

УДК: 582.26/27 (282.247.322)

**Ю.С. ШЕЛЮК**, д. б. н., проф.,  
Житомирський державний університет ім. Іван Франка,  
вул. В. Бердичівська, 40, Житомир, 10002, Україна  
e-mail: Shelyuk\_Yulya@ukr.net  
ORCID 0000-0001-6429-1028

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОДУКЦІЙНО-ДЕСТРУКЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ОЗЕР БАСЕЙНУ Р. ПРИП'ЯТІ

---

*Досліджено інтенсивність первинної продукції та деструкції органічної речовини озер різного типологічного статусу басейну р. Прип'яті, особливості їхньої сезонної динаміки; з'ясовано сукцесійний стан озерних екосистем за співвідношенням продукційно-деструкційних процесів; встановлено вплив на інтенсивність фотосинтезу і дихання фітопланктону чинників середовища; зроблено оцінку трофічного статусу озер за інтенсивністю фотосинтезу.*

**Ключові слова:** *первинна продукція, фітопланктон, деструкція органічної речовини, озера, сукцесія, баланс органічної речовини.*

Одним із основних принципів, які використовуються для розкриття закономірностей розвитку автотрофної компоненти водних екосистем, є енергетичний. Він передбачає вивчення особливостей первинної продукції і дихання в сукупності з факторами середовища.

В озерних екосистемах основний фонд органічної речовини формується за рахунок фотосинтезу фітопланктону. Саме тому фітопланктон є основним біотичним чинником, який формує структурно-функціональні особливості гідробіоти на різних рівнях її організації. Його характеристики дозволяють оцінити продукційний потенціал і трофічний статус водойм, забезпеченість кормовими ресурсами консументів першого порядку, визначити потоки енергії у водних екосистемах, їхній сукцесійний стан та якість вод [22].

Визначенню первинної продукції фітопланктону озер присвячено низку робіт [2, 3, 5, 22, 28, 29, 31, 36]. При цьому поліські озера, незважаючи на їхню унікальність, досі залишаються поза увагою фахівців. Актуальність досліджень продукційно-деструкційних процесів у типологічно різних озерах басейну Прип'яті обумовлена не лише їхньою малою вивченістю, але й необхідністю оцінки потоків енергії, які створюють основу функціонування і розвитку лентичних екосистем.

---

Ц и т у в а н н я: Шелюк Ю.С. Особливості продукційно-деструкційних процесів озер басейну р. Прип'яті. *Гідробіол. журн.* 2022. Т. 58. № 3. С. 33—46.

Мета роботи — встановити основні закономірності продукційно-деструкційних процесів в озерах басейну р. Прип'яті.

### Матеріал і методика досліджень

В основу роботи покладено узагальнення даних, отриманих упродовж 2013—2020 рр. на озерах, які знаходяться в басейні р. Прип'яті: карстових — Луківському (51°36'28,8" N 26°01'10,6" E) і Воронківському (51°32'56,1" N 26°03'41,4" E) і заболоченому озері Горохівка (51°20'41,5" N 28°51'14,9" E).

Озеро Воронки (Воронківське) розташовано в північно-західній частині Рівненської обл. у лісовій місцевості. Заповідне болотне урочище місцевого значення в Україні. Об'єкт природно-заповідного фонду Рівненської обл. Довжина водойми сягає 600 м, площа — 21 га. Берег Воронківського озера оточений хитким плавом різної ширини, лише в одному місці є невелика ділянка піщаного пляжу. Навколо озера — смуга болота, де зростають *Carex rostrata* Stokes, *C. fuscocuprea* (Kük.) V. I. Krecz., *Calla palustris* L., *Drosera intermedia* Hayne, *Scheuchzeria palustris* L. Також у прибережній смугі виявлено рідкісний західноєвропейський вид *Juncus bulbosus* L. За плавом — старий сосновий бір, зелено-моховий, на понижених ділянках — заболочений, де зустрічаються два види чагарникових верб: *Salix rosmarinifolia* L. та *S. myrsinifolia* Salisb. Озеро Луко (Луківське) знаходиться в північно-західній частині Рівненської обл. Майже кругле — з південного заходу на північний схід має довжину 1 км, а з північного заходу на південний схід — близько 800 м. Глибина озера здебільшого не перевищує 2,5 м. Західний берег Луківського озера — це заболочений непрохідний ліс, а на східному березі переважає заплавний очерет. Дно водойми сформоване шаром м'якого торфу, величина якого під берегом сягає 0,5 м. Озеро Горохівка знаходиться на відстані 1 км на північний захід від с. Гладковичі Овруцького р-ну Житомирської обл. Середня глибина озера 1,3 м. Водойма оточена мішаним лісом із домінуванням *Betula pendula* Roth, *Pinus sylvestris* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.) [1, 8].

Експериментально встановлені гідрофізичні і гідрохімічні параметри вод озерних екосистем наведено в таблицях 1, 2.

Первинну продукцію планктону та деструкцію органічної речовини визначали кисневою модифікацією склянкового методу у добовій експозиції на горизонтах 0,10, 0,25, 0,5 і 1,0 м згідно загальноприйнятих методик, описаних раніше [32]. Розрахунок інтегральної продукції  $\Sigma A$  під 1 м<sup>2</sup> здійснювали множенням інтенсивності фотосинтезу на глибині максимуму  $A_{\max}$  і прозорості води, інтегральну деструкцію  $\Sigma R$  — множенням  $R$  та середніх значень глибини озер [17].

Для перерахунку кисневих одиниць на енергетичні використовували коефіцієнт 3,51 мг O<sub>2</sub>/кал. [4]. Оцінку сукцесійного стану водних екосистем здійснювали за індексом зрілості  $\theta$ , запропонованим В.Є. Виноградовим та Є.О. Шушкіною [7], в інтерпретації Н.М. Мінеєвої [17]:  $\theta = \lg \Sigma R / \Sigma A$ .

