



УДК 582.261./ .279

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.9.2024.6>

**ДЕЯКІ АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ МЕТАУГРУПОВАНЬ
ПРИ КОМПЛЕКСНОМУ ВИВЧЕННІ ФІТОПЛАНКТОНУ, МІКРОФІТОБЕНТОСУ,
ФІТОПЕРИФІТОНУ КОНТИНЕНТАЛЬНИХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ**

**В. І. Юришинець¹, Н. Є. Семенюк², В. І. Щербак³, О. А. Давидов⁴,
Е. Ш. Козійчук⁵, Ю. С. Шелюк⁶**

У роботі обговорюються деякі актуальні питання застосування теорії метаугруповань у вивченні планктонних і контурних альгоугруповань та наведено перші результати натурних досліджень в аспекті цієї проблематики на континентальних водних екосистемах України. Класичні екологічні науки, які досліджують угруповання організмів (такі як біоценологія), зосереджуються на локальному масштабі, переважно розглядаючи взаємодію видів у межах локальних угруповань. Насправді ж міжвидові взаємодії також відбуваються і між різними локальними угрупованнями, мережа яких і формує метаугруповання. Узагальнення літературних даних

¹ доктор біологічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: ciliator@ukr.net

ORCID: 0000-0001-6310-7874

² доктор біологічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: natasemenyuk@gmail.com

ORCID: 0000-0003-4447-3507

³ доктор біологічних наук, професор, провідний науковий співробітник
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: ek424nat@ukr.net

ORCID: 0000-0002-1237-6465

⁴ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: davydovoleg01@gmail.com

ORCID: 0009-0004-2381-723X

⁵ кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник
(Інститут гідробіології НАН України, м. Київ)
e-mail: elina.koziychuk@gmail.com

ORCID: 0009-0002-5762-938X

⁶ 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

та результатів власних натурних досліджень показує, що теорія метаугруповань може слугувати потужним теоретичним підґрунтям при комплексному вивченні різноманіття водоростей лотичних і лентичних водних екосистем з різним ступенем ізольованості/сполученості. До актуальних проблем дослідження водоростей в контексті теорії метаугруповань належать: дискусійне питання наявності географічних бар'єрів в розповсюдженні водоростей; зв'язок між розселенням ціанобактерій та поширенням явищ «цвітіння» води; обмін видами між планктонними та контурними водоростевими угрупованнями; вивчення водоростевих метаугруповань у тримірному просторі; залежність процесу розселення від просторової конфігурації та сполученості локалітетів.

Ключові слова: метаугруповання, водорості, локалітет, регіон, взаємодія видів, «цвітіння води», фітопланктон, мікрофітобентос, фітоперифітон.

SOME ISSUES AND CHALLENGES OF APPLYING METACOMMUNITY THEORY IN COMPLEX STUDIES OF PHYTOPLANKTON, PHYTOBENTHOS AND PHYTOPERIPHYTON OF CONTINENTAL AQUATIC ECOSYSTEMS

V. I. Yuryshynets, N. Ye. Semeniuk, V. I. Shcherbak, O. A. Davydov,
E. Sh. Koziychuk, Yu. S. Shelyuk

The paper discusses some issues and challenges of applying the metacommunity theory in complex studies of planktonic and contour algal communities and sets forth the first results of field studies in the aspect of these issues on continental aquatic ecosystems of Ukraine. Classic ecological sciences (such as community ecology) focus on local scale, mainly considering species interaction within local communities. However, species also interact among different local community, the network of which forms a metacommunity. Summarizing the data from literature and the results of field studies shows that the metacommunity theory may serve as powerful theoretical basis in complex studies of algae diversity of lotic and lentic ecosystems with different degree of connectivity. The issues of algae studies in the metacommunity theory context include: discursive question about presence of geographic barriers in algae dispersal; relation between Cyanobacteria dispersal and algal blooms; exchange of species between planktonic and contour algal communities; algal metacommunities in three-dimensional space; relation between algae dispersal and aquatic ecosystems configuration and connectivity.

Key words: metacommunities, algae, locality, region, species interaction, algal blooms, phytoplankton, phytobenthos, phytoperiphyton.

Вступ

Теорія метаугруповань застосовується в біологічних дослідженнях починаючи з 90-х років минулого сторіччя (Hanski & Gilpin, 1991; Wilson, 1992). Найбільш ґрунтовно її основні положення висвітлені в роботі (Leibold et al., 2004), де метаугруповання визначається як набір локальних угруповань, які пов'язані між собою шляхом розселення ряду потенційно взаємодіючих видів.

Новизна цієї теорії зумовлена тим, що класичні екологічні науки, які досліджують угруповання організмів (наприклад, біоценологія, синекологія), зосереджуються на локальному масштабі, переважно розглядаючи взаємодію видів у межах локальних угруповань, зокрема, згідно з класичною моделлю Лотки–Вольтерри (хижак – жертва). Насправді ж міжвидові взаємодії відбуваються не тільки в межах одного локального угруповання, але й між різними локальними угрупованнями, мережа яких і формує

метаугруповання. Наприклад, розселення призводить до збільшення локального видового різноманіття, дозволяючи новим видам потрапити до угруповань і компенсувати локальне вимирання, а обмеження в розселенні – навпаки, може перешкоджати видам досягати потенційно придатних локалітетів. Отже, кількість видів, присутніх у певному локалітеті, відображає не тільки локальні умови, але й ступінь сполученості з іншими ділянками (Leibold et al., 2004).

У контексті теорії метаугруповань закономірності поширення, кількісного розвитку та взаємодії організмів вперше розглядаються в двох різних просторових масштабах: *локальному* (масштабі локалітету) та *регіональному* (масштабі регіону). Кожному з цих просторових масштабів відповідає свій дискретний рівень інтеграції угруповань: локалітету відповідає *локальне угруповання*, а регіону – *метаугруповання*. Відповідно існують два типи чинників, що впливають на структуру угруповань:

локальні (або детерміністичні), які включають абіотичні умови та біотичні взаємодії між видами, і регіональні (або стохастичні) – процеси розселення організмів (Leibold et al., 2004; Vanormelingen et al., 2008; Cauvy-Fraunie et al., 2015; Jamoneau et al., 2018).

У водних екосистемах важливими компонентами біорізноманіття є фітопланктон, мікрофітобентос, фітоперифітон, фітоепіфітон. Оскільки водорості – основні первинні продуценти, то обмін видами між їхніми локальними угрупованнями впливає і на вищі трофічні рівні у харчовій мережі водної екосистеми (Jamoneau et al., 2018). Вивчення просторової динаміки водоростей лежить в основі розуміння таких екологічних процесів, як сукцесія, колонізація, диференціація ніш, конкуренція (Machová-Cerná & Neustupa, 2009).

Теорія метаугруповань може слугувати новим потужним теоретичним підґрунтям для комплексного дослідження водоростей планктону, бентосу, перифітону, зокрема:

– Розглядає локальні та регіональні чинники й дозволяє поєднати біогеографічний та біоценологічний напрями в комплексних альгологічних дослідженнях. Це актуально в контексті сучасних змін навколишнього середовища, які впливають на водні екосистеми в регіональному масштабі, наприклад, кліматичних змін, фрагментації біотопів, забруднення (Benito et al., 2018).

– Вивчення закономірностей просторової динаміки водоростей за допомогою теорії метаугруповань дає важливу інформацію з біорізноманіття водних екосистем, що є невід’ємною передумовою для формування стратегій його збереження та раціонального (невиснажливого) природокористування (Machová-Cerná & Neustupa, 2009; Cerná, 2010; Bortolini et al., 2019).

– Теорія метаугруповань дозволяє з’ясувати вплив детерміністичних процесів (екологічних чинників) та стохастичних (розселення організмів) у формуванні структури фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону (Heino et al., 2015; Devercelli et al., 2016; Bortolini et al., 2019).

– Актуальний напрямок застосування даної теорії пов’язаний з дослідженням «цвітіння» води, оскільки високі темпи розселення ціанобактерій та глобальне потепління сприяють поширенню цього явища (Shcherbak, 2019; Shcherbak et al., 2022, 2024). Це, безперечно, є важливим кроком у розробці стратегій управління водними

об’єктами та мінімізації наслідків «цвітіння» води (Katsiari et al., 2020).

Мета роботи – окреслити деякі актуальні питання застосування теорії метаугруповань у вивченні планктонних і контурних альгоугруповань та навести перші результати натурних досліджень в аспекті цієї проблематики на континентальних водних екосистемах України.

Матеріал і методи

Робота ґрунтується на результатах аналізу наукової літератури та оригінальних даних багаторічних натурних досліджень на водних екосистемах України з 2008 по 2023 рр. (Семенюк, 2020; Давидов і Козійчук, 2024; Щербак та ін., 2023а, 2023б, 2024). Також використані неопубліковані результати досліджень на Київському, Канівському водосховищах та р. Десна в літній сезон 2021 р. та на Канівському вдсх. восени 2022 р.

Оскільки в Україні термінологія теорії метаугруповань ще недостатньо розроблена, у роботі використані терміни, вживані в англійській літературі:

Альгометаугруповання, водоростеві метаугруповання – від англ. *algal metacommunities* (Passy, 2007; Budnick et al., 2021; Kim et al., 2021; Srednick et al., 2023), *algae metacommunities* (Branco et al., 2014).

Метаугруповання фітопланктону – від англ. *phytoplankton metacommunity* (Bortolini et al., 2017, 2019); метаугруповання перифітону – від англ. *periphyton metacommunity* (Algarte et al., 2014); метаугруповання бентосу – від англ. *benthic metacommunity* (Cobelas & Rojo, 2023). Також вживається термін метаугруповання діатомових водоростей – від англ. *diatom metacommunity* (Bottin et al., 2016).

