

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

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

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

Козійчук Е.Ш. (<https://orcid.org/0009-0002-5762-938X>)

Інститут гідробіології НАН України,

просп. Володимира Івасюка, 12, Київ 04210, Україна

*ek424nat@ukr.net

**ПЛАНКТОННІ Й КОНТУРНІ УГРУПОВАННЯ ВОДРОСТЕЙ
УКРАЇНСЬКОЇ ДІЛЯНКИ р. ЗАХІДНИЙ БУГ ТА ЇЇ ДОПЛИВІВ.
ПОВІДОМЛЕННЯ 2. ПРОСТОРОВА ГЕТЕРОГЕННІСТЬ КІЛЬКІСНИХ
ПОКАЗНИКІВ ПЛАНКТОННИХ І КОНТУРНИХ ВОДРОСТЕВИХ
УГРУПОВАНЬ**

Реферат. Вивчено просторовий розподіл чисельності, біомаси, домінуючих комплексів, інформаційного різноманіття водоростей планктону й контурних угруповань р. Західний Буг та її допливів. Визначено трофічність та якість водного середовища досліджених річок. Просторова гетерогенність фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону зумовила формування високих величин чисельності та біомаси в період літньо-осінньої межени. Встановлено зростання чисельності та біомаси від витоків вниз за течією, що чітко корелює зі збільшенням ширини водотоку. Значне кількісне різноманіття альгоугруповань визначалося розвитком *Bacillariophyta*. В якості субдомінантів виступали *Cyanobacteria* та *Chlorophyta*. Трофічний статус досліджених екосистем змінювався в межах: оліготрофний – евтрофний, а інформаційне різноманіття за індексом Шеннона – від 1,58 до 4,62 біт/екз та від 1,60 до 4,40 біт/мг. Трофічність та інформаційне різноманіття за контурними угрупованнями були вищими, ніж за фітопланктоном. Це свідчить про те, що в літньо-осінню межень у досліджуваних водотоках

Надійшла до редакції 03.06.2024. Після доопрацювання 18.06.2024. Підписана до друку 26.06.2024.
Опублікована 20.09.2024

Ц и т у в а н н я . Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. 2024. Планктонні й контурні угруповання водоростей української ділянки р. Західний Буг та її допливів. Повідомлення 2. Просторова гетерогенність кількісних показників планктонних і контурних водоростевих угруповань. *Альгологія*. 34(3): 175–204. <https://doi.org/10.15407/alg34.03.175>

This is open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

формується режим прозорої води. Отримані результати відрізняються від отриманих нами раніше для Канівського водосховища, в якому провідна роль належала фітопланктону. Просторова гетерогенність водоростевих угруповань значною мірою зумовлена структурою домінуючих комплексів. Зазвичай це або мономінування *Bacillariophyta*, або олігодомінантні комплекси *Bacillariophyta* – *Cyanobacteria* чи *Bacillariophyta* – *Chlorophyta*. Комплексна оцінка якості водного середовища за абіотичними складовими та сапробіологічними характеристиками показала, що модальними класами якості води є 2-й та 3-й класи (чисті води – води задовільної чистоти). Отже, якість води дослідженої української ділянки р. Західний Буг та її допливів не становить суттєвих загроз забруднення вод сусіднім європейським державам.

Ключові слова: річка Західний Буг, фітопланктон, мікрофітобентос, фітоперифітон, контурні угруповання, чисельність, біомаса, трофність, домінуючий комплекс, якість водного середовища, індекс Шеннона

Вступ

У формуванні біорізноманіття водних екосистем провідна роль належить первинним потокам енергії, які визначаються кількісними (функціональними) показниками водоростевих угруповань.

Особливо складною й водночас досить цікавою з ценотичної та екологічної точок зору є просторова гетерогенність цих угруповань в річках, зокрема в р. Західний Буг та її допливах. Раніше повідомлялося (Shcherbak et al., 2024b), що просторова гетерогенність таксономічного різноманіття та флористичної структури між фітопланктоном, мікрофітобентосом і фітоперифітоном найбільше виражена в літньо-осінню річкову межень, яка припадає на період біологічного літа – біологічної осені, коли абіотичні складові екосистем водотоків є найбільш сприятливими для вегетації водоростей.

Окрім біомаси та домінуючого комплексу, які визначають функціональні показники водоростей, не менш важливим є інформаційне різноманіття за індексом Шеннона, чисельність водоростей та трофність водотоків (Shcherbak et al., 2023a, b). Це зумовлено тим, що розмірно-морфологічні характеристики різних видів водоростей можуть суттєво відрізнитися навіть на декілька порядків (Oksiyuk et al., 2005; Oksiyuk, Davydov, 2006; Davydov, 2009; Shcherbak et al., 2019; Semeniuk, 2020; Shcherbak, 2000, 2019b). Це важливо, оскільки подібна розмірна диференціація притаманна багатьом водоростям, що входять до домінуючих комплексів різних альгоугруповань континентальних вод

(наприклад, *Stephanodiscus hantzschii**, *Chlamydomonas globosa*, *Aulacoseira granulata*, *Amphora ovalis* та *Cocconeis placentula* var. *euglypta*).

Для транскордонних водотоків України, які входять до басейну р. Вісла, інформація щодо чисельності, біомаси та характерних видів водоростей представлена С.О. Афанасьєвим (Yaroshevych, Afanasyev et al., 2022). Дещо раніше кількісні характеристики альгоугруповань р. Західний Буг та деяких її допливів вивчались О.М. Мантуровою (Manturova, 2001, 2006; Ertel et al., 2012) та О.М. Летицькою (Lietytska et al., 2020). Фрагментарні дані щодо чисельності та біомаси водоростей деяких водойм і водотоків басейну р. Вісла наведено польськими дослідниками (Wojciechowska et al., 2005; Dembowska, 2009; Obolewski et al., 2010a, b; Dembowska et al., 2012; Majewska et al., 2012; Pasztaleniec et al., 2013; Pasztaleniec, Poniewozik, 2013; Grabowska et al., 2014; Zębek et al., 2014; Noga, 2019). Проте інформація щодо порівняльної оцінки кількісного розвитку між угрупованнями (фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону) в опрацьованих джерелах не відображена.

Метою даної роботи є оцінка просторової гетерогенності, чисельності, біомаси, домінуючих комплексів, інформаційного різноманіття водоростей планктону й контурних угруповань р. Західний Буг та її допливів, а також визначення трофності та якості водного середовища досліджених річок.

Матеріали та методи

Карту-схему, номера станцій спостережень на р. Західний Буг та її допливах, їхнє географічне й адміністративне розташування, абіотичні складові, польові, лабораторні та камеральні методи опрацювання альгологічних проб з врахуванням біотопічної специфіки водоростевих угруповань, таксономічні й екологічні характеристики фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону представлені у попередньому повідомленні (Shcherbak et al., 2024b).

Розрахунок чисельності, біомаси, визначення якісних та кількісних характеристик домінуючих комплексів за чисельністю й біомасою, інформаційних індексів Шеннона з використанням чисельності (H_N) та біомаси (H_B) проводили за відомими методами (Davydov, 2006; Shcherbak,

* Тут і далі по тексту статті автори видів і внутрішньовидових таксонів водоростей наведено в Додатку «Список таксономічного й еколого-географічного різноманіття та склад домінуючих комплексів фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону р. Західний Буг та її допливів у літньо-осінню межень 2018 р.», який розміщено на сайті окремо <https://doi.org/10.15407/alg34.03.175>

2006а, б). Трофність річки та її досліджених допливів оцінювали за методикою, наведеною раніше (Shcherbak et al., 2023b).

Виходячи з того, що якість водного середовища – це один з важливих інтегральних показників стану водних екосистем, застосовано комплексний підхід, який полягає у використанні сапробіологічних характеристик водоростей (Varinova et al., 2019), методу Пантле-Букк в модифікації Сладечека (2023а, б) та деяких гідрофізичних і гідрохімічних показників (Shcherbak et al., 2020).

Статистичне опрацювання оригінальних даних проводилося з використанням комп'ютерних програм Microsoft Excel і Past 1.32.

Результати та обговорення

Представлені в попередньому повідомленні (Shcherbak et al., 2024b) таксономічні характеристики чітко вказують на наявність просторової гетерогенності планктонних і контурних водоростевих угруповань р. Західний Буг та її допливів у період літньо-осінньої межені. Тому кількісні характеристики кожного з них доцільно розглянути окремо.

1. Кількісне різноманіття

Водорості фітопланктону р. Західний Буг. Просторова гетерогенність кількісних показників (як і таксономічних) сформована водоростями з 7 відділів, роль кожного з яких суттєво різнилася. Для чисельності та біомаси встановлена загальна закономірність, яка чітко проявилась у зростанні відповідних показників у напрямку від витoku та вниз за течією: в межах від 152–188 до 735–7560 тис. кл/дм³ та від 0,075–0,216 до 2,944–8,938 мг/дм³. Тенденція до їхнього зростання корелює зі збільшенням ширини річкового русла за течією (рис. 1, а, б), що було встановлено за результатами маршрутних обстежень.

Цікаво, що аналогічна закономірність – зростання кількісного розвитку фітопланктону від витoku вниз за течією – раніше була відмічена для великої транскордонної європейської річки Дніпро (Shcherbak, 1999).

Порівняльний аналіз структурної організації чисельності та біомаси фітопланктону показав певні відмінності. Так, основу чисельності – від 30 до 85% (у середньому 52%) формували *Bacillariophyta* і, меншою мірою, *Cyanobacteria* (від 13 до 57%, у середньому 30%) та *Chlorophyta* (1–31%, у середньому 16%). Більш суттєвою була частка *Bacillariophyta* у структурній організації біомаси – 31–99% (у середньому 74%). Натомість у декілька разів зменшилася кількість *Cyanobacteria* та *Chlorophyta*, тоді як для представників чотирьох інших відділів показники чисельності та біомаси були незначними (див. рис. 1).