Таблиця 1

## Гідрофізичні та гідрохімічні характеристики вод поліських озер

| Озера        | Гідрофізичні та гідрохімічні показники |               |           |  |   |                                     |                             |                                     |                                    |  |
|--------------|--|---------------|-----------|--|---|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|
|              | кількість, °                           | прозорість, м | pH        | вміст розчиненого у воді кисню, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | перманганатна окиснюваність, мг O <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup> | хлориди, мг/дм <sup>3</sup> | фосфор фосфатів, мг/дм <sup>3</sup> | азот загальний, мг/дм <sup>3</sup> |  |
| Луківське    | 28±1,22                                | 1,05±0,10     | 7,38±0,18 | 9,83±0,30  | 6,70±0,30   | 0,40±1,01                           | 53,6±1,01                   | 0,02±0,001                          | 1,634±0,11                         |  |
| Воронківське | 40±2,41                                | 1,10±0,09     | 7,56±0,14 | 8,82±0,49  | 8,32±0,49   | 0,10±0,85                           | 26,5±0,85                   | 0,01±0,002                          | 1,940±0,21                         |  |
| Горохівка    | 56±3,03                                | 0,55±0,06     | 6,85±0,11 | 6,80±0,51  | 9,30±0,51   | 0,31±1,06                           | 59,6±1,06                   | 0,02±0,001                          | 4,421±0,18                         |  |

Таблиця 2

## Вміст специфічних речовин токсичної дії у поліських озерах

| Озера        | Важкі метали             |                          |                             |                               |                             |
|--------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|              | мідь, мг/дм <sup>3</sup> | цинк, мг/дм <sup>3</sup> | свинець, мг/дм <sup>3</sup> | марганець, мг/дм <sup>3</sup> | кадмій, мг/дм <sup>3</sup>  |
| Луківське    | 0,001–0,003<br>0,002     | 0,013–0,026<br>0,023     | 0,001–0,001<br>0,001        | 0,020–0,025<br>0,023          | < 0,0001–0,0001<br>< 0,0001 |
| Воронківське | 0,001–0,001<br>0,001     | 0,003–0,012<br>0,007     | 0,20–0,68<br>< 0,001        | 0,009–0,018<br>0,012          | < 0,0001–0,0001<br>< 0,0001 |
| Горохівка    | 0,003–0,010<br>0,005     | 0,025–0,070<br>0,065     | 0,001–0,003<br>0,002        | 0,005–0,048<br>0,035          | 0,000–0,001<br>< 0,001      |

Примітка. Над рискою наведено межі коливань, під рискою — середні значення за період досліджень.

Розрахунок інтенсивності сонячної радіації ( $Q$ ) проводили згідно [24] із використанням даних таблиць ТМ-12 актинометричних спостережень на станціях Бориспіль і Ковель за 2013—2018 рр., отриманих в архіві Центральної геофізичної обсерваторії [20, 21].

Оцінку трофічного статусу вод проводили згідно [16].

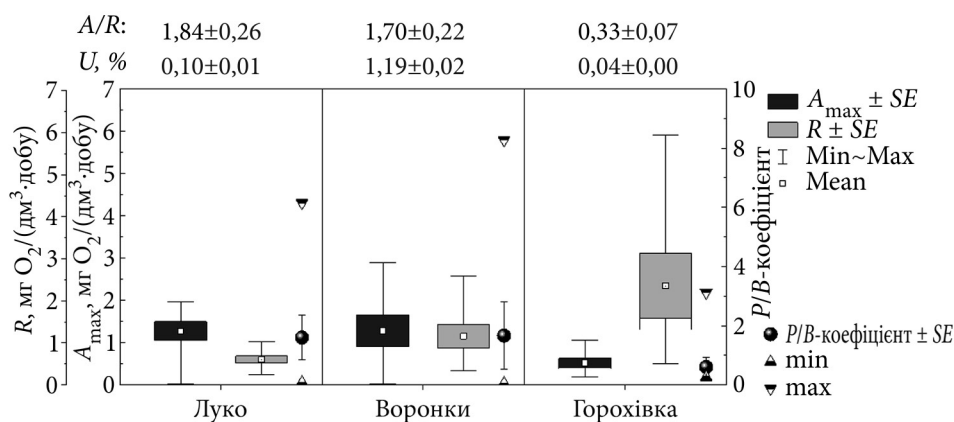
Паралельно з відбором альгологічних проб сезонно проводили гідрохімічні та гідрофізичні аналізи: вимірювали температуру води ртутним термометром ТБ-3-М1; прозорість — за диском Секкі; кольоровість — за допомогою біхроматно-кобальтової шкали; рН — рН-метром 150М; вміст розчиненого у воді кисню — методом Вінклера [15]; окиснюваність перманганатну — методом Кубеля [15], вміст нітратного азоту — за ГОСТ 18826-73 [9]; вміст амонійного і нітритного азоту — за ГОСТ 4192-82 [10] із подальшим перерахунком у загальний азот; фосфору фосфатів — за ДСТУ ISO 6878-2003 спектрометричним методом [13]; вмісту хлоридів — за ГОСТ 4245-72 [11]. Вміст специфічних речовин токсичної дії (цинку, марганцю, міді, свинцю, кадмію) визначали методом атомно-емісійної спектрометрії за ДСТУ ISO 11885:2005 [12] у контрольно-вимірювальній лабораторії комунального підприємства «Житомирводоканал» (свідчення про реєстрацію № 64 від 21.10.2013 р.).

Статистичну обробку отриманих даних здійснювали за допомогою стандартних методів, реалізованих у пакеті статистичних програм Microsoft Excel та STATISTICA 6.0. У роботі обговорюються лише значимі кореляції ( $p < 0,05$ ). Оцінюючи силу зв'язку між змінними за допомогою коефіцієнту кореляції  $r$ , його вважали слабким за  $r < 0,3$ , помірним — за  $r = 0,3—0,7$ , сильним — за  $r > 0,7$  [14]. Для отримання узагальнюючих характеристик натурних даних розраховували середні їхні значення і виражали як середнє значення  $\pm$  стандартна похибка ( $x \pm SE$ ).

