

УДК: 582.26/27 (282.247.322)

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

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ У ПРОЦЕСАХ ФОТОСИНТЕЗУ ФІТОПЛАНКТОНУ РІЗНОТИПНИХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ПОЛІССЯ

Досліджено вплив чинників середовища на ефективність утилізації сонячної енергії (ЕУСЕ) фітопланктоном різнотипних водних об'єктів Полісся. Встановлено, що ефективність фотосинтезу найвища у штучних водоймах, які утворились на місці затоплених кар'єрів із видобутку корисних копалин, і зменшується у напрямку: кар'єри (0,75 %) > водосховища (0,61 %) > річки (0,50 %) > озера (0,16 %). На прикладі Денишівського водосховища показано зростання ЕУСЕ у багаторічному аспекті.

Ключові слова: ефективність утилізації сонячної енергії, первинна продукція, фітопланктон, потоки енергії, Полісся.

Основним енергетичним джерелом для водних екосистем є енергія Сонця, яка асимілюється фототрофними організмами. Разом із алохтоною органічною речовиною фотосинтетична продукція формує матеріальну і енергетичну основу всіх наступних етапів продукційного процесу у водних екосистемах. Частина загального енергетичного потоку в екосистемах проходить через їхні живі компоненти. Відношення величин потоку енергії в різних точках ланцюга живлення, виражене у відсотках, називається енергетичною ефективністю [8, 12]. Цей показник необхідний для оцінки ефективності функціонування фітопланктону — основного постачальника автохтонної органічної речовини у водних екосистемах.

Дослідженню ефективності фотосинтезу фітопланктону присвячена низка робіт, виконаних переважно на великих водосховищах, зокрема Дніпра [14, 28], Волги [9, 10, 15] та Ангари [10], озерах [2, 11, 24, 26] і рибницьких ставках [16].

Ц и т у в а н н я: Шелюк Ю.С. Ефективність використання сонячної енергії у процесах фотосинтезу фітопланктону різнотипних водних екосистем Полісся. *Гідробіол. журн.* 2021. Т. 57. № 2. С. 3—13.

Вивченню ефективності використання сонячної енергії у процесах фотосинтезу фітопланктоном у водоймах та водотоках Полісся практично не приділялася увага дослідників. Літературні дані обмежуються лише окремими публікаціями [6, 29, 30]. Актуальність дослідження ефективності фотосинтезу водних об'єктів Полісся зумовлена не лише малою вивченістю продукційних можливостей їхнього планктону, а й необхідністю оцінки потоків енергії, які створюють основу функціонування водних екосистем.

Мета роботи — аналіз мінливості ефективності утилізації сонячної енергії при фотосинтезі фітопланктону різнотипних водних об'єктів Полісся.

Матеріал і методика досліджень

В основу роботи покладено узагальнення даних, отриманих упродовж 2005—2019 рр. на різнотипних водоймах і водотоках басейнів Прип'яті і Тетерева. Дослідженнями було охоплено 18 річок, які різняться протяжністю і гідрохімічними показниками (Горинь, Случ, Уж, Уборть, Корчик, Вілія, Ікопоть, Полква, Синявка, Бересток, Гнилоп'ять, Кам'янка Лісова, Путятинка, Лісна, Крошенка, Коднянка, Бобрівка, Зелена); озера карстового походження Луківське й Воронківське (Рівненська обл.) та заболочене озеро Горохівка (Житомирська обл.); водосховища: Денишівське, Житомирське (р. Тетерів), Бердичівське (р. Гнилоп'ять), Новоград-Волинське (р. Случ); а також затоплені кар'єри з видобутку корисних копалин: гранітні — Богунський, Соколовський і Сонячний (м. Житомир та його околиці), Цегельний (м. Коростень) та Морозівський (Рівненська обл.) і піщані — Селецький та Слобідський (м. Житомир)¹.

Біомасу фітопланктону визначали розрахунково-об'ємним методом [7]. Первинну продукцію планктону та деструкцію органічної речовини визначали кисневою модифікацією склянкового методу у добовій експозиції на горизонтах 0,1, 0,25, 0,5 і 1,0 м залежно від глибини водних об'єктів згідно з загальноприйнятими методиками, описаними раніше [29, 30]. Оцінку трофічного статусу вод проводили згідно [7].