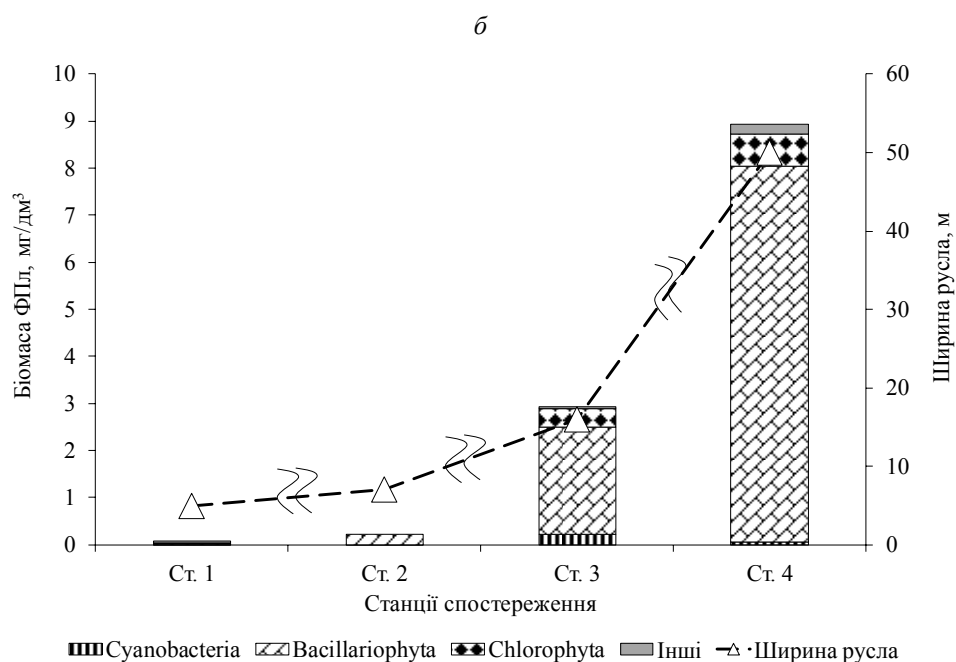
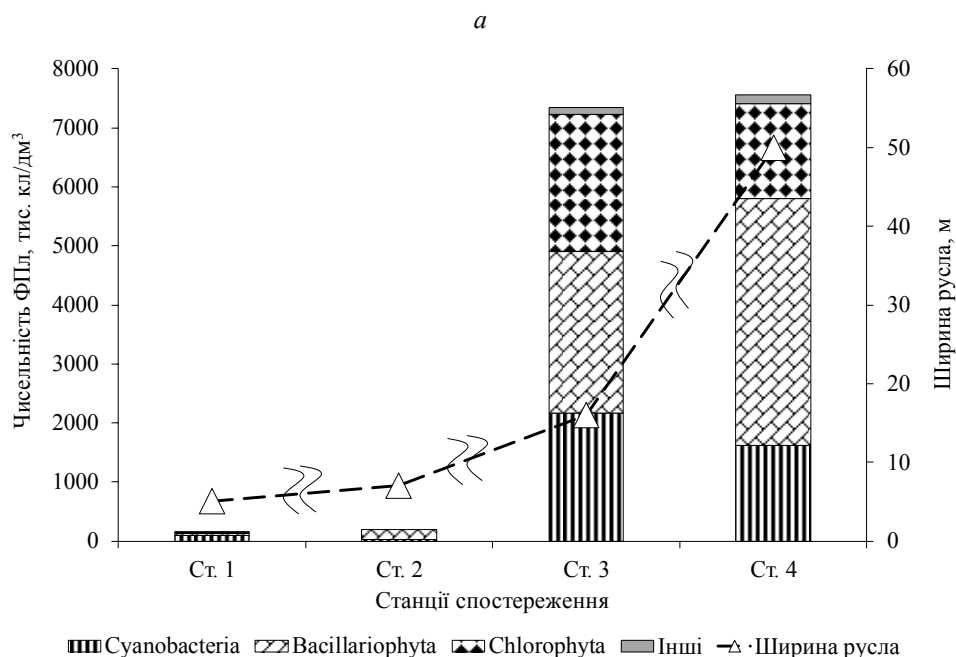


Рис. 1. Просторова гетерогенність чисельності (а), біомаси (б), структурної організації фітопланктону та ширини русла р. Західний Буг у літньо-осінню межень 2018 р. Тут і на рис. 2, 3 «Інші» включають сумарну чисельність чи біомасу відділів *Miozoa*, *Cryptista*, *Ochrophyta*, *Charophyta*, *Eulgreenzoa*

Водорості планктону допливів. Водоростям планктону допливів, порівняно з річкою, притаманна більша варіабельність кількісних показників та їхньої структури.

Так, за чисельністю у фітопланктоні допливів чільне місце займали *Cyanobacteria* – від 10–16 % до 51–63% із середнім значенням 35% для 15 досліджених допливів. Абсолютна чисельність *Cyanobacteria* характеризувалася більшою варіабельністю, ніж частка цього відділу в загальній чисельності фітопланктону (табл. 1). Менша варіабельність цих величин встановлена для *Bacillariophyta* та *Chlorophyta*, що вочевидь зумовлено різними абіотичними чинниками.

Таблиця 1. Чисельність та структурна організація фітопланктону допливів р. Західний Буг

Відділ	Номери станцій спостереження														
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>Cyanobacteria</i>	<u>427</u> 37	<u>600</u> 47	<u>5750</u> 32	<u>158</u> 35	<u>160</u> 10	<u>321</u> 16	<u>417</u> 29	<u>217</u> 10	*	<u>1281</u> 51	<u>3570</u> 45	<u>10322</u> 63	<u>460</u> 44	<u>1380</u> 60	–
<i>Bacillariophyta</i>	<u>138</u> 12	<u>656</u> 51	<u>1430</u> 8	<u>59</u> 13	<u>1158</u> 73	<u>458</u> 23	<u>107</u> 7	<u>343</u> 16	<u>87</u> 22	<u>778</u> 31	<u>785</u> 10	<u>2275</u> 14	<u>186</u> 18	<u>268</u> 12	<u>410</u> 85
<i>Cryptista</i>	–	<u>20</u> 2	–	–	–	–	–	<u>875</u> 41	–	–	<u>13</u> *	<u>25</u> *	–	–	–
<i>Miozoa</i>	–	–	<u>10</u> *	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Ochrophyta</i>	<u>510</u> 44	–	<u>5520</u> 31	<u>8</u> 2	<u>14</u> 1	<u>75</u> 4	–	<u>665</u> 31	<u>30</u> 8	<u>140</u> 6	<u>13</u> *	<u>25</u> *	<u>10</u> 1	<u>51</u> 2	<u>35</u> 7
<i>Charophyta</i>	<u>4</u> *	–	<u>160</u> 1	<u>221</u> 49	–	–	–	–	–	<u>20</u> 1	–	<u>150</u> 1	–	–	–
<i>Chlorophyta</i>	<u>80</u> 7	*	<u>4480</u> 25	*	<u>246</u> 16	<u>1125</u> 56	<u>911</u> 64	*	<u>276</u> 69	<u>270</u> 11	<u>3435</u> 44	<u>3513</u> 21	<u>388</u> 37	<u>597</u> 26	<u>35</u> 7
<i>Euglenozoa</i>	<u>8</u> 1	<u>8</u> 1	<u>610</u> 3	<u>11</u> 2	<u>4</u> *	<u>45</u> 2	–	<u>18</u> 1	<u>6</u> 2	<u>20</u> 1	<u>80</u> 1	<u>38</u> *	–	<u>6</u> *	–
Сума	<u>1167</u> 100	<u>1284</u> 100	<u>17960</u> 100	<u>456</u> 100	<u>1582</u> 100	<u>2024</u> 100	<u>1434</u> 100	<u>2117</u> 100	<u>399</u> 100	<u>2509</u> 100	<u>7895</u> 100	<u>16347</u> 100	<u>1044</u> 100	<u>2302</u> 100	<u>480</u> 100

Примітки. Над рискою – чисельність відділу, тис. кл/дм³, під рискою – % загальної чисельності. * – Частка відділу менше 1%. Тут і далі назви досліджених водотоків відповідають наведеному раніше (Shcherbak et al., 2024b) на карті-схемі дослідженої ділянки р. Західний Буг та її допливів.

Водорості контурних угруповань р. Західний Буг. Загальною закономірністю у формуванні кількісних показників мікрофітобентосу та їхньої структурної організації є:

– зростання просторової гетерогенності вниз за течією: для чисельності в 6 разів, для біомаси – в 3 рази;

– монодомінування *Bacillariophyta* (81–92% загальної чисельності та біомаси) при фоновому значенні *Cyanobacteria* та *Chlorophyta*.

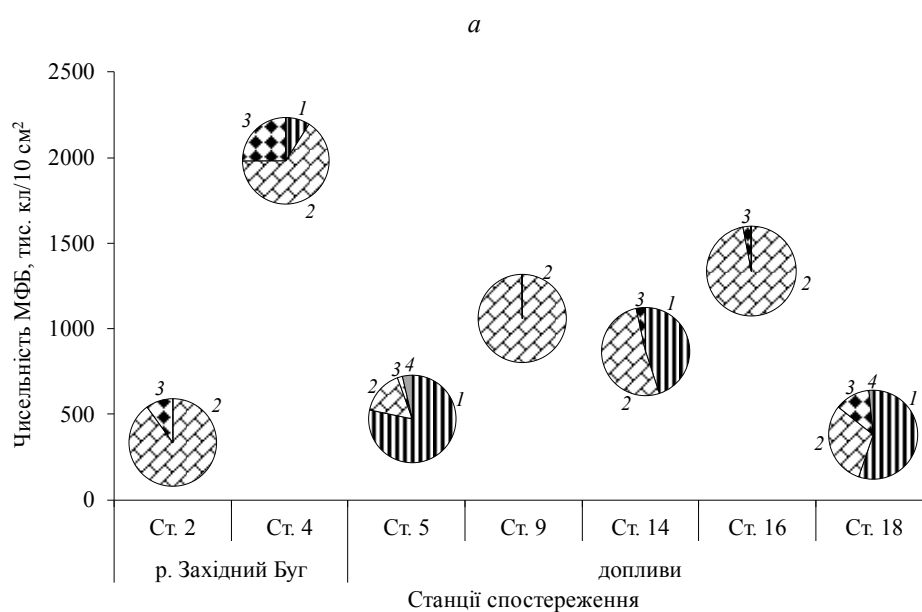
Аналогічні закономірності у формуванні просторової гетерогенності кількісних показників та їхньої структурної організації також притаманні фітоперифітону досліджених водотоків.

У цілому порівняльний аналіз кількісного розвитку планктонних і контурних угруповань р. Західний Буг (рис. 2, 3) вказує на:

– зростання чисельності та біомаси водоростей від витoku вниз за течією річки, що відповідно корелює зі збільшенням ширини водного потоку;

– домінування *Bacillariophyta* (в основному пенатних форм з родів *Navicula*, *Cymbella*, *Achnanthes* та *Bacillaria*) як у водній товщі, так і на різноманітних субстратах;

– присутність *Cyanobacteria* та *Chlorophyta* в якості субдомінантів, з вищими показниками *Chlorophyta* у мікрофітобентосі, ніж у фітоперифітоні.