### Результати досліджень та їх обговорення

Найбагатшим у флористичному відношенні було оз. Луко — 83 види водоростей планктону (86 в. в. т.), меншу кількість видових і внутрішньовидових таксонів ідентифіковано в оз. Воронки — 66 (68). Найбіднішим був фітопланктон оз. Горохівка — 28 (28). При цьому за переважанням видових і внутрішньовидових таксонів і складом провідних родів фітопланктон Луківського озера характеризувався як діатомово-зелено-евгленовий, Воронківського — зелено-синьозелено-діатомовий, Горохівки — діатомово-зелено-евгленовий.

Кількісні параметри розвитку фітопланктону досліджуваних озер змінювались у широких межах. У карстових озерах Воронківському і Луківському середня чисельність сягала відповідно  $1,554 \pm 0,04$  і  $1,302 \pm 0,08$  млн. кл/дм<sup>3</sup>, біомаса —  $2,160 \pm 0,36$  і  $2,130 \pm 0,36$  мг/дм<sup>3</sup>. У заболоченому оз. Горохівка ці показники були нижчими —  $0,027 \pm 0,001$  млн. кл/дм<sup>3</sup> і  $0,439 \pm 0,04$  мг/дм<sup>3</sup>. За середніми значеннями біомаси фітопланктону оз. Горохівка належить до I класу якості вод, а карстові озера — до III класу.



**Рис. 1.** Показники первинної продукції фітопланктону та деструкції органічної речовини, ефективності утилізації сонячної енергії, *P/B*-, *A/R*-коефіцієнти озер басейну р. Прип'яті. Тут і на рис. 2 наведено середні значення показників та їхня стандартна похибка (*SE*)

Упродовж вегетаційних сезонів  $A_{max}$  і  $\Sigma A$  змінювались в озерах у досить широких межах: 0,01—2,89 мг  $O_2/(дм^3 \cdot добу)$  і 0,01—2,31 г  $O_2/(м^2 \cdot добу)$ , їхні середні показники сягали  $0,51 \pm 0,09$ — $1,27 \pm 0,24$  мг  $O_2/(дм^3 \cdot добу)$  і  $0,41 \pm 0,08$ — $1,02 \pm 0,19$  г  $O_2/(м^2 \cdot добу)$ . Широко варіювали й показники деструкції органічної речовини *R* та  $\Sigma R$ : 0,31—5,86 мг  $O_2/(дм^3 \cdot добу)$  і 0,30—4,25 г  $O_2/(м^2 \cdot добу)$ , їхні середні показники були в межах  $0,59 \pm 0,12$ — $2,33 \pm 0,77$  мг  $O_2/(дм^3 \cdot добу)$  і  $0,63 \pm 0,13$ — $1,89 \pm 0,37$  г  $O_2/(м^2 \cdot добу)$  (рис. 1, 2).

Нижчі середні показники первинної продукції та деструкції органічної речовини в озерах порівняно з іншими типами водних екосистем Українського Полісся: водотоками [34], водосховищами [33] і штучними водоймами, утвореними на місці затоплених кар'єрів [23], зумовлені особливостями структури фітопланктону (в озерах фіксували найменші середню кількість видів —  $58,4 \pm 2,44$ , чисельність —  $1,38 \pm 0,25$  млн. кл/дм<sup>3</sup> і біомасу —  $1,36 \pm 0,15$  мг/дм<sup>3</sup>) та гідрологічними і гідрохімічними параметрами вод, зокрема найвищою кольоровістю і, як результат, найнижчою прозорістю.

Трофічний статус озерних екосистем співпадав і за біомасою, і за валовою первинною продукцією: Луко та Воронки належать до евтрофних, Горохівка — до мезотрофних вод.

Сезонні зміни первинної продукції фітопланктону досить чітко виражені в кожній водоймі: у Воронківському і Луківському озерах вона зростала від весни до літа і різко знижувалась восени, а в оз. Горохівка максимуми інтенсивності первинної продукції припадали на весняний період, улітку спостерігалось її зниження з подальшим незначним зростанням до середини осені (рис. 3, 4).

Установлена позитивна тісна кореляція між *P/B*-коефіцієнтами та інтенсивністю фотосинтезу ( $r = 0,76$ ,  $n = 64$ ,  $p = 0,000001$ ) вказує на те, що

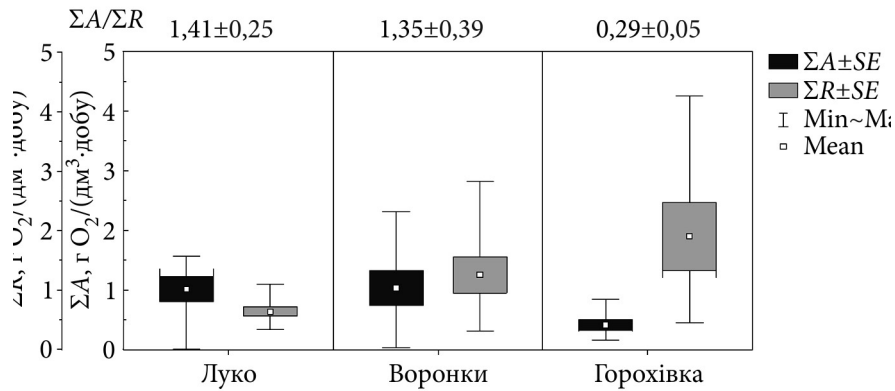


Рис. 2. Показники інтегральної первинної продукції фітопланктону та деструкції органічної речовини,  $\Sigma A/\Sigma R$ -коефіцієнти озер басейну р. Прип'яті