Результати та обговорення

Узагальнення літературних даних дозволило сформулювати низку актуальних проблем дослідження водоростей різних екологічних груп у контексті теорії метаугруповань, що проілюстровано прикладами на основі перших результатів власних натурних досліджень.

1. *Проблема існування географічних обмежень у розселенні мікроводоростей.* Розселення мікроскопічних організмів, у тому числі мікроводоростей, є дискусійним питанням, щодо якого існують дві протилежні точки зору:

1) Перша базується на аргументації, що для організмів розміром до 1 мм практично не існує географічних бар’єрів у розсе-

ленні, вони є космополітами. Прихильники цієї точки зору вважають, що поширення вільноживучих мікроскопічних організмів визначається двома чинниками: необмеженим розселенням і локальними умовами середовища, та навіть піддають сумніву існування ендемічних видів мікроскопічних організмів (Finlay, 2002; Ptacnik et al., 2010). Це узгоджується з ідеєю «все є всюди, але середовище обирає» (Beijerinck, 1913 [цит. за: De Wit & Bouvier, 2006]; Baas Becking, 1934 [цит. за: De Wit & Bouvier, 2006]; Finlay et al., 2002).

2) Друга – полягає в тому, що мікроскопічні організми демонструють такі ж біогеографічні закономірності у поширенні, як і макроскопічні, тобто на їхні угруповання впливають як локальні чинники (екологічні умови), так і регіональні (історичні процеси, розселення організмів) (Passy, 2009; Bottin et al., 2014; Soininen, 2016). Цю думку поділяє Й. Крістіансен (Kristiansen, 1996), зазначаючи, що водорості здатні розселятись на великі відстані (до декількох сотень кілометрів), але обмеження у їхньому розселенні все ж існують. Це пов'язано з тим, що: а) ефективність розселення водоростей залежить від способу розселення; б) шанси на успішне розселення знижуються зі збільшенням відстані.

Наявність різних точок зору щодо розселення водоростей свідчить про необхідність більш ґрунтовних досліджень цієї проблеми в контексті теорії метаугруповань.

Щодо першої точки зору – дійсно, проведення додаткових досліджень може розширити географію знахідок водоростей. Зокрема, при вивченні водоростевих угруповань р. Західний Буг було проведено пошук цікавих видів водоростей з точки зору їхнього географічного поширення в Україні

(Щербак та ін., 2024). Основну увагу було приділено видам Bacillariophyta, поширення яких згідно з (Гопачевський і Оксіюк, 1960) переважно обмежувалось північно-західними регіонами України. Серед таких видів зазначались *Cocconeis neodiminuta* Krammer, *Diploneis oculata* (Brébisson) Cleve, *Odontidium anceps* (Ehrenberg) Ralfs, *Odontidium mesodon* (Ehrenberg) Kützing, *Meridion circulare* (Greville) C. Agardh тощо. Проте аналіз літературних джерел, опублікованих після 1960 р. та процитованих у роботі (Щербак та ін., 2024), показав, що географія знахідок цих видів значно розширилась, вони зустрічаються також і в центральних та південних регіонах України.

Важливо, що зазначені види зареєстровані також і у водних об'єктах басейну р. Вісла на території Польщі. Наприклад, види *Meridion circulare* та *Diatoma mesodon*, які були виявлені у р. Західний Буг та її допливах (Щербак та ін., 2024), часто зустрічаються у річковому басейні р. Вісла, зокрема у р. Сян (Noga et al., 2014, 2016). Це може слугувати ілюстрацією і другої точки зору, а саме, що поширення цих видів демонструє певні біогеографічні закономірності та визначається як локальними, так і регіональними чинниками. У якості локальних чинників виступають лотичні умови, оскільки *Meridion circulare* та *Diatoma mesodon* є видами, які віддають перевагу текучим водам (Zalat et al., 2022), а в якості регіональних чинників – розселення видів водним і повітряним шляхом.

Іншим прикладом є дендрограма подібності видового складу фітоепіфітону водосховищ Дніпровських водосховищ і Нижнього Дніпра за коефіцієнтом Серенсена (рис. 1).

Так, водоростеві угруповання дніпровських водосховищ закономірно розташо-

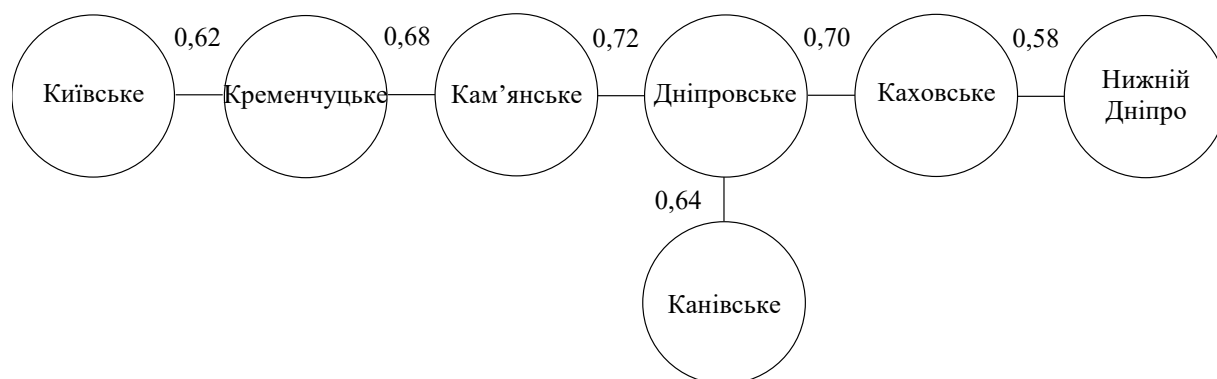


Рис. 1. Дендрограма подібності видового складу фітоепіфітону водосховищ Дніпровського каскаду та Нижнього Дніпра за коефіцієнтом Серенсена в 2008–2019 рр. (Семенюк, 2020).

вуються на дендрограмі в географічній послідовності. Це свідчить про поступові просторові зміни видового складу фітоепіфітону – від Київського водосховища до Нижнього Дніпра, що зумовлено: а) локальними детерміністичними чинниками (гідрологічними, гідрохімічними, кліматичними умовами), які поступово змінюються з півночі на південь України; б) регіональними стохастичними чинниками, тобто розселенням водоростей.

Вищенаведена дендрограма може слугувати вдалою ілюстрацією твердження Й. Крістіансена (Kristiansen, 1996) про те, що шанси успішного розселення водоростей знижуються зі збільшенням відстані. Із загальною картиною не узгоджується лише фітоепіфітон Канівського водосховища, який є найбільш подібним до Дніпровського водосховища (див. рис. 1). Це ймовірно зумовлено локальними чинниками та потребує подальших досліджень.

2. Зв'язок між розселенням ціанобактерій та поширенням явищ «цвітіння» води. Географічна експансія ціанобактерій є загальновідомим феноменом (Jöhnk et al., 2008; Paerl et al., 2011; Kosten et al., 2012; Pätynen et al., 2014; Rasconi et al., 2015; Rollwagen-Bollens et al., 2018; Ninio et al., 2020; Gophen, 2021). Вважається, що збільшення частоти явищ «цвітіння» води, зокрема видами з роду *Microcystis*, пов'язане з глобальним потеплінням та регіональним евтрофуванням, а також їхньою здатністю переноситись на великі відстані та адаптуватись до різних екологічних умов (Sukenik et al., 2015; Shcherbak, 2019; Katsiapi et al., 2020; Shcherbak et al., 2022, 2024). Існує навіть думка (Katsiapi et al., 2020), що за останні десятиліття різноманіття ціанобактерій демонструє чіткі ознаки «гомогенізації», іншими словами, відбувається зниження бета-різноманіття ціанобактерій, тобто зменшення відмінностей між їхніми локальними угрупованнями.

Вивчення просторової динаміки ціанобактерій на прикладі фітопланктону р. Західний Буг та Канівського водосховища, дозволило встановити, що їхній видовий склад у досліджуваних водних екосистемах суттєво відрізняється (табл. 1). Тобто ознак «гомогенізації» різноманіття ціанобактерій, про яку йшлося вище, не спостерігається. Коефіцієнт Серенсена між видовим складом ціанобактерій у річці та водосховищі складав лише 0,28, а отже бета-різноманіття (відмінність) між цими

двома водними екосистемами є високим. Розрахований коефіцієнт обігу видів (коефіцієнт відмінності (бета) Сімпсона) складав 0,66, а коефіцієнт вкладеності видової структури був значно нижчим – 0,09. Отже, можна стверджувати, що відмінність між локальними угрупованнями ціанобактерій у р. Західний Буг та Канівському водосховищі переважно визначається сортуванням видів (тобто види займають найбільш сприятливі для них локалітети).

Цікаво, що зареєстровано лише два спільних види ціанобактерій для річки та водосховища (*Microcystis aeruginosa* та *M. wesenbergii*), які є загальновідомими збудниками «цвітіння» води. Слід зауважити, що чисельність і біомаса *M. aeruginosa* та *M. wesenbergii* у річці є значно меншими, ніж у водосховищі. Проте їхня присутність у фітопланктоні типово лотичної екосистеми (р. Західний Буг) підтверджує тезу про повсюдне розселення зазначених видів, а також вказує, що за певних умов потенційно можливими є явища «цвітіння» води. У цілому, наведені натурні дані свідчать про необхідність майбутніх досліджень у цьому напрямку.

3. Закономірності обміну видами між різнотипними водоростевими угрупованнями. Обмін видами між фітопланктоном, мікрофітобентосом та фітоперифітоном – це складне питання, яке на сьогодні недостатньо досліджене, й публікації є нечисленними (Jenkerson & Hickman, 1986; Passy et al., 1999).

