

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ГІДРОБІОЛОГІЇ

**КРАВЦОВА**  
**Ольга Володимирівна**



УДК [581.526.325:556.55:502.4:911.375] (043.3)

**ФІТОПЛАНКТОН РІЗНОТИПНИХ ВОДОЙМ ПРИРОДООХОРОННИХ І  
УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ**

03.00.17 – гідробіологія

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті гідробіології НАН України, м. Київ

**Науковий керівник** – доктор біологічних наук, професор  
**ЩЕРБАК Володимир Іванович**,  
Інститут гідробіології НАН України,  
провідний науковий співробітник

**Офіційні опоненти:** член-кореспондент НАН України, доктор біологічних наук, професор **ЦАРЕНКО Петро Михайлович**,  
Інститут ботаніки імені М.Г. Холодного НАН України,  
завідувач відділу фікології, ліхенології та бріології

кандидат біологічних наук,  
**СНІГІРЬОВА Анастасія Олександрівна**,  
Одеський національний університет імені  
І.І. Мечникова,  
старший викладач кафедри гідробіології та загальної екології

Захист відбудеться 7 червня 2019 р. об 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.213.01 в Інституті гідробіології НАН України за адресою: 04210, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту гідробіології НАН України (м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12).

Автореферат розісланий “ \_\_ ” квітня 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 26.213.01  
доктор біологічних наук, ст.н.с.



Кірпенко Н.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Важливим напрямком збереження біологічного різноманіття є створення та забезпечення функціонування й охорони водних об'єктів міських агломерацій. Особливо важливою ця проблема постає у містах України, де інтенсифікація урбанізаційних процесів здатна призвести до необоротних змін у водних екосистемах.

Прикладом поєднання різнотипних водойм, які знаходяться на урбанізованих територіях з інтенсивним антропогенним впливом та водойм природоохоронних й лісопаркових територій є мегаполіс України - м. Київ. Зокрема, озеро Бабіне, став у парку «Нивки» є складовими збережених природних ландшафтів, на відміну від озера Опечень II, яке відчуває суттєвий вплив міської агломерації.

Відомо, що в міських водоймах в першу чергу антропогенний вплив позначається на фітопланктоні (Охалкин, 2002; Трифонова, 2005; Щербак, Семенюк, 2006), тому цей провідний компонент водних екосистем є репрезентативним біологічним індикатором їх сучасного стану, біопродукційного потенціалу, якості водного середовища та ступеня антропогенного навантаження.

В літературі наведені відомості щодо планктонних водоростей водойм, розташованих на територіях, що мають природоохоронний статус (Игошкина, 2014; Національний природний парк, 2011; Щербак, Семенюк, Рудик-Леуская, 2014; Pertti, 1995; Symons, 2012), зокрема і м. Києва (Клоченко, 2006; Дубина, 2005), а також чимало робіт присвячено вивченню фітопланктону міських водойм, де окреслюються аспекти антропогенного впливу на них (Царенко, 2004; Семенюк, 2007, 2008; Щербак, 2005; Старцева, 2002; Кривина, 2014; Трифонова, 2005). З огляду на це, порівняльний аналіз особливостей розвитку фітопланктону у водоймах природоохоронних і лісопаркових територій та тих, що знаходяться під інтенсивним антропогенним впливом, зумовлює актуальність даної роботи. Крім того, оскільки наведені роботи виконувались понад десять років тому, представляє інтерес порівняти їх з сучасними даними.

Практично досі не проводились дослідження інтенсивності первинної продукції планктону та деструкції органічної речовини, аналіз впливу чинників, що визначають перебіг цих процесів у водоймах міських агломерацій, а також їх ранжування за трофічним статусом.

Тому актуальність роботи полягає в порівняльному аналізі особливостей розвитку фітопланктону у водоймах, що знаходяться на природоохоронних й лісопаркових територіях та під інтенсивним антропогенним впливом.

**Зв'язок роботи з основними науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота є складовою держбюджетної теми Інституту гідробіології НАН України «Механізми гомеостазу екосистем дніпровських водосховищ у сучасних умовах їхнього функціонування» (№ держреєстрації 0116U003031).

**Мета і задачі дослідження.** *Мета роботи* – визначити особливості розвитку фітопланктону водойм природоохоронних, лісопаркових та урбанізованих територій.

Досягнення цієї мети зумовило необхідність постановки й вирішення наступних завдань:

- ▶ розробити методологію оцінки впливу антропогенних чинників на фітопланктон водойм міських агломерацій;
- ▶ вивчити видове та таксономічне різноманіття на різних рівнях систематичної ієрархії фітопланктону водойм міських агломерацій, провести їх порівняльний аналіз;
- ▶ визначити сезонну динаміку чисельності, біомаси фітопланктону, структурну організацію домінуючого комплексу;
- ▶ встановити інформаційне різноманіття фітопланктону за індексом Шеннона, порівняти флористичний і видовий склад за коефіцієнтами Кендела і Серенсена та провести сапробіологічну оцінку водного середовища;
- ▶ оцінити первинну продукцію та деструкцію органічної речовини, з'ясувати особливості їх сезонної динаміки та провести типізацію водних екосистем міських агломерацій за цими показниками;
- ▶ визначити трофічний статус водойм, провести типізацію водойм за структурно–функціональними показниками фітопланктону.

*Об'єкт дослідження* – фітопланктон різнотипних водойм міських агломерацій.

*Предмет дослідження* – структурно-функціональні характеристики фітопланктону водойм природоохоронних, лісопаркових та урбанізованих територій.

*Методи дослідження.* У роботі використовували загальноприйняті методи відбору і опрацювання альгологічних проб, визначення таксономічного складу водоростей, дослідження первинної продукції та деструкції органічної речовини та стандартні гідрохімічні методи. Отримані дані статистично опрацьовані.

При проведенні досліджень біоетичні норми не були порушені.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Розроблено бальну систему оцінки впливу антропогенних чинників на фітопланктон водойм міських агломерацій з врахуванням вітчизняних напрацювань та Директив ЄС. Проведено інвентаризацію альгофлори водойм, складено систематичний список водоростей планктону, що налічує 544 види (584 внутрішньовидові таксони), які належать до 149 родів, 35 порядків, 15 класів і 9 відділів; зазначено еколого-географічні характеристики видів.

Вперше у водоймах міських агломерацій України виявлено 5 видів центричних діатомових водоростей (*Aulacoseira subarctica*, *Cyclotella ocellata*, *Handmannia compta*, *Stephanodiscus minutulus*, *Conticribra weissflogii*).

Визначено особливості формування таксономічного складу, структури й сезонної динаміки чисельності та біомаси фітопланктону у водоймах природоохоронних, лісопаркових та урбанізованих територій. Структуроутворюючими відділами у формуванні кількісних показників

фітопланктону водойм природоохоронних й лісопаркових територій були діатомові, динофітові та зелені, а водойм з високим антропогенним впливом - синьозелені, зелені (хлорококові), діатомові (центричні) і евгленові водорості.

Вперше для водойм міських агломерацій здійснено оцінку інтенсивності первинної продукції, деструкції органічної речовини, їх сезонної динаміки, здійснено ранжування водойм за трофічним статусом та аналіз чинників, що впливають на продукційно-деструкційні процеси.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані результати стосовно таксономічного складу, чисельності, біомаси, продукційно-деструкційних характеристик фітопланктону, а також їх сезонної динаміки, можуть бути використані для моніторингу водойм міських агломерацій, оцінки якості водного середовища, регулювання природоохоронних заходів, використання водойм в рекреаційних цілях, бути науковою основою рекомендацій та правил любительського рибальства.