Паралельно з відбором альгологічних проб вимірювали температуру води ртутним термометром, прозорість — за диском Секкі, вміст розчиненого у воді кисню — методом Вінклера [7], вміст азоту нітратів — за ГОСТ 18826-73 [4] колориметричним методом із фенолдисульфокислою, азоту амонійного й нітритного — за ГОСТ 4192-82 [3], фосфору фосфатів — за ДСТУ ISO 6878-2003 спектрометричним методом [5].

Розрахунок інтенсивності сонячної радіації (Q) [23] здійснювали з використанням даних таблиць ТМ-12 актинометричних спостережень на станціях Бориспіль, Ковель та Нова Ушиця за 2005—2019 рр., отриманих в архіві Центральної геофізичної обсерваторії [17—19].

¹ Відомості щодо структурно-функціональної організації фітопланктону різнотипних водних об'єктів Полісся та результати гідрохімічного аналізу вод наведено авторкою у попередніх роботах [20—22, 31].

Ефективність утилізації сонячної енергії (ЕУСЕ) при фотосинтезі фітопланктону розраховували як частку первинної продукції, вираженої в енергетичних одиницях, від добової суми енергії сонячної радіації загального спектру, яка надходить на поверхню водного об'єкту. Для переходу від кисневих одиниць до енергетичних використовували коефіцієнт 3,51 мг О₂/кал [1].

Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою стандартних методів, реалізованих у пакеті статистичних програм *Microsoft Excel* та *STATISTICA 6.0*. У роботі обговорюються лише значимі кореляції ($p < 0,05$).

Результати досліджень та їх обговорення

Особливості формування потоків енергії у водотоках Полісся. Ефективність використання сонячної енергії в процесах фотосинтезу у водотоках басейнів Прип'яті і Тетерева змінюється в широкому діапазоні (0,01—2,14 %) і в загальних рисах повторює динаміку інтенсивності фотосинтезу. Найвищі середні значення цього показника відмічали в річках Ікопоть, Гнилоп'ять, Коднянка, Корчик, Синявка, Уборть, Горинь і Лісна. Низьку ефективність використання фітопланктоном світла впродовж вегетаційного сезону мали такі водотоки: Путятинка, Кам'янка Лісова, Вілія і Бересток (рис. 1). Середнє значення ЕУСЕ при фотосинтезі фітопланктону у досліджуваних поліських річках було в межах 0,06—0,76 %.

У сезонному аспекті зміни ефективності утилізації сонячної енергії фітопланктоном річкових екосистем були наступними: впродовж весняного періоду цей показник змінювався в межах 0,01—0,99 %, літнього — 0,01—2,14 %, осіннього — 0,01—2,01%; середні значення ЕУСЕ становили відповідно: $0,39 \pm 0,02$, $0,54 \pm 0,04$ і $0,59 \pm 0,05$ %.

Співставлення ефективності утилізації сонячної енергії із трофістю водотоків указує на збільшення ЕУСЕ зі зростанням трофності вод. У сезонному аспекті спостерігали її зростання від весни до середини осені у річках із високим рівнем трофності (річки Гнилоп'ять, Корчик, Коднянка, Ікопоть і Зелена). У мезотрофних водах (річки Вілія, Полква та Путятинка) відмічали максимуми ефективності утилізації сонячної енергії влітку.

Проведений кореляційний аналіз показав, що факторами, які визначають ефективність утилізації сонячної енергії, є біомаса фітопланктону ($r = 0,33$, $n = 86$), інтенсивність фотосинтезу ($r = 0,33$, при $n = 86$), вміст загального азоту ($r = 0,51$, при $n = 60$) і прозорість ($r = 0,42$, $n = 86$). У цілому для річок залежність ефективності утилізації сонячної енергії у процесах фотосинтезу фітопланктону від надводної опроміненості має від'ємний характер ($r = -0,49$, при $n = 86$). Це свідчить про можливість світлової адаптації водоростей [25], які використовують низьку світлову енергію з більшою ефективністю.

