

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

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

*Інститут гідробіології НАН України,
просп. Героїв Сталінграда, 12, Київ 04210, Україна
ek424nat@ukr.net, natasemenyuk@gmail.com*

**СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА
ФІТОПЛАНКТОНУ, ДЕРНОВИН-ПОДУШОК, ДЕТРИТУ ТА
ЯКІСТЬ ВОДИ ЗА ДІЇ ОСНОВНИХ АБІОТИЧНИХ ЧИННИКІВ
СТАВКІВ МІСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ (СМТ ГОСТОМЕЛЬ,
БУЧАНСЬКИЙ Р-Н КИЇВСЬКОЇ ОБЛ., УКРАЇНА). Повідомлення II.
Кількісні показники, домінуючі комплекси фітопланктону, детрит та
якість води міських ставків**

Реферат. Представлена характеристика кількісних показників та структури домінуючого комплексу фітопланктону ставків смт Гостомель та розмірно-морфологічні особливості часток детриту. Дана оцінка якості водного середовища ставків за показниками фітопланктону. Чисельність фітопланктону становила 2648,0–113675,0 тис. кл/дм³, її основу визначали *Cyanobacteria*, біомаса – 3,72–16,53 г/м³, що характерно для евтрофних водойм. За біомасою домінували *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Bacillariophyta*. Домінуючий комплекс за чисельністю включав дрібноклітинні форми *Cyanobacteria*, за біомасою – крупноклітинні *Euglenozoa*, *Miozoa* та *Bacillariophyta* з певною часткою *Cyanobacteria*. Відмінність структури домінуючих комплексів за чисельністю та біомасою є важливим адаптаційним механізмом фітопланктону ставків міської агломерації. Показано, що високі продукційні показники фітопланктону повною мірою забезпечують енергетичні й трофічні потреби гідробіонтів вищих трофічних рівнів, а неспожита біомаса при розкладі водоростевих клітин переходить у водну товщу у вигляді органічного детриту.

Надійшла до редакції 13.07.2022. Після доопрацювання 15.11.2022. Підписана до друку 20.01.2023.
Опублікована 20.06.2023

Цитування: Щербак В.І., Семенюк Н.Є. 2023. Структурно-функціональна характеристика фітопланктону, дерновин-подушок, детриту та якість води за дії основних абіотичних чинників ставків міської агломерації (смт Гостомель, Бучанський р-н Київської обл., Україна). Повідомлення II. Кількісні показники, домінуючі комплекси фітопланктону, детрит та якість води міських ставків. *Альгологія*. 33(2): 65–82. <https://doi.org/10.15407/alg33.02.065>

Частки органічного детриту можна ранжувати на чотири класи – від мінімальних < 30 мкм до максимальних > 101 мкм, біомаса яких може сягати 57,60–62,80 мг/дм³, що свідчить про важливість цього біологічного компонента у формуванні потоків енергії, колообігу речовин та трофічних взаємозв'язках. Оцінка якості водного середовища за сапробіологічними показниками фітопланктону показала, що в ставках переважають χ -о-сапроби й β -мезосапроби. Це характеризує воду водойм в межах «дуже чисті» – «чисті води» та «помірно забруднені води». На відміну від більшості ставків міських агломерацій ставкова мережа смт Гостомель є цілком безпечною з екологічної точки зору зоною відпочинку містян і зеленою окрасою міського ландшафту.

Ключові слова: фітопланктон, чисельність, біомаса, домінуючий комплекс, первинна продукція, детрит, якість водного середовища

Вступ

Ставки міських агломерацій мають високу цінність з точки зору екосистемних послуг (рекреація, аматорське рибальство) і позитивно впливають на мікроклімат міста та здоров'я людей (Waajen et al., 2014; Casa et al., 2020).

Поряд з таксономічним різноманіттям фітопланктону не менш важливими є кількісні характеристики: чисельність, біомаса – енергетична основа фітопланктону, первинна продукція, що формує потоки енергії від автотрофної ланки до вищих трофічних рівнів і визначає трофічний статус водної екосистеми.

Незважаючи на високе видове різноманіття фітопланктону, основні біологічні процеси визначають не поодинокі види, а домінуючі, частка яких становить 5% і більше загальної чисельності або біомаси (Shcherbak, 2006). З точки зору адаптації водоростевих угруповань планктону до вегетації в умовах певного антропогенного тиску важливим є те, що видовий склад і структура домінуючих комплексів за чисельністю чи біомасою є відмінними. Тому для отримання більш об'єктивної інформації про фітопланктон як провідний компонент біоти й оцінки його стійкості до дії антропогенних чинників необхідно наводити обидва домінуючі комплекси.

Важливість дослідження кількісних показників і домінуючих комплексів фітопланктону в ставках урбанізованих територій зумовлена тим, що це, як правило, високопродуктивні евтрофні екосистеми з високою швидкістю біологічних процесів (Downing, 2010; Volpagni et al., 2019). У них часто спостерігається «цвітіння» води *Cyanobacteria*. При цьому впровадження практичних програм з поліпшення якості води ставків та запобігання «цвітіння» води може бути безуспішним через брак інформації про склад та динаміку фітопланктону (Olding et al., 2000). Тому моніторинг

фітопланктону, зокрема ціанобактерій, у ставках урбанізованих територій є важливим аспектом зниження ризиків захворювання людей (Waajen et al., 2014; Dunker, 2020).

Водоростеві угруповання – це динамічна складова біоти. При відмиранні вони виділяють органічний детрит як кінцевий результат лізису рослинних клітин. При дослідженні фітопланктону дуже рідко звертається увага на цей важливий біологічний компонент.

Використовуючи сапробіологічні характеристики видів-індикаторів, можна досить репрезентативно оцінити якість водного середовища.

Мета роботи – охарактеризувати кількісні показники фітопланктону (чисельність, біомаса), його домінуючі комплекси, первинну продукцію, трофічний статус детриту та оцінити якість водного середовища різнотипних ставків смт Гостомель у травні 2021 р.