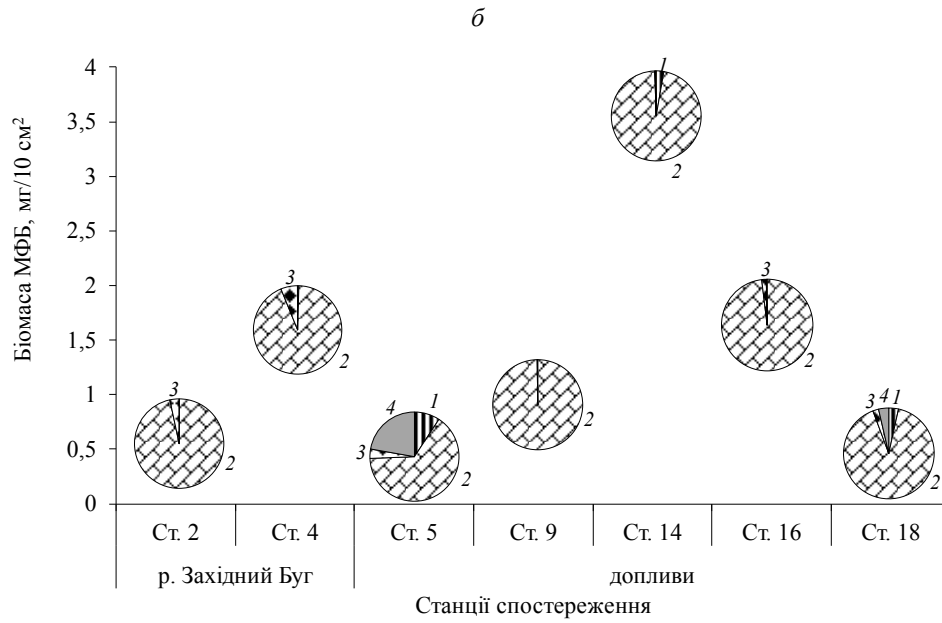
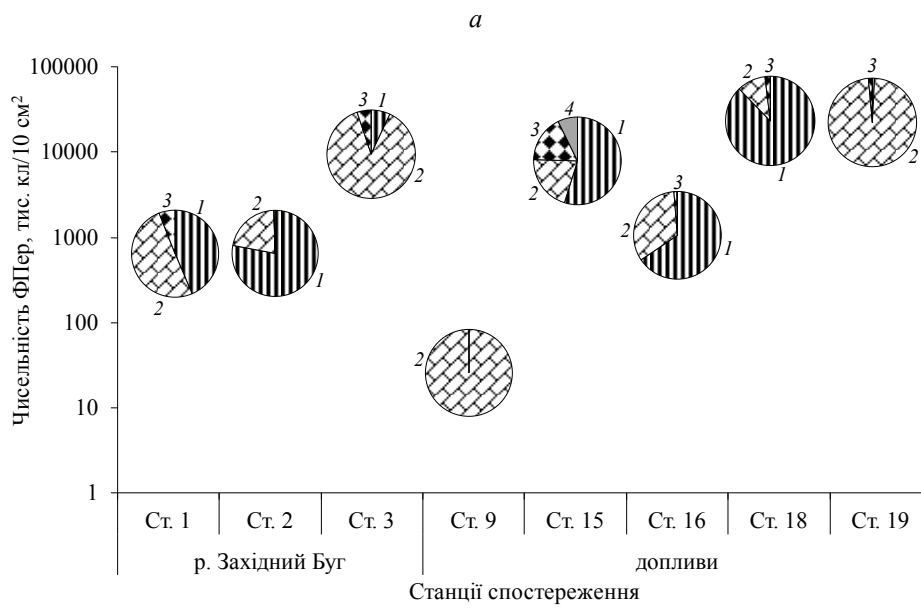


Рис. 2. Просторова гетерогенність чисельності (а) та біомаси (б) й структурної організації мікрофітобентосу дослідженої ділянки р. Західний Буг та її допливів у літньо-осінню межень 2018 р. Тут і на рис. 3: 1 – *Cyanobacteria*, 2 – *Bacillariophyta*, 3 – *Chlorophyta*, 4 – інші



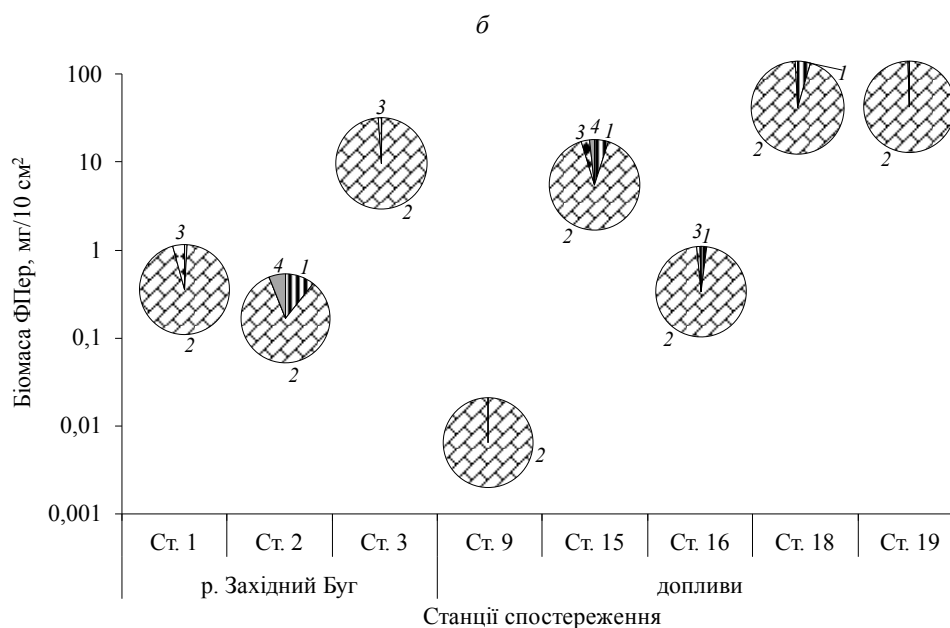


Рис. 3. Просторова гетерогенність чисельності (а) та біомаси (б) й структурної організації фітоперифітону дослідженої ділянки р. Західний Буг та її допливів у літньо-осінню межень 2018 р.

Допливи. Аналіз кількісного розвитку контурних водоростевих угруповань на прикладі великої річки Рата, середніх – Солотвина, Білостік, Солокія та Варежанка дозволяє стверджувати:

– чисельність і біомаса мікрофітобентосу характеризуються значною амплітудою коливань – від 327,0 до 1320,0 тис.кл/10 см² і від 0,207 до 3,556 мг/10 см² відповідно;

– за чисельністю та біомасою домінують *Bacillariophyta* – 73 і 92%;

– субдомінантами виступають *Cyanobacteria* та *Chlorophyta*, роль останнього відділу, особливо в чисельності, значно нижча;

– частки *Cryptista*, *Ochrophyta*, *Charophyta* та *Euglenozoa* за чисельністю та біомасою є незначними та лише зрідка перевищують 1%;

– для фітоперифітону допливів притаманна гетерогенність як чисельності (1074–64985 тис. кл/10 см²), так і біомаси (0,008–51,108 мг/10 см²), хоча різниця між мінімальними та максимальними показниками дещо вища для чисельності;

– спільним для мікрофітобентосу та фітоперифітону є домінування пенатних форм у біомасі *Bacillariophyta* – до 95%.

Узагальнюючи кількісні показники водоростей планктону та контурних угруповань р. Західний Буг та її допливів, можна стверджувати, що в літньо-осінню межень величинам чисельності та біомаси властива просторова гетерогенність.

Таблиця 2. Біомаса та структурна організація фітопланктону допливів р. Західний Буг

Відділ	Номери станцій спостереження														
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>Cyanobacteria</i>	<u>0.017</u> 2	<u>0.029</u> 4	<u>0.107</u> 1	<u>0.007</u> 1	<u>0.026</u> 1	<u>0.030</u> 1	<u>0.020</u> 9	<u>0.009</u> 1	*	<u>0.200</u> 11	<u>0.081</u> 4	<u>0.657</u> 14	<u>0.046</u> 14	<u>0.156</u> 25	–
<i>Bacillariophyta</i>	<u>0.458</u> 43	<u>0.582</u> 85	<u>0.846</u> 7	<u>0.077</u> 13	<u>1.585</u> 92	<u>2.090</u> 78	<u>0.165</u> 73	<u>0.701</u> 47	<u>0.065</u> 36	<u>1.354</u> 73	<u>0.378</u> 21	<u>2.772</u> 60	<u>0.182</u> 56	<u>0.357</u> 58	<u>0.348</u> 97
<i>Cryptista</i>	–	<u>0.010</u> 1	–	–	–	–	–	<u>0.443</u> 29	–	–	<u>0.006</u> *	<u>0.013</u> *	–	–	–
<i>Miozoa</i>	–	–	<u>0.256</u> 2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Ochrophyta</i>	<u>0.530</u> 49	–	<u>3.173</u> 27	<u>0.004</u> 1	<u>0.003</u> *	<u>0.053</u> 2	–	<u>0.322</u> 21	<u>0.008</u> 4	<u>0.188</u> 10	<u>0.006</u> *	<u>0.013</u> *	<u>0.005</u> 1	<u>0.031</u> 5	<u>0.009</u> 3
<i>Charophyta</i>	<u>0.004</u> *	–	<u>0.053</u> *	<u>0.442</u> 74	–	–	–	–	–	<u>0.028</u> 2	–	<u>0.072</u> 2	–	–	–
<i>Chlorophyta</i>	<u>0.006</u> 1	*	<u>0.659</u> 6	*	<u>0.061</u> 4	<u>0.177</u> 7	<u>0.041</u> 18	*	<u>0.076</u> 42	<u>0.037</u> 2	<u>0.590</u> 32	<u>0.981</u> 21	<u>0.091</u> 28	<u>0.065</u> 11	<u>0.003</u> 1
<i>Euglenozoa</i>	<u>0.057</u> 5	<u>0.064</u> 9	<u>6.821</u> 57	<u>0.068</u> 11	<u>0.051</u> 3	<u>0.326</u> 12	–	<u>0.031</u> 2	<u>0.033</u> 18	<u>0.035</u> 2	<u>0.769</u> 42	<u>0.144</u> 3	–	<u>0.011</u> 2	–
Сума	<u>1.073</u> 100	<u>0.685</u> 100	<u>11.915</u> 100	<u>0.598</u> 100	<u>1.726</u> 100	<u>2.676</u> 100	<u>0.227</u> 100	<u>1.506</u> 100	<u>0.183</u> 100	<u>1.842</u> 100	<u>1.830</u> 100	<u>4.651</u> 100	<u>0.324</u> 100	<u>0.619</u> 100	<u>0.360</u> 100

Примітки. Над рискою – біомаса відділу, г/м³, під рискою – % загальної біомаси.

* – Частка відділу менше 1%.