Особливості формування потоків енергії в озерах. Граничні значення ефективності утилізації сонячної енергії при фотосинтезі озерного фітопланктону були в таких межах: 0,01—0,54 % в оз. Воронки, 0,01—0,24 % —

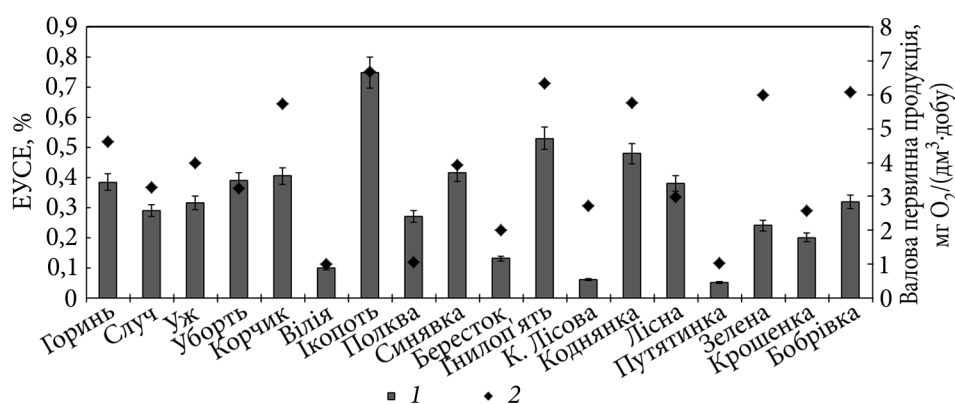


Рис. 1. Ефективність утилізації сонячної енергії (частка інтегральної за спектром радіації) фітопланктоном річок басейнів Прип'яті і Тетерева (за період 2005—2019 рр.): 1 — ЕУСЕ; 2 — валова первинна продукція фітопланктону

в оз. Луко, 0,01—0,15 % — у Горохівці. У цілому в озерах середні значення ЕУСЕ були найнижчими серед досліджуваних типів водних об'єктів і сягали: 0,04 % - у заболоченому оз. Горохівка, 0,10—0,28 % - в озерах карстового походження Луко та Воронки.

Сезонна динаміка ефективності утилізації сонячної енергії у Лукомському і Воронківському озерах характеризувалась максимумами впродовж квітня та в червні — серпні, а в оз. Горохівка — відмічали досить низькі значення цього показника влітку (рис. 2). У цілому в озерних екосистемах ЕУСЕ впродовж весни змінювалась в межах 0,01—0,26 %, літа — 0,02—0,54 %, осені — 0,02—0,34 %, середні значення цього показника сягали відповідно $0,13 \pm 0,01$, $0,21 \pm 0,02$ і $0,15 \pm 0,01$ %.

У цілому до факторів, які впливають на ефективність фотосинтезу в озерах, належать: інтенсивність фотосинтезу ($r = 0,82$, $n = 64$), прозорість води ($r = 0,48$, $n = 54$), вміст загального азоту ($r = 0,32$, при $n = 32$), надводна опроміненість ($r = 0,29$, $n = 54$). Слабшим є вплив на ЕУСЕ фітопланктону озерних екосистем біомаси водоростей ($r = 0,17$, $n = 64$).

Низькі значення ЕУСЕ в заболоченому оз. Горохівка порівняно з озерами карстового походження, найімовірніше, обумовлені нижчою інтенсивністю фотосинтезу (середні значення валової первинної продукції в оз. Горохівка сягали $0,51 \pm 0,09$ мг O₂/(дм³·добу), в оз. Луко — $1,26 \pm 0,33$, у Воронківському озері — $1,27 \pm 0,24$ мг O₂/(дм³·добу) та прозорістю вод (відповідно $0,55 \pm 0,04$, $1,10 \pm 0,06$ і $1,05 \pm 0,05$ м).

Особливості формування потоків енергії водосховищ. У досліджуваних водосховищах граничні значення ефективності утилізації сонячної енергії у процесах фотосинтезу фітопланктону складалі: 0,11—1,61 % — у політрофному за рівнем первинної продукції Житомирському водосховищі, 0,26—1,31 % — у гіпертрофному Бердичівському, 0,08—1,31 % — в ев-політрофному Денишівському і 0,03—0,74 % — в евтрофному Новоград-Волинському.

