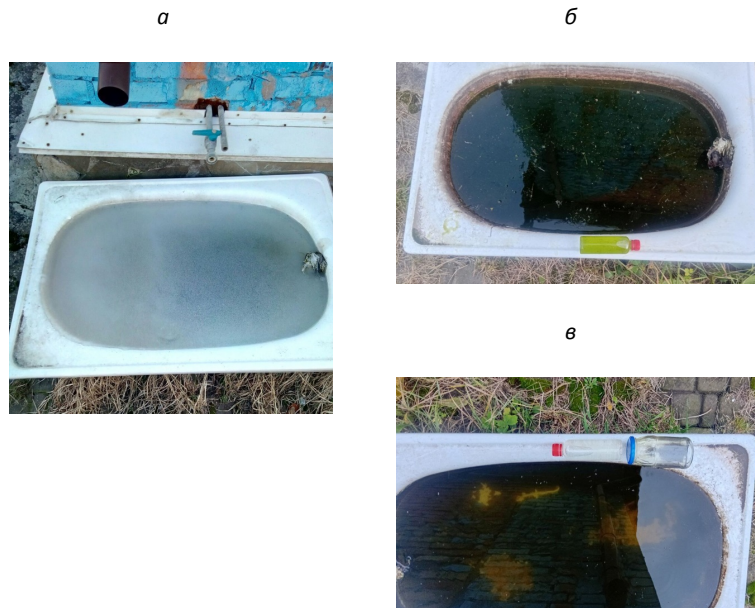


Рис. 2. Візуальні зміни в мікрокосмі впродовж періоду спостережень: а – 4 лютого 2025 р. (вода промерзла до дна); б – 14 вересня 2025 р. (на поверхні води утворилась нейстонно-плейстонна плівка, вода має яскраво-зелений колір); в – 10 жовтня 2025 р. (вода характеризується високою прозорістю, на дні мікрокосму видно сліди від відбору проб обростань). Зміни кольору води (рис. 3-б, 3-в) підтверджуються і кольором відібраних проб у пластикових пляшках

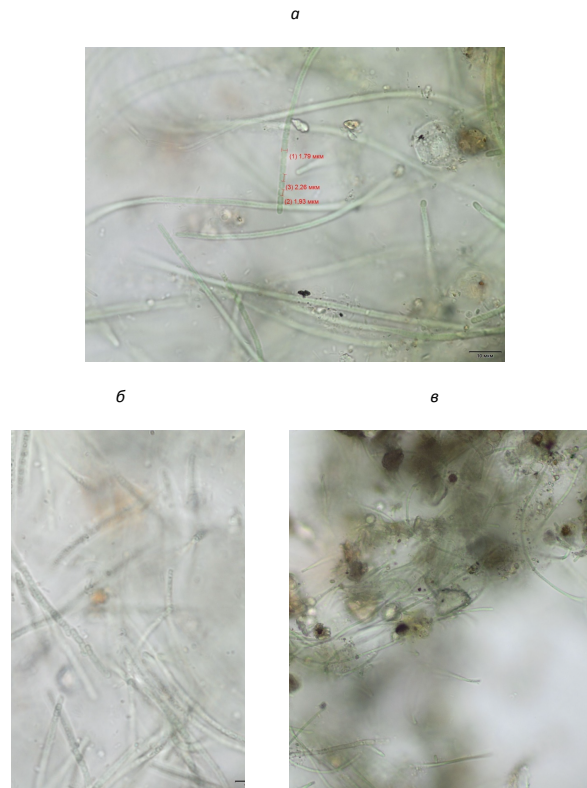


Рис. 3. Мікрофотографії *Leptolyngbya boryana* у пробах з мікрокосму: а – трихоми, б – несправжнє галуження ниток, в – скупчення ниток та часток детриту. Фото люб'язно надані чл.-кор. НАН України О.М. Виноградовою

Надалі за інтенсивного фотосинтезу з формуванням газових вакуолей у клітинах водоростей відбувався «відрив» ниток *L. boryana* разом із частками детриту та «спливання» на водну поверхню «водоростевих матів» (Владимирова, 1971), чи «дерновин-подушок». Аналогічне явище спостерігалось авторами на ставках смт Гостомель (Бучанський р-н Київської обл.), але, на відміну від мікрокосму, на ставках «дерновини-подушки» були сформовані ниткуватими водоростями *Mougeotia* sp. з відділу Charophyta (Щербак і Семенюк, 2023).