В результаті інвентаризації фітопланктону доповнено список альгофлори міських водойм.

Отримані результати досліджень можуть бути використані як складова частина курсів із ботаніки, гідробіології та урбоекології у вищих навчальних закладах.

**Особистий внесок здобувача.** Дисертантом обґрунтовано тему, мету, основні завдання роботи, освоєно необхідні методи польових та лабораторних досліджень. Виконано збір натурного матеріалу, його камеральне опрацювання, визначено видовий склад, чисельність та біомасу водоростей, проведено експерименти з оцінки інтенсивності первинної продукції та деструкції органічної речовини. Проведено статистичну обробку отриманих даних, сформульовано основні положення роботи та висновки дисертації. Особисто або у співавторстві підготовано до друку наукові праці, у яких викладено основні положення дисертації.

**Апробація роботи.** Основні положення й результати дисертаційної роботи оприлюднені на міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Біологічні дослідження» (Житомир, 2017, 2018); Всеукраїнській конференції для молодих вчених «Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті екологічних викликів сьогодення» (Київ, 2016); Науково-практичній конференції для молодих вчених «Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем» (Київ, 2016, 2017, 2018); Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 10-річчю створення національного природного парку «Голосіївський» (Київ, 2017), а також на засіданнях відділу санітарної гідробіології та гідропаразитології.

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи відображені в 15 наукових публікаціях, у тому числі 7 статтях у фахових виданнях.

**Об'єм роботи.** Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, який нараховує 173 найменування, з яких 53 латиною, та 2 додатків. Роботу викладено на 169 сторінках тексту,

включаючи 24 таблиці і 43 рисунки. Загальний об'єм роботи становить 206 сторінок.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

### **ХАРАКТЕРИСТИКА ФІТОПЛАНКТОНУ ВОДОЙМ ПРИРОДООХОРОННИХ, ЛІСОПАРКОВИХ Й УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ТА ОСНОВНИХ ЧИННИКІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ**

Проведено огляд та узагальнення іноземних та вітчизняних літературних джерел стосовно особливостей фітопланктону водойм, розташованих на природоохоронних, лісопаркових та урбанізованих територіях.

Виділено основні ознаки фітопланктону водойм, що знаходяться під антропогенним тиском: низьке видове різноманіття; висока частка родів і родин, представлених 1-2 видами водоростей; збільшення інтенсивності розвитку синьозелених водоростей; переважання дрібноклітинних видів.

Водночас фітопланктон водойм, розташованих на природоохоронних територіях, представлений більшою кількістю таксонів, різноманітніший за своєю структурою, характеризується невисокою часткою синьозелених водоростей, значним різноманіттям діатомових, золотистих та динофітових.

В той же час, недостатньо вивченими залишаються питання сезонної динаміки кількісних показників розвитку фітопланктону, продукційно-деструкційних процесів водойм міських агломерацій.

## **МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Дослідження фітопланктону виконувалися протягом вегетаційних сезонів (весна-осінь) на стаціонарних станціях водойм міст Києва, Житомира, Білої Церкви. Водойми м. Києва вивчались на прикладі озера Бабиного, озера Опечень II та ставу №2 у парку «Нивки». У м. Житомирі досліджено наступні водойми: Соколівський став, став «Вигода», став у ботанічному саду Житомирського національного агроекологічного університету (ЖНАЕУ) та став у Крошнянському дендрологічному парку. У м. Біла Церква було досліджено каскад водойм (№1-3)<sup>1</sup>, розташованих на території державного дендрологічного парку «Олександрія». Відбір альгологічних проб проводили кожні два тижні (влітку – подекадно), паралельно на кожній станції вимірювалися: температура, прозорість по диску Секкі, рН, мінералізація, вміст розчиненого кисню, а у ставах дендропарку «Олександрія» додатково – концентрації неорганічних сполук азоту та фосфору, органічної речовини за величинами перманганатної та дихроматної окиснюваності<sup>2</sup>. Загалом було відібрано 450 проб фітопланктону, які опрацьовувалися загальновідомими гідробіологічними методами, біомасу водоростей визначали розрахунково-

<sup>1</sup> Висловлюємо подяку к.б.н., м.н.с. Інституту гідробіології НАНУ Водяницькому О.М. за допомогу у відборі проб

<sup>2</sup> Висловлюємо подяку м.н.с. Інституту гідробіології НАНУ Лінчук М.І. за допомогу у визначенні концентрацій сполук неорганічного азоту, фосфору та органічної речовини

об'ємним методом (Щербак, 2006). Проведено 130 дослідів з визначення продукції та деструкції органічної речовини (Щербак, 2000). Для оцінки інтенсивності сонячної радіації (Q) (згідно Шмаков, 1988) були використані дані таблиць ТМ-12 актинометричних спостережень на станціях Бориспіль та Нова Ушиця (Таблиця, 2017а, 2017б). Уточнення видового діагнозу центричних діатомових водоростей проводилось методом електронної мікроскопії<sup>3</sup>. Перелік таксонів планктонних водоростей узагальнено за останніми флористичними зведеннями (*Algae of Ukraine*, 2006, 2009, 2011).

Домінуючими вважали види, які складали щонайменше 10% кількісного різноманіття фітопланктону, індекси значущості видів-домінантів розраховували згідно (Кожова, 1998).

Екологічна характеристика фітопланктону наведена за літературними даними (Барінова, 2000, Бухтиярова, 1999, Охапкин, 2001, Растительность, 1989, Царенко, Дополнение, 2001, Reynolds, 2002, Van Dam, 1994).

Інформаційне різноманіття (за біомасою та чисельністю) розраховували за індексом Шеннона (Одум, 1986). Подібність видового складу фітопланктону визначали за коефіцієнтом видової подібності (Sorensen, 1948). Порівняння флористичного різноманіття фітопланктону на рівні порядків та родів виконували на основі коефіцієнта рангової кореляції Кендела (Василевич, 1969; Шмидт, 1980).

Сапробіологічна оцінка якості води здійснена за методом Пантле-Букк у модифікації Сладечека (Sladeček, 1963).

Розроблено бальну систему оцінки ступеню антропогенного впливу на фітопланктон, що базується на Директивах ЄС (Directive № 75/440/ЄЕС, Directive № 76/160/ЄЕС, Council Directive 91/676/ЄЕС, Directive № 91/271/ЄЕС) та вітчизняних напрацюваннях (Щербак, Семенюк, 2006) й враховує:

1) чинники антропогенного впливу на водойми та прилеглі до них території;

2) показники якості води, рекомендовані Директивами ЄС.

Кожен антропогенний чинник, якщо його вплив наявний, оцінюється в 1 бал, якщо відсутній – 0 балів. При відхиленні показників якості води від рекомендованих норм, зростає ризик для розвитку фітопланктону, відповідно збільшується бал (табл. 1).

Проведене ранжування досліджених водойм показало, що загальна кількість балів коливається від 10 до 39. При цьому, водойми з найменшим антропогенним впливом одержали оцінку від 10 до 16 балів, з більшим – від 19 до 21. Водойми, де зареєстровано високий антропогенний вплив, оцінені більшою кількістю балів (27–39).