У планктонних і контурних водоростевих угрупованнях провідна роль у формуванні кількісних показників належить *Bacillariophyta*. Очевидно, завдяки їхнім морфологічним особливостям вони більш адаптовані для вегетації в гідрологічних умовах, що формуються в досліджених водотоках. Серед характерних видів для водотоків басейну р. Вісла, наведених С.О. Афанасьєвим, також переважають представники *Bacillariophyta* (Yaroshevych, Afanasyev et al., 2022).

В якості субдомінантів як в планктоні, так і в контурних угрупованнях виступають зазвичай *Cyanobacteria* та *Chlorophyta*. Їхня роль більш значуща у формуванні чисельності, ніж біомаси.

Представники інших відділів у річці та її допливах не відіграють суттєвої ролі ані в планктоні, ані в контурних угрупованнях.

Отже, кількісні характеристики планктону та контурних угруповань р. Західний Буг та її допливів можна охарактеризувати як комплекс *Bacillariophyta* на тлі *Cyanobacteria* – *Chlorophyta*.

2. Трофність водотоків за фітопланктоном, мікрофітобентосом і фітоперифітоном та інформаційне різноманіття (індекс Шеннона)

Трофність. Оскільки показники кількісного розвитку водоростевих угруповань коливались у значних межах, для їх узагальнення розраховано інтегральний показник – трофність (Romanenko et al., 1990) за енергетичною основою (біомасою). Так, у верхів'ї р. Західний Буг клас трофності за фітопланктоном характеризувався як оліготрофний, але вниз за течією спостерігалось зростання трофності до мезотрофного – евтрофного класу.

Важливим є те, що контурні угруповання, особливо фітоперифітон, відображають більш високу трофність р. Західний Буг, ніж фітопланктон.

Аналогічна закономірність характерна також для досліджених допливів – більш високі показники трофності відзначені за контурними угрупованнями, ніж за планктонними, як на рівні класів, так і на рівні розрядів (табл. 3).

Інформаційне різноманіття. Для більшої репрезентативності представлених результатів також узагальнено й оригінальні дані щодо іншого інтегрального показника – інформаційного різноманіття за індексом Шеннона, розрахованим з використанням чисельності (N_M) та біомаси (N_B). Отримані величини індексів Шеннона характеризувалися високою дисперсністю: від 1,58–1,91 до 4,29–4,62 біт/екз і від 1,60–1,87 до 4,37–4,40 біт/мг (табл. 4). У цілому простежуються наступні закономірності:

- зростання N_M і N_B у міру формування водного потоку р. Західний Буг;
- інформаційне різноманіття фітопланктону є нижчим, ніж контурних угруповань;
- для мікрофітобентосу встановлено тенденцію, за якою величини N_M і N_B у р. Західний Буг та допливах є найвищими.

Отже, розраховані інтегральні показники трофності та інформаційного різноманіття чітко вказують на те, що на досліджених українських ділянках р. Західний Буг та її допливів контурні угруповання, а особливо мікрофітобентос, відіграють більш суттєву роль у кількісному різноманітті водоростевих угруповань, ніж фітопланктон.

Таблиця 3. Трофність досліджених ділянок р. Західний Буг та її допливів за біомасою фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоепіфітону в період літньо-осінньої межні

Водотік	Класи та розряди трофності*					
	Фітопланктон		Мікрофітобентос		Фітоепіфітон	
	min	max	min	max	min	max
р. Західний Буг	оліготрофний оліготрофний	оліготрофний оліготрофно- мезотрофний	мезотрофний мезо-евтрофний	евтрофний евтрофний	оліготрофний оліго- мезотрофний	мезотрофний мезотрофний
Допливи	оліготрофний оліго- мезотрофний	мезотрофний мезо- евтрофний	мезотрофний мезо-евтрофний	евтрофний евтрофний	мезотрофний мезотрофний	евтрофний евтрофний

* Над ризикою – клас, під ризикою – розряд трофності.

Таблиця 4. Межі коливань індексів інформаційного різноманіття Шеннона (H_N , H_B) досліджених ділянок р. Західний Буг та її допливів в період літньо-осінньої межні

Водотоки	Показники*					
	Фітопланктон		Мікрофітобентос		Фітоепіфітон	
	H_N	H_B	H_N	H_B	H_N	H_B
р. Західний Буг	<u>2,27–3,11</u> 2,79	<u>1,92–2,68</u> 2,30	<u>3,05–3,84</u> 3,05	<u>2,36–3,58</u> 2,97	<u>2,00–2,36</u> 2,17	<u>2,02–3,51</u> 2,67
Допливи	<u>1,58–4,29</u> 3,01	<u>1,59–4,22</u> 3,06	<u>2,38–4,62</u> 3,45	<u>2,16–4,40</u> 3,65	<u>1,91–4,22</u> 3,31	<u>1,87–3,65</u> 3,21

* Над ризикою – межі коливань, під ризикою – середні величини індексів інформаційного різноманіття Шеннона.

Заслуговує на увагу порівняння результатів дослідження водотоків з аналогічними даними для лентичної екосистеми – Канівського вдсх (Shcherbak et al., 2023b). Так, у літній період у водосховищі у формуванні трофності провідна роль належала фітопланктону, в якому домінувала *Cyanobacteria*, що згідно з теорією альтернативних стабільних режимів (Scheffer et al., 2001, Semenyuk et al., 2020) притаманно режиму високої каламутності, а роль контурних угруповань є значно меншою.

У водотоках дослідження проведено в літньо-осінню межень, коли чітко виражена просторова гетерогенність між планктонними та контурними угрупованнями. Оскільки потужність фотичної зони досягає

дна (Shcherbak et al., 2024b), формується режим прозорості води, за якого більш інтенсивно розвиваються контурні угруповання – фітоперифітон і, особливо, мікрофітобентос. Але ці закономірності притаманні тільки літньо-осінньому меженому періоду, коли гідрологічні характеристики водотоків найбільш стабільні. Тому для більш ґрунтовної порівняльної оцінки ролі планктонних і контурних водоростевих угруповань в річкових екосистемах необхідні додаткові дослідження в період повені чи паводків.

Отже, проведене порівняння дозволяє встановити відмінності у формуванні трофності та інформаційного різноманіття для лентичних та лотичних екосистем, які необхідно враховувати при дослідженні контурних і планктонних водоростевих угруповань у різні сезони року.

3. Домінуючий комплекс

На сьогодні відомо (Odum, 1953; Oksiyuk et al., 2005; Bruno et al., 2006; Oksiyuk, Davydov, 2006; Davydov, 2009; Shcherbak et al., 2012, 2022, 2023a, b, 2024a; Amano, Machida, 2013; Pfeiffer et al., 2013; Iacarella et al., 2018; Semenyuk, 2018; Shcherbak, 2019b), що важливою складовою будь-якого альгоугруповання є домінуючий комплекс (ДК), який формується з видів-домінантів і субдомінантів, визначених за чисельністю та/чи біомасою.

Встановлено, що ДК фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону р. Західний Буг та її допливів сформовані 97 видами та внутрішньовидовими таксонами, включно з номенклатурним типом виду (ввт) із 7 відділів, що суттєво відрізняється від загальної кількості ввт – 318 (Shcherbak et al., 2024b). Серед відділів найбільш різноманітно представлені: *Bacillariophyta* – 52 (54% флористичного різноманіття ДК), *Cyanobacteria* – 26 (27%) та *Chlorophyta* – 14 (14%), значно менше – *Euglenozoa* – 7 (7%); *Ochrophyta* – 4 (4%), *Cryptista* – 3 (3%) та *Charophyta* – 1 вид (1%). Серед домінантів та субдомінантів були відсутні водорості з *Miozoa*, а в загальному списку видів присутній лише *Peridinium cinctum* (у планктоні невеликого допливу – р. Горпинка). Останнє цікаво тому, що проаналізовані оригінальні дані були отримані в літньо-осінній період, коли зазвичай *Miozoa* входять до складу ДК планктону континентальних вод, зокрема, водосховищ дніпровського каскаду (Shcherbak et al., 2019a; Shcherbak, Maistrova, 2001) чи водойм великого мегаполісу – м. Києва (Shcherbak, Semenyuk, 2006; Shcherbak et al., 2007).

Повний склад видів ДК альгоугруповань представлено в наведеному нами списку (див. на сайті <https://doi.org/10.15407/alg34.03.175>).

Коефіцієнти Серенсена для ДК фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону, розраховані для річки разом з допливами, змінювались у межах 0,18–0,61. Найнижча величина коефіцієнта зареєстрована між ДК

фітоперифітону за чисельністю та фітопланктону за біомасою. Це пояснюється тим, що до складу ДК фітоперифітону за чисельністю входили 22 види, а фітопланктону за біомасою – 44 види. Спільними для них було лише 6 видів (*Anagnostidinema amphibium*, *Oscillatoria tenuis*, *Aulacoseira granulata*, *Cocconeis placentula*, *Gomphonella olivacea* та *Melosira varians*). Найвищий коефіцієнт отримано між ДК мікрофітобентосу за чисельністю та біомасою. Це пов'язано з тим, що ДК мікрофітобентосу за чисельністю та біомасою представлені однаковим числом видів, з яких більше половини (14 видів) були спільними та в основному належали до бентосних форм. Дендрограми подібності ДК фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону побудовані за алгоритмом «найближчого сусіда» (Larose, Larose, 2015) (див. рис. 4).

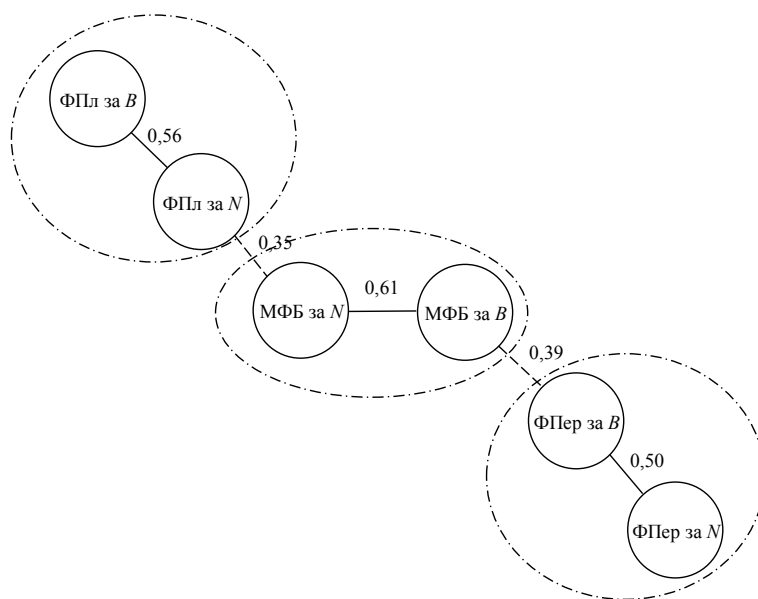


Рис. 4. Дендрограма подібності ДК фітопланктону (ФПл), мікрофітобентосу (МФБ) та фітоперифітону (ФПер) р. Західний Буг з її допливами за чисельністю (N) та біомасою (B). Суцільними лініями позначено коефіцієнт Серенсена $K_S > 0,50$, пунктирними – $K_S < 0,50$, що вказує на високу подібність (Shcherbak, 2006a). Штрих-пунктирні еліпси позначають три кластери: фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону

Дендрограма розділяється на три кластери: фітопланктон, мікрофітобентос та фітоперифітон, що свідчить про просторову диференціацію екологічних груп водоростей. Всередині кожного угруповання коефіцієнти Серенсена завжди перевищували 0,50. Водночас між різними екологічними угрупованнями ці коефіцієнти були нижче 0,50.