Припускаємо, що потрапляння *L. boryana* в мікрокосм зумовлене здатністю її ниток прикріплюватись до часток ґрунту та розширювати свій ареал повітряним шляхом, але відомі й інші шляхи поширення водоростей (Kristiansen, 1996).

Як субдомінант донної флори мікрокосму був зареєстрований також інший представник Cyanobacteria – *Microcoles autumnalis* (Gomont) (Мікроколей осінній) (Продромус ..., 2024a) = *Phormidium autumnale* (Ag.) Gom. f. *autumnale* (Кондратьєва, 1968). Цей вид дуже поширений у різних типах прісних вод, на різних типах субстратів, ґрунтах і солончаках.

Наведене альгоугруповання *L. boryanum* + *M. autumnalis* віднесено авторами до біотопічного угруповання «мікрофітобентос», що деякою мірою є дискусійним. Суть проблеми полягає в різних трактуваннях понять «мікрофітобентос» і «фітоепіфітон» (Владимирова, 1971; Oksiyuk et al., 2009; Щербак та ін., 2025). Важливо, що у трактуванні поняття фітоепіфітону згідно з Водною рамковою директивою ЄС 2000 (Directive, 2000) авторами статті було запропоновано термін «мікрофітобентос твердих субстратів». Доцільність застосування терміна «мікрофітобентос» у даному експе-

риментальному дослідженні обґрунтована тим, що нитки *L. boryana* (див. рис. 3) переплетені із частками детриту чи розміщені на них. Це явище зареєстровано навіть у пробах розталого пагона. Водночас автори цієї роботи вважають за доцільне проведення подальших дискусій щодо суті, трактування і використання термінів «мікрофітобентос» і «фітоепіфітон».

Водорості водної товщі. Іншим феноменом, який також був зареєстрований у мікрокосмі, було масове «цвітіння» води з утворенням плейстонно-нейстонної поверхневої плівки зеленою джгутиковою формою *Haematococcus pluvialis* Flotow (рис. 4). Систематична ієрархія виду за (Продромус ..., 2024b): Chlorophyta – Chlorophyceae – Chlamydomonadales – Haematococcaceae – *Haematococcus* – *H. pluvialis* Flotow (Гематоккок дощовий).

За еколого-біологічними характеристиками (Продромус ..., 2024b) – аквально-терестріальний, прісноводний, планктонно-бентосний, культуральний, ґрунтовий, аерофітний. За типологічною приуроченістю вид трапляється в болотах, на заболочених ділянках, у водосховищах, у ґрунті, ефемерних водоймах, озерах, ставках, а також за умов суто атмосферного зрошування (на камінні, сухих скелях, парканах, стінах, мохах); за сапробіологічною характеристикою – β -мезосапроб (2,35). Загалом, вид помірно поширений по території України.

Характерною ознакою представників роду *Haematococcus* є значний простір між оболонкою і протопластом, виповнений слизом, і наявність гематохрому, який частково забарвлює вегетативні клітини в червоний колір. Під час вегетативного розмноження утворюються апланоспори, у яких накопичується гематокром, унаслідок чого вони стають темно-червоними (Коршіков,

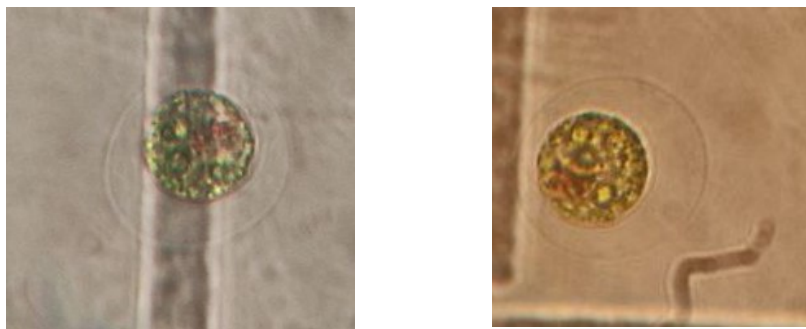


Рис. 4. Мікрофотографії *Haematococcus pluvialis* у пробах з мікрокосму

1938). Під час опрацювання проби води під мікроскопом нами було виявлено не тільки вегетативні клітини, а й декілька апланоспор темно-червоного кольору. Цікаво, що згідно з даними про поширення виду у визначнику (Коршіков, 1938) *H. pluvialis* може траплятись у калюжах дощової води на гранітних скелях, а також штучних басейнах.