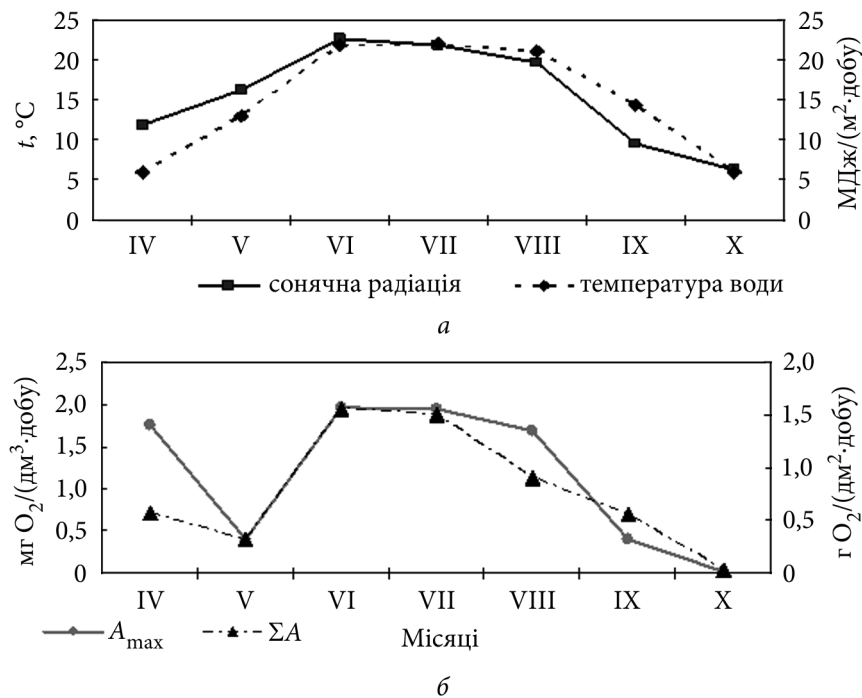


Рис. 3. Сезонна динаміка абіотичних показників (а) і первинної продукції (б) в Луківському озері

функціональна активність озерного фітопланктону зростає зі збільшенням його інтенсивності.

Сезонні зміни інтенсивності фотосинтезу досліджуваних озер визначались біомасою фітопланктону (між  $B$  і  $A_{\max}$  підтверджено тісний прямий зв'язок: в оз. Луко —  $r = 0,89$ ,  $n = 64$ ,  $p = 0,000001$ ; Воронки —  $r = 0,87$ ,  $n$

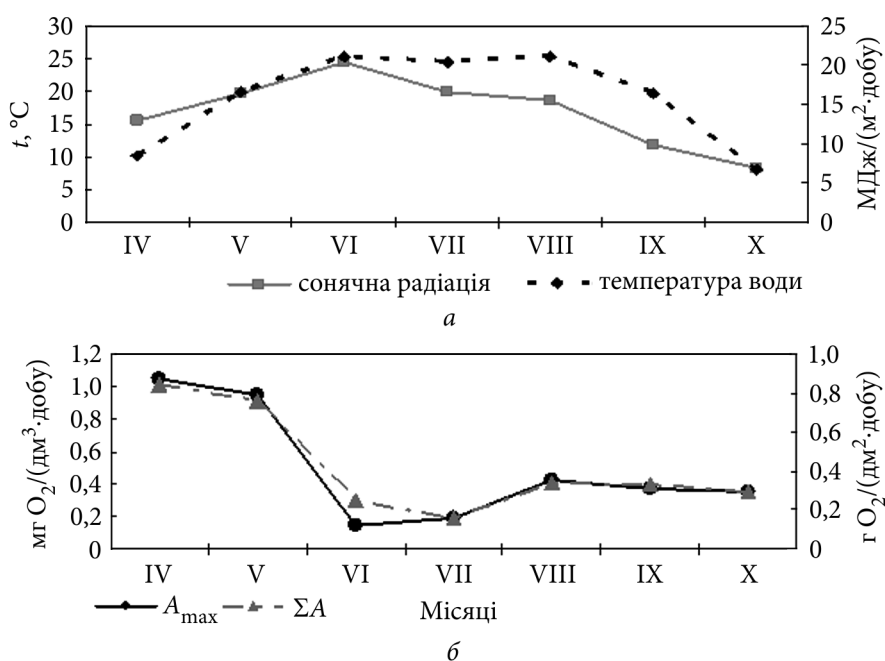


Рис. 4. Сезонна динаміка абіотичних показників (а) і первинної продукції (б) в оз. Горохівка

= 64,  $p = 0,000001$ ; Горохівка —  $r = 0,66$ ,  $n = 64$ ,  $p = 0,00005$ ) і деякими гідрохімічними й гідрокліматичними параметрами вод (табл. 3).

Кольоровість води, зумовлена наявністю гумусових речовин, пригнічує фотосинтез в озерах. Найтіснішу залежність між цими показниками виявлено в озері з найвищою кольоровістю води — Горохівці. У цій водоймі зафіксовано достовірну кореляцію між первинною продукцією і прозорістю води.

$\Sigma A$  в усіх водоймах повторювала тенденції часових змін  $A_{max}$ . Сезонні зміни інтегральної первинної продукції тісно пов'язані з інтенсивністю фотосинтезу ( $r = 84-98$ ,  $n = 64$ , при  $p < 0,05$ ). Серед абіотичних параметрів помітний вплив на  $\Sigma A$  чинять інсоляція, кольоровість і температура води, а також вміст фосфору фосфатів (див. табл. 3). Залежність від температури проявляється в евтрофних озерах Луко і Воронки. У заболоченому оз. Горохівка між первинною продукцією і температурним показником не виявлено достовірної кореляції. Слабшим є зв'язок із сонячною радіацією. Натомість виявлено пряму залежність між інтенсивністю первинної продукції і прозорістю води. Також в оз. Горохівка виявлено сильніший зв'язок між  $\Sigma A$  та вмістом фосфору фосфатів і загального азоту.

Сумарна за вегетаційний сезон первинна продукція в евтрофних карстових озерах Луко й Воронки сягала 55,9 і 64,3 г  $C/m^2$ , у мезотрофному оз. Горохівка — 26,7 г  $C/m^2$ . У сезонному циклі основний запас органічної



речовини в карстових озерах синтезується влітку, а в Горохівці — навесні (рис. 5).