Порівняння альгоугруповань показало, що найбільша подібність між ДК за чисельністю та біомасою спостерігається для мікрофітобентосу, дещо нижча – для фітопланктону, а найнижча – для фітоперифітону. Аналогічний порядок ранжирування коефіцієнтів Серенсена відмічено раніше також для водосховищ (Shcherbak et al., 2023b).

Фітопланктон р. Західний Буг. У планктоні ДК нараховано 16 видів. Його різноманіття та флористичну структуру формували *Cyanobacteria* – 4 види (25%), *Bacillariophyta* – 8 (55) і *Chlorophyta* – 3 (5). Домінанти представлені 6 видами, інші були субдомінантами.

До складу ДК за біомасою входило 12 видів: *Bacillariophyta* – 8 видів (68%), *Cyanobacteria* та *Euglenozoa* – по 2 (16%). Коефіцієнт Серенсена (> 0,50) підтверджує значну подібність наведених ДК. Отже, в річці в основному формувався монодомінантний комплекс *Bacillariophyta*.

Допливи. Домінуючий комплекс у допливах був більш різноманітним, ніж у р. Західний Буг. ДК за чисельністю представляли: *Bacillariophyta* – 15 видів (39%), *Chlorophyta* – 11 (27), *Cyanobacteria* – 9 (22) та *Ochrophyta* – 5 (12).

Різноманіття ДК за біомасою було близьким до чисельності – 38 видів, але структурна організація відрізнялася: *Bacillariophyta* – 19 видів (51%), *Euglenozoa* та *Chlorophyta* – по 5 (13), *Cyanobacteria* та *Ochrophyta* – по 4 (10) та *Charophyta* – 1 вид (3%).

Спільними домінантами за чисельністю та біомасою виступали: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Cryptomonas erosa*, *Dinobryon divergens*, *Aulacoseira italica* та *Fragilariforma virescens*. Відповідно, коефіцієнт подібності між ДК за чисельністю та біомасою був високим.

Отже, фітопланктон допливів, на відміну від р. Західний Буг, формувався полідомінантним комплексом *Bacillariophyta* – *Chlorophyta* – *Cyanobacteria*. Про значну відмінність між ДК річки та допливів свідчить також низький коефіцієнт Серенсена (0,36).

Контурні угруповання. Мікрофітобентос. Склад ДК донних альгоугруповань р. Західний Буг та її допливів за чисельністю формувався з 22 видів: *Bacillariophyta* – 14 (64), *Cyanobacteria* та *Chlorophyta* – по 4 види (18% флористичного різноманіття). У річці та її допливах провідне місце в ДК займали представники *Bacillariophyta* (*Aulacoseira granulata*, *Stephanocyclus meneghinianus*, *Fragilariforma virescens*, *Gomphonella olivacea*, *Gyrosigma acuminatum*, *Melosira varians*, *Meridion circulare*, *Stephanodiscus hantzschii* та *Ulnaria ulna*). Меншою в ДК була кількість представників *Cyanobacteria*: *Coelosphaerium kuetzingianum*, *Planktothrix agardhii* та *Anagnostidinema amphibia*.

За біомасою ДК контурних угруповань річки та допливів був представлений 24 видами, з яких *Bacillariophyta* (одноклітинні крупноклітинні та колоніальні види) налічували 21 вид (92% флористичного різноманіття). Зокрема, це: *Amphora ovalis*, *Aulacoseira granulata*, *Cocconeis placentula*, *Stephanocyclus meneghinianus*, *Fragilariforma virescens*, *Gomphonella olivacea*, *Gyrosigma acuminatum*, *Melosira varians*, *Meridion circulare*, *Navicula vulpina*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Ulnaria biceps*, *U. ulna* та ін.

Коефіцієнт Серенсена між ДК за чисельністю та біомасою був найвищим серед планктонних і контурних угруповань (див. рис. 4). Вважаємо, що це зумовлено наступним:

- а) гідроморфологічними умовами в літньо-осінню межень у водотоках;
- б) значною кількістю пенатних *Bacillariophyta*, в яких не виражені морфологічні утворення для знаходження в товщі води;
- в) відомо (Shcherbak, Kuzmenko, 1987; Semeniuk, 2020), що *Bacillariophyta* – це тіньюлюбні форми, а отже на дні водотоків формуються своєрідні екологічні умови, що забезпечують їхню життєздатність.

Таким чином, ДК за біомасою контурних угруповань досліджених водотоків формується монодомінантним комплексом *Bacillariophyta*, а за чисельністю – важливо в якості субдомінантів розглядати також *Cyanobacteria* та *Chlorophyta*.

Фітоперифітон. Склад ДК фітообростань р. Західний Буг та її допливів за чисельністю та біомасою нараховував приблизно однакову кількість видів – 20 і 18, але їхня структурна організація суттєво відрізнялася. Так, близькими показниками за чисельністю були *Bacillariophyta* – 10 видів (50% флористичного різноманіття) і *Cyanobacteria* – 9 видів (45% відповідно).

Спільними видами для ДК фітоперифітону за чисельністю та біомасою були: *Halamphora veneta*, *Aulacoseira granulata*, *Bacillaria paxillifera*, *Gomphonella olivacea*, *Planothidium lanceolatum*, *Pseudostaurosira brevistriata* та *Anagnostidinema amphibia* тощо.

Роль *Bacillariophyta* та *Cyanobacteria* у фітообростаннях була вагомою також на річкових ділянках дніпровських водосховищ (Zadorozhna et al., 2017; Semenyuk, 2018; Semeniuk, 2020). Домінування *Bacillariophyta* у фітообростаннях в основному зумовлено тими ж чинниками, що і в мікрофітобентосі, а для *Cyanobacteria* вони наступні:

- а) осідання водоростей із планктону на субстрат при зміні їхньої функціональної активності, зокрема, біологічного старіння виду;
- б) суто механічний процес – субстрат, коли в ролі едифікатора виступають різні водні рослини.

Отже, спільною закономірністю для контурних угруповань є те, що структурна організація їхніх ДК за біомасою представлена *Bacillariophyta*, а за чисельністю до складу ДК, за провідної ролі *Bacillariophyta*, входять також *Cyanobacteria*.

Вважаємо, що відмінності в складі наведених ДК є адаптивною здатністю контурних альгоугруповань домінувати в різнотипних водотоках. Для більш детальної оцінки наявності просторової гетерогенності альгоугруповань були розраховані коефіцієнти Серенсена для домінуючих комплексів, виділених окремо для р. Західний Буг та окремо для її допливів (рис. 5).

Відповідно, на дендрограмі виділяється декілька кластерів:

- кластер фітопланктону, спільний для р. Західний Буг та її допливів;
- кластер фітоперифітону, спільний для р. Західний Буг та її допливів;
- кластер мікрофітобентосу р. Західний Буг;
- кластер мікрофітобентосу допливів.

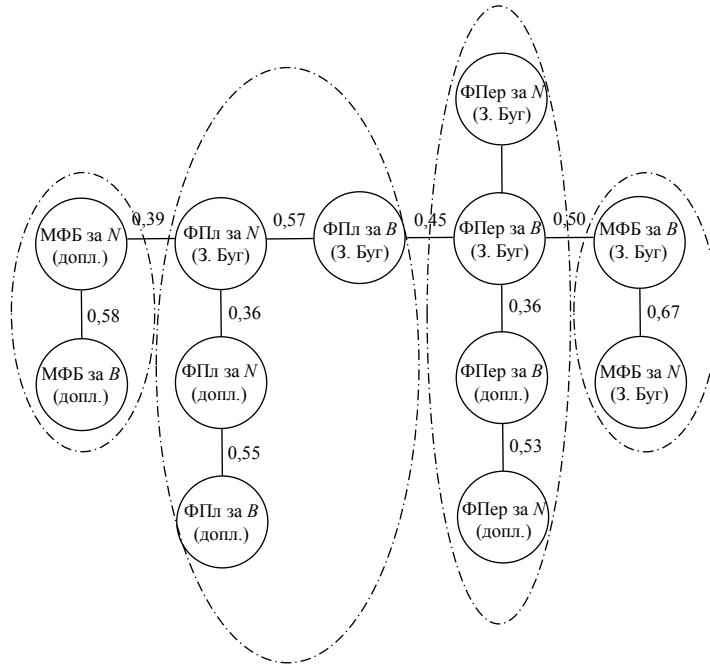


Рис. 5. Дендрограма подібності домінуючих комплексів фітопланктону (ФПл), мікрофітобентосу (МФБ) та фітоперифітону (ФПер) за чисельністю (N) і біомасою (B) р. Західний Буг (З. Буг) та її допливів (допл.)

Виділення в окремі кластери ДК мікрофітобентосу р. Західний Буг та її допливів зумовлене, насамперед, відмінностями у їхньому складі. Зокрема, у мікрофітобентосі допливів більше представлені типово бентосні форми з родів *Surirella*, *Amphora*, *Iconella*, *Gyrosigma* та *Navicula*. Натомість у річці

присутні також планктонні форми з родів *Aulacoseira* та *Desmodesmus*, які за певних умов можуть вегетувати на дні водотоків.

Отже, просторова гетерогенність планктонних і контурних водоростевих угруповань значною мірою зумовлена видовим складом і структурною організацією їхніх ДК за чисельністю та біомасою. Вони представлені монодомінуванням *Bacillariophyta* або олігодомінантними комплексами: *Bacillariophyta* – *Chlorophyta* та *Bacillariophyta* – *Cyanobacteria*. Вважаємо, що така просторова гетерогенність є однією з умов високої життєздатності водоростей різних систематичних відділів, екологічних груп досліджених різнотипних водотоків.

4. Комплексна оцінка якості водного середовища

Однією з найважливіших інтегральних характеристик, що визначає стан гідроекосистем, в тому числі просторово-часову гетерогенність усіх компонентів біоти, є якість водного середовища (ЯВС).