«Цвітіння» води у мікрокосмі з утворенням яскраво-зеленої плейстонно-нейстонної плівки було зафіксовано впродовж 12–18 вересня 2025 р. (рис. 2-б). Кількісна проба ($V = 0,2 \text{ дм}^3$), відібрана 14 вересня 2025 р. з поверхневого горизонту, показала монодомінування *H. pluvialis* із чисельністю (N) 114 750,0 тис. кл/дм³ і біомасою (B) 39,02 мг/дм³ (рис. 5).

Дослідження, проведені 23 вересня 2025 р., також показали монодомінування *H. pluvialis*, але його чисельність (52 159,0 тис. кл/дм³) і біомаса (17,72 мг/дм³) були майже у 2,2 раза менші, ніж 14 вересня 2025 р. (див. рис. 4). Візуальними спостереженнями відмічено, що з поверхні мікрокосму зникла виражена зелена плівка, а зеленкуватий колір відібраної проби був менш насиченим.

Подальше суттєве зниження вегетації *H. pluvialis* підтверджують натурні дані, отримані 10 жовтня 2025 р. Чисельність водоростевої популяції знизилась до 27 452,11 тис. кл/дм³, біомаси – до 9,326 мг/дм³, тобто показники рясності були в 1,9

раза меншими, ніж 14 вересня 2025 р. (див. рис. 4).

Для пояснення встановленого феномену висловимо й спробуємо обґрунтувати таку гіпотезу. Водне середовище мікрокосму характеризується низьким вмістом фосфору, який, вочевидь, (разом із кремнієм для Bacillariophyta) і є лімітуючим чинником для масового розвитку водоростей, тому таксономічний склад альгофлори досить бідний. Але в перших числах вересня в Бучанському р-ні впродовж декількох днів спостерігались несприятливі погодні умови – штормовий вітер, буря, до мікрокосму було занесено значну кількість скошеної сухої трави, іншої органічної маси, пилу тощо. Навіть візуально на поверхні води мікрокосму були помітні рештки рослин. Фактично мало місце явище енергетичної субсидії, а разом з вітром було перенесено *H. pluvialis*, який є водно-наземним, ґрунтовим і аерофітним видом, а також може розвиватись у басейнах з дощовою водою.

Очевидно, що енергетична субсидія разом з високими денними температурами, оптимальною сонячною інсоляцією, відсутністю конкуренції з іншими планктонними формами водоростей, зокрема з Bacillariophyta, і сформували комплексні умови, які призвели до масового «цвітіння» *H. pluvialis*. Наявність двох джгутиків дозволяє виду як активно завойовувати водну товщу, так і формувати плейстонно-нейстонну поверхневу плівку. Водночас ефект

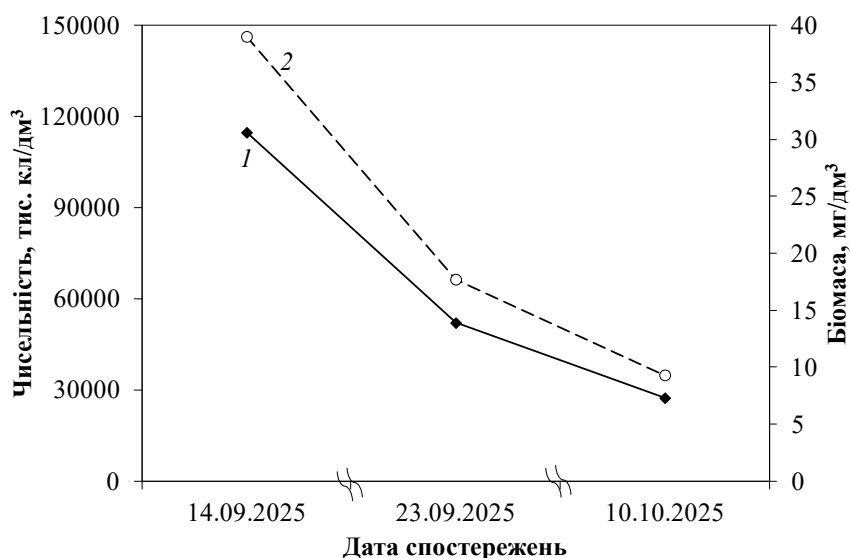


Рис. 5. Динаміка чисельності (1) та біомаси (2) *Haematococcus pluvialis* Flotow на різних етапах вегетації в мікрокосмі

аутогенної енергетичної субсидії зумовив лише відносно короткотривале «цвітіння» води з подальшим втрачанням *H. pluvialis* панівних позицій.