Матеріали та методи

Детальна характеристика ставків, їхніх основних абіотичних складових, методи відбору та опрацювання альгологічних проб і детриту, визначення чисельності, біомаси, а також якості води наведені нами в попередній роботі (Shcherbak, Semeniuk, 2023).

Результати та обговорення

Чисельність. Показники чисельності фітопланктону міських ставків коливалася від 2648,0 до 113675,0 тис. кл/дм³. Проведене ранжування ставків за величинами чисельності показало наступну закономірність: N ставка II < N ставка III < N ставка IV < N ставка I.

У всіх ставках за абсолютними величинами (N , тис. кл/дм³) й відносним значенням ($N_i/N \times 100\%$) домінували *Cyanobacteria* – від 53–70% до 87–90%. Субдомінантами виступали *Chlorophyta* – від 5–6% до 20–23%, і *Bacillariophyta*, частка яких не перевищувала 5–14%.

В усіх ставках зустрічалися представники *Euglenozoa* – високоінформативні індикатори органічного забруднення води, та *Miozoa* – крупноклітинні види прісноводного фітопланктону.

Отже, за абсолютними й відносними величинами та структурною організацією фітопланктон ставків міської агломерації характеризувався як синьозелений комплекс із певною часткою зелених і діатомових водоростей (табл. 1).

Біомаса. На відміну від чисельності, її величини коливались у вузьких межах – від 3,72–5,54 до 15,41–16,53 мг/дм³ і були характерними для високопродуктивних водойм.

Ранжування ставків за біомасою (B) в основному відповідає раніше встановленій за чисельністю закономірності: B ставка II < B ставка III < B ставка IV < B ставка I.

Оцінка структурної організації біомаси показала наступний феномен: як за абсолютними, так і відносними (%) величинами – від 0,37–0,80 до 4,25–4,27 мг/дм³ та від 4–13 до 46–77% – домінували крупноклітинні *Euglenozoa*, які наймасовіше вегетували у ставку III.

Таблиця 1. Чисельність і структурна організація фітопланктону в ставках смт Гостомель

Відділ	Ставок						
	I	II		III		IV	
	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 4	ст. 5	ст. 6	ст. 7
<i>Cyanobacteria</i>	<u>101600</u> 87	<u>1373</u> 53	<u>8475</u> 70	<u>16100</u> 85	<u>26205</u> 90	<u>62970</u> 75	<u>65025</u> 72
<i>Bacillariophyta</i>	<u>1325</u> 2	<u>368</u> 14	<u>585</u> 4	<u>1120</u> 5	<u>720</u> 2	<u>1620</u> 1	<u>5250</u> 5
<i>Cryptophyta</i>	<u>175</u> 1	<u>60</u> 2	<u>15</u> 1	<u>240</u> 1	<u>135</u> 1	<u>1140</u> 1	<u>950</u> 1
<i>Miozoa</i>	<u>50</u> 1	<u>98</u> 4	<u>465</u> 4	<u>40</u> 1	<u>195</u> 1	–	<u>25</u> 1
<i>Ochrophyta</i>	<u>75</u> 2	<u>45</u> 1	<u>165</u> 1	–	<u>45</u> 1	<u>840</u> 2	<u>975</u> 2
<i>Charophyta</i>	<u>20</u> 7	–	–	–	–	<u>10</u> *	–
<i>Chlorophyta</i>	<u>8055</u> 6	<u>623</u> 23	<u>2130</u> 17	<u>1080</u> 5	<u>1200</u> 4	<u>17390</u> 20	<u>17025</u> 18
<i>Euglenozoa</i>	<u>575</u> 1	<u>83</u> 3	<u>240</u> 3	<u>480</u> 3	<u>495</u> 2	<u>150</u> 1	<u>450</u> 1

Примітка. Над рискою – чисельність (N , тис. кл/дм³), під рискою – % загальної чисельності; * – чисельність менше 1%; «–» – представників відділу не виявлено.

Отже, за індикаційними характеристиками *Euglenozoa* цей ставок є більш забрудненим. Інші крупноклітинні форми – *Miozoa* – формували переважну частку біомаси (60–75%) у ставку II.

В якості субдомінантів виступали *Bacillariophyta* (від 4–6% до 13–18%) та *Chlorophyta* (від 3–5% до 32–41%). Найбільша біомаса (до 5,05 мг/дм³) й відносно висока частка *Chlorophyta* (до 41%) була характерна для ставка IV.

Досить великою біомасою характеризувалися також *Cyanobacteria* – від 0,03–0,04 мг/дм³, що становило 7–28% загальної біомаси (табл. 2).

Таблиця 2. Біомаса й структурна організація фітопланктону в ставках смт Гостомель

Відділ	Ставок						
	I	II		III		IV	
	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 4	ст. 5	ст. 6	ст. 7
<i>Cyanobacteria</i>	<u>7,70</u>	<u>0,03</u>	<u>0,10</u>	<u>0,04</u>	<u>0,25</u>	<u>2,79</u>	<u>4,33</u>
	28	1	1	1	7	28	28
<i>Bacillariophyta</i>	<u>2,99</u>	<u>0,20</u>	<u>0,65</u>	<u>0,8</u>	<u>0,39</u>	<u>1,24</u>	<u>2,04</u>
	18	6	4	14	10	13	13
<i>Cryptophyta</i>	<u>0,18</u>	<u>0,04</u>	<u>0,01</u>	<u>0,23</u>	<u>0,10</u>	<u>0,95</u>	<u>0,75</u>
	1	1	1	4	3	10	5
<i>Miozoa</i>	<u>1,29</u>	<u>1,97</u>	<u>12</u>	<u>0,05</u>	<u>0,98</u>	–	<u>0,65</u>
	8	60	75	1	26	–	4
<i>Ochrophyta</i>	<u>0,01</u>	<u>0,01</u>	<u>0,08</u>	–	<u>0,04</u>	<u>0,29</u>	<u>0,69</u>
	1	1	1	–	1	3	5
<i>Charophyta</i>	<u>0,01</u>	–	–	–	–	<u>0,01</u>	–
	1	–	–	–	–	1	–
<i>Chlorophyta</i>	<u>2,88</u>	<u>0,21</u>	<u>0,83</u>	<u>0,18</u>	<u>0,24</u>	<u>4,15</u>	<u>5,05</u>
	17	6	5	3	7	40	32
<i>Euglenozoa</i>	<u>4,27</u>	<u>0,80</u>	<u>2,22</u>	<u>4,25</u>	<u>1,73</u>	<u>0,37</u>	<u>1,85</u>
	25	25	13	77	46	4	12

Примітка. Над рискою – біомаса (B , мг/дм³), під рискою – % загальної біомаси; «–» – представників відділу не виявлено.