Для отримання більш репрезентативних даних застосовано комплексний підхід (Shcherbak et al., 2020), суть якого полягає у використанні: а) оригінальних даних з абіотичних складових річки та допливів; б) функціональних показників, зокрема, біомаси; в) сапробіологічних характеристик якості води (абсолютної кількості й співвідношення видів-індикаторів усіх зон сапробності та індексу Пантле-Букк у модифікації Сладечека за чисельністю (S_N) та біомасою (S_B)). Оцінка ЯВС проводилась окремо за фітопланктоном, мікрофітобентосом та фітоперифітоном.

Не менш важливою умовою є використання оригінальних даних, отриманих лише в період літньо-осінньої межени.

4.1. За абіотичними критеріями

Оцінка ЯВС за гідрофізичними та гідрохімічними характеристиками показала, що в р. Західний Буг якість води знаходиться в межах олігосапробної зони з модальним 2-м класом якості води, що відповідає чистим водам. Очевидно, що відносно високі показники ЯВС зумовлені тим, що витоки та певна частина верхів'я знаходяться в межах НПП.

У досліджених допливах аналогічні показники ЯВС коливалися в більших межах – від 2-го до 4-го класів, що відповідає «чистим» – «забрудненим» водам. Модальним класом якості води є 2-й клас (чисті води) (табл. 5).

4.2. За біотичними критеріями

ЯВС р. Західний Буг та її допливів за фітопланктоном. У річці та її допливах були відсутні індикатори високого рівня забруднення (р-сапробної зони).

Таблиця 5. Якість водного середовища досліджених ділянок р. Західний Буг та її допливів за абіотичними складовими

Водотоки	Показник	Якість водного середовища			
		Зона сапробності	Порядок класу	Клас	Розряд
р. Західний Буг	Прозорість води	β -олігосапробні – α -олігосапробні	2	Чиста	Дуже чиста – цілком чиста
	pH	β -мезосапробні	3	Задовільної чистоти	Досить чиста – слабо забруднена
	Кисневий режим а) мг O ₂ /дм ³	β -олігосапробні	2	Чиста	Дуже чиста
	б) % O ₂	β -олігосапробні	2	Чиста	Дуже чиста
Допливи	Прозорість води	β -олігосапробні – α -олігосапробні	2	Чиста	Дуже чиста – цілком чиста
	pH	α -олігосапробні – β "-мезосапробні	2–3	Чиста – забруднена	Досить чиста – слабо забруднена
	Кисневий режим а) мг O ₂ /дм ³	α -олігосапробні – β "-мезосапробні	2–3	Чиста – задовільної чистоти	Чиста – досить чиста
	б) % O ₂	α -олігосапробні – β "-мезосапробні	2–4	Чиста – забруднена	Досить чиста – слабо забруднена

Примітки. Використані числові гідрофізичні та гідрохімічні показники наведені в Повідомленні 1 (Shcherbak et al., 2024b); критерії якості водного середовища представлено згідно: Romanenko et al., 1990.

Оцінка ЯВС за величинами біомаси, розподілом видів-індикаторів за зонами сапробності, індексами Пантле-Букк в модифікації Сладечека (середні значення яких для річки становлять $S_N - 2,12$ та $S_B - 2,25$, а для допливів $S_N - 1,98$, $S_B - 1,90$) показала гетерогенність якості води – від χ -олігосапробної до α -мезосапробної зони.

Порівняння отриманих даних показує їхню більшу амплітуду коливань у досліджених допливах, ніж у р. Західний Буг (табл. 6), а отже чинники, що визначають якість вод допливів, більш різноманітні. Це пов'язано з тим, що допливи знаходяться на значній території річкового басейну з різноманітною соціальною, промисловою, рекреаційною та природоохоронною інфраструктурами. Також необхідно враховувати, що масив даних, що отримано для п'ятнадцяти досліджених допливів, є більшим, ніж для р. Західний Буг.

Таблиця 6. Якість водного середовища досліджених ділянок р. Західний Буг та її допливів за фітопланктоном

Водотоки	Показник	Якість водного середовища			
		Зона сапробності за видами-індикаторами	Порядок класу	Клас	Розряд
р. Західний Буг	Біомаса ² , мг/дм ³	β-олігосапробна – α'-мезосапробна	2–4	Чиста – забруднені	Дуже чиста – помірно забруднена
	Розподіл (% у середньому) видів-індикаторів за зонами сапробності ³	χ-о – 29%	1–2	Гранично чиста – чиста	Гранично чиста – дуже чиста
		β – 53%	3	Задовільно чиста	Досить чиста – слабо забруднена
		α – 18%	4	Забруднена	Помірно забруднена – сильно забруднена
Індекс Пантле-Букк в модифікації Сладечека: S _N та S _B	β''-мезосапробна	3	Задовільної чистоти	Слабо забруднена	
Допливи	Біомаса ² , мг/дм ³	β-олігосапробна – α''-мезосапробна	2–4	Чиста– забруднена	Дуже чиста – сильно забруднена
	Розподіл (% у середньому) видів-індикаторів за зонами сапробності ³	χ-о – 38%	1–2	Гранично чиста – чиста	Гранично чиста – дуже чиста
		β – 46%	3	Задовільної чистоти	Досить чиста – слабо забруднена
		α – 16%	4	Забруднена	Помірно забруднена – сильно забруднена
Індекс Пантле-Букк в модифікації Сладечека: S _N та S _B	β'-мезосапробна	3	Задовільної чистоти	Досить чиста	

Примітки. Тут і в табл. 7 характеристики якості води представлені згідно: Romanenko et al., 1990; сапробіологічні характеристики видів-індикаторів зон сапробності наведені в Списку; величини біомаси див. в тексті статті.

ЯВС р. Західний Буг та її допливів за водоростями контурних угруповань. Аналіз сапробіологічних характеристик мікрофітобентосу та фітоперифітону показав відсутність індикаторів р-сапробних вод. Це свідчить про те, що на досліджених ділянках річок немає «точкових» чи «розсіяних» джерел значного забруднення масивів поверхневих вод.

У р. Західний Буг у розподілі видів-індикаторів як у бентосі, так і перифітоні домінували χ-о-сапроби і меншою мірою – β-мезосапроби. Індекси сапробності для фітоперифітону склали: S_N – 1,93, S_B – 1,66, а

для мікрофітобентосу – 1,77 і 1,88 відповідно. Це 3-й клас якості води (води задовільної чистоти), що відповідає β -мезосапробній зоні.

Для допливів р. Західний Буг у контурних угрупованнях характерним є зменшення частки χ -о-сапробів і зростання кількості β -мезосапробів. Відмічено досить низькі показники α -сапробів у бентосі та перифітоні на досліджених ділянках річки та її допливах.

Середні значення індексів сапробності для фітоперифітону становлять: S_N – 1,75, S_B – 1,71, для донних водоростей: S_N – 1,86, S_B – 1,90. Відповідно, модальним є 3-й клас якості води (води задовільної чистоти), що відповідає β -мезосапробній зоні (табл. 7).

Таблиця 7. Якість водного середовища досліджених ділянок р. Західний Буг та її допливів за водоростями контурних угруповань

Водотоки	Контурні угруповання	Показник	Якість водного середовища			
			Зона сапробності за видами-індикаторами	Порядок класу	Клас	Розряд
р. Західний Буг	Мікрофітобентос	Розподіл (% у середньому) видів-індикаторів за зонами сапробності ³	χ -о – 49%	1–2	Гранично чиста – чиста	Гранично чиста – дуже чиста
			β – 43%	3	Задовільно чиста	Досить чиста – слабо забруднена
	α – 8%		4	Забруднена	Помірно забруднена – сильно забруднена	
		Індекс Пантле-Букк в модифікації Сладечека: S_N та S_B	β' -мезосапробна	3	Задовільної чистоти	Досить чиста
р. Західний Буг	Фітоперифітон	Розподіл (% у середньому) видів-індикаторів за зонами сапробності	χ -о – 52%	1–2	Гранично чиста – чиста	Гранично чиста – дуже чиста
			β – 35%	3	Задовільної чистоти	Досить чиста – слабо забруднена
			α – 12%	4	Забруднена	Помірно забруднена – сильно забруднена

		Індекс Пантле-Букк в модифікації Сладечка: S_N та S_B	β' -мезосапробна	3	Задовільної чистоти	Досить чиста
Допливи	Мікрофітобентос	Розподіл (% у середньому) видів-індикаторів за зонами сапробності ³	χ -o – 46%	1–2	Гранично чиста – чиста	Гранично чиста – дуже чиста
			β – 44%	3	Задовільної чистоти	Досить чиста – слабо забруднена
	α – 9%	4	Забруднена	Помірно забруднена – сильно забруднена		
		Індекс Пантле-Букк в модифікації Сладечка: S_N та S_B	β' -мезосапробна	3	Задовільної чистоти	Досить чиста
Фітоперифітон	Розподіл (% у середньому) видів-індикаторів за зонами сапробності	χ -o – 47%	1–2	Гранично чиста – чиста	Гранично чиста – дуже чиста	
		β – 42%	3	Задовільної чистоти	Досить чиста – слабо забруднена	
α – 11%	4	Забруднена	Помірно забруднена – сильно забруднена			
		Індекс Пантле-Букк в модифікації Сладечка: S_N та S_B	β' -мезосапробна	3	Задовільної чистоти	Досить чиста

Узагальнення результатів оцінки ЯВС р. Західний Буг та її допливів показало, що:

– застосування даних з абіотичних складових дозволяє отримати більш об'єктивні відомості щодо сучасного стану їхньої ЯВС;

– у складі фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону не ідентифіковано видів-індикаторів р-сапробної зони, що свідчить про відсутність «точкових» чи «розсіяних» джерел забруднення на досліджених ділянках водотоків у літньо-осінню межень 2018 р.;

– незалежно від біотопічної приуроченості водоростеві угруповання є високоінформативними індикаторами ЯВС;

– комплексна оцінка ЯВС за абіотичними та біотичними складовими досліджених водотоків показала, що українській частині річкового басейну р. Вісла притаманні чисті – слабо забруднені води, які не становлять суттєвої загрози сусіднім європейським державам.

Висновки

Встановлена просторова гетерогенність фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоперифітону зумовила формування високих величин чисельності та біомаси в період літньо-осінньої межені. Очевидно, що за інших характеристик абіотичних складових річкових екосистем (період повені чи паводків) не спостерігатиметься чіткої гетерогенності між водоростевими угрупованнями з точки зору просторового розподілу.

Порівняльний аналіз кількісного розвитку планктонних і контурних водоростевих угруповань річки показав загальну закономірність – зростання чисельності та біомаси від витоків вниз за течією, що чітко корелює зі збільшенням ширини водотоку. Аналогічні дані для фітопланктону отримані раніше при вивченні великої транскордонної річки Європи – р. Дніпро.