Отже, у період досліджень в модельному мікрокосмі сформувались дві різні біотопічні системи: бентосна із представників *Cyanobacteria* з домінуванням *Leptolyngbya boryana* (рис. 6-а) і планктонно-нейстонна із представника *Chlorophyta* – *Haematococcus pluvialis* (рис. 6-б).

Ці два альгоугруповання, різні за таксономічними, цитоморфологічними, розмірними, біотопічними характеристиками, у процесі життєдіяльності формували в мікрокосмі кілька біотичних зв'язків:

– антагоністичні: а) масове «цвітіння» *H. pluvialis* зумовило передусім екранування водної товщі й суттєве зменшення

надходження сонячної енергії до бентосної форми *Leptolyngbya boryana*; б) конкуренція за біогенні й органічні речовини призвела до пригнічення вегетації *L. boryana*. Це підтверджується тим, що після зниження інтенсивності «цвітіння» *H. pluvialis* (кінець вересня – початок жовтня) вегетація *L. boryana* знов інтенсифікувалась;

– синергічні – після закінчення вегетації, відмирання і лізису клітин *H. pluvialis* у водну товщу надійшли поживні речовини, які є свого роду «внутрішньою» чи аутогенною енергетичною субсидією.

Загалом, період досліджень (3–4 лютого – 10 жовтня 2025 р.) альгофлора мікрокосму була представлена комплексом *Cyanobacteria* – *Chlorophyta*, який налічував шість таксонів водоростей родового й видового рангів (табл. 3).