---

<sup>3</sup> Висловлюємо щире вдячність д.б.н., головному науковому співробітнику Інституту біології внутрішніх вод ім. І.Д. Папаніна С.І. Генкалу за допомогу у визначенні центричних діатомових водоростей методом електронної мікроскопії

На основі інтегральної оцінки ступеню антропогенного впливу на фітопланктон, водойми було розділено на три типи:

I. Водойми природоохоронних та лісопаркових територій – озеро Бабине (10 балів), став у ботанічному саду (13), став «Вигода» (14), став у Крошнянському дендропарку (15), став №2 у парку «Нивки» м. Києва (16);

II. Водойми урбанізованих територій – Соколівський став (19), озеро Опечень II (21);

III. Водойми з високим антропогенним навантаженням – стави №1,2,3 дендропарку «Олександрія» (відповідно 29, 39, 27 балів).

Таблиця 1

**Оцінювання ризиків для фітопланктону за відхиленням величин екологічних чинників**

| Директива ЄС  | Показник                                   | Кількість балів |
|---|--|-----------------|
| Директива ради 76/160/ ЄЕС від 8 грудня 1975 року   | <b>Насичення води киснем, %</b>            |                 |
|   | 80-120                                     | 1               |
|   | 60-140                                     | 2               |
|   | 40-160                                     | 3               |
|   | 20-180                                     | 4               |
|   | 10-200                                     | 5               |
| Директива ради 75/440/ЄЕС від 16 червня 1975 року   | <b>pH</b>                                  |                 |
|   | ≥6,5 - ≤8,5                                | 1               |
|   | ≥6,0 - ≤9,0                                | 2               |
|   | >5,5- <9,5                                 | 3               |
|   | <b>Амонійний азот, мг/л NH<sub>4</sub></b> |                 |
|   | < 0,05                                     | 1               |
|   | ≥0,05-≤1                                   | 2               |
|   | ≥1-≤1,5                                    | 3               |
|   | ≥1,5- ≤2                                   | 4               |
|   | ≥2-≤4                                      | 5               |
| >4  | 10   |                 |
| Директива ради 91/676/ ЄЕС від 12 грудня 1991 року,<br>Директива ради 91/271/ ЄЕС від 21 травня 1991 року | <b>Нітрати, мг/л NO<sub>3</sub></b>        |                 |
|   | <25  | 1               |
|   | ≥25-≤50                                    | 10              |

Статистична обробка масиву даних проводилась згідно (Горкавий,2004; Шмидт, 1980) з використанням програм STATISTICA 6.0, Microsoft Excel, Past, Origin Lab, Graph Pad.



## ТАКСОНОМІЧНИЙ СКЛАД ФІТОПЛАНКТОНУ

У фітопланктоні всіх досліджених водойм за вегетаційні сезони 2016–2017 рр. було виявлено 544 види водоростей, представлених 584 внутрішньовидовими таксонами (в.в.т.), які належали до 149 родів, 35 порядків, 15 класів і 9 відділів, причому 7 видів було визначено до роду (табл. 2).

Таблиця 2

### Таксономічне різноманіття фітопланктону різнотипних водойм міських агломерацій

| Тип водойми | Водойма                          | Вид (в. в. т.) | Рід | Родина | Порядок | Клас | Відділ |
|-------------|----------------------------------|----------------|-----|--------|---------|------|--------|
| I           | Озеро Бабине                     | 185 (195)      | 87  | 44     | 27      | 13   | 9      |
|             | Став у ботанічному саду          | 170 (175)      | 83  | 44     | 30      | 14   | 9      |
|             | Став «Вигода»                    | 202 (219)      | 91  | 46     | 29      | 13   | 9      |
|             | Став у Крошнянському дендропарку | 138 (140)      | 75  | 45     | 28      | 13   | 9      |
|             | Став парку «Нивки»               | 166 (175)      | 81  | 46     | 27      | 13   | 9      |
| II          | Соколівський став                | 183 (189)      | 92  | 46     | 30      | 14   | 9      |
|             | Озеро Опечень II                 | 132 (140)      | 60  | 32     | 20      | 10   | 6      |
| III         | Став №3 денропарку «Олександрія» | 112 (121)      | 47  | 29     | 24      | 11   | 7      |
|             | Став №1 денропарку «Олександрія» | 75 (78)        | 38  | 23     | 17      | 11   | 8      |
|             | Став №2 денропарку «Олександрія» | 71 (78)        | 35  | 20     | 15      | 9    | 5      |

Примітка. Тут і на рис. 1-2 цифрами I-III позначено типи водойм, ранжовані за бальною системою оцінки ступеню антропогенного впливу

Порівняння флористичного різноманіття фітопланктону досліджених водойм за коефіцієнтом рангової кореляції Кендела дозволило виділити три групи водойм. У першу об'єднались водойми природоохоронних та лісопаркових територій, що оцінені за бальною шкалою від 10 до 17 балів за ступенем впливу антропогенних чинників на них, у другу – водойми з більшим антропогенним тиском – озеро Опечень II і Соколівський став, у третю – стави №1–3 денропарку «Олександрія» – водойми з найбільшим антропогенним впливом (28–40 балів).

Вважаємо, що використання кластерного аналізу на основі даних, отриманих при визначенні коефіцієнта Кендела, є репрезентативним методичним підходом при типізації водойм міських агломерацій, які знаходяться на територіях з різним ступенем урбанізації.

Порівняння видового складу фітопланктону за коефіцієнтом подібності Серенсена ( $K_s$ ) показало, що досліджені водойми характеризувалися низьким рівнем видової подібності –  $K_s$ : від 0,17 (між ставом №1 дендропарку «Олександрія» і ставом «Вигода») до 0,51 (між ставами №1 та №2 дендропарку «Олександрія»).

Визначення видового складу центричних діатомей за допомогою світлової мікроскопії та уточнення їх діагнозів за допомогою скануючої електронної мікроскопії дозволило виявити в міських водоймах 17 видових таксонів, що відносяться до 8 родів, 3 родин і 3 порядків центричних водоростей.

Із представленого видового різноманіття, 5 видів діатомей (*Aulacoseira subarctica*, *Cyclotella ocellata*, *Handmannia compta*, *Stephanodiscus minutulus*, *Conticribra weissflogii*) вперше були виявлені у водоймах міських агломерацій України.

Вважаємо, що встановлена представленість Bacillariophyta дрібноклітинними центричними формами є адаптаційною здатністю діатомей до вегетації в умовах антропогенного преса на водні екосистеми.

Щодо географічного поширення, то основу водоростевих угруповань становили види-космополіти (77–85%), за відношенням до реофільності домінували індикатори стоячо-текучих вод (65–76%). За відношенням до рН та галобності більшість водоростей у досліджених водоймах належала до індіферентів – відповідно 35–71% та 59–87% загального числа видів.

Серед видів-індикаторів забруднення по Ватанабе у всіх досліджених водоймах переважали еврисапроби (61–88%), частка їх зростала у водоймах з високим антропогенним навантаженням.

При аналізі розподілу водоростей фітопланктону за зонами сапробності встановлено переважання  $\beta$ -мезосапробів (23-42%), при чому їх частка вища ( $\geq 30\%$ ) у водоймах з високим антропогенним навантаженням.

## **КІЛЬКІСНИЙ РОЗВИТОК ТА СТРУКТУРА ДОМІНУЮЧОГО КОМПЛЕКСУ ФІТОПЛАНКТОНУ**

Кількісні показники фітопланктону різнотипних водойм міських агломерацій протягом вегетаційних сезонів коливалися в широких межах. Чисельність фітопланктону водойм природоохоронних та лісопаркових територій коливалась від 0,03 до 122,1 млн. кл/дм<sup>3</sup>, біомаса від 0,01 до 788,7 мг/дм<sup>3</sup>, у водоймах урбанізованих територій – від 1,7 до 354,3 млн. кл/дм<sup>3</sup>, біомаса – від 0,18 до 126,1 мг/дм<sup>3</sup>, а у водоймах зі значним забрудненням сполуками неорганічного азоту чисельність була від 0,09 до 58,8 млн. кл/дм<sup>3</sup>, а біомаса – від 0,05 до 56,40 мг/дм<sup>3</sup>. Мінімальні значення фіксувались наприкінці осені, максимальні – влітку.