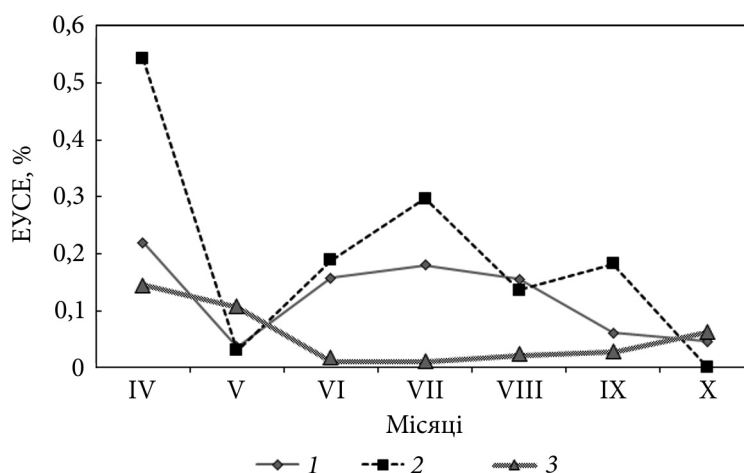


Рис. 2. Сезонна динаміка ЕУСЕ фітопланктону в поліських озерах: 1 — оз. Луко; 2 — оз. Воронки; 3 — оз. Горохівка

При цьому сезонна динаміка ефективності утилізації сонячної енергії фітопланктону в Житомирському і Бердичівському водосховищах характеризувалася максимумами в липні — жовтні, у Денишівському — в липні — вересні, а в Новоград-Волинському — у квітні та липні (рис. 3).

У цілому у водосховищах ефективність використання сонячної енергії змінювалась навесні в межах 0,03—0,71 %, влітку — 0,13—0,65 %, восени — 0,12—1,61 %, а середні значення цього показника сягали відповідно $0,41 \pm 0,01$, $0,49 \pm 0,03$ і $0,89 \pm 0,05$ %.

Показник ЕУСЕ у водосховищах визначається інтенсивністю фотосинтезу: він зростає зі збільшенням показників первинної продукції ($r = 0,84$, $n = 56$). Також встановлено вплив на екологічну ефективність фотосинтезу фітопланктону біомаси водоростей ($r = 0,57$, $n = 136$) і вмісту загального азоту ($r = 0,60$, $n = 30$). Слабким був вплив прозорості ($r = 0,14$, $n = 60$), а також надходження сонячної радіації ($r = 0,12$, $n = 88$) (рис. 6). Раніше Г.Д. Приймаченко [14] було встановлено непрямий вплив надводної опроміненості на ефективність використання сонячної енергії при фотосинтезі фітопланктону великих водосховищ Дніпра.

На прикладі Денишівського водосховища здійснено аналіз багаторічних змін ефективності утилізації сонячної енергії фітопланктоном. Встановлено, що середня за вегетаційний сезон температура води за період 2005—2019 рр. збільшилась на $1,15^{\circ}\text{C}$, інтенсивність сонячної радіації — на $2,57 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$. Не відмічено помітних змін прозорості води. Багаторічні зміни вмісту загального азоту характеризувались позитивним трендом — за останні 15 років відмічено зростання вмісту загального азоту на $0,98 \text{ мг}/\text{дм}^3$. На цьому фоні відмічалось достовірне збільшення ЕУСЕ (рис. 4). У багаторічному плані зростання ефективності фотосинтезу фітопланктону ($0,84$ — $1,17$ % у середньому за вегетаційний се-

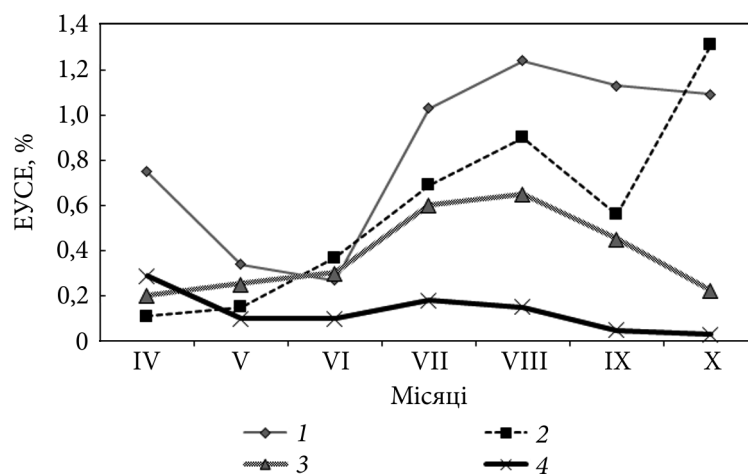


Рис. 3. Сезонна динаміка ЕУСЕ фітопланктону у водосховищах: 1 — Бердичівському; 2 — Житомирському; 3 — Денишівському; 4 — Новоград-Волинському