За біомасою фітопланктон може характеризуватися як евглено-міозоа-діатомовий комплекс із синьозелено-зеленими ознаками.

Можна припустити, що така складна структура біомаси обумовлена комплексом різних чинників:

- абіотичних (оптимальні температури, високий вміст мінеральних форм азоту й фосфору, що характерно для евтрофних водойм);
- біотичних (високе таксономічне різноманіття водоростей, потужна, до дна, фотична зона, наявність дрібноклітинних і крупноклітинних форм із різною фотосинтетичною активністю);
- антропогенний (надходження до ставків органічного забруднення зі зливом з доріг, автостоянок тощо).

Отже, фітопланктон був представлений високими показниками чисельності з домінуванням *Cyanobacteria*, значними показниками біомаси, які формувалися кількома відділами водоростей, що має чітко виражений адаптаційний характер до вегетації у ставках міських агломерацій.

Аналіз літератури показав, що наведені закономірності кількісного розвитку фітопланктону є спільними для ставків різних міст світу. Так, домінування *Cyanobacteria* за чисельністю спостерігалось у ставках м. Лейпциг (Dunker, 2020), м. Брюсель (Peretyatko et al., 2010), м. Познань (Burchardt et al., 2006), урбанізованої провінції Північний Брабант (Нідерланди) (Waajen et al., 2014).

Високий відсоток евгленових у біомасі фітопланктону зареєстровано в деяких ставках міських агломерацій Данії та Канади (Minelgate et al., 2020). На думку авторів, значна кількість евгленових водоростей може бути зумовлена не лише високим вмістом органічних речовин, а й скаламучуванням донних відкладів унаслідок сильного вітру або дощу.

Домінуючий комплекс. Виходячи з того, що наведена вище характеристика структури чисельності й біомаси ставкового фітопланктону суттєво відрізнялася, вважаємо за доцільне навести видовий склад, кількісний розвиток і структуру домінуючих комплексів як за чисельністю, так і біомасою.

Домінуючий комплекс фітопланктону ставків за чисельністю формувався 12 видами з вищим значенням (9 видів, 75%) дрібноклітинних форм *Cyanobacteria*. Окремі види становили від 5–6% до 31–36% сумарної чисельності альгопроб, а в цілому частка видів-домінантів із *Cyanobacteria* становила від 63–69% (ставок IV) до 83–87% (ставки I і III) (табл. 3).

Отже, домінуючий комплекс за чисельністю водоростей за структурною організацією на популяційно-видовому рівні – це полідомінантний комплекс, а на рівні відділів – монодомінантний комплекс *Cyanobacteria*.

За біомасою домінуючий комплекс представлений 16 видами: *Euglenozoa* – 6 (50%), *Cyanobacteria* – 4 (25%), *Bacillariophyta*, *Miozoa* і *Chlorophyta* – по 2 види (\approx 8%).

У ставках I–III переважали крупноклітинні форми: *Peridinium cinctum* (O.Müll.) Ehr. і *Phacus longicauda* (Ehr.) Duj, а в ставку IV – дрібноклітинні *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. і *Desmodesmus communis* (Hegew.) Hegew. (табл. 4). У цілому, характеристика домінуючого комплексу підтверджує полідомінантну структуру біомаси ставкового фітопланктону.

Порівнюючи два домінантні комплекси, ми дійшли висновку, що основну увагу потрібно приділяти не встановленим відмінностям у видовому складі, кількісній представленості окремих видів чи структурі, а тому, що це дуже складний адаптаційний механізм фітопланктону для вегетації в умовах міської агломерації за комплексної дії абіотичних, біотичних і антропогенних чинників.

Таблиця 3. Видове різноманіття й структура домінуючого комплексу фітопланктону по досліджуваних станціях ставків смт Гостомель за чисельністю

Вид-домінант	Ставок						
	I	II		III		IV	
	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 5	ст. 6	ст. 7	ст. 8
<i>Aphanizomenon flosaquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	<u>51475</u> 45	*	*	*	*	<u>26100</u> 31	<u>2820</u> 31
<i>Coelosphaerium</i> <i>kuetzingianum</i> Nägeli	*	<u>412,5</u> 16	<u>1350</u> 11	*	<u>4335</u> 15	*	<u>5400</u> 6
<i>Coelomoron pusillum</i> (Van Goor) Komárek	–	–	<u>1650</u> 14	–	*	–	–
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komárek & Hindák	*	–	–	–	–	<u>11460</u> 14	–
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	*	–	–	–	–	–	<u>1435</u> 16
<i>Microcystis pulvereae</i> (H.C.Wood) Forti	*	*	<u>1395</u> 12	<u>15100</u> 79	<u>20970</u> 72	*	*
<i>Planktothrix agardhii</i> (Gomont) Anagnostidis & Komárek	–	–	–	–	–	–	<u>9175</u> 10
<i>Anagnostidinema amphibium</i> (C.Agardh ex Gomont) Strunecký, Bohunická, J.R.Johansen & J.Komárek	<u>23100</u> 20	<u>960</u> 36	<u>4080</u> 34	<u>1000</u> 5	*	<u>4500</u> 5	*
<i>Pseudanabaena limnetica</i> (Lemmermann) Komárek	<u>20450</u> 18	–	–	–	–	–	–
<i>Oscillatoria tenuis</i> C.Agardh ex Gomont	–	–	–	–	–	<u>15900</u> 19	*
<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) D.M.Williams & Round	–	<u>150</u> 6	*	*	*	–	–
<i>Pandorina morum</i> (O.F.Müller) Bory	–	<u>240</u> 9	<u>960</u> 8	–	–	–	–

Примітка. Над рискою – чисельність виду-домінанта (N , тис. кл/дм³), під рискою – % загальної чисельності фітопланктону; «–» – вид на станції не зустрічався, «*» – вид зустрічався, але до складу домінуючого комплексу не входив.