Основу чисельності фітопланктону водойм природоохоронних та лісопаркових територій складали діатомові (9–13%), зелені (12–52%), динофітові (9–90%) та харофітові (9–54%) водорості. У фітопланктоні водойм урбанізованих територій за чисельністю домінували синьозелені (52–81%) та зелені (9–47%) водорості, а при навантаженні сполуками неорганічного азоту – зелені (55–67%) та евгленові (5–24%).

Структуруючими відділами біомаси фітопланктону водойм природоохоронних та лісопаркових територій були динофітові (5–90%), діатомові (6–24%) та зелені водорості (14–50%). У фітопланктоні водойм урбанізованих територій за біомасою переважали евгленові (2–32%), синьозелені (6–27%) та зелені (22–41%), а у забруднених сполуками неорганічного азоту – евгленові (30–62%) та зелені (37–62%) водорості.

Для водойм з високим антропогенним впливом характерною особливістю була висока динамічність чисельності та біомаси фітопланктону впродовж вегетаційних сезонів з чітко вираженими максимумами, зумовлена масовою вегетацією представників Cyanophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, тоді як піки чисельності та біомаси фітопланктону водойм з низьким антропогенним впливом були менш вираженими та мали полідомінантний характер.

Тобто зі зростанням антропогенного навантаження відбувається спрощення структури біомаси фітопланктону та посилення ролі евгленових, зелених та синьозелених водоростей.

«Цвітіння» викликали представники синьозелених, зелених (а саме хлорококових), дрібноклітинних діатомових, динофітових та евгленових водоростей.

Інформаційне різноманіття за чисельністю ( $N_N$ ) фітопланктону досліджених водойм коливалось від 0,02 біт/екз до 4,43 біт/екз. Найвищим цей показник був для водойм природоохоронних та лісопаркових територій (2,03–2,96 біт/екз), порівняно низьким – для фітопланктону водойм урбанізованих територій (1,54–2,44 біт/екз), найнижчим – для водойм, забруднених сполуками неорганічного азоту (1,68–1,89 біт/екз). Таким чином спостерігалась тенденція зниження інформаційного різноманіття з підвищенням антропогенного тиску на водойми (рис. 1).

Якість водного середовища за сапробіологічною оцінкою була в межах 0,75–2,98, тобто від  $\chi$ -оліго- до  $\alpha$ -мезосапробних зон.

У водоймах природоохоронних та лісопаркових територій середнє значення індексу сапробності було від 1,84 до 1,94, у водоймах урбанізованих територій – від 1,87 до 2,07. Найвищі індекси сапробності, а відповідно найгірша якість водного середовища, характерні для водойм, навантажених сполуками неорганічного азоту (2,10–2,19).

Встановлено, що індекс сапробності за чисельністю фітопланктону зростає з підвищенням впливу антропогенних чинників на водойми (рис. 2).

На прикладі водойм міста Києва показано, що у порівнянні з ретроспективними даними (Семенюк, 2007, 2008) за десятирічний період у фітопланктоні відбулись наступні зміни: знизилось видове різноманіття,

чисельність та біомаса, а у структурі останньої зменшилась частка зелених і золотистих водоростей та збільшилась – синьозелених та евгленових, що може свідчити про збереження тенденцій антропогенного впливу на водні екосистеми мегаполісу.

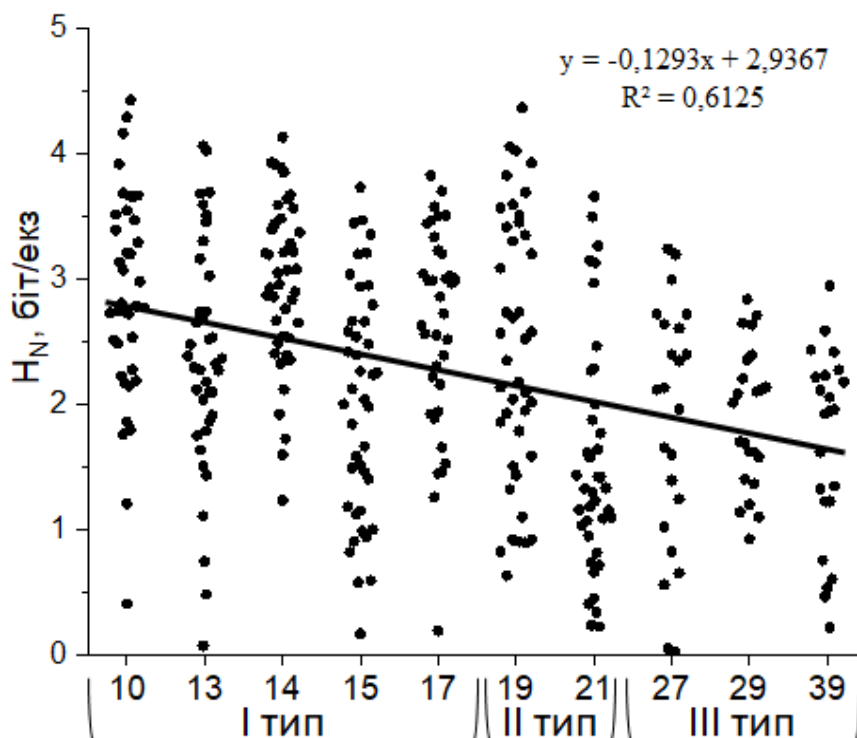


Рис. 1. Інформаційне різноманіття ( $H_N$ ) водойм міських агломерацій ( водойми ранжовані за бальною системою оцінки ступеню впливу на фітопланктон)

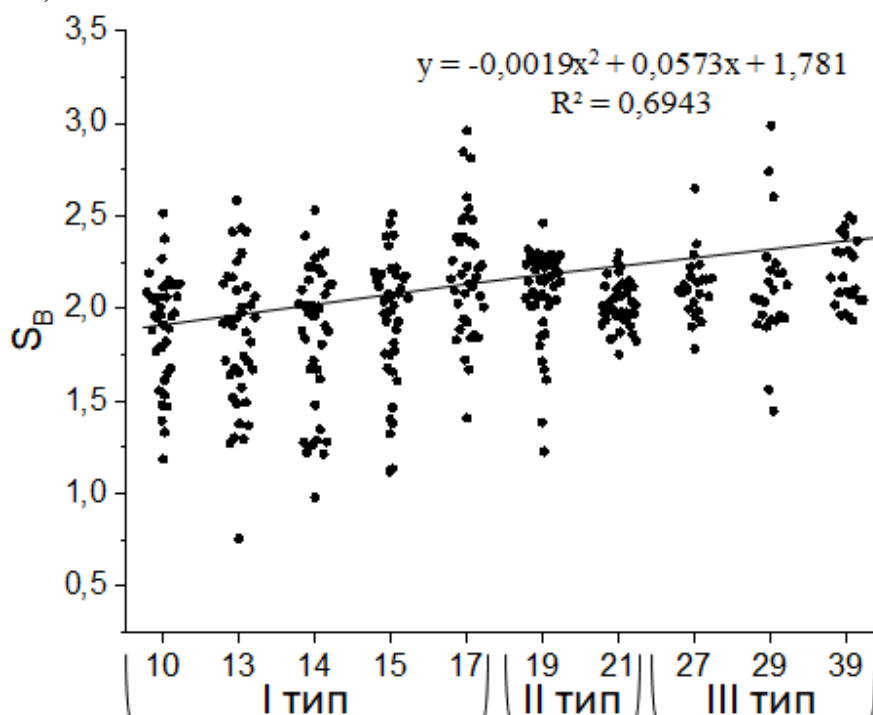


Рис. 2. Сапробність ( $S_B$ ) різнотипних водойм міських агломерацій за біомасою фітопланктону (2016-2017 рр.) ( водойми ранжовані за бальною системою оцінки ступеню впливу на фітопланктон)

## ПРОДУКЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІТОПЛАНКТОНУ ВОДОЙМ

Впродовж вегетаційних сезонів інтенсивність первинної продукції коливалась в межах декількох порядків: від 0,08 до 42,84 мг  $O_2/дм^3 \times$ добу. Мінімальними значеннями продукція характеризувалась у водоймах природоохоронних та лісопаркових територій (0,67–10,43 мг  $O_2/дм^3 \times$ добу), а більшими – у водоймах, розташованих на урбанізованих територіях (0,08–42,84 мг  $O_2/дм^3 \times$ добу). Відповідно деструкція органічних речовин була від 0,58 до 10,35 мг  $O_2/дм^3 \times$ добу, найвищою була у Соколівському ставі та озері Опечень II (відповідно  $3,92 \pm 0,63$  та  $2,15 \pm 0,34$  мг  $O_2/дм^3 \times$ добу).

Значення Р/В коефіцієнтів коливались від 0,91 до 6,02, найвищими були у водоймах з інтенсивним розвитком зелених й синьозелених водоростей (табл. 3).

Таблиця 3

### Характеристика продукційно-деструкційних процесів водойм міських агломерацій

| Водойми                                | A,<br>мг $O_2/дм^3 \times$<br>добу    | R,<br>мг $O_2/дм^3 \times$<br>добу   | A/R                                  | P/B                                  | A/Q                      |
|--|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| озеро Бабине                           | <u>0,67-4,84</u><br>$2,19 \pm 0,22$   | <u>0,00-4,15</u><br>$1,82 \pm 0,48$  | <u>0,00-2,55</u><br>$1,02 \pm 0,10$  | <u>0,04-12,13</u><br>$3,13 \pm 0,51$ | <u>0,00-0,32</u><br>0,18 |
| став у<br>Крошнянському<br>дендропарку | <u>0,33-5,59</u><br>$1,99 \pm 0,37$   | <u>0,00-3,92</u><br>$1,21 \pm 0,32$  | <u>0,00-19,0</u><br>$3,02 \pm 1,49$  | <u>0,00-18,89</u><br>$6,02 \pm 2,28$ | <u>0,00-1,06</u><br>0,23 |
| став «Вигода»                          | <u>0,08-5,26</u><br>$2,75 \pm 0,34$   | <u>0,00-3,84</u><br>$1,41 \pm 0,26$  | <u>0,33-7,00</u><br>$3,91 \pm 1,85$  | <u>0,09-4,15</u><br>$0,97 \pm 0,41$  | <u>0,01-0,80</u><br>0,29 |
| став в ботсаду<br>ЖНАЕУ                | <u>0,17-13,03</u><br>$2,99 \pm 0,75$  | <u>0,58-4,51</u><br>$2,15 \pm 0,34$  | <u>0,12-3,80</u><br>$1,53 \pm 0,25$  | <u>0,09-5,53</u><br>$0,91 \pm 0,42$  | <u>0,01-1,40</u><br>0,30 |
| озеро Опечень II                       | <u>0,84-11,02</u><br>$4,91 \pm 0,47$  | <u>0,0-6,68</u><br>$2,28 \pm 0,27$   | <u>1,04-24,00</u><br>$4,97 \pm 0,81$ | <u>0,02-5,09</u><br>$1,29 \pm 0,17$  | <u>0,06-1,03</u><br>0,45 |
| став в парку<br>«Нивки»                | <u>0,33-10,43</u><br>$6,14 \pm 0,95$  | <u>0,84-5,80</u><br>$2,20 \pm 0,43$  | <u>0,40-12,73</u><br>$3,75 \pm 0,87$ | <u>0,18-3,68</u><br>$0,85 \pm 0,21$  | <u>0,01-2,69</u><br>0,82 |
| Соколівський<br>став                   | <u>6,35-42,84</u><br>$16,76 \pm 2,28$ | <u>0,75-10,35</u><br>$3,92 \pm 0,63$ | <u>1,21-15,67</u><br>$6,42 \pm 2,09$ | <u>0,24-29,70</u><br>$5,65 \pm 1,26$ | <u>0,16-5,59</u><br>1,62 |

Проведена градація водних екосистем за ефективністю утилізації сонячної енергії у водоймах різного трофічного статусу. Виявлена тенденція зростання ефективності утилізації сонячної енергії зі збільшенням рівня трофності: в середньому від 0,18 до 0,29 – мезотрофна, від 0,30 до 0,81 – евтрофна, від 0,82 і більше – політрофна (рис. 3).