Граничні значення ефективності утилізації сонячної енергії (ЕУСЕ) в процесах фотосинтезу озерним фітопланктоном були в таких межах: 0,01—0,54 % у Воронківському озері, 0,01—0,24 % — у Луківському, 0,01—0,15 % — у Горохівці, а середні значення ЕУСЕ сягали відповідно:  $0,18 \pm 0,02$ ,  $0,10 \pm 0,01$  і  $0,04 \pm 0,003$  %. Низькі значення ЕУСЕ у заболоченому оз. Горохівка порівняно з озерами карстового походження, найімовірніше, обумовлені нижчою інтенсивністю фотосинтезу та прозорістю вод.

Загалом в озерних екосистемах ЕУСЕ впродовж весни змінювалась у межах 0,01—0,26 %, влітку — 0,02—0,54 %, восени — 0,02—0,34 %, середні значення цього показника склали:  $0,13 \pm 0,01$ ,  $0,21 \pm 0,02$  і  $0,15 \pm 0,01$  %.

Особливістю досліджуваних озерних екосистем є відсутність достовірного зв'язку між первинною продукцією і деструкцією органічної речовини, у той час як у польських річках і збудованих на них водосховищах, а також штучних водоймах, утворених на місці затоплених кар'єрів з видобутку корисних копалин, раніше було встановлено тісну кореляцію між інтенсивністю продукційних і деструкційних процесів [23, 24, 33, 34]. Це свідчить про те, що в озерних екосистемах включення новоутвореної органічної речовини у біотичний кругообіг відбувається з найменшою швидкістю. Кореляційний аналіз показав, що деструкція органічної речовини в озерних екосистемах залежить від кольоровості та вмісту розчиненого у воді кисню. Також встановлено пряму кореляцію між деструкцією органічної речовини і рН, а також температурою озерної води. Проте, в

Таблиця 3

**Коефіцієнти кореляції між первинною продукцією фітопланктону і деякими чинниками середовища (за результатами досліджень 2013—2020 рр.)**

| Показники                      | Озера         |               |               |               |               |               | n  |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----|
|                                | Луківське     |               | Воронківське  |               | Горохівка     |               |    |
|                                | $A_{\max}$    | $\Sigma A$    | $A_{\max}$    | $\Sigma A$    | $A_{\max}$    | $\Sigma A$    |    |
| Температура води               | <b>0,39*</b>  | <b>0,41*</b>  | <b>0,32*</b>  | <b>0,33*</b>  | -0,12         | -0,06         | 64 |
| Сонячна радіація               | <b>0,76*</b>  | <b>0,86*</b>  | <b>0,60*</b>  | <b>0,49*</b>  | <b>0,18*</b>  | <b>0,24*</b>  | 64 |
| Кольоровість                   | <b>-0,26*</b> | <b>-0,45*</b> | <b>-0,24*</b> | <b>-0,64*</b> | <b>-0,77*</b> | <b>-0,67*</b> | 64 |
| Прозорість                     | 0,26          | 0,26          | 0,33          | 0,43          | <b>0,57*</b>  | <b>0,55*</b>  | 64 |
| Вміст розчиненого у воді кисню | <b>0,60*</b>  | <b>0,19*</b>  | <b>0,65*</b>  | <b>0,17*</b>  | <b>0,64*</b>  | 0,07          | 64 |
| рН                             | <b>0,38*</b>  | <b>0,36*</b>  | <b>0,41*</b>  | <b>0,32*</b>  | <b>0,31*</b>  | <b>0,49*</b>  | 64 |
| Фосфор фосфатів                | <b>-0,54*</b> | <b>-0,35*</b> | <b>-0,56*</b> | <b>-0,42*</b> | <b>-0,75*</b> | <b>-0,50*</b> | 32 |
| Загальний азот                 | -0,48         | <b>0,18*</b>  | -0,19         | <b>0,09*</b>  | <b>-0,35*</b> | <b>0,15*</b>  | 32 |

Примітка. Тут і в табл. 4: \* достовірні при  $p < 0,05$ .



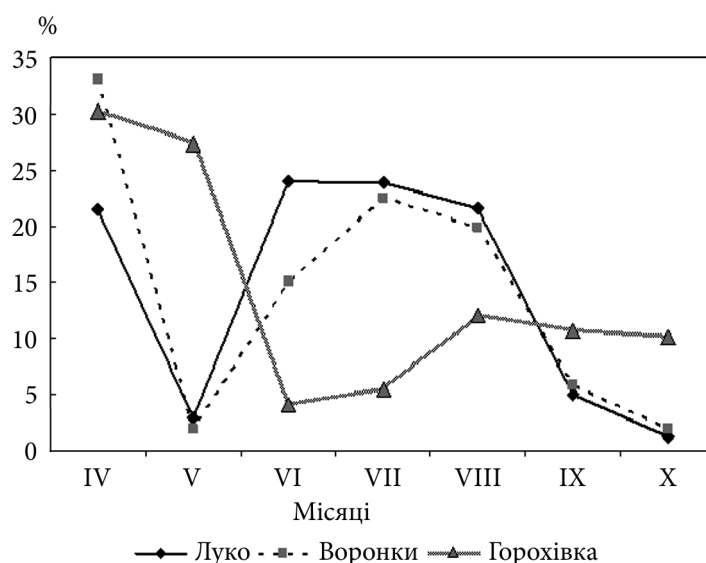


Рис. 5. Сезонна динаміка первинної продукції (% від сумарної за вегетаційний сезон) в озерах басейну р. Прип'яті (за результатами досліджень 2016 р.)

оз. Горохівка достовірної залежності між деструкцією органічної речовини і температурою води не виявлено (табл. 4).

Для об'єктивної оцінки потоків енергії у водних екосистемах важливо враховувати енергетичні втрати її окремих компонентів [18, 30, 35]. Для оцінки дихальних витрат фітопланктону традиційно використовують розрахункові методи [19], враховуючи, що на дихання припадає певна частка добового фотосинтезу. Спираючись на літературні дані [17, 18, 37], у роботі власне дихання водоростей ми прирівнюємо до 10 %  $A_{max}$ .