Таблиця 4. Різноманіття, біомаса й структура видів-домінантів фітопланктону на досліджених станціях ставків смт Гостомель

Вид-домінант	Ставок						
	I	II		III		IV	
	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 4	ст. 5	ст. 6	ст. 7
<i>Aphanizomenon flosaquae</i> Ralfs ex Bornet & Flahault	<u>3,81</u> 23	–	–	–	–	<u>1,93</u> 20	<u>2,09</u> 14
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kützing) Kützing	–	–	–	–	–	–	<u>1,62</u> 11
<i>Coelosphaerium</i> <i>kuetzingianum</i> Näg.	–	*	*	–	<u>0,21</u> 6	–	*
<i>Oscillatoria tenuis</i> Ag.	–	–	–	–	–	<u>0,62</u> 6	–
<i>Euglena oblonga</i> Schmitz	–	–	–	–	<u>0,31</u> 8	–	–
<i>E. sanguinea</i> Ehr.	–	–	–	–	<u>0,46</u> 12	–	–
<i>Euglena velata</i> Klebs	–	–	–	<u>0,40</u> 7	<u>0,45</u> 12	–	–
<i>E. viridis</i> Ehr.	–	–	–	<u>0,25</u> 5	–	–	–
<i>Phacus longicauda</i> (Her.) Duj	<u>1,73</u> 10	<u>0,52</u> 16	*	<u>2,77</u> 50	*	–	–
<i>Trachelomonas intermedia</i> Dang.	<u>0,94</u> 6	–	–	<u>0,50</u> 9	–	–	<u>1,05</u> 7
<i>Glenodinium pulvisculus</i> (Ehr.) Stein.	–	–	–	–	<u>0,20</u> 6	–	–
<i>Peridinium cinctum</i> (O.Müll.) Ehr.	<u>1,29</u> 8	<u>1,94</u> 60	<u>12</u> 75	*	0,78 21	–	–
<i>Cyclotella kuetzingiana</i> Thw.	–	–	–	–	–	*	<u>0,88</u> 6
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grun. in Cl. et Grun.	–	–	–	–	–	<u>0,54</u> 5	*
<i>Acutodesmus pectinatus</i> (Meyen) Tsar. in Petlev. et al.	–	–	–	–	–	–	<u>1,21</u> 8
<i>Desmodesmus communis</i> (Hegew.) Hegew.	–	–	–	–	–	<u>0,97</u> 10	<u>1,39</u> 9

Примітка. Над рискою – біомаса (B , мг/дм³), під рискою – % загальної біомаси; «–» – вид на станції не зустрічався, «*» – вид зустрічався, але до складу домінуючого комплексу не входив.

Аналогічні закономірності формування домінуючого комплексу фітопланктону встановлено для ставків м. Монреаль (Levesque et al., 2020), де також домінували представники відділів *Miozoa*, *Euglenozoa*, *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*. Автори підкреслюють, що ці водорості належать до різних функціональних груп і використовують різні адаптивні стратегії для ефективною колонізації біотопів і підтримання функціонування угруповань у високомінливому середовищі водним міських агломерацій.

Первинна продукція і запаси фітопланктону. Оцінка інтенсивності продукції й формування фітомаси ставків проводилася за наступним алгоритмом дій: на основі середніх для водойми біомас фітопланктону (B , мг/дм³), розрахованої потужності фотосинтезу водної товщі водойми (V , м³) і характеристик питомої первинної продукції фітопланктону (P/B -коефіцієнт \times доба⁻¹) (Shcherbak, 1999, 2000).

За отриманими даними (табл. 5), фітопланктон ставків смт Гостомель характеризується високою інтенсивністю первинної продукції зі значними добовими показниками фітомаси – 6,20–227,22 кг сирої маси \times доба⁻¹, що є характерним для дуже високопродуктивних гіпертрофних водних екосистем. Про це свідчать також наведені для кожного водного об'єкта запаси сирої біомаси фітопланктону ($t \times$ вегет. сезон⁻¹).

Таблиця 5. Інтенсивність первинної продукції, запаси сирої біомаси фітопланктону за вегетаційний сезон та трофічність ставків смт Гостомель

Показник	Ставок			
	I	II	III	IV
Середня біомаса (B , мг)	16,53	9,58	4,63	12,65
Середня глибина фотосинтетичного горизонту (h , м)	1,65	1,61	2,0	1,41
Фотосинтетична потужність водойми (V , м ³)	23100,0	88389,0	113600,0	80652,0
Інтенсивність первинної продукції (B , кг сирої біомаси \times добу ⁻¹)	46,20	176,77	227,22	163,30
Запаси сирої біомаси (B , т \times вегет. сезон ⁻¹)	8,31	31,81	40,89	29,34
Трофічність ставків	гіпертрофна			

Отже, фітопланктон досліджених ставків характеризувався високою первинною продукцією, яка визначала їхній гіпертрофний статус, формувала високі запаси сирій біомаси, що повною мірою забезпечувала функціонування гідробіонтів вищих трофічних рівнів. Очевидно, що певна кількість невикористаної біомаси фітопланктону при його відмиранні та лізисі клітин виділяється у водну товщу у вигляді органічного детриту.

Детрит. За біологічним походженням детрит – це сукупність завислих у воді часток, які можуть споживатися тваринами-детритофагами (Shcherbak, Zhdanova, 1988) і седиментувати в донні відклади (Bass, Shcherbak, 1988). Біомаса фітопланктону, яка не споживається наявними у водоймі детритофагами (зоопланктон, зообентос, риби), трансформується в декілька етапів в інші форми біологічної матерії (рис. 1).