Слід підкреслити, що в цитованих вище роботах та іншій опрацьованій нами літературі з цієї проблематики автори комплексно не розглядали досліджуваний набір різнотипних альгоугруповань як метаугруповання та не застосовували до нього цього терміну. У той же час, отримані результати (Zadorozhna et al., 2017; Щербак та ін., 2023, 2024) свідчать про те, що процес переходу видів з фітопланктону у мікрофітобентос та фітоепіфітон і навпаки має важливе значення у формуванні структури локальних угруповань, а отже набір різнотипних водоростевих угруповань в одному локалітеті (а в деяких випадках навіть з різних локалітетів) також можна вважати метаугрупованням. Так, на основі натурних даних отриманих на р. Західний Буг та її допливах (жовтень 2018 р.) (Щербак та ін., 2024) та Канівському водосховищі й озерах м. Києва (жовтень 2022 р.), було проведено порівняння видового складу різнотипних альгоугруповань за

Таблиця 1

Просторова динаміка ціанобактерій планктону у різних локалітетах р. Західний Буг та Канівського водосховища

Види	р. Західний Буг				Канівське вдсх.		
	верхів'я біля с. Верхобуж	верхів'я біля с. Опаки	вище м. Червоноград	в межах м. Сокаль	затока Собаче Гирло	затока Оболонь	руслова частина
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	-	-	<u>226</u> 0,023	-	-	-	-
<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berkeley) Rabenhorst	-	-	-	-	-	-	<u>665</u> 0,043
<i>Aphanothece stagnina</i> (Sprengel) A.Braun	-	-	-	-	-	<u>2580</u> 0,108	<u>500</u> 0,021
<i>Coelomoron pusillum</i> (Van Goor) Komárek	-	-	-	-	-	<u>168</u> 0,002	-
<i>Dolichospermum flosaquae</i> (Brebisson ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek	-	-	-	-	<u>230</u> 0,041	-	<u>180</u> 0,032
<i>Limnothrix redekei</i> (Goor) Meffert	-	-	-	-	-	<u>100</u> 0,003	-
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	-	-	<u>1330</u> 0,150	-	<u>9970</u> 1,127	<u>90</u> 0,010	<u>560</u> 0,063
<i>Microcystis pulverea</i> (H.C.Wood) Forti	-	-	-	-	<u>1330</u> 0,005	<u>15264</u> 0,061	<u>4592</u> 0,018
<i>Microcystis wesenbergii</i> (Komárek) Komárek ex Komárek	-	-	<u>480</u> 0,054	-	<u>2640</u> 0,298	<u>1362</u> 0,154	<u>7238</u> 0,818
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	-	-	-	<u>855</u> 0,012	-	-	-
<i>Anagnostidinema amphibium</i> (C.Agardh ex Gomont) Strunecký, Bohunická, J.R.Johansen & J.Komárek	<u>86</u> 0,004	<u>24</u> 0,001	<u>75</u> 0,004	<u>685</u> 0,034	-	-	-
<i>Jaaginema geminatum</i> (Schwabe ex Gomont) Anagnostidis & Komárek	-	-	<u>50</u> 0,002	<u>75</u> 0,003	-	-	-
Σ	<u>86</u> 0,004	<u>24</u> 0,001	<u>2161</u> 0,233	<u>1615</u> 0,049	<u>14170</u> 1,472	<u>19564</u> 0,339	<u>13735</u> 0,996

Примітка. 1. Над рискою – чисельність, під рискою – біомаса. 2. Для р. Західний Буг наведено дані за жовтень 2018 р., для Канівського водосховища – за жовтень 2022 р.

коефіцієнтами Серенсена (K_{SOR}): попарними (Sørensen, 1948) і множинними (Baselga, 2010). Також виділено види, які є спільними для планктону, бентосу та перифітону, тобто види, які дають підставу розглядати сукупність трьох різнотипних угруповань як метаугруповання (табл. 2).

Найвищий рівень подібності між планктоном, бентосом й обростаннями зареєстровано для локалітетів лотичних систем (множинний $K_{SOR} = 0,28 \pm 0,02$), дещо нижчий – для лотично-лентичних ($0,24 \pm 0,01$) і найнижчий – для лентичних ($0,17 \pm 0,04$). Подібна закономірність встановлена і для

попарних K_{SOR} . Аналогічне ранжирування було характерно і для кількості видів, спільних для трьох різнотипних угруповань: для лотичних систем – 4–11 спільних видів, для лотично-лентичних – 2–4, для лентичних – 1–2 (див. табл. 2). Отже, найбільш інтенсивний обмін видами між планктонними та контурними угрупованнями відбувається в лотичних умовах, вочевидь завдяки високій гідродинаміці водних мас.

Найвищий рівень подібності між планктоном, бентосом й обростаннями зареєстровано для локалітетів лотичних систем (множинний $K_{SOR} = 0,28 \pm 0,02$), дещо ниж-

Таблиця 2

Порівняльний аналіз видового складу фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону в деяких локалітетах лотичних, лотично-лентичних та лентичних екосистем

Локалітети	Попарні K_{SOR}			Множинний K_{SOR} ФПЛ / МФБ / ФПер	Спільні види для трьох угруповань
	ФПЛ / МФБ	ФПЛ / ФПер	МФБ / ФПер		
<i>Лотичні системи (р. Західний Буг та її допливи)</i>					
верхів'я р. Західний Буг	0,17	0,22	0,44	0,33	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Eunotia bilunaris</i> , <i>Navicula cryptocephala</i> , <i>Ulnaria ulna</i>
р. Рата	0,20	0,22	0,42	0,26	<i>Amphora ovalis</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Navicula tripunctata</i> , <i>Nitzschia palea</i>
р. Солокія	0,20	0,12	0,43	0,25	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Cocconeis placentula</i> , <i>Stephanocyclus meneghinianus</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>Ulnaria acus</i>
р. Варешанка	0,29	0,24	0,38	0,27	<i>Surirella librile</i> , <i>Gomphonella olivacea</i> , <i>Gomphonema parvulum</i> , <i>Melosira varians</i> , <i>Navicula cryptocephala</i> , <i>N. tripunctata</i> , <i>Nitzschia palea</i> , <i>N. pusilla</i> , <i>Placoneis dicephala</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> , <i>Tetrademus lagerheimii</i>
У середньому	0,22±0,03	0,20±0,03	0,42±0,01	0,28±0,02	–
<i>Лотично-лентичні системи (Канівське вдсх.)</i>					
затока Собаче Гирло	0,24	0,14	0,45	0,26	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Navicula tripunctata</i> , <i>Staurosira construens</i> , <i>Ulnaria ulna</i>
затока Оболонь	0,09	0,05	0,49	0,22	<i>Staurosira construens</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i>
руськова ділянка Канівського вдсх.	0,15	0,07	0,50	0,24	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Cocconeis placentula</i>
У середньому	0,16±0,04	0,09±0,03	0,48±0,02	0,24±0,01	–
<i>Лентичні системи (озера м. Києва)</i>					
оз. Йорданське	0,13	0,03	0,48	0,21	<i>Cocconeis placentula</i>
оз. Вербне	0,11	0,09	0,22	0,13	<i>Cocconeis placentula</i> , <i>Pseudopediastrum boryanum</i>
У середньому	0,12±0,01	0,06±0,03	0,35±0,13	0,17±0,04	–

Примітка. ФПЛ – фітопланктон; МФБ – мікрофітобентос; ФПер – фітоперифітон, включаючи фітоепіфітон. Множинний K_{SOR} – коефіцієнт Серенсена для порівняння трьох і більше локальних угруповань, розрахований згідно (Baselga, 2010). Для р. Західний Буг наведено дані за жовтень 2018 р., для Канівського водосховища та озер м. Києва – за жовтень 2022 р.

чий – для лотично-лентичних ($0,24 \pm 0,01$) і найнижчий – для лентичних ($0,17 \pm 0,04$). Подібна закономірність встановлена і для попарних K_{SOR} . Аналогічне ранжирування було характерно і для кількості видів, спільних для трьох різнотипних угруповань: для лотичних систем – 4–11 спільних видів, для лотично-лентичних – 2–4, для лентичних – 1–2 (див. табл. 2). Отже, найбільш інтенсивний обмін видами між планктонними та контурними угрупованнями відбувається в лотичних умовах, вочевидь завдяки високій гідродинаміці водних мас.

Таким чином, розглянуті результати натурних досліджень ще раз підтверджують правомірність застосування терміну «метаугруповання» до сукупності різнотипних альгоугруповань планктону, бентосу, перифітону. Адже якщо два або більше видів присутні в наборі локальних угруповань, то вони формують метаугруповання (Hanski & Gilpin, 1991).

У цілому ж, обмін видами між планктоном, бентосом та перифітоном є перспективним напрямком для подальших досліджень у контексті теорії метаугруповань. При розробці цього напрямку виникає багато питань, зокрема термінологічного характеру. Наприклад, в теорії метаугруповань площа місцезнаходження, яка містить метаугруповання, називається регіоном, а стохастичні процеси розселення організмів, які діють на цьому рівні – регіональними чинниками. Проте згідно (Leibold et al., 2004) регіон – це велика площа, яка включає декілька локалітетів. І, відповідно, якщо вивчається метаугруповання, яке складається з планктону, бентосу та перифітону в одному локалітеті (з однаковими географічними координатами), то місцезнаходження такого метаугруповання вже не можна назвати регіоном. Тобто термінологічні питання потребують більш детального опрацювання.

Інший важливий аспект цієї проблематики полягає в тому, що обмін видами може відбуватись не тільки між різними екологічними групами в межах одного локалітету, але й між різними екологічними групами та різними локалітетами. Особливо це стосується гідросистем з розвиненою системою допливів, додаткових водойм, які є джерелом видів для збільшення біорізноманіття основного русла (Oksiyuk et al., 2000).