зон) відмічалось в 2008 р., 2010 р., 2013 р. та 2019 р. при інтенсивній його вегетації ($B = 2,07\text{—}2,71$ мг/дм³). Зниження цього показника фіксували у 2005 р., 2006 р., 2011 р. і 2012 р. ($0,16\text{—}0,23$ %), які характеризувались найменшими середніми значеннями біомаси фітопланктону ($0,35\text{—}0,80$ мг/дм³). Варто зазначити, що підвищення енергетичної ефективності фотосинтезу може бути пов'язане зі зменшенням упродовж періоду спостережень середньоценотичного об'єму клітин водоростей, оскільки відомо, що дрібні форми мають вищу фотосинтетичну активність [27]. Власними дослідженнями доведено, що у річках ($r = 0,52$, $n = 63$), водосховищах ($r = 0,67$, $n = 26$) і кар'єрах ($r = 0,23$, $n = 46$) зростання вмісту загального азоту, а в озерах — фосфору фосфатів ($r = 0,77$, $n = 30$) обумовлює зростання ролі високопродуктивних дрібноклітинних центричних діатомових [22]. Свідченням цього є збільшення діатомового коефіцієнту, тобто відношення кількості видів центричних діатомових до кількості пеннатних. Подібні дані наводили й інші дослідники [13, 32].

Особливості формування потоків енергії в штучних водних об'єктах. У водоймах, які утворились на місці затоплених кар'єрів, ефективність утилізації сонячної енергії у процесах фотосинтезу фітопланктону широко варіювала: у Богунському кар'єрі — $0,04\text{—}2,58$ %, у Сонячному — $0,03\text{—}0,70$, у Соколовському — $0,07\text{—}0,61$, у Селецькому — $0,03\text{—}1,21$, у Слобідському — $0,02\text{—}1,84$, у Морозівському — $0,01\text{—}0,54$, у Цегельному — $0,16\text{—}2,94$ %. Середні значення цього показника становили від $0,15$ % (Морозівський) до $0,80$ % (Цегельний).

До факторів, які впливають на екологічну ефективність первинного продукування у кар'єрах, належать: інтенсивність фотосинтезу ($r = 0,68$, $n = 56$), біомаса фітопланктону ($r = 0,51$, $n = 60$), вміст загального азоту ($r = 0,56$, $n = 46$). Помірним був вплив на ефективність використання соняч-

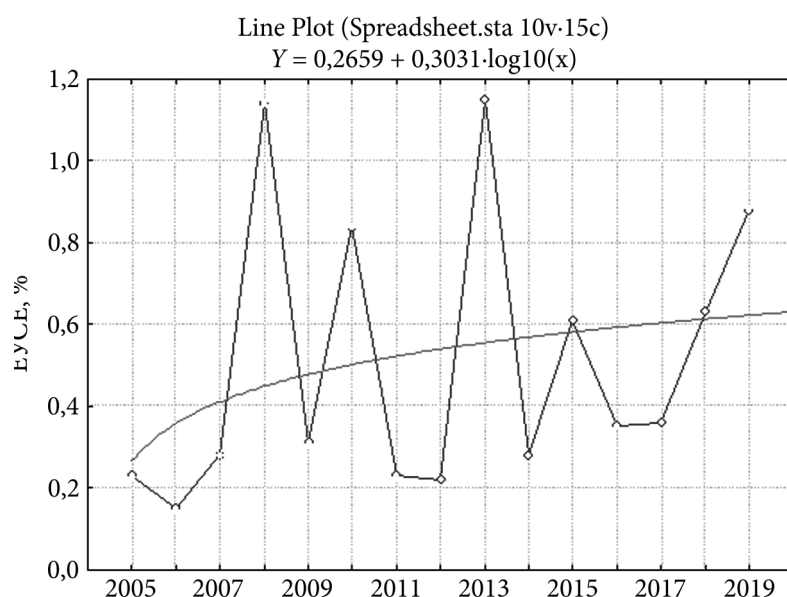


Рис. 4. Багаторічні зміни ЕУСЕ у процесах фотосинтезу фітопланктону Денишівського водосховища

ної енергії при фотосинтезі фітопланктону штучних водойм прозорості ($r = 0,33$, $n = 46$). Від'ємна кореляція встановлена між ЕУСЕ та надходженням сонячної радіації ($r = -0,77$, $n = 60$).