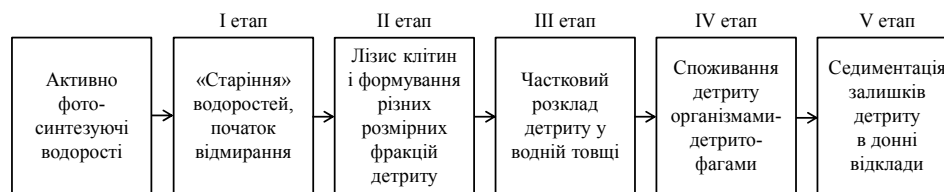


Рис. 1. Схема утворення та трансформації органічного детриту

Запропонована схема п'яти етапів утворення й трансформації детриту у водних екосистемах є дещо умовною, але разом з тим демонструє важливість цього компонента при оцінці трофічної ролі фітопланктону, процесів колообігу речовин, самоочищення-самозабруднення, якості водного середовища. Очевидно, що піднята у статті проблема органічного детриту потребує подальших більш детальних комплексних досліджень.

Проблема утворення й трансформації органічного детриту у водній екосистемі залежить також від структури біомаси фітопланктону. Його мінімальна кількість утворюватиметься при домінуванні *Bacillariophyta*, кремнеземні стулки яких седиментуватимуть у донні відклади, а максимальна – при масовому розвитку *Cyanobacteria*, *Chlorophyta*, *Charophyta*, *Miozoa* та *Euglenozoa*.

Розмірні класи детриту були отримані за методикою, описаною раніше (Shcherbak et al., 2016), за якою виділено чотири класи. Відповідно проведено ранжування розмірів від мінімальних часток до максимальних. Встановлені мінімальні розміри (2,0–3,0 мкм) обумовлені роздільною здатністю мікроскопа МББ-1А з імерсійним об'єктивом 90×.

Проведений підрахунок часток кожного класу показав, що їхня найбільша чисельність (від 25–28 до 55–111 тис. часток/дм³) притаманна

першому розмірному класу. Мікрофотографії часток органічного детриту різних розмірних класів наведені на рис. 2.

Згідно з цією закономірністю, частки з мінімальними розмірами є найбільш масовими для водної товщі всіх ставків, особливо ставків I і IV. Відповідно, в структурній організації (% співвідношення) детриту також домінують (до 87–92%) представники цього класу.

Розмірні класи часток детриту, їхню чисельність та структурну організацію в ставках смт Гостомель у травні 2021 р. наведено в табл. 6.

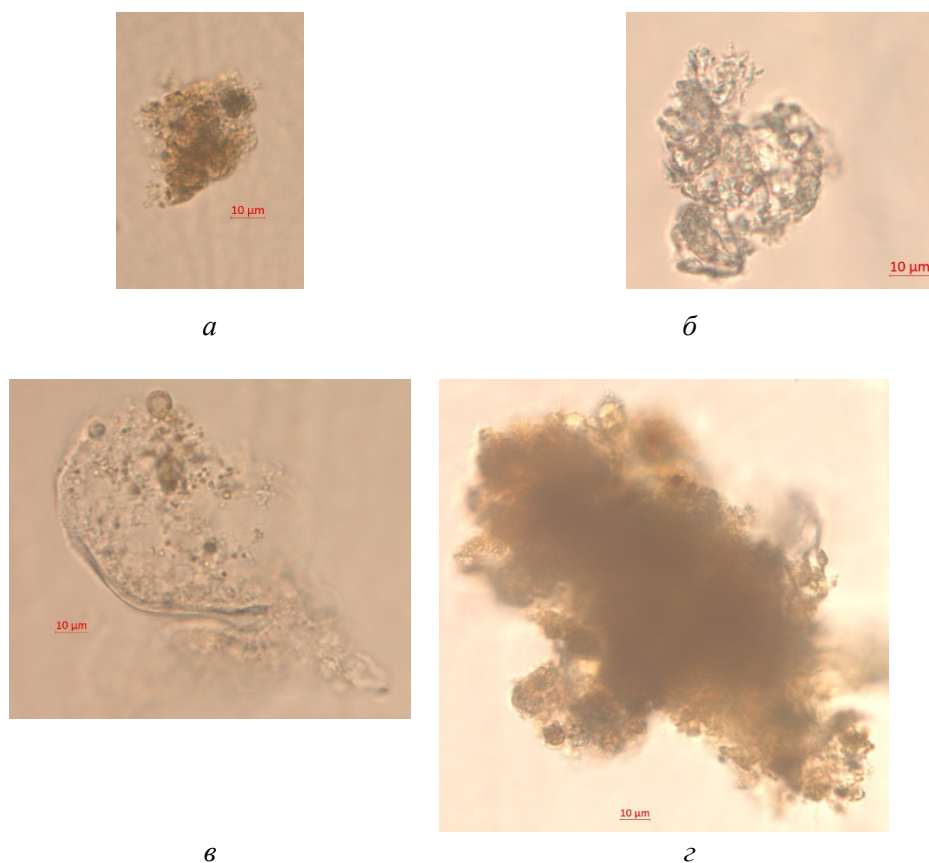


Рис. 2. Мікрофотографії різних розмірних часток органічного детриту: *a* – розмірна фракція I (< 30 мкм); *б* – II (31–70 мкм); *в* – III (71–100 мкм); *г* – IV (> 101 мкм)

З метою визначення ролі детриту у формуванні органічних речовин у ставках було проведено розрахунок маси часток ($\text{мг}/\text{дм}^3$) кожного з чотирьох класів. Встановлено, що їхня біомаса коливається в межах чотирьох порядків – від 0,07–0,20 до 57,60–62,80 $\text{мкг}/\text{дм}^3$.¹

¹ Було прийнято, що 1 мкм^3 об'єму частки органічного детриту має біомасу 1×10^{-6} мкг.