Таблиця 4

Коефіцієнти кореляції між деструкцією органічної речовини і деякими параметрами озерних вод (за результатами досліджень 2013—2020 рр.)

| Показники                      | Озера        |              |              |              |              |              | n  |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----|
|                                | Луківське    |              | Воронківське |              | Горохівка    |              |    |
|                                | R            | $\Sigma R$   | R            | $\Sigma R$   | R            | $\Sigma R$   |    |
| Температура води               | <b>0,35*</b> | <b>0,39*</b> | <b>0,37*</b> | <b>0,20*</b> | 0,08         | 0,07         | 64 |
| Кольоровість                   | <b>0,46*</b> | <b>0,31*</b> | <b>0,51*</b> | <b>0,48*</b> | <b>0,57*</b> | <b>0,60*</b> | 64 |
| Прозорість                     | 0,26         | 0,12         | 0,33         | 0,22         | <b>0,57*</b> | <b>0,45*</b> | 64 |
| Вміст розчиненого у воді кисню | <b>0,33*</b> | <b>0,30*</b> | <b>0,31*</b> | <b>0,26*</b> | <b>0,32*</b> | 0,14         | 64 |
| pH                             | <b>0,37*</b> | <b>0,22*</b> | <b>0,38*</b> | <b>0,20*</b> | <b>0,39*</b> | <b>0,32*</b> | 64 |

Розрахунки показали, що на власний обмін водоростей у поліських озерах витрачається від 13 до 18 % валової первинної продукції. У вигляді доступної наступним трофічним рівням чистої продукції в евфотній зоні залишається від 55 % (оз. Горохівка) до 62—63 % (карстові озера) валової продукції. Дихальні втрати фітопланктону у середньому складають від 4 % (оз. Горохівка) до 35 % (оз. Воронки) (табл. 5).

Важливим показником функціонування водних екосистем є відношення первинної продукції до деструкції органічної речовини, яке є маркером їхнього функціонального стану [6, 18], показником відносної зрілості [7] або «чистим» метаболізмом [27]; у санітарній гідробіології  $\Sigma A/\Sigma R$  вважають показником самоочищення вод [16, 26].

Індекси  $A/R$  та  $\Sigma A/\Sigma R$  у досліджуваних озерах коливались у широких межах: 0,01—4,06 та 0,01—3,42. Їхні середні значення у Луківському озері становили відповідно  $1,84 \pm 0,26$  і  $1,41 \pm 0,25$ , у Воронківському —  $1,70 \pm 0,22$  і  $1,35 \pm 0,39$ , а в оз. Горохівка —  $0,33 \pm 0,07$  і  $0,29 \pm 0,05$ . Загалом, проведені розрахунки вказують на автотрофну спрямованість продукційно-деструкційних процесів у карстових озерах. У мезотрофному оз. Горохівка відмічається домінування гетеротрофної фази. У сезонному циклі в озерах Луко та Воронки гетеротрофна фаза спостерігається переважно ранньою весною та пізньою осінню, а в Горохівці — впродовж усього вегетаційного сезону. Для карстових озер з кінця весни до початку осені найтипівішим є переважання автотрофних процесів над гетеротрофними, яке, ймовірно, пов'язане з їхньою значною оптичною глибиною. Переважання деструкційних процесів над продукційними в оз. Горохівка, попри порівняно невеликі глибини (до 1,3 м), зумовлене високою кольоровістю, і як результат — досить низькою прозорістю води. Крім того, у мезотрофних водах частка енергії, яка використовується на створення первинної продукції, є меншою у порівнянні з евтрофними, а частка енергії, яка розсіюється — більшою.

Проведений кореляційний аналіз вказує на відсутність тісного зв'язку  $A/R$  та  $\Sigma A/\Sigma R$  з біомасою фітопланктону (відповідно  $r = 0,01$ ,  $p = 0,09$ ,  $n = 64$  і  $r = 0,21$ ,  $p = 0,07$ ,  $n = 64$ ). Із абіотичних чинників, які аналізувалися (вміст фосфору фосфатів і загального азоту, кольоровість, прозорість, інтенсивність сонячної радіації і температура води), найсильніший вплив на  $A/R$  чинить прозорість ( $r = 0,79$ ,  $p = 0,03$ ,  $n = 64$ ) і кольоровість води ( $r =$

Таблиця 5

## Характеристика дихальних витрат фітопланктону в поліських озерах

| Водойми      | Чиста продукція                   |                | Дихання фітопланктону           |                  |                  |
|--------------|-----------------------------------|----------------|---------------------------------|------------------|------------------|
|              | мг $O_2$ /(дм <sup>3</sup> ·добу) | % від $A$      | г $O_2$ /(м <sup>2</sup> ·добу) | % від $\Sigma A$ | % від $\Sigma R$ |
| Воронківське | $0,76 \pm 0,12$                   | $62,1 \pm 0,1$ | $0,13 \pm 0,05$                 | $16,7 \pm 0,5$   | $35,1 \pm 1,5$   |
| Луківське    | $0,69 \pm 0,15$                   | $63,1 \pm 1,5$ | $0,13 \pm 0,04$                 | $18,1 \pm 0,3$   | $28,6 \pm 4,5$   |
| Горохівка    | $0,22 \pm 0,05$                   | $55,1 \pm 1,5$ | $0,05 \pm 0,01$                 | $13,3 \pm 0,4$   | $3,8 \pm 0,5$    |

-0,50,  $p < 0,000001$ ,  $n = 64$ ), помітно слабший зв'язок продукційно-деструкційного коефіцієнту з сонячною інсоляцією ( $r = 0,23$ ,  $p < 0,000001$ ,  $n = 64$ ) і температурою води ( $r = 0,22$ ,  $p < 0,000001$ ,  $n = 64$ ). Встановлено пряму кореляцію між  $\Sigma A/\Sigma R$  та інтенсивністю сонячної радіації ( $r = 0,46$ ,  $p < 0,000001$ ,  $n = 64$ ) і температурою води ( $r = 0,43$ ,  $p < 0,000001$ ,  $n = 64$ ). Слабкою є залежність  $\Sigma A/\Sigma R$  від кольоровості ( $r = -0,13$ ,  $p < 0,000001$ ,  $n = 64$ ). Достовірного зв'язку між  $\Sigma A/\Sigma R$  та прозорістю води не виявлено.