Питання обміну видами між планктоном, бентосом та перифітоном тісно пов'язане з іншою актуальною проблемою – дослідженням

водоростевих метаугруповань у тримірному просторі.

4. Вивчення альгометаугруповань у тримірному просторі в локальному та регіональному масштабі. Відомо (Hilt, 2015; Мінічева та ін., 2024), що водна екосистема являє собою тримірний простір, оскільки має такі біотопи як пелагіаль, літораль і бенталь. А отже, метаугруповання водоростей також доцільно розглядати в тримірному просторі: за перші два виміри приймаємо географічні координати (широту і довготу), а як третій вимір додаємо «вертикаль», тобто систему «товща води – дно – вищі водні рослини».

Для ілюстрації даних підходів наведено блок-схему за результатами комплексного вивчення різнотипних водоростевих угруповань лотично-лентичної ділянки Канівського водосховища (рис. 2).

На даному рисунку прикладами локалітетів (локальний масштаб) є товща води, дно та вищі водні рослини (ВВР) у межах затоки Собаче Гирло та руслової ділянки Канівського водосховища. Видове різноманіття відповідних локальних угруповань водоростей нараховує від 31 виду та внутрішньовидового таксону (ввт) (фітопланктон руслової ділянки) до 58 ввт (мікрофітобентос затоки Собаче Гирло).

У якості регіону (регіональний масштаб) розглядається верхня ділянка Канівського водосховища (тобто велика площа місцезнаходження, яка включає декілька локалітетів). У даному випадку для спрощення блок-схеми наведено лише два локалітети: лентичний (затока Собаче Гирло) і лотичний (руслова ділянка), хоча досліджувалась значно більша їх кількість. Вважаємо, що регіон необхідно аналізувати в наступних аспектах:

1. У двовимірному (горизонтальному) просторі: окремо для товщі води, окремо для дна і окремо для ВВР декількох локалітетів. Наприклад, локальні угруповання фітопланктону затоки Собаче Гирло (43 ввт) і руслової ділянки (31 ввт) пов'язані між собою 10 спільними (тобто, потенційно взаємодіючими видами), а отже сукупність цих двох локальних угруповань може розглядатись як метаугруповання. У цілому, зазначене метаугруповання фітопланктону нараховує $43+31 - 10 = 64$ ввт.

2. У тривимірному просторі (горизонтальна площина + вертикаль): в сукупності для товщі води, дна та ВВР декількох локалітетів. З вищенаведеного рис. 2 видно, що різнотипні локальні угруповання в межах

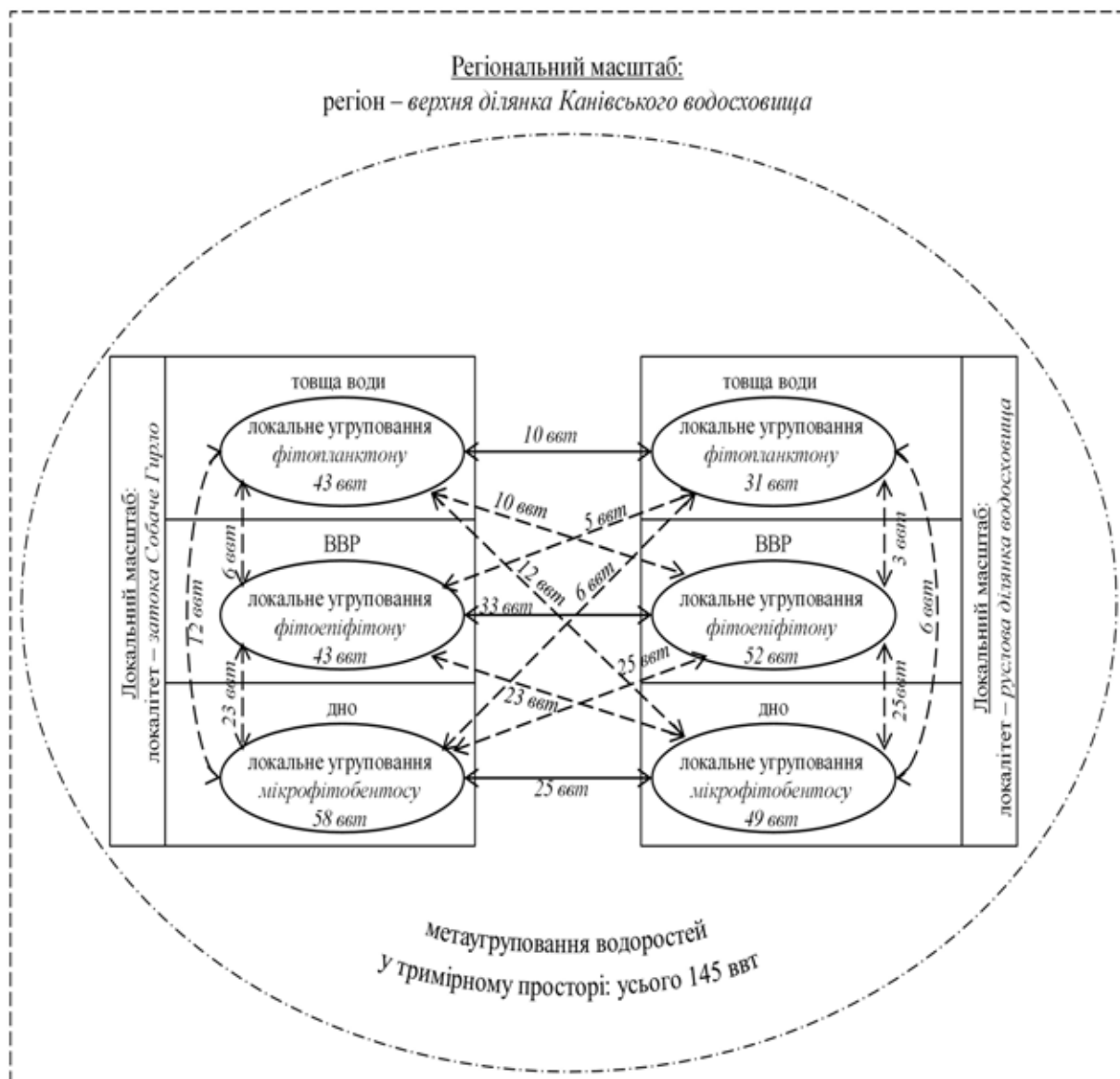


Рис. 2. Локальний і регіональний масштаби у теорії метагруповань (Leibold et al., 2004; Vanormelingen et al., 2008; Cauvy-Fraunié et al., 2015; Jamoneau et al., 2018).

Наводимо результати комплексних досліджень метагруповань фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоепіфітону верхньої ділянки Канівського водосховища влітку 2022 р. у тримірному просторі.

Примітка. Стрілками показано обмін видами (суцільні – між однотипними локальними угрупованнями, пунктирні – між різнотипними локальними угрупованнями), цифри біля стрілок позначають кількість спільних (потенційно взаємодіючих) видів.

регіону пов'язані між собою спільними видами. Отже, увесь розглянутий набір локальних угруповань водоростей буде правомірно вважати метагрупованням у тривимірному просторі, яке у сукупності нараховує 145 ввт.

Тобто доведено, що різні масштаби застосування теорії метагруповань можуть успішно застосовуватись як до лентичних, так і до лотичних екосистем.

5. Вплив просторової конфігурація та сполученості локалітетів у лотичних і лентичних системах на поширення водоростей. Теорія метагруповань є потужним теоретичним підґрунтям для розуміння процесів формування різноманіття біоти у лотичних і лентичних екосистемах з різним ступенем ізольованості / сполученості. Наприклад, лотичні екосистеми досить часто представляють у вигляді деревопо-

дібної мережі водних об'єктів з різним ступенем сполученості та різною можливістю обміну живих організмів (Devercelli et al., 2016; Chararro et al., 2018; Jamoneau et al., 2018).

Для лентичних екосистем на особливу увагу заслуговує вивчення метагруповань в межах однієї водойми (де сполученість різних локалітетів є дуже високою) (Vilmi et al., 2017), а також в ізольованих водоймах у межах одного ландшафту (де в структурванні локальних угруповань основну роль відіграє обмеження в розселенні) (Soininen et al., 2007).

У якості прикладу з натурних даних розглядається просторова динаміка фітоепіфітону модельних локалітетів Київського, Канівського водосховища з прилеглими водоймами та р. Десна та оз. Вербне, які характеризуються різними гідрологічними умовами (лотичні, лотично-лентичні, лентичні).

Результати проведеного кластерного аналізу за коефіцієнтом Серенсена (K_{SOR}) відображені у вигляді дендрограми (рис. 3). Найвищу подібність зареєстровано між угрупованнями в локалітетах, які гідрологічно сполучені та розташовані на незначній географічній відстані один від одного (менш ніж 10 км): зокрема, в районі с. Сухолуччя та острова Хільча ($K_{SOR} = 0,67$); в районі с. Глібівка та с. Козаровичі ($K_{SOR} = 0,66$); в районі парку Муромець і Північного мосту ($K_{SOR} = 0,67$); у р. Десна та в районі парку Муромець ($K_{SOR} = 0,61$).

Отримана дендрограма послідовно розділяється на такі кластери:

1. На рівні $K_{SOR} = 0,50$ відділяється локальне угруповання фітоепіфітону озера Вербне, яке не має безпосереднього гідрологічного зв'язку з іншими водними об'єктами.