Таблиця 6. Розмірні класи часток детриту, їхня чисельність та структурна організація в ставках смт Гостомель

Розмірний клас часток детриту	Ставок						
	I	II		III		IV	
	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 4	ст. 5	ст. 6	ст. 7
I (< 30 мкм)	<u>55</u>	<u>25</u>	<u>50</u>	<u>28</u>	<u>37</u>	<u>25</u>	<u>111</u>
	75	92	51	76	77	71	87
II (31–70 мкм)	<u>14</u>	*	<u>26</u>	<u>7</u>	<u>10</u>	<u>3</u>	<u>1</u>
	19		27	19	21	9	1
III (71–100 мкм)	*	<u>1</u>	<u>8</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	*	*
		4	8	3	2		
IV (> 101 мкм)	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>14</u>	<u>1</u>	*	<u>7</u>	<u>15</u>
	5	4	14	3		20	12

П р и м і т к а . Над ризкою – кількість часток детриту даного розмірного класу в одиниці об'єму води (N , тис. часток/дм³), під ризкою – % загальної кількості часток; * – частка класу менше 1%.

Аналіз структурної організації показав, що найбільшою відносною біомасою (84–88%) характеризується детрит IV класу, представлений частками максимальних розмірів.

Виконане ранжування за класами за біомасою органічного детриту досліджених водних об'єктів можна представити таким чином:

$$\text{Ставок IV (мг/дм}^3\text{)} > \text{Ставок III (мг/дм}^3\text{)} > \text{Ставок II (мг/дм}^3\text{)} > \text{Ставок I (мг/дм}^3\text{)}$$

Отже, найбільшою біомасою органічного детриту характеризуються найкрупніші частки (IV розмірний клас) із середнім значенням біомаси 44,88 мг/дм³. Друге місце з середньою біомасою 36,45 мг/дм³ посідає ставок II, а найменша біомаса (6,69 мг/дм³) характерна для ставка III (табл. 7).

Отже, плаваючі поверхневі водоростеві плівки – дерновини-подушки (див. Повідомлення Г*), а також органічний детрит, який утворюється при розкладі водоростевих клітин, є біологічними компонентами, що мають важливе значення в колообігу речовин, потоках енергії, трофності, природній кормовій базі, формуванні якості води та екологічного стану ставків.

*Див. журнал «Альгологія». 2023. 33(1): 22–48. <https://doi.org/10.15407/alg33.01.022>

Таблиця 7. Біомаса органічних часток детриту та структурна організація за їхніми розмірними класами в ставках смт Гостомель

Розмірний клас часток детриту	Ставок						
	I	II		III		IV	
	ст. 1	ст. 2	ст. 3	ст. 4	ст. 5	ст. 6	ст. 7
I (< 30 мкм)	<u>0.42</u> 4	<u>0.07</u> 2	<u>0.48</u> 1	<u>0.33</u> 6	<u>0.48</u> 25	<u>0.26</u> 0	<u>1.38</u> 5
II (31–70 мкм)	<u>1.38</u> 12	*	<u>5.24</u> 7	<u>1.13</u> 20	<u>1.14</u> 59	<u>0.71</u> 1	<u>1.68</u> 6
III (71–100 мкм)	*	<u>1.04</u> 36	<u>6.78</u> 10	<u>3.26</u> 57	<u>0.32</u> 16	*	*
IV (> 101 мкм)	<u>9.73</u> 84	<u>1.8</u> 62	<u>57.60</u> 82	<u>1.00</u> 17	<u>0.20*</u> *	<u>62.80</u> 98	<u>23.35</u> 88

Примітка. Над рискою – біомаса часток детриту даного розмірного класу в одиниці об'єму води (B , мг/дм³), під рискою – відсоток загальної кількості часток детриту; * – частка розмірного класу менше 1%.

Якість водного середовища. Сапробіологічні характеристики фітопланктону є високоінформативними показниками якості водного середовища. Для отримання об'єктивних даних з оцінки водного середовища ставків смт Гостомель було використано два методичних підходи:

- сапробіологічна характеристика якості води за співвідношенням водоростей планктону, які є видами-індикаторами сапробності;
- індекси сапробності Пантле-Букк у модифікації Сладечека.

Репрезентативність даних методичних підходів обумовлена тим, що зі 136 ввт індикаторами усіх зон сапробності (Барінова и др., 2019) є 94 ввт, а це 69%. Відповідно, їхній розподіл був наступним:

- χ -о-сапроби, що відповідає класам «дуже чисті» – «чисті води» – 52 ввт (55%);
- β -мезосапроби, клас «помірно забруднені води» – 39 ввт (41%);
- α -р-сапроби, «брудні» – «дуже брудні води» – 3 ввт (3%).

Аналіз розподілу видів-індикаторів різних зон сапробності в досліджених ставках наведено в табл. 8, а.

Таблиця 8. Оцінка якості водного середовища ставків смт Гостомель за співвідношенням видів-індикаторів (а) та індексами сапробності Пантле-Букка в модифікації Сладечека (б)

Види-індикатори зон сапробності	Ставок			
	I	II	III	IV
<i>a</i>				
χ -о-сапроби	$\frac{26}{53}$	$\frac{19}{41}$	$\frac{19}{43}$	$\frac{30}{51}$
β -мезосапроби	$\frac{21}{43}$	$\frac{25}{54}$	$\frac{23}{52}$	$\frac{27}{46}$
α -р-сапроби	$\frac{2}{4}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{2}{5}$	$\frac{2}{3}$
Σ	$\frac{49}{100}$	$\frac{46}{100}$	$\frac{44}{100}$	$\frac{59}{100}$
<i>b</i>				
S_N	2,02	2,40	2,48	2,20
S_B	2,09	2,52	2,51	2,24

П р и м і т к а . Над ризикою – кількість видів-індикаторів, під ризикою – % загальної кількості видів-індикаторів; S_N – індекс сапробності, розрахований за видами-індикаторами та їхньою чисельністю; S_B – індекс сапробності, розрахований за видами-індикаторами та їхньою біомасою.

Отже, за співвідношенням видів-індикаторів сапробності у ставках домінують представники χ -о-сапробних і β -мезосапробних вод, що свідчить про досить хорошу якість водного середовища ставків, незважаючи на певний антропогенний тиск.

Більш диференційовану оцінку якості води проведено за індексами сапробності Пантле-Букка у модифікації Сладечека, розрахованими з використанням чисельності (S_N) чи біомаси (S_B) видів-індикаторів (див. табл. 8, б). Це дозволяє характеризувати якість води в межах «чисті» – «помірно забруднені води», що відповідає 2 та 3 класам, з певним погіршенням у ставках II і III, що, безумовно, пов'язано з розміщенням цих водойм у центрі міської агломерації та дещо більшим антропогенним тиском.