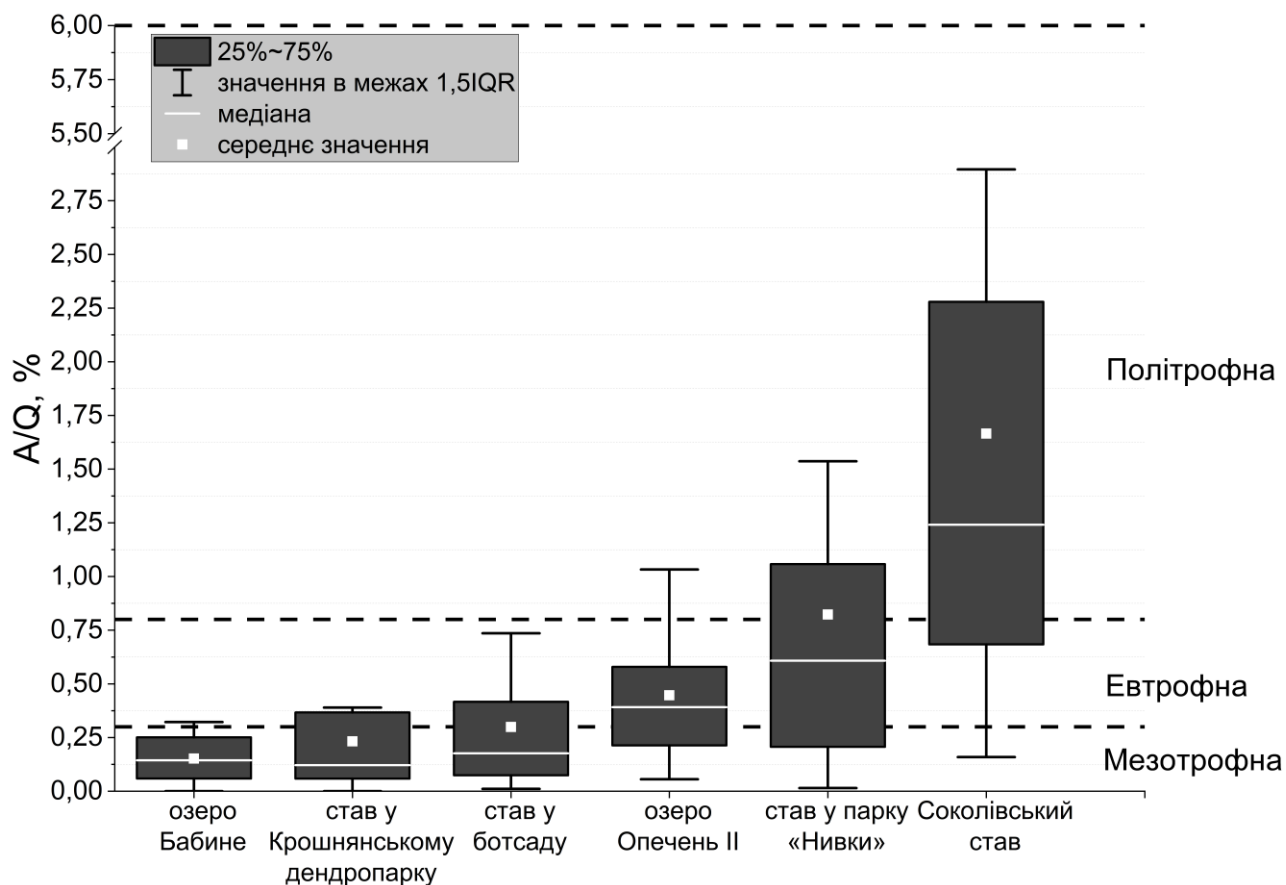


Рис. 3. Градація водних екосистем міських агломерацій за ефективністю утилізації сонячної енергії у водоймах різного трофічного статусу

Виділено три типи водних екосистем за особливостями формування у них первинної продукції впродовж вегетаційних сезонів:

1 тип. Двовершинний з весняними та літніми піками

Максимальна  $A_{вал}$  формується навесні. Влітку відбувається другий підйом, обумовлений інтенсивним розвитком зелених та синьозелених водоростей. Восени інтенсивність продукційних процесів спадає, що обумовлено зниженням температур та зменшенням інтенсивності розвитку теплолюбних видів.

В даному типі водних екосистем основна доля енергії акумулюється навесні та влітку та забезпечує функціонування всіх наступних вищих трофічних рівнів і по мірі використання енергії продуктивність спадає.

2 тип. Тривершинний з весняним, літнім та осіннім піками

Характерно для водойм з полідомінантною структурою фітопланктону.

Такі типи формування первинної продукції характерні для водойм, розташованих на природоохоронних та лісопаркових територіях.

3 тип. Одновершинний, коли фіксується один максимум первинної продукції. За таким типом розвиваються водойми з олігодомінантною структурою фітопланктону, що знаходяться на урбанізованих територіях.

Таким чином сезонна динаміка первинної продукції формується за різними типами, характерні ознаки яких обумовлюються як біотичними, так і антропогенними чинниками.

## ОСНОВНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ФІТОПЛАНКТОНУ ВОДОЙМ УРБАНІЗОВАНИХ І ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ

Проведений узагальнюючий аналіз отриманих впродовж різних сезонів та років натурних даних по структурно–функціональній організації фітопланктону дозволяє зробити наступні узагальнення.

Загалом фітопланктон водойм міських агломерацій представлений 544 видами (584 в.в.т.) з 149 родів, 35 порядків, 15 класів і 9 відділів. Найбільш масово були представлені Bacillariophyta - 161 вид, представлений 166 в.в.т. (30% видового різноманіття водойм), Chlorophyta – 120 видів (123 в.в.т.) (22%) та Euglenophyta – 105 видів (133 в.в.т.) (19%).

Найвищим видовим багатством характеризувались водойми, розташовані на природоохоронних та лісопаркових територіях (138–202 види водоростей), найнижчим – водойми, забруднені сполуками неорганічного азоту (71–112 видів), водойми урбанізованих територій займають проміжне положення (132–183 види). Особливістю останніх була ще й відсутність представників Cryptophyta та Xanthophyta.

Ознакою адаптації Bacillariophyta до існування в умовах антропогенного преса на водні екосистеми може бути зростання кількості центричних діатомових водоростей.

Кількісний склад фітопланктону водойм природоохоронних та лісопаркових територій характеризується переважанням діатомових, динофітових та зелених водоростей, водойм урбанізованих територій – синьозелених та зелених, а водойм з високим вмістом сполук неорганічного азоту – евгленових та зелених. Із збільшенням антропогенного навантаження на водойми зростає частка хлорококових зелених та центричних діатомових водоростей у чисельності фітопланктону.

У відповідь на вплив антропогенних чинників зростає інтенсивність розвитку фітопланктону, що проявляється у «цвітінні» води, а при збільшенні концентрації сполук неорганічного азоту й органічної речовини – посилюється розвиток Euglenophyta.

У водоймах з низьким антропогенним впливом сезонна динаміка первинної продукції характеризується 2–3 максимумами, тоді як за високого антропогенного навантаження формується один максимум, що зумовлено олігодомінантною структурою фітопланктону.

Таким чином, узагальнення досліджених показників – видового та таксономічного різноманіття, чисельності й біомаси, складу домінуючого комплексу, інтенсивності первинної продукції, – показало, що незалежно від типу міської агломерації, виділяються декілька типів водних екосистем: водойми, що знаходяться на природоохоронних і лісопаркових, урбанізованих територіях та ті, де спостерігається антропогенний тиск, зумовлений значним надходженням біогенних елементів.

## ВИСНОВКИ

Дослідження фітопланктону водойм міських агломерацій, розташованих на природоохоронних, лісопаркових та урбанізованих територіях дозволило встановити особливості формування видового, таксономічного різноманіття, чисельності, біомаси, первинної продукції та деструкції органічної речовини залежно від ступеню антропогенного впливу.

1. На основі розробленої бальної системи оцінки ступеню антропогенного впливу на водойми виділено їх три типи: водойми природоохоронних і лісопаркових територій, водойми урбанізованих територій та водойми з високим антропогенним навантаженням.

2. Фітопланктон водойм представлений 544 видами (584 внутрішньовидовими таксонами) з 149 родів, 35 порядків, 15 класів і 9 відділів. За видовою насиченістю найбільш масові були: Bacillariophyta - 161 (166 в.в.т.), Chlorophyta – 120 видів (123 в.в.т.) та Euglenophyta – 105 видів (133 в.в.т.), що відповідно становить 30, 22 і 19% флористичного різноманіття. Встановлено, що найбільшим різноманіттям характеризувались водойми природоохоронних і лісопаркових територій, найменшим – водойми під дією антропогенного чинника.

3. За допомогою скануючої електронної мікроскопії вперше у водоймах міських агломерацій України виявлено 5 видів дрібноклітинних центричних діатомових (*Aulacoseira subarctica*, *Cyclotella ocellata*, *Handmannia comta*, *Stephanodiscus minutulus*, *Conticribra weissflogii*). Представленість Bacillariophyta дрібноклітинними формами є адаптаційною здатністю діатомей до вегетації в умовах антропогенного тиску.

4. Чисельність і біомаса фітопланктону коливались в межах декількох порядків: 0,30–354,3 млн. кл/дм<sup>3</sup> та 0,01–788,7 мг/дм<sup>3</sup>. Відгуком водоростевих угруповань на дію антропогенних чинників було зменшення інтенсивності розвитку Bacillariophyta й Dinophyta та зростання Cyanophyta до рівня «цвітіння» води, а при збільшенні концентрацій сполук неорганічного азоту – Euglenophyta і Chlorophyta.

5. Використання коефіцієнту рангової кореляції Кендела на різних рівнях систематичної ієрархії виділило два кластери фітопланктону водойм: з високим (27–39 балів) та низьким (10–13 балів) антропогенним впливом. Слабкий рівень видової подібності за коефіцієнтом Серенсена – від 0,17 до 0,51, свідчить про вплив різних екологічних чинників на розвиток фітопланктону.