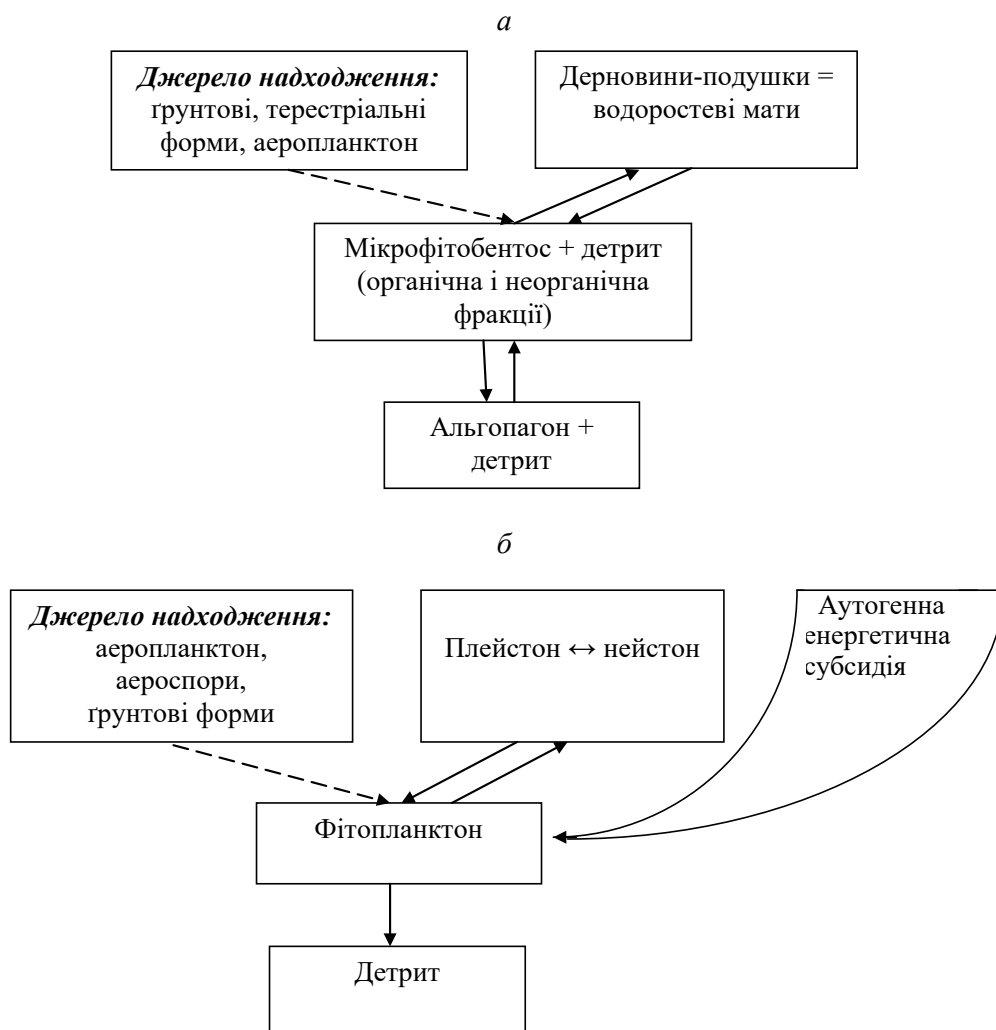


Рис. 6. Просторова динаміка біотопічної приуроченості панівних видів у мікрокосмі в різні сезони 2025 р.: а – *L. boryana*, б – *H. pluvialis*

Таблиця 3

Таксономічне різноманіття водоростей, період вегетації в мікрокосмі, біотопічна приуроченість, кількісна оцінка за шкалою Вислоуха (Методи ..., 2006) упродовж лютого – початку жовтня 2025 р.

Відділ	№	Вид	Період вегетації	Біотопічна приуроченість	Кількісна оцінка
Cyanobacteria	1.	<i>Leptolyngbya boryana</i>	зима літо осінь	альгопагон мікрофітобентос мікрофітобентос	масово дуже часто масово
	2.	<i>Microcoles autumnalis</i>	осінь	мікрофітобентос	дуже рідко
	3.	<i>Pleurocapsa</i> sp.	літо	планктон	дуже рідко
Chlorophyta	1.	<i>Haemotococcus pluvialis</i>	перша половина – середина вересня – початок жовтня	планктон плейстон – нейстон планктон	дуже масово часто дуже рідко
	2.	<i>Pteromonas</i> sp.	літо	планктон	дуже рідко

Висновки

Узагальнення альгологічних даних разом з абіотичними показниками дозволяє сформувати деякі положення, які, на нашу думку, підтверджують важливість альгофлори у формуванні біорізноманіття та високу адаптаційну здатність водоростей до життєдіяльності за різних умов довкілля.

Використаний в експерименті мікрокосм наповнювався атмосферними опадами чи дощовим стоком із залізного даху прилеглого будинку, тому водорості можуть потрапляти до нього кількома шляхами: а) вітрове перенесення (аеропланктон); б) разом із частками ґрунту чи іншого субстрату; в) дощовий злив із даху будинку; г) інші шляхи (занесення птахами тощо).

Специфічний гідрохімічний режим із високим вмістом сульфатів, Na^+ і K^+ і низьким фосфору вказує на наявність специфічних обмінних процесів у панівних видів *Cyanobacteria*, наприклад з використанням сірки. На користь цієї думки свідчить і те, що, згідно з описами панівного виду виду *L. boryana* (Кондратьєва, 1968), трихоми даної водорості блідо-зелені, майже безбарвні, що вказує на низький вміст хлорофілу *a*. Важливо, що ця ознака була добре виражена в живих нитках *L. boryana* в усіх пробах, відібраних у різні сезони. Але це питання потребує спеціальних досліджень.

Домінування водоростей з різною біотопічною приуроченістю, безсумнівно, є проявом високого адаптаційного потенціалу на популяційно-ценотичному рівні до дії різних екологічних чинників, а відсутність в альгофлорі *Bacillariophyta* зумовлена низьким вмістом у воді кремнію.

Різкі зміни в якісному складі та кількісному розвитку водоростевих угруповань у мікрокосмі є відгуком (реакцією) як на аллогенну, так і на автохтонну енергетичну субсидії.

Паралельне домінування двох видів чи більшої їх кількості може формувати між ними явища як антагонізму, так і синергізму.

Метод мікрокосму також може бути застосований для вивчення водоростевих угруповань у контексті теорії метаугруповань, зокрема:

- процесів і шляхів розселення водоростей різних систематичних відділів;
- біотичних взаємодій між компонентами мікрокосму: планктоном і бентосом та обміну видами як у двомірному, так і у тримірному просторі;
- парадигм теорії метаугруповань, як-от мас-ефект, динаміка патчів, сортування видів. Наприклад, можна допустити, що завдяки мас-ефекту в мікрокосм можуть потрапляти різні види водоростей, проте внаслідок сортування видів у значній кількості розвивались лише два види (*L. boryana* та *H. fluviatilis*), для яких умови мікрокосму були сприятливими.