Аналіз змін індексу зрілості засвідчив, що озерні екосистеми не досягають «зрілого» стану — впродовж вегетаційних сезонів водоростеві угруповання планктону досліджуваних водойм відповідають «молодому» стану ( $\theta = -0,25$ — $-0,62$ ). Підтримка «молодого» стану в оз. Горохівка триває впродовж всього вегетаційного сезону ( $\theta = -0,47$ — $-0,62$ ). В озерах Луко та Воронки «молодим» станом розпочинається вегетативний сезон ( $\theta = -0,25$ — $-0,31$ ), «молодим» і завершуються ( $\theta = -0,32$ — $-0,39$ ) через «рівноважний» ( $\theta = -0,17$ — $+0,13$ ) і «розвинутий» ( $\theta = 0,36$ — $-0,39$ ).

Переважає «молодого» стану, яке раніше відмічалось в інших типах лентичних екосистем: малих водосховищах і кар'єрах із видобутку корисних копалин Українського Полісся [23, 33], найімовірніше, обумовлено високим вмістом біогенних елементів та специфікою водойм зі сповільненим водообміном.

## Висновки

На підставі аналізу натурних даних, отриманих на поліських озерах, встановлено інтенсивність первинної продукції та деструкції органічної речовини, особливості їх сезонної динаміки; з'ясовано суцесійний стан озерних екосистем за співвідношенням продукційно-деструкційних процесів; встановлено вплив на інтенсивність фотосинтезу і дихання фітопланктону чинників середовища.

Упродовж вегетаційних сезонів середні показники  $A_{max}$  і  $\Sigma A$  змінювалися в озерах у межах  $0,51 \pm 0,09$ — $1,27 \pm 0,24$  мг  $O_2$ /(дм<sup>3</sup>·добу) й  $0,41 \pm 0,08$ — $1,02 \pm 0,19$  г  $O_2$ /(м<sup>2</sup>·добу), деструкції органічної речовини  $R$  та  $\Sigma R$  —  $0,59 \pm 0,12$ — $2,33 \pm 0,77$  мг  $O_2$ /(дм<sup>3</sup>·добу) і  $0,63 \pm 0,13$ — $1,89 \pm 0,37$  г  $O_2$ /(м<sup>2</sup>·добу). Сумарна за вегетаційний сезон первинна продукція в евтрофних карстових озерах Луко й Воронки сягала 55,9 і 64,3 г  $C/m^2$ ; в мезотрофному озері Горохівка — 26,7 г  $C/m^2$ . У сезонному циклі основний запас органічної речовини в карстових озерах синтезується влітку, а в Горохівці — навесні.

У карстових озерах переважає автотрофна направленість продукційно-деструкційних процесів, в озері Горохівка — гетеротрофна фаза, що зумовлено високою кольоровістю та низькою прозорістю води.

На інтенсивність фотосинтезу в озерах впливають такі параметри вод: біогенне живлення, зокрема вміст фосфору фосфатів, кольоровість вод, інтенсивність сонячної радіації, рН, а в карстових озерах — ще й температура води. Розраховані коефіцієнти кореляції між значеннями  $A_{max}$  і параметрами вод, які аналізувалися, сягали відповідно:  $r = 0,54$ — $0,75$ ;  $r = -0,24$ — $0,77$ ;  $r = 0,18$ — $0,76$ ;  $r = 0,32$ — $0,39$ ;  $r = 0,31$ — $0,41$ , а з  $\Sigma A$  —  $r = 0,35$ — $-0,50$ ;  $r = -0,45$ — $-0,67$ ;  $r = 0,33$ — $0,41$  і  $r = 0,32$ — $0,49$ ;  $r = 0,24$ — $0,86$ . Біомаса

фітопланктону має значний вплив на інтенсивність фотосинтезу ( $r = 0,66—0,89$ ).

Інтенсивність деструкційних процесів ( $R$  і  $\Sigma R$ ) визначається кольоровістю вод (відповідно:  $r = 0,46—0,57$  і  $r = 0,31—0,60$ ), вмістом розчиненого у воді кисню ( $r = 0,31—0,36$  і  $r = 0,26—0,30$ ), рівнем рН ( $r = 0,31—0,35$  і  $r = 0,26—0,30$ ), а в карстових озерах — ще й температурою вод ( $r = 0,35—0,37$  і  $r = 0,20—0,39$ ).

Розраховані індекси зрілості свідчать про те, що озерні екосистеми не досягають «зрілого» стану — впродовж вегетаційних сезонів водоростеві угруповання планктону відповідають «молодому» стану ( $\theta = -0,25—-0,62$ ). Підтримка «молодого» стану в озері Горохівка триває впродовж всього вегетаційного сезону ( $\theta = -0,47—-0,62$ ). В озерах Луко та Воронки «молодим» станом розпочинається вегетативний сезон ( $\theta = -0,25—-0,31$ ), «молодим» і завершуються ( $\theta = -0,32—-0,39$ ) через «рівноважний» ( $\theta = -0,17—+0,13$ ) і «розвинутий» ( $\theta = 0,36—-0,39$ ).