6. Інформаційне різноманіття фітопланктону досліджених водойм коливалося від 0,02 до 4,43 біт/екз. Найвищим було для водойм природоохоронних та лісопаркових зон, найнижчим – для водойм урбанізованих територій.

7. Індекс сапробності водного середовища за чисельністю фітопланктону був в межах 0,75–2,98, тобто від  $\chi$ -0– до  $\alpha$ -мезосапробних зон. Найвищі індекси сапробності, а відповідно найгірша якість води, характерні для водойм під дією антропогенного чинника.



8. Впродовж вегетаційних сезонів інтенсивність первинної продукції коливалась в межах декількох порядків: від 0,08 до 42,84 мг  $O_2/дм^3 \times добу$ . Мінімальними значеннями продукція характеризувалась у водоймах природоохоронних та лісопаркових територій, а більшими – у водоймах урбанізованих територій. Відповідно деструкція органічних речовин була від 0,58 до 10,35 мг  $O_2/дм^3 \times добу$ , а їх співвідношення – від 0,12 до 15,67.

9. Встановлено декілька типів водних екосистем за особливостями формування у них первинної продукції впродовж вегетаційних сезонів: з одним (літо), двома (весна, літо) і трьома (весна, літо, осінь) максимумами, що визначається різними домінуючими комплексами фітопланктону.

10. Значення Р/В коефіцієнтів коливались від 0,91 до 6,02, найвищі були у водоймах з інтенсивним розвитком дрібноклітинних зелених, синьозелених і центричних діатомових водоростей.

11. Градація водойм міських агломерацій за інтенсивністю первинної продукції свідчить про їх різний трофічний статус: мезотрофний, евтрофний, політрофний. Ефективність утилізації сонячної енергії має тенденцію до зростання зі збільшенням рівня трофності: в середньому 0,18–0,29 – мезотрофна, 0,30–0,81 – евтрофна, 0,82 і більше – політрофна.

12. На сучасному етапі, порівняно з ретроспективними даними за десятирічний період, для фітопланктону водойм міста Києва характерне зниження видового різноманіття, насиченості родів видами, чисельності і біомаси, у структурі якої зменшилась частка зелених, золотистих водоростей і збільшилась – синьозелених та евгленових водоростей.

## СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у фахових наукових виданнях:

1. **Кравцова О. В.** Динаміка фітопланктону у міських водоймах з різним ступенем антропогенного навантаження. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. 2016. Вип. 3/4 (67). С. 41–47.
2. **Кравцова О. В., Семенюк Н.Є.** Багаторічна динаміка структурно-функціональних характеристик фітопланктону різнотипних водойм мегаполіса. Вісник Запорізького національного університету: збірник наукових праць. Біологічні науки. 2017. №1. С. 140–153. *(Збір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті)*
3. Shcherbak V.I., **Kravtsova O.V.**, Linchuk M.I. Assessment of the influence of high concentrations of nitrogen compounds on phytoplankton diversity in the ponds of the Oleksandriya natural park (the town of Bila Tserkva, Ukraine). *Hydrob. Journ.* 2018. Vol. 54, N 1. P. 19–32. *(Збір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті)*

4. Щербак В. І., **Кравцова О. В.** Особливості фітопланктону водойм міських лісопаркових зон. Біоресурси і природокористування. 2017. Т. 9, № 5-6. С. 17–25. *(Збір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті)*
5. Genkal S.I., Scherbak V.I. & **Kravtsova O.V.** Morphological variability in the populations of some species of the genus *Thalassiosira* Cl. (Bacillariophyta) in the urbanized water bodies of Ukraine. *International Journal on Algae*, 2018, 20 (2). P. 181–192. *(Збір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті)*
6. **Кравцова О. В.** Реакція фітопланктону ставів міських агломерацій на вплив різних антропогенних чинників. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. 2018. Вип. 1 (72). С. 43 – 50.
7. Shcherbak V.I., Genkal S.I., **Kravtsova O.V.** Centric diatoms (Centrophyceae) of water bodies of urban agglomerations. *Hydrob. Journ.* 2018. Vol. 54, N 6. P. 43–54. *(Збір, обробка та аналіз натурних даних, участь у написанні статті)*

#### **Тези та матеріали конференцій:**

1. **Кравцова О. В.** Особливості каскаду водойм державного Дендрологічного парку «Олександрія» (м. Біла Церква). Метеорологія, гідрологія, моніторинг довкілля в контексті екологічних викликів сьогодення: Мат. Всеукр. конф. для молодих учених (16-17 листопада, м. Київ). Київ: Ніка-Центр, 2016. С. 80 – 82.
2. **Кравцова О. В.** Весняний фітопланктон міських водойм з різним ступенем антропогенного навантаження. Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем: збірник матеріалів III науково-практичної конференції для молодих вчених. Київ, 2016. С. 28 – 29.
3. **Кравцова О. В.** Оцінка стану водойм мегаполіса за різноманіттям фітопланктону. Охорона, збереження та відтворення біорізноманіття в умовах мегаполісу: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченій 10-річчю створення національного природного парку «Голосіївський» (м. Київ, 7-8 вересня 2017 року). Харків: Видавництво «Діса Плюс», 2017. С. 48-52.
4. **Кравцова О. В.** Масовий розвиток водоростей водойм урбанізованих територій. Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем: збірник матеріалів IV науково-практичної конференції для молодих вчених. Київ, 2017. С. 38–39.
5. **Кравцова О. В.** Флористична структура фітопланктону водойм різнотипних міських агломерацій. Сучасна гідроекологія: місце наукових досліджень у вирішенні актуальних проблем: збірник матеріалів V науково-практичної конференції для молодих вчених. Київ, 2018. С. 28–29.
6. **Кравцова О. В.** Різноманіття фітопланктону в залежності від ступеню урбанізованості території. Біологічні дослідження – 2017: Збірник наукових праць. Житомир: ПП «Рута», 2017. С. 129–130.

7. **Кравцова О. В.** Масовий розвиток динофітових водоростей як індикатор якості води, перспективи промислового використання. VIII Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Вода в харчовій промисловості»: Збірник тез доповідей VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Одеса: ОНАХТ, 2017. С. 55-56.
8. **Кравцова О. В.** Первинна продукція водойм м. Києва на прикладі озера Опечень II. Біологічні дослідження – 2018: Збірник наукових праць. Житомир: ПП «Рута», 2018. С. 180–181.

### Подяка

Автор висловлює щирю вдячність науковому керівнику д.б.н., проф. В.І. Щербаку за консультації та підтримку на всіх етапах підготовки дисертаційної роботи, к.б.н. Н.Є. Семенюк за цінні поради, а також співробітникам Інституту гідробіології НАН України та рідним за підтримку.

### Анотація

**Кравцова О.В. Фітопланктон різнотипних водойм природоохоронних і урбанізованих територій.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) зі спеціальності 03.00.17 – гідробіологія. – Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2019.

Встановлено основні закономірності формування видового і таксономічного складу, структури й сезонної динаміки чисельності та біомаси, інформаційного різноманіття, сапробності, інтенсивності первинної продукції і деструкції органічної речовини фітопланктону різнотипних водойм природоохоронних, лісопаркових та урбанізованих територій.

Запропонована бальна система оцінки ступеню антропогенного впливу, яка ґрунтується на вітчизняних напрацюваннях і Директивах ЄС, дозволила виділити три типи водойм міських агломерацій: водойми природоохоронних й лісопаркових територій, водойми урбанізованих територій та водойми з високим антропогенним навантаженням.