Отже, проведення експериментальних досліджень якісного і кількісного розмаїття альгоугруповань з використанням мікрокосму є одним із перспективних напрямів гідробіологічних і альгологічних досліджень. Отримання емпіричних репрезентативних даних стало можливим за паралельного вивчення основних абіотичних чинників, які визначають розмаїття альгоугруповань і дозволяють врахувати вплив довкілля у значно ширших умовах, ніж у суто лабораторних дослідженнях.

Список використаної літератури

- Владимирова К.С. До питання про вивчення донних водоростей Дніпровсько-Бузького лиману. *Дніпровсько-Бузький лиман*. Київ : Наукова думка, 1971. С. 155–202.
- Козійчук Е.Ш. Фітомікробентос Кілійської дельти Дунаю : автореф. ... канд. біол. наук. Київ, 2020. 23 с.
- Кондратьєва Н.В. Клас гормогонієві – Hormogoniophyceae. *Визначник прісноводних водоростей України РСПР*. Вип. 1 : Синьозелені водорості – Cyanophyta. Ч. 2. Київ : Наукова думка, 1968. 523 с.
- Коршіков О.А. *Volvocineae*. *Визначник прісноводних водоростей УРСР*. Т. 4. Київ : Вид-во АН УРСР, 1938. 184 с.
- Ліщук А.В. Еколого-фізіологічні основи формування фітопланктону прісноводних екосистем : автореф. дис. ... докт. біол. наук. Київ, 2007. 38 с.
- Продромус спорових рослин України: водорості. Кн. 1 / за ред. П.М. Царенка. Київ : НВП «Видавництво «Наукова думка», 2024а. 879 с.
- Продромус спорових рослин України: водорості. Кн. 2 / за ред. П.М. Царенка. Київ : НВП «Видавництво «Наукова думка», 2024б. 879 с.
- Романенко В.Д., Жукинський В.М., Оксіюк О.П. Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Київ : Мінекоресурсів України, 2001. 48 с.
- Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ : Логос, 2006. 408 с.
- Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2019. 343 с.
- Щербак В.І., Семенюк Н.Є. Структурно-функціональна характеристика фітопланктону, дерновин-подушок, детриту і якості води за основних абіотичних чинників ставів міської агломерації (смт Гостомель, Бучанський р-н Київської обл., Україна). Повідомлення І. Видове, таксономічне, екологічне різноманіття фітопланктону та характеристика дерновин-подушок за основних абіотичних складових ставків. *Альгологія*. 2023. Т. 33. № 1. С. 22–47. <https://doi.org/10.15407/alg33.01.022>
- 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. *Альгологія*. 2023. Т. 33. № 3. С. 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147>
- Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. Особливості біотопічної приуроченості водоростей водної товщі прісноводних гідроекосистем різного типу. *Альгологія*. 2025. Т. 35. № 2. С. 104–127. <https://doi.org/10.15407/alg35.02.104>
- Directive 2000/60/EC. Water Framework Directive of the European Parliament and the Council, of 23 October 2000, Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. *Official Journal of the European Community*. 2000. L327. P. 1–72.
- Gregušová M., Hybská H., Mordáčová M. Microcosms as an implement for assessing ecological processes in aquatic and terrestrial environments. Review. *Environment Protection Engineering*. 2025. Vol. 51. № 1. P. 5–19. <https://doi.org/10.37190/epe250101>
- Guiry M.D., Guiry G.M. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway, 2025 [Електронний ресурс]. URL: <http://www.algaebase.org> (дата звернення 29.10.2025).
- Kristiansen J. Dispersal of freshwater algae : a review. *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 336. P. 151–157. <https://doi.org/10.1007/BF00010829>
- Liebig J. *Chemistry in Its Application to Agriculture and Physiology*. London : Taylor and Walton, 1840.
- Odum E.P. *Fundamental of Ecology*. Sec. ed. Philadelphia, London : W.B. Saunders Company, 1959. 546 p.
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A., Karpezo Yu.I. Ecological and morphological structure of microphytobenthos. *Hydrobiol. J.* 2009. Vol. 45. № 2. P. 13–23. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v45.i2.20>
- Shcherbak V.I., Yakushin V.M., Zadorozhnaya A.M., Semenyuk N.Ye., Linchuk M.I. Seasonal and interannual dynamics of phytoplankton, phytomicroepiphyton, and nutrients content in the River Section of the Kanev Reservoir. *Hydrobiol. J.* 2016. Vol. 52. № 1. P. 49–61. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v52.i1.50>

- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Davydov O.A., Koziychuk E.Sh. Planktonic and contour algal communities in the Ukrainian section of the Western Bug River and its tributaries. *International Journal on Algae*. 2025. Vol. 27. № 2. P. 117–138. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v27.i2.30>
- Shelyuk Yu.S. Phytoplankton of the Ukrainian Polissia River Ecosystems. *International Journal on Algae*. 2023. 25. № 2. P. 139–156. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i2.30>
- Vinogradova O.M., Kovalenko O.V., Nevo E.D., Weinstein-Evron M. Cyanoprocaryotes / Cyanobacteria of Jamal Cave, Nahal Me'arot Nature Reserve, Mount Carmel, Israel. *International Journal on Algae*. 2000. Vol. 2. № 1. P. 41–50. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v2.i1.50>
- Yakushin V.M., Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Linchuk M.I. Hydrochemical characteristics of the Kiev Reservoir at the present time. *Hydrobiol. J.* 2017. Vol. 53. № 6. P. 96–109. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v53.i6.100>

References

- Vladymyrova, K.S. (1971). Do pytannja pro vyvchennja donnykh vodorostej Dniprovsjko-Buzjkoj lymanu [To the issue of studying bottom algae of the Dnieper-Bug Estuary]. In: *Dniprovsjko-Buzjkyj lyman [Dnieper-Bug Estuary]*. Naukova Dumka, 155–202 [in Ukrainian].
- Koziychuk, E.Sh. (2020). *Fitomikrobentos kilijskoj deljty Dunaju [Phytomicrobenthos of the Kiliya Danube delta]*: PhD (Biol.) Abstract [in Ukrainian].
- Kondratieva, N.V. (1968). *Klas ghormogonijeji – Hormogoniophyceae. Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostej Ukrajinskoj RSR. Vyp. 1: Synjozeleni vodorosti – Cyanophyta. Ch. 2 [Hormogoniophyceae. Identification guide of the freshwater algae of Ukrainian RSR. Issue 1: Blue-green algae – Cyanophyta. Part 2]*. Naukova Dumka [in Ukrainian].
- Korshikov, O.A. *Volvocineae. Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostej URSR. T. 4. [Volvocineae. Identification guide of the freshwater algae of Ukrainian RSR. Vol. 4]*. Academy of Sciences of URSR Publishing House [in Ukrainian].
- Lishchuk, A.V. (2007). *Ekologho-fiziologhichni osnovy formuvannja fitoplanktonu prysnovodnykh ekosystem [Ecological and physiological fundamentals of phytoplankton development in freshwater ecosystems]*: Dr. Sci. (Biol.) Abstract [in Ukrainian].
- Prodromus sporovykh roslyn Ukrajiny: vodorosti. Knyga 1 [Prodromus of spore plants of Ukraine: algae. Book 1]* (2024a). Naukova Dumka [in Ukrainian].
- Prodromus sporovykh roslyn Ukrajiny: vodorosti. Knyga 2 [Prodromus of spore plants of Ukraine: algae. Book 2]* (2024b). Naukova Dumka [in Ukrainian].
- Romanenko, V.D., Zhukinskyi, V.M., & Oksiyuk, O.P. (2001). *Metodyka ustanovlennja i vykorystannja ekologhichnykh normatyviv jakosti poverkhnevnykh vod sushi ta estuarijiv Ukrajiny [Methods of identifying and applying the ecological standards of quality of surface waters and estuaries of Ukraine]*. Minecoresursiv Ukrainy [in Ukrainian].
- Metody ghidroekologhichnykh doslidzhenj poverkhnevnykh vod [Methods of hydroecological studies of surface waters]* (2006). Ed. by V.D. Romanenko. Logos [in Ukrainian].
- Khilchevskyi, V.K., Osadchyi, V.I., & Kurylo, S.M. (2019). *Reghionaljna ghidrokhimija Ukrajiny [Regional hydrochemistry of Ukraine]*. VPTs “Kyivskyi Universytet” [in Ukrainian].
- Shcherbak, V.I., & Semeniuk, N.Ye. (2023). *Strukturno-funkcionaljna kharakterystyka fitoplanktonu, dernovyn-podushok, detrytu i jakistj vody za osnovnykh abiotychnykh chynnykiv staviv misjkoj aghlomeraciji (smt Ghostomelj, Buchanskyj r-n Kyjivsjoji obl., Ukrajina). Povidomlennja I. Vydove, taksonomichne, ekologhichne riznomanittja fitoplanktonu ta kharakterystyka dernovyn-podushok za osnovnykh abiotychnykh skladovykh stavkiv [Structural and functional characteristics of phytoplankton, algal mats, detritus and water quality under main abiotic factors in urban ponds (case study of urban settlement Hostomel, Bucha district, Kyiv Region, Ukraine). Report I. Species and taxonomic composition, ecological diversity of phytoplankton and filamentous algal mats characteristics under main abiotic factors]*. *Algologia*, 33(1), 22–47. <https://doi.org/10.15407/alg33.01.022> [in Ukrainian].
- Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Larionova, D.P. (2023). *Suchasna kharakterystyka fitoplanktonu, mikrofitobentosu ta fitoepifitonu Kanivskoj vodoshkovysha. Povidomlennja 1: Taksonomichne, ekologhichne riznomanittja ta prostоровyj rozpodil [Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv reservoir. Report 1: taxonomic, ecological diversity and spatial pattern]*. *Algologia*, 33(3), 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147> [in Ukrainian].
- Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., Koziychuk, E.Sh. (2025). *Osoblyvosti biotopichnoji pryurochenosti vodorostej vodnoji tovshhi prysnovodnykh ghidroekosystem riznoho*