Про відносно хорошу якість водного середовища ставків смт Гостомель свідчить той факт, що в Україні більшість водойм міських агломерацій характеризуються в межах «помірно забруднені» – «брудні води» (Shcherbak, Semeniuk, 2009; Kravtsova, Shcherbak, 2020). В той же час нижчу якість води, на відміну від ставків смт Гостомель, зареєстровано у

деяких ставках міст Торонто (Olding et al., 2000), Буенос-Айрес (Casa et al., 2000), Живець (Польща) (Jachniak, Mlyniuk, 2019), Брюсель (Peretyatko et al., 2010).

Таким чином, проведена комплексна оцінка якості водного середовища ставків міської агломерації Гостомеля показала, що незважаючи на певний антропогенний тиск, вони не є забрудненими водоймами. Це екологічно чиста зона відпочинку і окраса міста.

Висновки

Чисельність фітопланктону по станціях спостережень коливалась у межах 2648,0–113675,0 тис. кл/дм³, а його основу до 87–90% формували дрібноклітинні *Cyanobacteria*. Він характеризувався як синьозелений комплекс із певною часткою зелених і діатомових.

Величини біомаси у ставках, що змінювалися від 3,72 до 16,53 г/м³, і величини чисельності є характерними для високопродуктивних евтрофних водойм. У структурній організації біомаси домінували крупноклітинні форми, що характеризувалися як еуглено-міозодіатомовий комплекс із певною часткою синьозелених і зелених водоростей. Така складна структура біомаси обумовлена комплексним впливом абіотичних, біотичних і, до деякої міри, антропогенних чинників.

Домінуючі комплекси ставків за чисельністю характеризувалися монодомінуванням (по 75% видового складу) *Cyanobacteria*, а за біомасою – полідомінуванням крупноклітинних форм *Euglenozoa*, *Miozoa*, *Bacillariophyta* з певною часткою *Cyanobacteria* і *Chlorophyta*. Вважаємо, що знаходження двох відмінних за структурою домінуючих комплексів є важливим адаптаційним механізмом вегетації фітопланктону ставків міської агломерації.

Високі показники чисельності й біомаси формувалися автохтонними внутрішньоводоймовими процесами – високою інтенсивністю первинної продукції. Відповідно й запаси сирової біомаси, особливо у ставках II–IV, становили 29,34–40,89 т × вегет. сезон⁻¹. Високі продукційні показники фітопланктону як головного компонента автотрофної ланки повною мірою забезпечують енергетичні й трофічні потреби гідробіонтів вищих трофічних рівнів, а неспожита біомаса при розкладі водоростевих клітин переходить у водну товщу у вигляді органічного детриту.

Частки органічного детриту можна ранжувати на чотири класи: від мінімальних <30 мкм до максимальних >101 мкм, біомаса останніх може сягати 57,60–62,80 мг/дм³, що вказує на важливість цього біологічного компонента у формуванні потоків енергії, колообігу речовин та трофічних взаємозв'язках.

Оцінка якості водного середовища за сапробіологічними характеристиками фітопланктону показала, що в ставках переважають χ -о-сапроби та β -мезосапроби. Це характеризує воду в них у межах «дуже чисті» – «чисті води» та «помірно забруднені води».

Отже, на відміну від більшості ставків міських агломерацій як в Україні, так і в країнах дальнього зарубіжжя, ставкова мережа смт Гостомель є цілком безпечною і придатною зоною відпочинку.

Список літератури

- Bass Ya.I., Shcherbak V.I. 1988. Influx of organic matter and biogenic elements of phytoplankton into bottom sediments. In: *Proceedings of the 1st Baikal International conferece (Irkutsk, 2–7 Oct., 1988)*. Irkutsk. Pp. 59–60. [Басс Я.И., Щербак В.И. 1988. Поступление органического вещества и биогенных элементов фитопланктона в донные отложения. В кн.: *Тезисы докладов I Байкальской международной конференции (Иркутск, 2–7 окт. 1988 г.)*. Иркутск. С. 59–60].
- Bolpagni R., Poikane S., Laini A., Bagella S., Bartoli M., Cantonati M. 2019. Ecological and conservation value of small standing-water ecosystems: a systematic review of current knowledge and future challenges. *Water*. 11(3): 402. <https://doi.org/10.3390/w11030402>
- Burchardt L., Messyasz B., Stępiak A. 2006. Diversity of phytoplankton community in Borusa and Grundella ponds. *Teka Komisji Ochrony Kształtowania Środowiska Przyrodniczego*. 3: 35–40.
- Casa V., Brancolini F., Mielnicki D., Mataloni G. 2020. Fish-killing diatom bloom in an urban recreational pond: and index case for a global warming scenario? *Oecol. Austral.* 24(4): 878–889. <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2404.11>
- Downing J.A. 2010. Emerging global role of small lakes and ponds: little things mean a lot. *Limnetica*. 29(1): 9–24.
- Dunker S. 2020. Imaging flow cytometry for phylogenetic and morphologically based functional group clustering of a natural phytoplankton community over 1 year in an urban pond. *Cytometry. Pt A*. 97A: 727–736. <https://doi.org/10.1002/cyto.a.24044>
- Jachniak E., Mlyniuk A. 2019. The variability of the planktonic algae biomass and their species structure in the ponds of the park and palace complex in Żywiec. *J. Ecol. Eng.* 20(7): 53–60. <https://doi.org/10.12911/22998993/109868>
- Kravtsova O.V., Shcherbak V.I. 2020. Methodology of assessing the degree of the influence of anthropogenic factors on phytoplankton of urban water bodies. *Hydrobiol. J.* 56(5): 3–14. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v56.i5.10>
- Lévesque D., Pinel-Alloul B., Giani A., Kufner D.C.L., Mimouni E.-A. 2020. Are fluorometric, taxonomic and functional indicators of phytoplankton community structure linked to environmental typology of urban ponds and lakes? *Inland Wat.* 10(1): 71–88. <https://doi.org/10.1080/20442041.2019.1678970>