2. На рівні $K_{SOR} = 0,57$ відділяються локальні угруповання частково ізольованих локалітетів: затока Оболонь Канівського

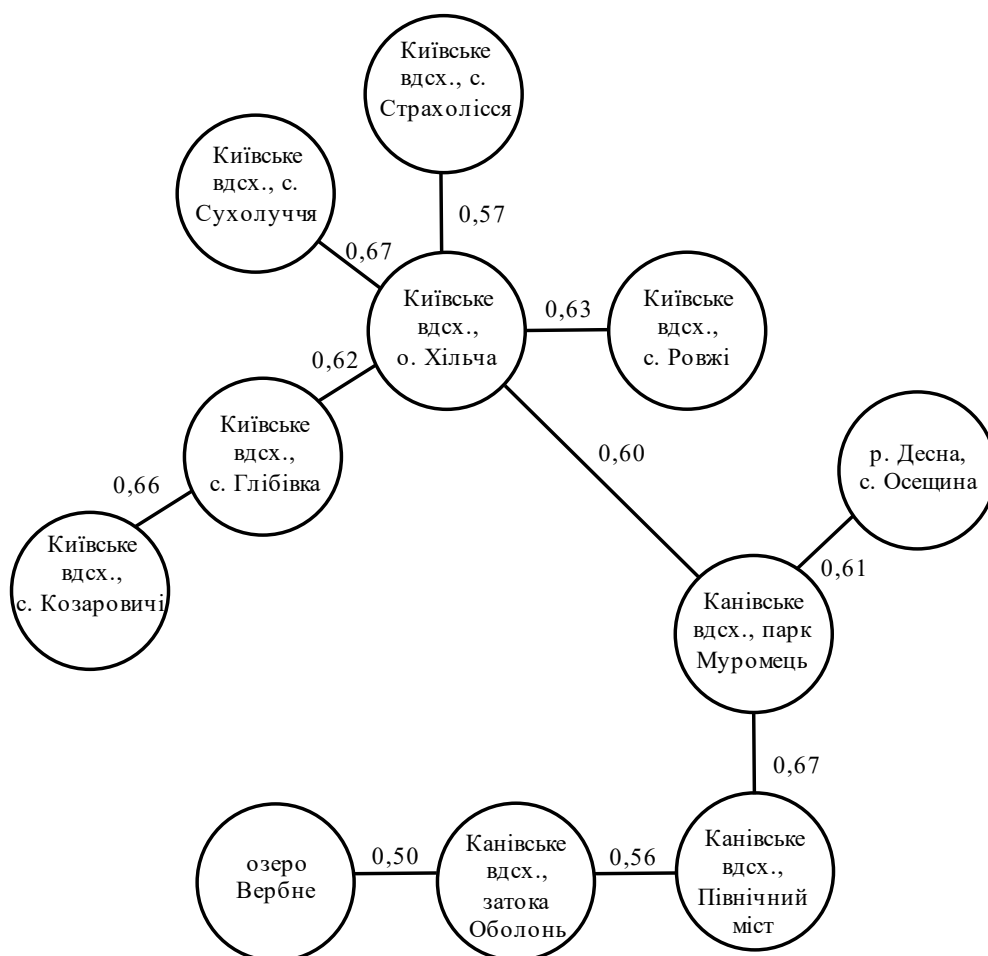


Рис. 3. Дендрограма подібності угруповань фітоепіфітону за коефіцієнтом Серенсена (K_{SOR}) у модельних локалітетах Київського, Канівського водосховищ, р. Десна та оз. Вербне в літній сезон 2021 р.

вдсх. та ділянка Київського вдсх. в районі с. Страхолісся (фактично це Тетерівська затока).

3. На рівні $K_{SOR} = 0,60$ дендрограма розділяється на два великі кластери: до першого входять локальні угруповання Київського водосховища, а до другого локальні угруповання Канівського водосховища та р. Десна.

Отже, ступінь подібності між локальними угрупованнями водоростей суттєво залежить від географічного розташування локалітетів та гідрологічного зв'язку між ними.

Висновки

Таким чином, застосування основних положень теорії метаугруповань при дослідженні водоростей (планктону, бентосу, перифітону) є новим поглядом на процеси поширення, кількісного розвитку та взаємодії автотрофних організмів, оскільки зазначені процеси розглядаються в двох масштабах: локальному (під впливом детерміністичних чинників) та регіональному (під впливом стохастичних чинників).

Узагальнення вищевикладених літературних даних та власних натурних мате-

ріалів показує, що теорія метаугруповань має широкі перспективи для застосування при комплексному вивченні різноманіття водоростей континентальних водних екосистем.

До актуальних проблем дослідження водоростей в контексті теорії метаугруповань належать: дискусійне питання наявності географічних бар'єрів в розповсюдженні водоростей; зв'язок між розселенням ціанобактерій та поширенням явищ «цвітіння» води; обмін видами між планктонними та контурними водоростевими угрупованнями; вивчення водоростевих метаугруповань у тривимірному просторі; залежність процесу розселення від просторової конфігурації та сполученості локалітетів.

Розглянуті аспекти застосування теорії метаугруповань для комплексного вивчення фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону безперечно потребують подальшої детальної розробки та можуть бути перспективними складовими фундаментальних та прикладних досліджень сучасної гідробиології.

Список використаної літератури

Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. Особливості формування донних альгоугруповань Київського водосховища (Україна). *Гідробиологічний журнал*. 2024. № 4. Т. 60. С. 23–34.

Мінічева Г.Г., Гаркуша О.П., Калашнік К.С., Маринець Г.В., Соколов Є.В. Реакція водоростей планктону та бентосу Чорного моря на наслідки руйнування греблі Каховського водосховища на р. Дніпро (Україна). *Альгологія*. 2024. № 2. Т. 34. С. 104–129. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.104>.

Семенюк Н.Є. *Фітоепіфітон водних об'єктів басейну Дніпра*: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук. Київ, 2020. 40 с.

Топачевський О.В., Оксіюк О.П. *Діатомові водорості – Bacillariophyta. Визначник прісноводних водоростей Української РСР*. Київ : Наук. думка, 1960. № 9. 411 с.

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*. 2023а. № 3. Т. 33. С. 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147>.

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, трофність та оцінка якості водного середовища. *Альгологія*. 2023b. № 4. Т. 33. С. 247–277. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.247>.

Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. Планктонні та контурні угруповання водоростей української ділянки р. Західний Буг та її допливів. Повідомлення 1. Абіотичні складові, таксономічна й екологічна характеристики та флористичні особливості фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону. *Альгологія*. 2024. № 2. Т. 34. С. 130–159. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.130>.

Algarte V.M., Rodrigues L., Landeiro V.L., Siquera T., Bini L.M. Variance partitioning of deconstructed periphyton communities: does the use of biological traits matter? *Hydrobiologia*. 2014. Vol. 722. P. 279–290. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1711-6>.

Baas Becking L.G.M. *Geobiologie of inleiding tot de milieukunde*. The Hague, the Netherlands: W.P. Van Stockum & Zoon, 1934.

- Baselga A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*. 2010. Vol. 19. P. 134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>.
- Beijerinck M.W. De infusies en de ontdekking der bacteriën. *Jaarboek van de Koninklijke Akademie voor Wetenschappen*. Amsterdam, the Netherlands: Müller, 1913. (Reprinted in *Verzamelde geschriften van M.W. Beijerinck*, vijfde deel. P. 119–140. Delft, 1921).
- Benito X., Fritz S.C., Steinitz-Kannan M., Vélez M.I., McGlue M. Lake regionalization and diatom metacommunity structuring in tropical South America. *Ecology and Evolution*. 2018. Vol. 8 (16). P. 7865–7878. <https://doi.org/10.1002/ece3.4305>.
- Bortolini J.C., Pineda A., Rodrigues L.C., Jati S., Velho L.F.M. Environmental and spatial processes influencing phytoplankton biomass along a reservoir-river-floodplain lakes gradient: A meta-community approach. *Freshwater Biology*. 2017. Vol. 62 (10). P. 1756–1767. <https://doi.org/10.1111/fwb.12986>.
- Bortolini J.C., Silva P.R.L., Baumgartner G., Bueno N.C. Response to environmental, spatial, and temporal mechanisms of the phytoplankton metacommunity: comparing ecological approaches in subtropical reservoirs. *Hydrobiologia*. 2019. Vol. 830. P. 45–61. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3849-8>.
- Bottin M., Soininen J., Ferrol M., Tison-Rosebery J. Do spatial patterns of benthic diatom assemblages vary across regions and years. *Freshwater Science*. 2014. Vol. 33 (2). P. 402–416. <https://doi.org/10.1086/675726>.
- Bottin M., Soininen J., Alard D., Rosebery J. Diatom cooccurrence shows less segregation than predicted from niche modelling. *PLoS ONE*. 2016. Vol. 11 (4). P. e0154581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154581>.
- Branco C.C.Z., Bispo P.C., Peres C.K., Tonetto A.F., Branco L.H.Z. The roles of environmental conditions and spatial factors in controlling stream macroalgal communities. *Hydrobiologia*. 2014. Vol. 732. P. 123–132. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1852-2>.
- Budnick W.R., Mruzek J.L., Larson C.A., Passy S.I. The impact of nutrient supply and imbalance on subcontinental co-occurrence networks and metacommunity composition of stream algae. *Ecography*. 2021. Vol. 44. P. 1109–1120. <https://doi.org/10.1111/ecog.05307>.
- Cauvy-Fraunié S., Espinosa R., Andino P., Jacobsen D., Dangles O. Invertebrate metacommunity structure and dynamics in an Andean glacial stream network facing climate change. *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10 (8). P. e0136793. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136793>.
- Černá K. Small-scale spatial variation of benthic algal assemblages in a peat bog. *Limnologia*. 2010. Vol. 40. P. 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.11.015>.
- Chaparro G., Horváth Z., O'Farrell I., Ptacnik R., Hein T. Plankton metacommunities in floodplain wetlands under contrasting hydrological conditions. *Freshwater Biology*. 2018. Vol. 63. P. 380–391. <https://doi.org/10.1111/fwb.13076>.
- Cobelas M.Á., Rojo C. Bridging community and metacommunity perspectives in benthic photosynthetic organisms (Serranía de Cuenca, Central Spain). *Limnetica*. 2023. Vol. 42 (1). P. 37–54. <https://doi.org/10.23818/limn.42.04>.
- De Wit R., Bouvier T. “Everything is everywhere, but, the environment selects”; what did Baas Becking and Beijerinck really say? *Environmental Microbiology*. 2006. Vol. 8 (4). P. 755–758. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01017.x>.
- Devercelli M., Scarabotti P., Mayora G., Schneider B., Giri F. Unravelling the role of determinism and stochasticity in structuring the phytoplanktonic metacommunity of the Paraná River floodplain. *Hydrobiologia*. 2016. Vol. 764 (1). P. 139–156. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2363-5>.
- Finlay B.J. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science*. 2002. Vol. 296 (5570). P. 1061–1063. <https://doi.org/10.1126/science.1070710>.
- Finlay B.J., Monaghan E.B., Maberly S.C. Hypothesis: the rate and scale of dispersal of freshwater diatom species is a function of their global abundance. *Protist*. 2002. Vol. 153 (3). P. 261–273. <https://doi.org/10.1078/1434-4610-00103>.
- Gophen M. Climate change-enhanced Cyanobacteria domination in Lake Kinneret: a retrospective overview. *Water*. 2021. Vol. 13 (2), № 163. <https://doi.org/10.3390/w13020163>.
- Hanski I., Gilpin M. Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. *Biological Journal of the Linnean Society*. 1991. Vol. 42. P. 3–16. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1991.tb00548.x>.
- Heino J., Soininen J., Alahuhta J., Lappalainen J., Virtanen R. A comparative analysis of meta-community types in the freshwater realm. *Ecology and Evolution*. 2015. Vol. 5 (7). P. 1525–1537. <https://doi.org/10.1002/ece3.1460>.