Характерною особливістю водоростевих угруповань допливів р. Західний Буг є вища мінливість кількісних показників. Особливо це характерно для чисельності, величини якої у різних допливах коливалися в межах декількох порядків, наприклад: у фітоперифітоні р. Рата – 16 тис. кл/10 см², а в фітоперифітоні р. Варежанка – 64984 тис. кл/10 см².

Велике кількісне різноманіття, незалежно від біотопічної приуроченості альгоугруповань, визначалось інтенсивністю розвитку *Bacillariophyta*. В якості субдомінантів виступали *Cyanobacteria* та *Chlorophyta*, їхня роль у формуванні чисельності зазвичай вища, ніж у біомасі, а інші відділи (*Cryptista*, *Miozoa*, *Ochrophyta*, *Charophyta*, *Euglenozoa*) були представлені незначними кількостями.

Високі показники чисельності та біомаси альгоугруповань, їхня просторова гетерогенність підтверджуються також інтегральними показниками. Так, трофічний статус досліджених екосистем змінювався в межах оліготрофний – евтрофний, а інформаційне різноманіття за індексом Шеннона коливалось у межах 1,58–4,62 біт/екз та 1,60–4,40 біт/мг. Спільною закономірністю є те, що трофічність та інформаційне різноманіття були вищими для контурних угруповань, ніж для планктону. Отримані результати відрізняються від даних, наведених нами раніше для великої лотично-лентичної екосистеми – Канівського вдсх, у якому провідна роль належала фітопланктону. Отже, при інтерпретації результатів комплексних

досліджень планктонних і контурних водоростевих угруповань необхідно враховувати відмінності між лотичними та лентичними екосистемами.

Просторова гетерогенність водоростевих угруповань значною мірою зумовлена видовим складом, чисельністю, біомасою та структурною організацією ДК. Зазвичай це або монодомінування *Bacillariophyta*, або олігодомінантні комплекси *Bacillariophyta* – *Cyanobacteria* чи *Bacillariophyta* – *Chlorophyta*. Очевидно, що така структурна організація ДК забезпечує високу життєздатність контурних угруповань водоростей як основи формування біорізноманіття, потоків енергії та колообігу речовин в різнотипних водотоках.

На досліджених ділянках р. Західний Буг та її допливів у період проведення досліджень не відмічені індикатори р-сапробної зони (клас брудні води), що свідчить про відсутність «точкових» чи «розсіяних» джерел забруднення.

Комплексна оцінка якості водного середовища за абіотичними складовими, видами-індикаторами різних зон сапробності, індексами сапробності Пантле-Букк в модифікації Сладечека (S_N , S_B) показала, що модальними класами якості води є 2–3-й класи (чисті води – води задовільної чистоти). Виходячи з цього, можна стверджувати, що якість води дослідженої української ділянки р. Західний Буг та її допливів не несе суттєвих загроз забруднення вод сусіднім європейським державам.

Роботу виконано за рахунок бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень (КПКВК 6541230)».

Автори висловлюють глибоку подяку акад. НАН України, д. б. н., проф. С.О. Афанасьєву за наукові консультації при проведенні досліджень на р. Західний Буг та її допливах.

Список літератури

- Amano Y., Machida M. 2013. Mechanisms of algal species dominance among cyanobacteria, diatoms and green algae as a consequence of phosphorus reduction caused by river water dilution in eutrophic lake. *J. Water Environ. Technol.* 11(5): 391–401.
- Barinova S.S., Bilous O.P., Tsarenko P.M. 2019. *Algal indication of water bodies in Ukraine: Methods and perspectives*. Haifa, Kyiv: Univ. Haifa Publ. 367 p. [Барінова С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. 2019. *Альгоіндикація водних об'єктів України: Методи и перспективи*. Хайфа, Киев: изд-во Хайф. ун-та. 367 с.].
- Bruno J.F., Lee S.C., Kertesz J.S., Carpenter R.C., Long Z.T., Duffy J.E. 2006. Partitioning the effects of algal species identity and richness on benthic marine primary production. *Oikos*. 115: 170–178.

- Davydov O.A. 2006. Epiphytic algal communities. In: *Methods of hydroecological investigations of surface waters*. Kyiv: Logos. Pp. 33–37. [Давидов О.В. 2006. Епіфітні угруповання водоростей. В кн.: *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод*. Київ: Логос. С. 33–37].
- Davydov O.A. 2009. Structural components of benthic algae as indicators of influence of anthropogenic factors on water objects. *Sci. Issues Ternop. Nat. Ped. Univ. Ser. Biology*. 3(40): 47–56. [Давидов О.А. 2009. Структурні компоненти мікрофітобентосу як індикатори впливу антропогенних чинників на водні об'єкти. *Наук. зап. Терноп. нац. нед. ун-ту*. Сер. Біологія. 3(40): 47–56].
- Dembowska E. 2009. Phytoplankton species diversity of the Lower Vistula from Wyszogród to Toruń. *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* 38(4): 63–74.
- Dembowska E., Głogowska B., Dąbrowski K. 2012. Dynamics of algae communities in an oxbow lake (Vistula River, Poland). *Arch. Pol. Fish.* 20: 27–37.
- Ertel A.-M., Lupo A., Scheifhacken N., Bodnarchuk T., Manturova O., Berendonk T.U., Petzoldt T. 2012. Heavy load and high potential: anthropogenic pressures and their impacts on the water quality along a lowland river (Western Bug, Ukraine). *Environ. Earth Sci.* 65(5): 1459–1473.
- Grabowska M., Glińska-Lewczuk K., Obolewski K., Burandt P., Kobus S., Dunalska J., Kujawa R., Goździejewska A., Skrzypczak A. 2014. Effects of hydrological and physicochemical factors on phytoplankton communities in floodplain lakes. *Pol. J. Environ. Stud.* 23(3): 713–725.
- Iacarella J.C., Baroow J.L., Giani A., Beisner B.E., Gregory-Eaves I. 2018. Shifts in algal dominance in freshwater experimental ponds across differing levels of macrophytes and nutrients. *Ecosphere*. 9(1): e02086.
- Larose D.T., Larose C.D. 2015. Hierarchical and *k*-mean clustering. In: *Data mining and predictive analytics*. John Wiley & Sons, Inc. Pp. 523–530.
- Lietytska O.M., Kipnis L.S., Honcharova M.T. 2020. Search of potentially reference sites for assessing the ecological state of the Vistula River basin. In: *International scientific and practical conference “The European potential for development of natural science” (Lublin, 27–28 Nov., 2020)*. Lublin: Baltija Publ. Pp. 66–70. [Лєтицька О.М., Кіпніс Л.С., Гончарова М.Т. 2020. Пошук потенційно референційних ділянок для визначення екологічного стану басейну річки Вісла. У кн.: *International scientific and practical conference “The European potential for development of natural science” (Lublin, 27–28 Nov., 2020)*. Lublin: Baltija Publ. Pp. 66–70].
- Majewska R., Zgrundo A., Lemke P., De Stefano M. 2012. Benthic diatoms of the Vistula River estuary (Northern Poland): Seasonality, substrate preferences, and the influence of water chemistry. *Phycol. Res.* 60(1): 1–19.
- Manturova O.V. 2001. On changes in phytoplankton of the rivers in the western region of Ukraine during transit across the urban areas. *Sci. Issues Ternop. Nat. Ped. Univ. Ser. Biol.* 3(14): 64–66. [Мантурова О.В. 2001. Про зміни в фітопланктоні річок західного регіону

- України при транзиті через урбанізовані території. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту.* Сер. Біол. 3(14): 64–66].
- Manturova O.V. 2006. *Phytoplankton of small rivers within urban areas*: PhD (Biol.) Abstract. Kyiv. 19 p. [Мантурова О.В. 2006. *Фітопланктон малих річок урбанізованих територій*: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. Київ. 19 с.].
- Noga T. 2019. Valuable habitats of protected areas in southern Poland – a source of rare and poorly known diatom species. *Acta Soc. Bot. Polon.* 88(1): 1–20.
- Obolewski K.T., Skorbiłowicz E., Skorbiłowicz M., Strzelczak A. 2010a. Influence of heavy metals contained in reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. inhabiting the Vistula Lagoon on periphyton density. *Fresen. Environ. Bull.* 19(2a): 340–347.
- Obolewski K.T., Skorbiłowicz E., Skorbiłowicz M., Osadowski Z. 2010b. Influence of chemical elements contained in reed *Phragmites australis* (Cav.) Trin. on epiphytic algae in riparian buffer zone. *Fresen. Environ. Bull.* 19(2a): 348–353.
- Odum E.P. 1953. *Fundamentals of Ecology*. Philadelphia, London: W B. Saunders Co. 384 p.
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A. 2006. *Assessment of the ecological state of water bodies according to microphytobenthos*. Kyiv. 32 p. [Оксиюк О.П., Давыдов О.А. 2006. *Оценка экологического состояния водных объектов по микрофитобентосу*. Киев. 32 с.].
- Oksiyuk O.P., Davydov O.A., Dyachenko T.N., Melenchuk G.V., Tarashchuk O.S. 2005. *Benthic vegetation of the river section of the Kanev reservoir*. Kyiv: Logos. 40 p. [Оксиюк О.П., Давыдов О.А., Дьяченко Т.Н., Меленчук Г.В., Тарашчук О.С. 2005. *Донная растительность речного участка Каневского водохранилища*. Киев: Логос. 40 с.].
- Pasztaleniec A., Poniewozik M. 2013. The impact of free-floating plant cover on phytoplankton assemblages of oxbow lakes (The Bug River Valley, Poland). *Biologia.* 68(1): 18–29.
- Pasztaleniec A., Karpowicz M., Strzałek M. 2013. The influence of habitat conditions on the plankton in the Białe oxbow lake (Nadbużański Landscape Park). *Limnol. Rev.* 13(1): 43–45.
- Pfeiffer T.Ž., Mihaljević M., Stević F., Špoljarić D. 2013. Periphytic algae colonization driven by variable environmental components in a temperate floodplain lake. *Ann. Limnol. – Int. J. Lim.* 49: 179–190.
- Romanenko V.D., Oksiyuk O.P., Zhukinskiy V.N., Stolberg F.V., Lavrik V.I. 1990. *Ecological assessment of hydrotechnical construction impact upon water bodies*. Kyiv: Nauk. Dumka. 256 p. [Романенко В.Д., Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Стольберг Ф.В., Лаврик В.И. 1990. *Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты*. Киев: Наук. думка. 256 с.].
- Scheffer M., Carpenter S., Foley J.A., Folke C., Walker B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature.* 413(6856): 591–596.
- Semenyuk N.Ye. 2018. Homeostasis of phytoepiphyton of the Dnieper reservoirs. *Hydrobiol. J.* 54(2): 16–30. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v54.i2>
- Semeniuk N. 2020. *Epiphytic algal communities of the Dnieper basin waterbodies*: Dr. Sci. (Biol.) Abstract. Kyiv. 40 p. [Семенюк Н.С. *Фітоепіфітон водних об'єктів басейну Дніпра*: Автореф. дис. ... д-ра біол. наук. Київ. 40 с.].