- Minelgate G., Frost P.C., Xenopoulos M.A., Stephansen D.A., Fejerskov M.L., Vollertsen J. 2020. Planktonic algae abundance and diversity are similar in urban stormwater ponds of different geographic locations and natural shallow lakes. *Urban Ecosyst.* 23: 841–850. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-00967-7>
- Olding D.D., Hellebust J.A., Douglas M.S.V. 2000. Phytoplankton community composition in relation to water quality and water-body morphometry in urban lakes, reservoirs, and ponds. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 57(10): 2163–2174. <https://doi.org/10.1139/cjfas-57-10-2163>
- Peretyatko A., Teissier S., De Backer S., Triest L. 2010. Assessment of the risk of cyanobacterial bloom occurrence in urban ponds: probabilistic approach. *Int. J. Limn.* 46(2): 121–133. <https://doi.org/10.1051/limn/2010009>
- Shcherbak V.I. 1999. Primary Production of Algae in the Dnieper and Dnieper Reservoirs. *Hydrobiol. J.* 35(1): 1–13. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v35.i1.10>
- Shcherbak V.I. 2000. Photosynthetic Activity of Dominant Species of the Dnieper River Phytoplankton. *Hydrobiol. J.* 36(2): 71–84. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v36.i2.60>
- Shcherbak V.I. 2006. Phytoplankton. In: *Methods of hydroecological studies of surface waters*. Kyiv: Logos. Pp. 12–44. [Щербак В.І. Фітопланктон. 2006. В кн.: *Методи гідроecологічних досліджень поверхневих вод*. Київ: Логос. С. 12–44].
- Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye. 2023. Structural and functional characteristics of phytoplankton, filamentous algal mats, detritus and water quality under main abiotic factors in urban ponds (case study of urban settlement Hostomel, Bucha district, Kyiv region, Ukraine). Rep. I. Species and taxonomic composition, ecological diversity of phytoplankton and filamentous algal mats characteristics under main abiotic factors. *Algologia.* 33(1): 22–47. [Щербак В.І., Семенюк Н.Є. 2023. Структурно-функціональна характеристика фітопланктону, дерновин-подушок, детриту та якості води за дії основних абіотичних чинників ставків міської агломерації (смт Гостомель, Бучанський р-н Київської обл., Україна). Повідомлення I. Видове, таксономічне, екологічне різноманіття фітопланктону й характеристика дерновин-подушок за основних абіотичних складових ставків. *Альгологія.* 33(1): 22–47]. <https://doi.org/10.15407/alg33.01.022>
- Shcherbak V.I., Zhdanova G.A. 1988. Use of P/B coefficient of algae as a measure of the effect of zooplankton on primary production of phytoplankton. *Hydrobiol. J.* 24(5): 78–79.
- Shcherbak V.I., Semenuyk N.Ye. 2009. Use of phytoplankton for the assessment of the ecological state of water bodies of the megalopolis according to the EU Water Framework Directive – WFD (2000/60/EC). *Hydrobiol. J.* 45(2): 24–34. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v45.i2.30>
- Waajen G.W.A.M., Faasen E.J., Lüring M. 2014. Eutrophic urban ponds suffer from cyanobacterial blooms: Dutch examples. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21: 9983–9994. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-2948-y>

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

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

Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
12 Prosp. Heroyiv Stalingrada, Kyiv 04210, Ukraine

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON, ALGAL MATS, DETRITUS AND WATER QUALITY UNDER MAIN ABIOTIC FACTORS IN URBAN PONDS (CASE STUDY OF URBAN SETTLEMENT HOSTOMEL, BUCHA DISTRICT, KYIV REGION, UKRAINE). REPORT II. QUANTITATIVE INDICATORS, DOMINANT COMPLEXES OF PHYTOPLANKTON, DETRITUS AND WATER QUALITY OF URBAN PONDS

The paper deals with phytoplankton quantitative indicators and dominant complex structure, and dimensional and morphological characteristics of detritus particles in the ponds of Hostomel urban settlement. Water quality has been assessed according to phytoplankton characteristics. The phytoplankton abundance made up 2648.0–113675.0 thousand cells \times dm⁻³, and it was mainly formed by *Cyanobacteria*. The biomass varied within 3.72–16.53 g \times m⁻³, which is indicative of eutrophic waters. The biomass was dominated by *Euglenozoa*, *Miozoa* and *Bacillariophyta*. The dominant complex according to phytoplankton abundance included small-celled *Cyanobacteria*, according to biomass – large-celled *Euglenozoa*, *Miozoa* and *Bacillariophyta* with a certain share of *Cyanobacteria*. Different structures of dominant complexes according to abundance and biomass is an important adaptation mechanism of urban ponds phytoplankton. Phytoplankton's high primary productivity completely fulfils energetic and trophic demands of aquatic organisms at higher trophic levels, and the unconsumed algal biomass is decomposed and transferred to the water column in the form of organic detritus. The organic detritus particles can be ranged into four classes – from minimal < 30 mcm to maximal > 101 mcm, whose biomass can reach 57.60–62.80 mg \times dm⁻³. It indicates that this biological component is very important in forming energy flow, matter circulation and trophic relations. Water quality assessment according to phytoplankton saprobiological characteristics has shown that χ -o-saprobic and β -mesosaprobic organisms prevailed in the ponds under study. So, the water bodies can be classified within the range “very clean”–“clean” and “moderately polluted” waters. Unlike most urban ponds, the pond network of Hostomel can be considered a quite safe recreation zone from the ecological point of view and is an attractive green space within the urban landscape.

Key words: phytoplankton, abundance, biomass, dominant complex, primary production, detritus, water quality

Citation. Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye 2023. Structural and functional characteristics of phytoplankton, algal mats, detritus and water quality under main abiotic factors in urban ponds (case study of urban settlement Hostomel, Bucha District, Kyiv Region, Ukraine). Report II. Quantitative indicators, dominant complexes of phytoplankton, detritus and water quality of urban ponds. *Algologia*. 33(2): 65–82. <https://doi.org/10.15407/alg33.02.065>