- Hilt S. Regime shifts between macrophytes and phytoplankton – concepts beyond shallow lakes, unravelling stabilizing mechanisms and practical consequences. *Limnetica*. 2015. Vol. 34 (2). P. 467–480. <https://doi.org/10.23818/limn.34.35>.
- Jamoneau A., Passy S.I., Soininen J., Leboucher T., Tison-Rosebery J. Beta diversity of diatom species and ecological guilds: Response to environmental and spatial mechanisms along the stream watercourse. *Freshwater Biology*. 2018. Vol. 63. P. 62–73. <https://doi.org/10.1111/fwb.12980>.
- Jenkerson C.G., Hickman M. Interrelationships among the epipelon, epiphyton and phytoplankton in a eutrophic lake. *International Review of Hydrobiology*. 1986. Vol. 71. P. 557–579. <https://doi.org/10.1002/iroh.19860710409>.
- Jöhnk K.D., Huisman J., Sharples J., Sommeijer B., Visser P.M., Stroom J.M. Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology*. 2008. Vol. 14 (3). P. 495–512. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01510.x>.
- Katsiapi M., Genitsaris S., Stefanidou N., Tsavdaridou A., Giannopoulou I., Stamou G., Michaloudi E., Mazaris A.D., Moustaka-Gouni M. Ecological connectivity in two ancient lakes: impact upon planktonic Cyanobacteria and water quality. *Water*. 2020. Vol. 12. № 18. <https://doi.org/doi:10.3390/w12010018>.
- Kim M.S., Ahn S.H., Jeong I.J., Lee T.K. Water quality drives the regional patterns of an algal metacommunity in interconnected lakes. *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. № 13601. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93178-9>.
- Kosten S., Huszar V.L.M., Bécares E., Costa L.S., Van Donk E., Hansson L.-A., Jeppesen E., Kruk C., Lacerot G., Mazzeo N., De Meester L., Moss B., Lüring M., Nöges T., Romo S., Scheffer M. Warmer climate boosts cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology*. 2012. Vol. 18 (1). P. 118–126. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02488.x>.
- Kristiansen J. Dispersal of freshwater algae – a review. *Hydrobiologia*. 1996. Vol. 336. P. 151–157. <https://doi.org/10.1007/BF00010829>.
- Leibold M.A., Hoyoak M., Mouquet N., Amarasekare P., Chas J.M., Hoopes M.F., Holt R.D., Shurin J.B., Law R., Tilman D., Loreau M., Gonzalez A. The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*. 2004. Vol. 7. P. 601–613. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x>.
- Machová-Černá K., Neustupa J. Spatial distribution of algal assemblages in a temperate lowland peat bog. *International Review of Hydrobiology*. 2009. Vol. 94 (1). P. 40–56. <https://doi.org/10.1002/iroh.200811058>.
- Ninio S., Lupu A., Viner-Mozzini Y., Zohary T., Sukenik A. Multiannual variations in *Microcystis* blooms episodes — Temperature drives shift in species composition. *Harmful Algae*. 2020. Vol. 92. № 101710. P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101710>.
- Noga T., Kochman N., Peszek Ł., Stanek-Tarkowska J., Pajaczek A. Diatoms (*Bacillariophyceae*) in rivers and streams and on cultivated soils of the Podkarpacie Region in the years 2007–2011. *Journal of Ecological Engineering*. 2014. Vol. 15 (1). P. 6–25. <https://doi.org/10.12911/22998993.1084168>.
- Noga T., Stanek-Tarkowska J., Rybak M., Kochman-Kędziara N., Peszek Ł., Pajaczek A. Diversity of diatoms in the natural, mid-forest Terebowiec Stream – Bieszczady National Park. *Journal of Ecological Engineering*. 2016. Vol. 17 (4). P. 232–247. <https://doi.org/10.12911/22998993/64506>.
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A., Melenchuk G.V., Karpezo Yu.I. Peculiarities of phytoplankton of the Kiev section of the Kanev reservoir depending on the operating conditions of the Kiev hydro-electric power station. *Hydrobiological Journal*. 2001. Vol. 37 (2). P. 122–135. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v37.i2.120>.
- Paerl H.W., Hall N.S., Calandrino E.S. Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. *Science of the Total Environment*. 2011. Vol. 409. P. 1739–1745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.001>.
- Passy S.I., Pan Y., Lowe R.L. Ecology of the major periphytic diatom communities from the Mesta River, Bulgaria. *International Review of Hydrobiology*. 1999. Vol. 84. P. 129–174. <https://doi.org/10.1002/iroh.199900017>.
- Passy S.I. Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*. 2007. Vol. 86. P. 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.09.018>.
- Passy S.I. The relationship between local and regional diatom richness is mediated by the local and regional environment. *Global Ecology and Biogeography*. 2009. Vol. 18. P. 383–391. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00453.x>.

- Pätynen A., Elliott J.A., Kiuru P., Sarvala J., Ventelä A.-M., Jones R.I. Modelling the impact of higher temperature on the phytoplankton of a boreal lake. *Boreal Environmental Research*. 2014. Vol. 19 (1). P. 66–78.
- Ptacnik R., Andersen T., Brettm P., Lepisto L., Willén E. Regional species pools control community saturation in lake phytoplankton. *Proceedings of the Royal Society*. 2010. Vol. 277. P. 3755–3764. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1158>.
- Rasconi S., Gall A., Winter K., Kainz M.J. Increasing water temperature triggers dominance of small freshwater plankton. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10 (10). № e0140449. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140449>.
- Rollwagen-Bollens G., Lee T., Rose V., Bollens S.M. Beyond Eutrophication: Vancouver Lake, WA, USA as a model system for assessing multiple, interacting biotic and abiotic drivers of harmful Cyanobacterial blooms. *Water*. 2018. Vol. 10 (6). № 757. P. 1–29. <https://doi.org/10.3390/w10060757>.
- Shcherbak V.I. Response of phytoplankton of the Kiev Reservoir to the increase in summer temperatures. *Hydrobiological Journal*. 2019. Vol. 55 (1). P. 18–35. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i1.20>.
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Yakushyn V.M. Phytoplankton structural and functional organization in a large lowland reservoir under the global climate change (case study of the Kaniv Reservoir). *Hydrobiological Journal*. 2022. Vol. 58. № 6. P. 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i6.10>.
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Maystrova N.V. Characteristics of Cyanobacteria at different stages of existence of the Kyiv Reservoir. *Hydrobiological Journal*. 2024. Vol. 60 (1). P. 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v60.i1.10>.
- Soininen J., McDonald R., Hillebrand H. The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography*. 2007. Vol. 30. P. 3–12. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04817.x>.
- Soininen J., Jamoneau A., Rosebery J., Passy S.I. Global patterns and drivers of species and trait composition in diatoms. *Global Ecology and Biogeography*. 2016. Vol. 25 (8). P. 940–950. <https://doi.org/10.1111/geb.12452>.
- Sørensen T. 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. *Kongelige Danske Videnskaberne Selskab Biologiske Skrifter*. 1948. Vol. 5 (4). P. 1–46.
- Srednick G., Cohen A., Diehl O., Tyler K., Swearer S.E. Habitat attributes mediate herbivory and influence community development in algal metacommunities. *Ecology*. 2023. Vol. 104 (4). P. e3976. <https://doi.org/10.1002/ecy.3976>.
- Sukenik A., Quesada A., Salmaso N. Global expansion of toxic and non-toxic cyanobacteria: effect on ecosystem functioning. *Biodiversity Conservation*. 2015. Vol. 24. P. 889–908. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0905-9>.
- Vanormelingen P., Cottenie K., Michels E., Muylaert K., Vyverman W., De Meester L. The relative importance of dispersal and local process in structuring phytoplankton communities in a set of highly interconnected ponds. *Freshwater Biology*. 2008. Vol. 53. P. 2170–2183. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02040.x>.
- Vilmi A., Tolonen K.T., Karjalainen S.M., Heino J. Metacommunity structuring in a highly-connected aquatic system: effects of dispersal, abiotic environment and grazing pressure on microalgal guilds. *Hydrobiologia*. 2017. Vol. 790. P. 125–140. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3024-z>.
- Wilson D.S. Complex interactions in metacommunities, with implications for biodiversity and higher levels of selection. *Ecology*. 1992. Vol. 73 (6). P. 1984–2000. <https://doi.org/10.2307/1941449>
- Zalat A.A., Nitychoruk J., Chodyka M., Pidek I.A., Welc F. *Recent and Fossil Freshwater Diatoms from Poland: Taxonomy, Distribution and their Significance in the Environmental Reconstruction. Part 1. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae and Fragilariaceae*. Biała Podlaska: John Paul II University of Applied Sciences in Biała Podlaska, 2022. 304 p.
- Zadorozhna H., Semeniuk N., Shcherbak V. Interaction between phytoplankton and epiphytic algae in the Kaniv Water Reservoir (Ukraine). *International Letters of Natural Sciences*. 2017. Vol. 61. P. 56–68. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.61.56>.