typu [Specifics of biotopic preferences of algae in the water column in the freshwater ecosystems of different types]. *Algologia*, 35(2), 104–127. <https://doi.org/10.15407/alg35.02.104> [in Ukrainian].

Directive 2000/60/EC (2000). Water Framework Directive of the European Parliament and the Council, of 23 October 2000, Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. *Official Journal of the European Community*, L327, 1–72 [in English].

Gregušová, M., Hybská, H., & Mordáčová, M. (2025). Microcosms as an implement for assessing ecological processes in aquatic and terrestrial environments. Review. *Environment Protection Engineering*, 51(1), 5–19. <https://doi.org/10.37190/epe250101> [in English].

Guiry, M.D., & Guiry, G.M. (2025). AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. [Electronic resource] URL: <http://www.algaebase.org> (access date 29.10.2025) [in English].

Kristiansen, J. (1996). Dispersal of freshwater algae – a review. *Hydrobiologia*, 336, 151–157. <https://doi.org/10.1007/BF00010829> [in English].

Liebig, J. (1840). *Chemistry in Its Application to Agriculture and Physiology*. Taylor and Walton [in English].

Odum, E.P. (1959). *Fundamental of Ecology*. W.B. Saunders Company [in English].

Oksiyuk, O.P., Davydov, O.A., & Karpezo, Yu.I. (2009). Ecological and morphological structure of microphytobenthos. *Hydrobiol. J.*, 45(2), 13–23. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v45.i2.20> [in English].

Shcherbak, V.I., Yakushin, V.M., Zadorozhnaya, A.M., Semenyuk, N.Ye., & Linchuk, M.I. (2016). Seasonal and interannual dynamics of phytoplankton, phytomicroepiphyton, and nutrients content in the River Section of the Kanev Reservoir. *Hydrobiol. J.*, 52(1), 49–61. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v52.i1.50> [in English].

Shcherbak, V.I., Semenyuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Koziychuk, E.Sh. (2025). Planktonic and contour algal communities in the Ukrainian section of the Western Bug River and its tributaries. *International Journal on Algae*, 27(2), 117–138. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v27.i2.30> [in English].

Shelyuk, Yu.S. (2023). Phytoplankton of the Ukrainian Polissia River Ecosystems. *International Journal on Algae*, 25(2), 139–156. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i2.30> [in English].

Vinogradova, O.M., Kovalenko, O.V., Nevo, E.D., & Weinstein-Evron, M. (2000). Cyanoprocaryotes / Cyanobacteria of Jamal Cave, Nahal Me'arot Nature Reserve, Mount Carmel, Israel. *International Journal on Algae*, 2(1), 41–50. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v2.i1.50> [in English].

Yakushin, V.M., Shcherbak, V.I., Semenyuk, N.Ye., & Linchuk, M.I. (2017). Hydrochemical characteristics of the Kiev Reservoir at the present time. *Hydrobiol. J.*, 53(6), 96–109. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v53.i6.100> [in English].

Отримано: 04.11.2025

Прийнято: 09.12.2025

Опубліковано: 30.12.2025