#### Список використаної літератури

1. Андрієнко Т.Л., Антонова Г.М., Єршов А.В. Край лісів та імлістих боліт : Розповідь про природоохоронні об'єкти Рівненської області. Львів : Каменярь, 1988. С. 45—46.
2. Бондаренко Н.А. Структура и продукционные характеристики фитопланктона озера Байкал : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Борок, 1997. 23 с.
3. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Ленинград : Наука, 1983. 150 с.
4. Бульон В.В. Закономерности первичной продукции в лимнических экосистемах : автореф. дис. ... докт. биол. наук. Ленинград, 1985. 32 с.
5. Бульон В.В. Первичная продукция планктона и классификация озер. *Продукционно-биологические исследования водных экосистем*. Ленинград : Наука. 1987. С. 45—51.
6. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. Минск : Изд-во АН БССР, 1960. 329 с.
7. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Сукцессия планктонных сообществ. *Океанология*. 1983. Т. 23, № 4. С. 633—637.
8. Водний фонд Житомирської області / за ред. С.П. Сіренького, В.Ф. Молодецького, Г.П. Куц, О.М. Нагорнюк. Житомир : Вид-во Житомир. обл. управління меліорації і водного госп-ва, 2003. 120 с.
9. ГОСТ 18826-73. Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов. Москва : Изд-во стандартов, 1972. 6 с.
10. ГОСТ 4192-82. Вода питьевая. Метод определения минеральных азотсодержащих веществ. Москва : Изд-во стандартов, 1983. 13 с.
11. ГОСТ 4245-72. Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов. Москва : Изд-во стандартов, 1972. 7 с.
12. ДСТУ ISO 11885:2005. Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 19 с.
13. ДСТУ ISO 6878:2008. Якість води. Визначення фосфору. Спектрометричний метод із застосуванням амонію молібдату. Київ : Держспоживстандарт України. 2011. 6 с.
14. Лакин Г. Ф. Биометрия. Москва : Высш. шк., 1968. 284 с.
15. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы исследования качества вод. Москва : Изд-во СЭВ, 1977. Ч. 3. 91 с.

16. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
17. Минеева Н.М. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль : Принтхаус, 2009. 279 с.
18. Одум Ю. Экология. Москва : Мир, 1986. Т. 1. 328 с.
19. Попельницкая И.М. Оценка вклада составляющих планктонной биоты в общую деструкцию органического вещества планктона Красноярского водохранилища : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2007. 22 с.
20. Таблица актинометрических наблюдений, станция Борисполь. Киев : ЦГО, 2005—2019.
21. Таблица актинометрических наблюдений, станция Ковель. Киев : ЦГО, 2005—2019.
22. Трифонова И.С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. Ленинград : Наука, 1979. 168 с.
23. Шелюк Ю.С. Фітопланктон різнотипних водних екосистем Полісся : автореф. дис. ... докт. біол. наук. Київ, 2020. 35 с.
24. Шелюк Ю.С. Особливості продукційно-деструкційних процесів у штучно створених водних екосистемах. *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57, № 6. С. 21—36.
25. Шмаков В.М. Гидролого-экологические аспекты режима солнечной энергии в водохранилищах днепровского каскада. Киев : Наук. думка, 1988. 167 с.
26. Щербак В.І. Структурно-функціональна характеристика Дніпровського фітопланктону : автореф. дис. ... докт. біол. наук. Київ, 2000. 32 с.
27. Shaffrey J. M. Production, respiration and ecosystem metabolism in U.S. estuaries. *Environ. monitoring and assessment.* 2003. Vol. 81, N 1—3. P. 207—219.
28. Caringan R., Blais A.-M., Vic C. Measurement of primary production and community respiration in oligotrophic lakes using the Winkler method. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1998. Vol. 55. N 10. P. 1078—1084.
29. Kristiansen J., Mathiesen H. Phytoplankton of the Tystrup-Bavelse Lakes. Primary production and standing crop. *Oikos*, 1964. Vol. 15, P. 1—43.
30. Reynolds C.S. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge, London, New York et al. : Cambridge University Press, 1984. 384 p.
31. Sakamoto M. Primary production by phytoplankton community in some Japanese Lake and its dependence lake depth. *Arch. Hydrobiol.* 1966. Vol. 62, N 1. P. 1—28.
32. Shelyuk Yu.S. Comparative assessment of the methods of determining phytoplankton production in water bodies differing in their trophic status and water velocity. *Hydrobiol. J.* 2017. Vol. 53, N 6. P. 37—48.
33. Shelyuk Yu.S. Formation of energy fluxes in small reservoirs. *Hydrobiol. J.* 2020. Vol. 56, N 2. P. 17—32.
34. Shelyuk Yu.S. Regularities of primary production formation in river ecosystems (the basins of the Pripyat' and Teterev Rivers, Ukraine). *Hydrobiol. J.* 2019. Vol. 55, N 4. P. 38—54.
35. Tilzer M. M. Estimation of phytoplankton loss rates from daily photosynthetic rates and observed biomass changes in Lake Constance. *J. Plankt. Res.* 1984. Vol. 6, N 2. P. 309—324.
36. Uehlinger U., Bloesch J. Primary production of different phytoplankton size classes in oligomesotrophic swiss lake. *Arch. Hydrobiol.* 1989. Vol. 116, N 1. P.1—22.
37. Westlake D.F., Adams M.S., Bindloss M.E. et al. Primary production. The functioning of freshwater ecosystems. Cambridge : Univ. Press, 1980. P. 141—246.

Надійшла 25.01.2022

Y.S. Shelyuk, Dr. Sci. (Biol.), Prof.,  
Zhytomyr Ivan Franko State University,  
Velyka Berdychivska Str., 40, Zhytomyr, Ukraine, 10008  
e-mail: Shelyuk\_Yulya@ukr.net  
ORCID 0000-0001-6429-1028

PECULIARITIES OF PRODUCTION AND DESTRUCTIONAL PROCESSES IN  
LAKES OF THE PRYPIAT RIVER BASIN

The intensity of primary production and destruction of organic matter of lakes of different typological status of the Prypiat River basin has been studied; the succession state of lake ecosystems according to the ratio of production and destruction processes is clarified; the influence of environmental factors on the intensity of photosynthesis and respiration of phytoplankton has been established; the trophic status of lakes was assessed by the intensity of photosynthesis.

**Keywords:** *primary production, phytoplankton, destruction of organic matter, lakes, succession, balance of organic matter.*