При цьому сезонна динаміка ефективності утилізації сонячної енергії в Морозівському, Соколовському та Сонячному кар'єрах характеризувалась максимумами в червні — серпні, а в Селецькому, Слобідському, Цегельному і Богунському кар'єрах — у серпні — жовтні.

У цілому у штучних водоймах середні значення ЕУСЕ сягали навесні $0,59 \pm 0,02$ %, влітку — $0,88 \pm 0,05$ %, восени — $0,76 \pm 0,03$ %, а межі їхніх коливань були відповідно такими: 0,01 — 1,68, 0,02 — 2,94 і 0,02 — 1,90 %.

Виявлена пряма залежність ефективності фотосинтезу фітопланктону у всіх досліджуваних типах водних об'єктів від температури води ($r = 0,17$ — $0,30$) є ще одним підтвердженням того, що ефективність функціонування автотрофної ланки і екосистем в цілому може змінюватись в умовах глобальних кліматичних змін. Найсильніше залежність ефективності використання сонячної енергії в процесах фотосинтезу фітопланктону від температури води виражена у водосховищах і кар'єрах ($r = 0,28$ — $0,30$). У природних водах — озерах та річках - вплив температурного чинника є слабшим ($r = 0,17$) Це пояснюється їхньою вищою стійкістю до дії чинників середовища та інтенсивним перебігом саморегуляторних процесів.

Середня за вегетаційні сезони інтенсивність фотосинтезу знижувалась у напрямку: водосховища → річки → кар'єри → озера. За рахунок великих глибин і прозорості інтегральна первинна продукція була найви-

щою у водосховищах та кар'єрах і знижувалась у напрямку: водосховища → кар'єри → річки → озера. Ефективність використання сонячної енергії у процесі фотосинтезу зменшувалась у напрямку: кар'єри → водосховища → річки → озера (таблиця).

Ранжування водних об'єктів за вмістом фосфору фосфатів [7] дозволило проаналізувати мінливість ЕУСЕ фітопланктоном у водах різної трофності. Зміни цього показника за градієнтом трофності вод значною мірою узгоджуються з основними положеннями розвитку екосистем, наведеними Ю. Одумом [12]. При зростанні трофності відмічається зростання ефективності фотосинтезу в усіх типах водних об'єктів. У ряду оліготрофні → мезотрофні → евтрофні води відбувається збільшення ефективності утилізації сонячної енергії при фотосинтезі фітопланктону, яке відповідає переходу до затіненої екосистеми, яка характеризується вищим коефіцієнтом використання світла. Так, середнє значення ЕУСЕ в оліготрофних за вмістом фосфору фосфатів водах сягає $0,27 \pm 0,04$ %, у мезотрофних — $0,36 \pm 0,06$ %, а в евтрофних — $0,54 \pm 0,04$ %.

Висновки

На підставі аналізу натурних даних щодо ефективності фотосинтезу фітопланктону різнотипних водних об'єктів Полісся, їхньої багаторічної та сезонної динаміки встановлено широкий діапазон величин ЕУСЕ, які порівнюються з наведеними в літературі відомостями щодо водних об'єктів інших регіонів.

Показано, що ефективність фотосинтезу найвища у штучних водоймах, які утворились на місці затоплених кар'єрів із видобутку корисних

Таблиця

**Продукційно-деструкційні характеристики (середні значення $\bar{x} \pm SE$)
фітопланктону різнотипних водних об'єктів Українського Полісся**