References

Davydov, O.A., & Koziichuk, E.Sh. (2024). Osoblyvosti formuvannia donnykh alouhropovan Kyivskoho vodoskhovyshcha (Ukraine) [Bottom algal communities development patterns in Kyiv Reservoir (Ukraine)]. *Hidrobiolohichni zhurnal [Hydrobiological Journal]*, 60 (4), 23–34 [in Ukrainian].

Minicheva, H.H., Harkusha, O.P., Kalashnik, K.S., Marynets, H.V., & Sokolov, Ye.V. (2024). Reaktsiia vodorostei planktonu ta bentosu Chornoho moria na naslidky ruinovannia hrebli Kakhovskoho vodoshkovyshcha na r. Dnipro (Ukraina) [Reaction of planktonic and benthic algae in the Black Sea to the consequences of the destruction of the Kakhovska Reservoir dam on the Dnipro River (Ukraine)]. *Alholohiia [Algologia]*, 34 (2), 104–129. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.104> [in Ukrainian].

Semeniuk, N.Ye. (2020). *Fitoepifiton vodnykh ob'ektiv baseinu Dnipra [Epiphytic algal communities of the Dnieper basin waterbodies]: Avtoref. dys. ... d-ra biol. nauk [Dr. Sci. (Biol.) Abstract]* [in Ukrainian].

Topachevskiy, O.V., & Oksiuk, O.P. (1960). *Diatomovi vodorosti – Bacillariophyta. Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR [Diatoms – Bacillariophyta. Identification guide on freshwater algae of Ukrainian SSR]*. Naukova dumka, 9 [in Ukrainian].

Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Larionova, D.P. (2023a). Suchasna kharakterystyka fitoplanktonu, mikrofitobentosu ta fitoepifitonu Kanivskoho vodoshkovyshcha. Povidomlennia 1: Taksonomichne, ekolohichne riznomanittia ta prostorovi rozpodil [Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv reservoir. Report 1: Taxonomic, ecological diversity and spatial pattern]. *Alholohiia [Algologia]*, 33 (3), 147–184. <https://doi.org/10.15407/alg33.03.147> [in Ukrainian].

Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Larionova, D.P. (2023b). Suchasna kharakterystyka fitoplanktonu, mikrofitobentosu ta fitoepifitonu Kanivskoho vodoshkovyshcha. Povidomlennia 2: Abiolychni chynnyky, kilkisne riznomanittia, dominuiuchy kompleks, trofnist ta otsinka yakosti vodnoho seredovyscha [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]. *Alholohiia [Algologia]*, 33 (4), 247–277. <https://doi.org/10.15407/alg33.04.247> [in Ukrainian].

Shcherbak, V.I., Semeniuk, N.Ye., Davydov, O.A., & Koziichuk E.Sh. (2024). Planktonni ta konturni uhrupovannia vodorostei ukrainskoi dilianky r. Zakhidnyi Buh ta yii doplyviv. Povidomlennia 1. Abiolychni skladovi, taksonomichna y ekolohichna kharakterystyky ta florystychni osoblyvosti fitoplanktonu, mikrofitobentosu, fitoperyfitonu [Plankton and contour algal communities in the ukrainian section of the Western Bug River and its tributaries. Report 1. Abiotic variables, taxonomic, ecological characteristics and floristics specifics of phytoplankton, microphytobenthos, phytoperiphyton]. *Alholohiia [Algologia]*, 34 (2), 130–159. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.130> [in Ukrainian].

Algarte, V.M., Rodrigues, L., Landeiro, V.L., Siquera, T., & Bini, L.M. (2014). Variance partitioning of deconstructed periphyton communities: does the use of biological traits matter? *Hydrobiologia*, 722, 279–290. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1711-6> [in English].

Baas Becking, L.G.M. (1934). *Geobiologie of inleiding tot de milieukunde*. W.P. Van Stockum & Zoon [in Dutch].

Baselga, A. (2010). Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. *Global Ecology and Biogeography*, 19, 134–143. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x> [in English].

Beijerinck, M.W. (1913). De infusies en de ontdekking der bacteriën. *Jaarboek van de Koninklijke Akademie voor Wetenschappen*. Müller [in Dutch].

Benito, X., Fritz, S.C., Steinitz-Kannan, M., Vélez, M.I., & McGlue, M. (2018). Lake regionalization and diatom metacommunity structuring in tropical South America. *Ecology and Evolution*, 8 (16), 7865–7878. <https://doi.org/10.1002/ece3.4305> [in English].

Bortolini, J.C., Pineda, A., Rodrigues, L.C., Jati, S., & Velho, L.F.M. (2017). Environmental and spatial processes influencing phytoplankton biomass along a reservoir-river-floodplain lakes gradient: A metacommunity approach. *Freshwater Biology*, 62 (10), 1756–1767. <https://doi.org/10.1111/fwb.12986> [in English].

Bortolini, J.C., Silva, P.R.L., Baumgartner, G., & Bueno, N.C. (2019). Response to environmental, spatial, and temporal mechanisms of the phytoplankton metacommunity: comparing ecological approaches in subtropical reservoirs. *Hydrobiologia*, 830, 45–61. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3849-8> [in English].

Bottin, M., Soininen, J., Ferrol, M., & Tison-Rosebery, J. (2014). Do spatial patterns of benthic diatom assemblages vary across regions and years. *Freshwater Science*, 33 (2), 402–416. <https://doi.org/10.1086/675726> [in English].

Bottin, M., Soininen, J., Alard, D., & Rosebery, J. (2016). Diatom cooccurrence shows less segregation than predicted from niche modelling. *PLoS ONE*, 11 (4), e0154581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154581> [in English].

Branco, C.C.Z., Bispo, P.C., Peres, C.K., Tonetto, A.F., & Branco, L.H.Z. (2014). The roles of environmental conditions and spatial factors in controlling stream macroalgal communities. *Hydrobiologia*, 732, 123–132. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1852-2> [in English].

Budnick, W.R., Mruzek, J.L., Larson, C.A., & Passy, S.I. (2021). The impact of nutrient supply and imbalance on subcontinental co-occurrence networks and metacommunity composition of stream algae. *Ecography*, 44, 1109–1120. <https://doi.org/10.1111/ecog.05307> [in English].

Cauvy-Fraunié, S., Espinosa, R., Andino, P., Jacobsen, D., & Dangles, O. (2015). Invertebrate metacommunity structure and dynamics in an Andean glacial stream network facing climate change. *PLoS ONE*, 10 (8), e0136793. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136793> [in English].

Černá, K. (2010). Small-scale spatial variation of benthic algal assemblages in a peat bog. *Limnologia*, 40, 315–321. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.11.015> [in English].

Chaparro, G., Horváth, Z., O'Farrell, I., Ptacnik, R., & Hein, T. (2018). Plankton metacommunities in floodplain wetlands under contrasting hydrological conditions. *Freshwater Biology*, 63, 380–391. <https://doi.org/10.1111/fwb.13076> [in English].

Cobelas, M.Á., & Rojo, C. (2023). Bridging community and metacommunity perspectives in benthic photosynthetic organisms (Serranía de Cuenca, Central Spain). *Limnetica*, 42 (1), 37–54. <https://doi.org/10.23818/limn.42.04> [in English].

De Wit, R., & Bouvier, T. (2006). “Everything is everywhere, but, the environment selects”; what did Baas Becking and Beijerinck really say? *Environmental Microbiology*, 8 (4), 755–758. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01017.x> [in English].

Devercelli, M., Scarabotti, P., Mayora, G., Schneider, B., & Giri, F. (2016). Unravelling the role of determinism and stochasticity in structuring the phytoplanktonic metacommunity of the Paraná River floodplain. *Hydrobiologia*, 764 (1), 139–156. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2363-5> [in English].

Finlay, B.J. (2002). Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. *Science*, 296 (5570), 1061–1063. <https://doi.org/10.1126/science.1070710> [in English].

Finlay, B.J., Monaghan, E.B., & Maberly, S.C. (2002). Hypothesis: the rate and scale of dispersal of freshwater diatom species is a function of their global abundance. *Protist*, 153 (3), 261–273. <https://doi.org/10.1078/1434-4610-00103> [in English].

Gophen, M. (2021). Climate change-enhanced Cyanobacteria domination in Lake Kinneret: a retrospective overview. *Water*, 13 (2), 163. <https://doi.org/10.3390/w13020163> [in English].

Hanski, I., & Gilpin, M. (1991). Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. *Biological Journal of the Linnean Society*, 42, 3–16. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1991.tb00548.x> [in English].