- Semenyuk N.Ye., Shcherbak V.I., Sherman I.M., Kutishchev P.S. 2020. Characteristics of the autotrophic link of the Kardashyn Liman of the Dnieper-Bug Estuary (Ukraine). *Hydrobiol. J.* 56(3): 30–45.
- Shcherbak V.I. 1999. Primary production of algae in the Dnieper and Dnieper reservoirs. *Hydrobiol. J.* 35(1): 1–13.
- Shcherbak V.I. 2000. Photosynthetic activity of dominant species of the Dnieper River phytoplankton. *Hydrobiol. J.* 36(2): 71–84.
- Shcherbak V.I. 2006a. Phytoplankton. In: *Methods of hydroecological investigations of surface waters*. Kyiv: Logos. Pp. 8–27. [Щербак В.І. 2006а. Фітопланктон. В кн.: *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод*. Київ: Логос. С. 8–27].
- Shcherbak V.I. 2006b. Phytomicrobenthos. 2006b. In: *Methods of hydroecological investigations of surface waters*. Kyiv: Logos. Pp. 28–32. [Щербак В.І. 2006б. Фітомікробентос. В кн.: *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод*. Київ: Логос. С. 28–32].
- Shcherbak V.I. 2019a. Impact of climate change on phytoplankton qualitative and quantitative diversity in the Dnieper water reservoirs' pelagic zone. In: *Biodiversity and bioresource potential of the Dnieper water reservoirs under conditions of climate change and biological invasion*. Kyiv: Nauk. Dumka. Pp. 178–190. [Щербак В.І. 2019а. Вплив кліматичних умов на якісне і кількісне різноманіття фітопланктону пелагіалі дніпровських водосховищ. В кн.: *Біорізноманіття та біоресурсний потенціал екосистем дніпровських водосховищ в умовах кліматичних змін і розвитку біологічної інвазії*. Київ: Наук. думка. С. 178–190].
- Shcherbak V.I. 2019b. Response of phytoplankton of the Kiev Reservoir to the increase in summer temperatures. *Hydrobiol. J.* 55(1): 18–35.
- Shcherbak V.I., Kuz'menko M.I. 1987. Intensity of photosynthesis by phytoplankton at various depths in the photic zone. *Hydrobiol. J.* 23(2): 20–23.
- Shcherbak V.I., Maistrova N.V. 2001. *Phytoplankton of the Kyiv section of the Kaniv Reservoir and factors affecting its development*. Kyiv. 70 p. [Щербак В.І., Майстрова Н.В. 2001. *Фітопланктон київської ділянки Канівського водоймища та чинники, що його визначають*. Київ. 70 с.].
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye. 2006. Phytoplankton diversity in some water bodies within Kyiv city. *Algologia*. 16(4): 467–478. [Щербак В.І., Семенюк Н.Е. 2006. Разнообразие фитопланктона некоторых водоемов г. Киева. *Альгология*. 16(4): 467–478].
- Shcherbak V.I., Maistrova N.V., Semenyuk N.Ye. 2007. Phytoplankton of the subsidiary water-bodies of the Kaniv water reservoir in Kyiv. *Hydrol., Hydrochem., Hydroecol.* 12: 182–189. [Щербак В.І., Майстрова Н.В., Семенюк Н.Є. 2007. Фітопланктон додаткових водойм Канівського водосховища в межах м. Києва. *Гідрол., гідрохім., гідроекол.* 12: 182–189].
- Shcherbak V.I., Maistrova N.V., Semenyuk N.Ye. 2012. Structural and functional organization of phytoplankton and phytomicroepiphyton of the rivers of the "Pripyat – Stokhod" National Natural Park. *Hydrobiol. J.* 48(6): 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v48.i6.10>

- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Linchuk M.I. 2019. Winter under the ice water bloom formed by *Aphanizomenon gracile* Lemmermann. *Hydrobiol. J.* 55(5): 20–34.
<https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v55.i5.20>
- Shcherbak V.I., Sherman I.M., Kutishchev P.S., Morozova A.O., Semeniuk N.Ye., Lutsenko D.A. 2020. *Present ecological state and biodiversity of the Dnieper-Bug in relation to commercial fish fauna*. Kherson: Vyshemyrskyi. 200 p. [Щербак В.І., Шерман І.М., Кутіщев П.С., Морозова А.О., Семенюк Н.Є., Луценко Д.А. 2020. *Сучасний екологічний стан і біорізноманіття Дніпровсько-Бузької естуарної системи у зв'язку з промисловою іхтіофауною*. Херсон: Вишемирський. 200 с.]
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Yakushyn V.M. 2022. Phytoplankton structural and functional organization in a large lowland reservoir under the global climate change (case study of the Kaniv Reservoir. *Hydrobiol. J.* 58(6): 3–27. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v58.i6.10>
- Shcherbak V.I., Liashenko A.V., Semeniuk N.Ye., Zorina-Sakharova K.Ye., Lutsenko D.A. 2023a. Continuity and discreteness of the communities of hydrobionts in the lotic-lentic ecosystem of the Danubre River Delta: Phytoplankton. *Hydrobiol. J.* 59(3). P. 3–27.
<https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v59.i3.10>
- Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye., Davydov O.A., Larionova D.P. 2023b. Present-day characteristics of phytoplankton, microphytobenthos and phytoepiphyton of the Kaniv Reservoir. Rep. 2: Abiotic variables, quantitative diversity, dominant species complex, trophic state, water quality. *Algologia.* 33(4): 247–277. [Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Ларіонова Д.П. 2023б. Сучасна характеристика фітопланктону, мікрофітобентосу та фітоепіфітону Канівського водосховища. Повідомлення 2: Абіотичні чинники, кількісне різноманіття, домінуючий комплекс, трофічність та оцінка якості водного середовища. *Альгологія.* 33(4): 247–277].
<https://doi.org/10.15407/alg33.04.247>
- Shcherbak V.I., Semenyuk N.Ye., Maystrova N.V. 2024a. Characteristics of Cyanobacteria at different stages of existence of the Kyiv Reservoir. *Hydrobiol. J.* 60(1): 3–27.
<https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v60.i1.10>
- Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye., Davydov O.A., Koziychuk E.Sh. 2024b. Plankton and contour algal communities in the Ukrainian section of the Western Bug River and its tributaries. Rep. 1. Abiotic variables, taxonomic, ecological characteristics and floristics specifics of phytoplankton, microphytobenthos, phytoperiphyton. *Algologia.* 34(2): 91–120. [Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Давидов О.А., Козійчук Е.Ш. 2024б. Планктонні та контурні угруповання водоростей української ділянки р. Західний Буг та її допливів. Повідомлення 1. Абіотичні складові, таксономічна, екологічна характеристика та флористичні особливості фітопланктону, мікрофітобентосу, фітоперифітону. *Альгологія.* 34(2): 91–120]. <https://doi.org/10.15407/alg34.02.91>
- Wojciechowska W., Pasztaleniec A., Solis M., Turczyński M., Dawidek J. 2005. Phytoplankton of the two river lakes in relation to flooding period (River Bug, Eastern Poland). *Pol. J. Ecol.* 53(3): 419–425.

- Yaroshevych O., Afanasyev S. 2022. Basin management department of water resources of the Western Bug and San rivers et al. In: *Draft. Vislula river basin management plan (2025–2030)*. [Ярошевич О., Афанасьєв С. 2022. Басейнове управління водних ресурсів річок Західного Бугу та Сяну та ін. В зб: *Проект. План управління річковим басейном Вісли (2025–2030)*]. <https://davr.gov.ua/plan-upravlinnya-richkovim-basejnom-visli1>; https://davr.gov.ua/fls18/PURB_Visla.pdf
- Zadorozhna H., Semeniuk N., Shcherbak V. 2017. Interaction between phytoplankton and epiphytic algae in the Kaniv Water Reservoir (Ukraine). *Int. Lett. Nat. Sci.* 61: 56–68.
- Zębek E., Szymańska U. 2014. Gastropods and periphytic algae relationships in the vicinity of a small hydroelectric plant on the Pasłęka River in northeast Poland. *Arch. Pol. Fish.* 22: 69–80.

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

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

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

Koziychuk E.Sh. (<https://orcid.org/0009-0002-5762-938X>)

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

Plankton and contour algal communities in the Ukrainian section of the Western Bug River and its tributaries. Report 2. Spatial heterogeneity of planktonic and contour algal communities' quantitative characteristics

The paper deals with spatial dynamics of cell count, biomass, dominant species complexes, information diversity of planktonic and contour algal communities in the Western Bug River and its tributaries. The trophic state and water quality of the rivers under study have been assessed. The spatial heterogeneity of phytoplankton, microphytobenthos and phytoperiphyton brought about high cell count and biomass values during the low-water summer-autumn season. The cell count and biomass have been shown to increase from the upper reaches downstream, correlating with the river bed width. High quantitative diversity of algal communities was due to *Bacillariophyta* dominance. *Cyanobacteria* and *Chlorophyta* were recorded as subdominants. The trophic state of the aquatic ecosystems under study varied between oligotrophic and eutrophic. The Shannon's index made up 1.58–4.62 bit/cell and 1.60–4.40 bit/mg. The trophic state and information diversity assessed according to contour algal communities were higher than according to phytoplankton. This is indicative of the clear water regime forming in the rivers under study during the low-water summer-autumn season. The obtained findings differ from the data, published earlier for the Kaniv Water Reservoir, where the primary role belonged to phytoplankton. The spatial heterogeneity of algal communities is related to the dominant complexes structure. As a rule, these are

monodominant *Bacillariophyta* complexes or oligodominant *Bacillariophyta* – *Cyanobacteria* or *Bacillariophyta* – *Chlorophyta* complexes. The water quality assessment according to the abiotic variables and saprobiologic characteristics has shown that the modal classes of water quality are the 2nd–3rd classes (clean waters – satisfactory clean waters). Therefore, the water quality of the Ukrainian section of the Western Bug River and its tributaries does not pose any substantial hazard to the adjacent European countries.

Key words: Western Bug River, phytoplankton, microphytobenthos, phytoperiphyton, contour communities, cell count, biomass, trophic state, dominant species complex, water quality, Shannon's index

Citation. Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye., Davydov O.A., Koziychuk E.Sh. 2024. Plankton and contour algal communities in the Ukrainian section of the Western Bug River and its tributaries. Report 2. Spatial heterogeneity of planktonic and contour algal communities' quantitative characteristics. *Algologia*. 34(3): 175–204. <https://doi.org/10.15407/alg34.03.175>