Показники	Водні об'єкти			
	річки	озера	водосховища	кар'єри
$A_{\max}$, мг O_2 /(дм ³ ·добу)	0,01–13,86	0,01–2,89	0,16–15,66	0,50–9,97
	$4,46 \pm 0,19$	$1,03 \pm 0,01$	$5,73 \pm 0,75$	$4,18 \pm 0,55$
ΣA , г O_2 /(м ² ·добу)	0,06–13,87	0,01–2,31	0,30–12,58	1,13–10,75
	$4,98 \pm 0,20$	$0,78 \pm 0,05$	$5,93 \pm 0,63$	$5,29 \pm 0,50$
R , мг O_2 /(дм ³ ·добу)	0,17–10,29	0,31–5,86	0,22–10,29	0,32–6,19
	$2,28 \pm 0,09$	$1,12 \pm 0,05$	$3,62 \pm 0,38$	$1,94 \pm 0,37$
ΣR , г O_2 /(м ² ·добу)	0,09–11,32	0,30–4,25	0,24–10,29	1,35–11,46
	$1,63 \pm 0,08$	$1,38 \pm 0,06$	$4,00 \pm 0,37$	$6,11 \pm 0,77$
P/B -коефіцієнт	0,17–5,71	0,05–8,27	0,02–2,23	0,10–3,40
	$0,70 \pm 0,14$	$1,19 \pm 0,11$	$0,88 \pm 0,17$	$1,22 \pm 0,05$
ЕУСЕ, %	0,01–2,14	0,01–0,54	0,03–1,61	0,01–2,94
	$0,50 \pm 0,03$	$0,16 \pm 0,01$	$0,61 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,06$

копалин, і зменшується у напрямку кар'єри (0,75 %) → водосховища (0,61 %) → річки (0,50 %) → озера (0,16 %).

ЕУСЕ при фотосинтезі фітопланктону залежить від його біомаси ($r = 0,17—0,57$), інтенсивності валової первинної продукції ($r = 0,33—0,84$), надводної опроміненості (в озерах і водосховищах виявлена пряма залежність: $r = 0,12—0,29$; у річках і кар'єрах — обернена: $r = -0,49— -0,77$), температури води ($r = 0,17—0,30$), прозорості ($r = 0,14—0,48$) і вмісту загального азоту ($r = 0,32—0,60$). У природних водах — озерах та річках — вплив температурного чинника є слабшим, що пояснюється їхньою вищою стійкістю до дії чинників середовища та інтенсивнішим перебігом саморегуляторних процесів.

Зі зростанням трофності водних об'єктів відмічається зростання ефективності використання сонячної енергії при фотосинтезі фітопланктону.

На прикладі Денишівського водосховища встановлено зростання ЕУСЕ у процесах фотосинтезу фітопланктону у багаторічному аспекті (2005—2019 рр.).

Список використаної літератури

1. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Ленинград : Наука, 1983. 150 с.
2. Вогинцев К.К., Мещерякова А.И. Эффективность утилизации энергии солнечной радиации фитопланктоном оз. Байкал. Докл. АН СССР. 1969. Т. 184, № 1. С. 214—216.
3. ГОСТ 4192-82. Вода питьевая. Метод определения минеральных азотсодержащих веществ. Москва : Изд-во стандартов, 1983. 13 с.
4. ГОСТ 18826-73. Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов. Москва : Изд-во стандартов, 1972. 6 с.
5. ДСТУ ISO 6878:2008. Якість води. Визначення фосфору. Спектрометричний метод із застосуванням амонію молібдату. Київ : Держспоживстандарт України, 2011. 6 с.
6. Кравцова О.В. Фітопланктон різнотипних водойм природоохоронних і урбанізованих територій : автореф. дис. ... канд. біол. наук, Київ, 2019. 20 с.
7. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В.Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
8. Минеева Н.М. Певичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль : Принтхаус, 2009. 279 с.
9. Минеева Н.М., Сигарева Л.Е. Эффективность утилизации солнечной энергии при фотосинтезе фитопланктона в водоемах с различными гидрооптическими условиями. Радиационная климатология и прикладные аспекты актинометрии : материалы 12-го совещания по актинометрии. Иркутск, 1984. С. 261—263.
10. Минеева Н.М., Кращук Л.С. Эффективность использования солнечной энергии при фотосинтезе фитопланктона водохранилищ Волги и Ангары. Изв. Иркутск. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2010. Т. 3. № 3. С. 82—88.
11. Михеева Т.М., Ковалевская Р.З., Иконников В.Ф. Эффективность утилизации солнечной радиации фитопланктоном в водоемах и водотоках Белорусской ССР. Изучение и освоение водоемов Прибалтики и Белоруссии : тез. докл. Рига, 1979. С. 41—43.
12. Одум Ю. Экология. Москва : Мир, 1986. Т. 1. 328 с.
13. Охапкин А.Г. Видовой состав фитопланктона как показатель условий существования в водотоках разного типа. Ботан. журн. 1998, № 9. С. 1—13.

14. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ. Киев : Наук. думка, 1981. 280 с.
15. Романенко В. И. Первичная продукция органического вещества в процессе фотосинтеза в каскаде волжских водохранилищ. Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. Ленинград : Наука, 1984. С. 48—60.
16. Сокольский А.Ф., Тамразов Н.И., Горбунов К.В. Эффективность использования энергии суммарной солнечной радиации фитоценозами экологически различных водоемов : тез. докл. IV съезда ВГБО. Ч. 1. Киев, 1981. С. 153—154.
17. Таблица актинометрических наблюдений, станция Борисполь. Киев : ЦГО, 2005—2019.
18. Таблица актинометрических наблюдений, станция Новая Ушица. Киев : ЦГО, 2005—2019.
19. Таблица актинометрических наблюдений, станция Ковель. Киев : ЦГО, 2005—2019.
20. Шелюк Ю., Житова О., Курин Н. Особливості формування озерного фітопланктону. *Наук. вісник Східноєвроп. нац. ун-ту ім. Лесі Українки*. Сер. Біологічні науки. 2019. № 4 (388). С. 17—23.
21. Шелюк Ю., Щербак В., Козин Ю. Піонерні сукцесії фітопланктону водойм антропогенного походження. *Там само*. 2017. № 7 (356). С. 109—115.
22. Шелюк Ю.С. Фітопланктон різнотипних водних екосистем Полісся : авто-реф. дис. ... докт. біол. наук, Київ, 2020. 35 с.
23. Шмаков В.М. Гидролого-экологические аспекты режима солнечной энергии в водохранилищах днепровского каскада. Киев : Наук. думка, 1988. 167 с.
24. Dubinsky Z., Berman T. Light utilization efficiencies of phytoplankton in Lake Kinneret (Sea of Galilea). *Limnol., Oceanogr.* 1976. Vol. 21, N 2. P. 226—230.
25. Falkowski P.G., Raven J.A. Aquatic Photosynthesis. Oxford : Blackwell Scientific, 1997. P. 223.
26. Mineeva N.M., Shchur L.A., Bondarenko N.A. Phytoplankton functioning in large freshwater systems differing in their resources. *Hydrobiol. J.* 2012. Vol. 48, N. 5. P. 19—30.
27. Reynolds C.S. The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge, London, New York et al. : Cambridge University Press, 1984. 384 p.
28. Shcherbak V.I. Primary production of algae in the Dnieper and Dnieper Reservoirs. *Hydrobiol. J.* 1999. Vol. 35, N 1. P. 1—13.
29. Shelyuk Yu.S. Formation of energy fluxes in small reservoirs. *Ibid.* 2019. Vol. 56, N 2. P. 17—32.
30. Shelyuk Yu.S. Regularities of primary production formation in river ecosystems (the basins of the Pripyat' and Teterev Rivers, Ukraine). *Ibid.* 2019. Vol. 55, N 4. P. 38—54.
31. Shelyuk Yu.S., Shcherbak V.I. Phytoplankton structural and functional indices in the Rivers of the Pripyat' and Teterev basins. *Ibid.* 2018. Vol. 54, N 3. P. 10—23.
32. Stoermer E.F., Hakansson H. *Stephanodiscus parvus*: validation of the enigmatic and widely misconstrued taxon. *Nova Hedwigia*. 1984. Bd 39. P. 497—511.

Надійшла 17.02.2021

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

EFFICIENCY OF SOLAR RADIATION UTILIZATION UNDER PHYTOPLANKTON
PHOTOSYNTHESIS IN DIVERSE AQUATIC WITHIN POLESYE REGION

The influence of environmental factors is studied on the efficiency of solar radiation utilization under phytoplankton photosynthesis (*ESRU*) in diverse aquatic within Polesye region. *ESRU* in aquatic ecosystems decreases in the following sequence: quarries (0,75 %) → water reservoirs (0,61 %) → rivers (0,50 %) → lakes (0,16 %). The example of Denyshyvske Reservoir shows the growth of *ESRU* in a long-term aspect.

Keywords: *efficiency of solar radiation utilization under phytoplankton photosynthesis, primary production, phytoplankton, energy flow, Polesye region.*