Heino, J., Soininen, J., Alahuhta, J., Lappalainen, J., & Virtanen, R. (2015). A comparative analysis of metacommunity types in the freshwater realm. *Ecology and Evolution*, 5 (7), 1525–1537. <https://doi.org/10.1002/ece3.1460> [in English].

Hilt, S. (2015). Regime shifts between macrophytes and phytoplankton – concepts beyond shallow lakes, unravelling stabilizing mechanisms and practical consequences. *Limnetica*, 34 (2), 467–480. <https://doi.org/10.23818/limn.34.35> [in English].

Jamoneau, A., Passy, S.I., Soininen, J., Lebourcher, T., & Tison-Rosebery, J. (2018). Beta diversity of diatom species and ecological guilds: Response to environmental and spatial mechanisms along the stream watercourse. *Freshwater Biology*, 63, 62–73. <https://doi.org/10.1111/fwb.12980> [in English].

Jenkerson, C.G., & Hickman, M. (1986). Interrelationships among the epipelon, epiphyton and phytoplankton in a eutrophic lake. *International Review of Hydrobiology*, 71, 557–579. <https://doi.org/10.1002/iroh.19860710409> [in English].

Jöhnk, K.D., Huisman, J., Sharples, J., Sommeijer, B., Visser, P.M., & Stroom, J.M. (2008). Summer heatwaves promote blooms of harmful cyanobacteria. *Global Change Biology*, 14 (3), 495–512. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01510.x> [in English].

Katsiapi, M., Genitsaris, S., Stefanidou, N., Tsavdaridou, A., Giannopoulou, I., Stamou, G., Michaloudi, E., Mazaris, A.D., & Moustaka-Gouni, M. (2020). Ecological connectivity in two ancient lakes: impact upon planktonic Cyanobacteria and water quality. *Water*, 12, 18. <https://doi.org/10.3390/w12010018> [in English].

- Kim, M.S., Ahn, S.H., Jeong, I.J., & Lee, T.K. (2021). Water quality drives the regional patterns of an algal metacommunity in interconnected lakes. *Scientific Reports*, 11, 13601. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93178-9> [in English].
- Kosten, S., Huszar, V.L.M., Bécares, E., Costa, L.S., Van Donk, E., Hansson, L.-A., Jeppesen, E., Kruk, C., Lacerot, G., Mazzeo, N., De Meester, L., Moss, B., Lürling, M., Nöges, T., Romo, S., & Scheffer, M. (2012). Warmer climate boosts cyanobacterial dominance in shallow lakes. *Global Change Biology*, 18 (1), 118–126. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02488.x> [in English].
- Kristiansen, J. (1996). Dispersal of freshwater algae – a review. *Hydrobiologia*, 336, 151–157. <https://doi.org/10.1007/BF00010829> [in English].
- Leibold, M.A., Hoyoak, M., Mouquet, N., Amarasekare, P., Chas, J.M., Hoopes, M.F., Holt, R.D., Shurin, J.B., Law, R., Tilman, D., Loreau, M., & Gonzalez, A. (2004). The metacommunity concept: a framework for multi-scale community ecology. *Ecology Letters*, 7, 601–613. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00608.x> [in English].
- Machová-Černá, K., & Neustupa, J. (2009). Spatial distribution of algal assemblages in a temperate lowland peat bog. *International Review of Hydrobiology*, 94 (1), 40–56. <https://doi.org/10.1002/iroh.200811058> [in English].
- Ninio, S., Lupu, A., Viner-Mozzini, Y., Zohary, T., & Sukenik, A. (2020). Multiannual variations in *Microcystis* blooms episodes – Temperature drives shift in species composition. *Harmful Algae*, 92, 101710, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101710> [in English].
- Noga, T., Kochman, N., Peszek, Ł., Stanek-Tarkowska, J., & Pajaczek, A. (2014). Diatoms (*Bacillariophyceae*) in rivers and streams and on cultivated soils of the Podkarpacie Region in the years 2007–2011. *Journal of Ecological Engineering*, 15 (1), 6–25. <https://doi.org/10.12911/22998993.1084168> [in English].
- Noga, T., Stanek-Tarkowska, J., Rybak, M., Kochman-Kędziora, N., Peszek, Ł., & Pajaczek, A. (2016). Diversity of diatoms in the natural, mid-forest Terebowiec Stream – Bieszczady National Park. *Journal of Ecological Engineering*, 17 (4), 232–247. <https://doi.org/10.12911/22998993/64506> [in English].
- Oksiyuk, O.P., Davydov, O.A., Melenchuk, G.V., & Karpezo, Yu.I. (2001). Peculiarities of phytoplankton of the Kiev section of the Kanev reservoir depending on the operating conditions of the Kiev hydro-electric power station. *Hydrobiological Journal*, 37 (2), 122–135. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v37.i2.120> [in English].
- Paerl, H.W., Hall, N.S., & Calandrino, E.S. (2011). Controlling harmful cyanobacterial blooms in a world experiencing anthropogenic and climatic-induced change. *Science of the Total Environment*, 409, 1739–1745. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.001> [in English].
- Passy, S.I., Pan, Y., & Lowe, R.L. (1999). Ecology of the major periphytic diatom communities from the Mesta River, Bulgaria. *International Review of Hydrobiology*, 84, 129–174. <https://doi.org/10.1002/iroh.199900017> [in English].
- Passy, S.I. (2007). Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters. *Aquatic Botany*, 86, 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2006.09.018> [in English].
- Passy, S.I. (2009). The relationship between local and regional diatom richness is mediated by the local and regional environment. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 383–391. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00453.x> [in English].
- Pätynen, A., Elliott, J.A., Kiuru, P., Sarvala, J., Ventelä, A.-M., & Jones, R.I. (2014). Modelling the impact of higher temperature on the phytoplankton of a boreal lake. *Boreal Environmental Research*, 19 (1), 66–78 [in English].
- Ptácnik, R., Andersen, T., Brett, P., Lepistö, L., & Willén, E. (2010). Regional species pools control community saturation in lake phytoplankton. *Proceedings of the Royal Society*, 277, 3755–3764. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1158> [in English].
- Rasconi, S., Gall, A., Winter, K., & Kainz, M.J. (2015). Increasing water temperature triggers dominance of small freshwater plankton. *PLOS ONE*, 10 (10), e0140449. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140449> [in English].
- Rollwagen-Bollens, G., Lee, T., Rose, V., & Bollens, S.M. (2018). Beyond Eutrophication: Vancouver Lake, WA, USA as a model system for assessing multiple, interacting biotic and abiotic drivers of harmful Cyanobacterial blooms. *Water*, 10 (6), 757, 1–29. <https://doi.org/10.3390/w10060757> [in English].

- Shcherbak, V.I. (2019). Response of phytoplankton of the Kiev Reservoir to the increase in summer temperatures. *Hydrobiological Journal*, 55 (1), 18–35. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i1.20> [in English].
- 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). *Hydrobiological Journal*, 58 (6), 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i6.10> [in English].
- Shcherbak, V.I., Semenyuk N.Ye., & Maystrova N.V. (2024). Characteristics of Cyanobacteria at different stages of existence of the Kyiv Reservoir. *Hydrobiological Journal*, 60 (1), 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v60.i1.10> [in English].
- Soininen, J., McDonald, R., & Hillebrand, H. (2007). The distance decay of similarity in ecological communities. *Ecography*, 30, 3–12. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04817.x> [in English].
- Soininen, J., Jamoneau, A., Rosebery, J., & Passy, S.I. (2016). Global patterns and drivers of species and trait composition in diatoms. *Global Ecology and Biogeography*, 25 (8), 940–950. <https://doi.org/10.1111/geb.12452> [in English].
- 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. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab Biologiske Skrifter*, 5 (4), 1–46 [in English].
- Srednick, G., Cohen, A., Diehl, O., Tyler, K., & Swearer, S.E. (2023). Habitat attributes mediate herbivory and influence community development in algal metacommunities. *Ecology*, 104 (4), e3976. <https://doi.org/10.1002/ecy.3976> [in English].
- Sukenik, A., Quesada, A., & Salmaso, N. (2015). Global expansion of toxic and non-toxic cyanobacteria: effect on ecosystem functioning. *Biodiversity Conservation*, 24, 889–908. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0905-9> [in English].
- Vanormelingen, P., Cottenie, K., Michels, E., Muylaert, K., Vyverman, W., & De Meester, L. (2008). The relative importance of dispersal and local process in structuring phytoplankton communities in a set of highly interconnected ponds. *Freshwater Biology*, 53, 2170–2183. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02040.x> [in English].
- Vilmi, A., Tolonen, K.T., Karjalainen S.M., & Heino J. (2017). Metacommunity structuring in a highly-connected aquatic system: effects of dispersal, abiotic environment and grazing pressure on microalgal guilds. *Hydrobiologia*, 790, 125–140. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3024-z> [in English].
- Wilson, D.S. (1992). Complex interactions in metacommunities, with implications for biodiversity and higher levels of selection. *Ecology*, 73 (6), 1984–2000. <https://doi.org/10.2307/1941449> [in English].
- Zalat, A.A., Nitychoruk, J., Chodyka, M., Pidek, I.A., & Welc, F. (2022). *Recent and Fossil Freshwater Diatoms from Poland: Taxonomy, Distribution and their Significance in the Environmental Reconstruction. Part 1. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae and Fragilariaceae*. John Paul II University of Applied Sciences in Biała Podlaska [in English].
- Zadorozhna, H., Semeniuk, N., & Shcherbak, V. (2017). Interaction between phytoplankton and epiphytic algae in the Kaniv Water Reservoir (Ukraine). *International Letters of Natural Sciences*, 61, 56–68. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ILNS.61.56> [in English].

Отримано: 02.08.2024
Прийнято: 26.08.2024