У фітопланктоні досліджених водойм було виявлено 544 види (584 внутрішньовидові таксони) з 149 родів, 35 порядків, 15 класів і 9 відділів; з них 5 видів центричних діатомових – нові для альгофлори водойм міських агломерацій України. Відгуком водоростевих угруповань на дію антропогенних чинників було зменшення інтенсивності розвитку Bacillariophyta й Dinophyta та зростання Cyanophyta до рівня «цвітіння» води, а при збільшених концентраціях сполук неорганічного азоту – Euglenophyta і Chlorophyta. Встановлено декілька типів водних екосистем за особливостями формування у них первинної продукції впродовж вегетаційних сезонів: з одним (літо), двома (весна, літо) і трьома (весна, літо, осінь) максимумами, що визначається різними домінуючими комплексами фітопланктону.

Ключові слова: фітопланктон, водойми міських агломерацій, чисельність,

біомаса, сапробність, інформаційне різноманіття, таксономічний склад, антропогенний вплив.

### Аннотация

**Кравцова О.В. Фитопланктон разнотипных водоемов природоохранных и урбанизированных территорий. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата биологических наук (доктора философии) по специальности 03.00.17 – гидробиология. – Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, 2019.

Установлены основные закономерности формирования видового и таксономического состава, структуры и сезонной динамики численности и биомассы, информационного разнообразия, сапробности, первичной продукции и деструкции органического вещества фитопланктона разнотипных водоемов природоохранных, лесопарковых и урбанизированных территорий.

Предложенная бальная система оценки степени антропогенного влияния, основанная на отечественных наработках и Директивах ЕС, позволила выделить три типа водоемов: водоёмы природоохранных и лесопарковых территорий, водоемы урбанизированных территорий и водоемы с высоким антропогенным влиянием.

В фитопланктоне исследованных водоемов было обнаружено 544 вида (584 внутривидовых таксонов) из 149 родов, 35 порядков, 15 классов и 9 отделов; из них 5 видов центрических диатомовых - новые для водоемов городских агломераций Украины. Откликом на действие антропогенных факторов было уменьшение интенсивности развития Bacillariophyta и Dinophyta и увеличение Cyanophyta и Chlorophyta в качественном и количественном составе фитопланктона до уровня «цветение» воды, а при увеличенных концентрациях соединений неорганического азота – Euglenophyta и Chlorophyta. Установлено несколько типов водных экосистем по особенностям формирования у них первичной продукции в течение вегетационных сезонов: с одним (летом), двумя (весна, лето) и тремя (весна, лето, осень) максимумами, что обусловлено разными доминирующими комплексами фитопланктона.

Ключевые слова: фитопланктон, водоемы городских агломераций, численность, биомасса, сапробность, информационное разнообразие, таксономический состав, антропогенное влияние.

### Summary

**Kravtsova O.V. Phytoplankton in different types of water bodies within nature protection and urban areas. – Manuscript.** Thesis for obtaining the Doctor of Philosophy degree (PhD) in Biological Sciences, specialty 03.00.17 «Hydrobiology». – Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2019.

The paper considers the main aspects of phytoplankton's species and taxonomic richness, abundance and biomass structure, seasonal dynamics, Shannon's

diversity, saprobity, primary production and organic matter destruction in different types of water bodies within nature protection and forest-park areas and urban areas.

We propose the system for point assessment of anthropogenic impact upon water bodies based on presence of anthropogenic factors and indicators recommended by EU Directives. This system makes it possible to distinguish three types of water bodies: water bodies of nature protection and forest-park areas, water bodies of urban areas, and water bodies with high anthropogenic pressure.

Phytoplankton in the water bodies under study was represented by 544 species (584 intraspecific taxa) from 149 families, 35 orders, 15 classes and 9 divisions. The largest portion of species diversity was formed by Bacillariophyta, Chlorophyta and Euglenophyta (respectively 30, 22 and 19%). The highest algae diversity was observed in water bodies of nature protection and forest-park areas, and the lowest – in water bodies under the impact of human factors.

With the aid of scanning electron microscopy five species of small-celled centric diatoms (*Aulacoseira subarctica*, *Cyclotella ocellata*, *Handmannia compta*, *Stephanodiscus minutulus*, *Conticribra weissflogii*) were discovered for the first time in the water bodies within Ukrainian urban agglomerations. Representation of Bacillariophyta in small-celled forms is an adaptive ability of diatoms to grow under human pressure.

The abundance and biomass of phytoplankton fluctuated within several orders of magnitude: 0.30–354.3 million cells $\times$ dm<sup>-3</sup> and 0.01–788.7 mg $\times$ dm<sup>-3</sup>. It has been shown that phytoplankton responds to human impact by reducing intensity of Bacillariophyta and Dinophyta development and Cyanophyta growth to the level of water bloom. Increase in Euglenophyta and Chlorophyta portions is the response to high concentration of inorganic nitrogen compounds.

Using Kendall rank correlation coefficient at different levels of the phytoplankton systematic hierarchy made it possible to distinguish two clusters of water bodies: with high (27–39 points) and low (10–13 points) human impact. Small Sørensen species similarity coefficients (between 0.17 and 0.51) indicate the effect of various environmental factors on phytoplankton development.

Shannon's diversity of phytoplankton in the water bodies under consideration ranged from 0.02 to 4.43 bits $\times$ indv<sup>-1</sup>. The highest values were recorded in water bodies of nature protection and forest park areas (2.03–2.96 bits $\times$ indv<sup>-1</sup>), relatively low – for phytoplankton of water bodies within urban areas (1.54–2.44 bits $\times$ indv<sup>-1</sup>), and the lowest – for water bodies, polluted with inorganic nitrogen compounds (1.68–1.89 bits $\times$ indv<sup>-1</sup>).

The saprobity index of the aquatic environment according to phytoplankton abundance was within the range of 0.75–2.98, that is, from  $\chi$ -o- to  $\alpha$ -mesosaprobic zones. In the water bodies within nature protection and forest park areas, the average saprobity index varied from 1.84 to 1.94, in the water bodies of urban areas – from 1.87 to 2.07. Thus, Shannon's diversity tends to reduce, and saprobity index tends to rise with the increase of human pressure on the water bodies.

During the growing seasons, the primary production intensity fluctuated within several orders of magnitude: from 0.08 to 42.84 mg O<sub>2</sub> $\times$ dm<sup>-3</sup> per day. The minimal

production intensity was observed in forest park areas, and more intense production was recorded in water bodies of urban areas. Accordingly, the destruction of organic matter varied from 0.58 to 10.35 mg O<sub>2</sub>×dm<sup>-3</sup> per day, and the A/R ratio – from 0.12 to 15.67. P/B coefficients ranged from 0.91 to 6.02. Their highest values were registered in water bodies with intensive development of small-celled green, blue-green and centric diatom algae.

According to patterns of primary production during vegetation seasons, several types of aquatic ecosystems have been identified: with one peak (summer), with two peaks (spring, summer) and three peaks (spring, summer, autumn), which is determined by different dominant phytoplankton complexes. Gradation of urban water bodies according to primary production intensity indicates their different trophic status: mesotrophic, eutrophic, polytrophic. The solar energy utilization tends to become more efficient with trophic level increasing: 0.18–0.23% in mesotrophic water bodies, 0.30–0.45% in eutrophic water bodies, and 0.82–1.67% in polytrophic water bodies.

Key-words: phytoplankton, water bodies of urban agglomerations, abundance, biomass, saprobity, Shannon's diversity, taxonomic diversity, human impact.