

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГІДРОБІОЛОГІЇ

ШЕЛЮК
Юлія Святославівна



УДК: 582.26/27 (282.247.322)

ФІТОПЛАНКТОН РІЗНОТИПНИХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ПОЛІССЯ

03.00.17 – гідробіологія

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора біологічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Житомирському державному університеті імені Івана Франка, Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант: доктор біологічних наук, професор,
ЩЕРБАК Володимир Іванович,
Інститут гідробіології НАН України,
провідний науковий співробітник

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор,
СОЛОНЕНКО Анатолій Миколайович,
Мелітопольський державний педагогічний
університет імені Богдана Хмельницького,
ректор

доктор біологічних наук, професор,
ГРУБІНКО Василь Васильович,
Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка,
завідувач кафедри загальної біології та
методики навчання природничих дисциплін

доктор біологічних наук, професор,
ТКАЧЕНКО Федір Петрович,
Одеський національний університет імені
І. І. Мечникова,
завідувач кафедри ботаніки.

Захист відбудеться «15» вересня 2020 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.213.01 в Інституті гідробіології НАН України за адресою: 04210, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту гідробіології НАН України (04210, м. Київ, пр. Героїв Сталінграда, 12).

Автореферат розісланий «__» серпня 2020 р.

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



Н. І. Кірпенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Пізнання закономірностей структурно-функціональної організації екосистем формує теоретичне підґрунтя для оцінки їх стану, прогнозу змін, раціонального використання водних ресурсів. Формування автотрофної ланки, інтенсивність потоків речовини й енергії в екосистемах тісно пов'язані з дією природних і антропогенних чинників.

Інтенсивна діяльність людини на водозбірних площах Полісся чинить антропогенний тиск на стан їх водних ресурсів, оскільки вони є важливою складовою багатогалузевої господарської системи України зі значною концентрацією промислового й сільськогосподарського виробництва. Зарегулювання поліських річок (Романенко та ін., 1990; Щербак, 2003), великомасштабна меліорація регіону (Радзимовський, 1970; Крахмальний, 1990; Поліщук та ін., 1978; Щербак та ін., 2011), антропогенне забруднення, у тому числі внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС (Мережко та ін., 1996; Васенко, Верніченко, 2001; Афанасьєв, 2011), вплив на гідробіоту змін клімату (Ліпінський, 2002; Бабиченко та ін., 2007; Титар, 2011; Туз, 2012) викликали глибокі екологічні наслідки в минулому столітті. Невід'ємним елементом ландшафтів стали штучні водойми, що утворилися на місці кар'єрів із видобутку природних копалин: піску, граніту, ільменітів, які на сьогодні є маловивченими водними об'єктами. Дослідження цих водойм є актуальним, оскільки дає змогу встановлювати закономірності формування нового типу екосистем, у яких інтенсивно протікають сукцесії автотрофної ланки.

На сучасному етапі розвитку науки назріла теоретична і практична потреба у використанні нових принципів та підходів для встановлення закономірностей формування структури і функціонування автотрофної ланки водних екосистем. Для їх розкриття найоптимальнішим є застосування енергетичного принципу, який передбачає вивчення біологічної продуктивності водойм і водотоків у сукупності з факторами середовища.

Разом із алохтонною органічною речовиною первинна продукція формує матеріальну та енергетичну основу для всіх наступних етапів продукційного процесу у водних екосистемах, а отже, визначає закономірності їх функціонування.

Полісся багате на водні екосистеми різних типів: річки, озера, водосховища, кар'єри. Порівняння особливостей структури і функціонування фітопланктону водних екосистем басейнів головних річок Полісся – Прип'яті і Тетерева, які відрізняються умовами існування гідробіонтів та рівнем антропогенного навантаження, стало підґрунтям виявлення основних закономірностей формування та функціонування автотрофної ланки водних екосистем.

Зв'язок роботи з основними науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до науково-дослідних тем Житомирського державного університету імені Івана Франка: «Роль гідробіонтів в формуванні якості води річкових екосистем Центрального Полісся» (№ держреєстрації 0108U000874; 2010–2012 рр.), «Вплив антропогенного навантаження на біорізноманіття водних екосистем Центрального Полісся» (№ держреєстрації

0113U002157; 2013–2015 рр.), «Особливості формування та функціонування гідроценозів Центрального Полісся та прилеглих територій за дії біотичних та абіотичних чинників середовища» (№ д/р 0119U101482; 2019–2029).

Мета роботи – встановити основні закономірності формування структурних і функціональних характеристик фітопланктону різнотипних водних екосистем Полісся в градієнті залежності від антропогенної дії – від природних вод до істотно змінених та штучних водних об'єктів.

Реалізація поставленої мети передбачала розв'язання таких *завдань*:

- з'ясувати особливості формування структури фітопланктону різнотипних водних екосистем басейнів Прип'яті і Тетерева;
- визначити закономірності відгуку фітопланктону на дію природних та антропогенних чинників;
- встановити інтенсивність первинної продукції та деструкції органічної речовини, їх сезонної динаміки у водних об'єктах із різним ступенем антропогенного впливу;
- з'ясувати особливості формування потоків енергії у різнотипних водних екосистемах басейнів Прип'яті й Тетерева;
- встановити закономірності сукцесії фітопланктону штучних водойм, які утворилися на місці кар'єрів із видобутку природних копалин;
- проаналізувати мінливість продукційних характеристик фітопланктону у водах із різним трофічним статусом;
- з'ясувати сукцесійний стан різнотипних водних екосистем Полісся за співвідношенням продукційно-деструкційних процесів.

Об'єкт дослідження – закономірності формування структурних і функціональних характеристик фітопланктону у різнотипних водних екосистемах Полісся.

Предмет дослідження – видовий склад, кількісні та функціональні характеристики фітопланктону природних, істотно змінених і штучних водних об'єктів Полісся.

Методи дослідження: загальноприйняті гідробіологічні методи відбору, ідентифікації та камерального опрацювання проб фітопланктону; методи гідрохімічного аналізу; методи визначення первинної продукції та деструкції органічної речовини; порівняльно-флористичний та статистичний аналіз.

При проведенні досліджень біоетичні норми не були порушені.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше проведено порівняльний флористичний аналіз водоростевого планктону різнотипних водних екосистем басейнів головних річок Українського Полісся – Прип'яті й Тетерева. Загалом ідентифіковано 812 видів (877 внутрішньовидових таксонів із номенклатурним типом виду включно), що належать до 15 класів, 43 порядків, 99 родин і 261 роду. Визначено основні абіотичні параметри, що зумовлюють зміни структурно-функціональних показників фітопланктону досліджуваних водних екосистем.

Уперше встановлено закономірності процесу первинного продукування, який створює енергетичну основу розвитку і функціонування водних екосистем Полісся з різним ступенем антропогенного навантаження.

Показано, що у водних екосистемах високого рівня трофії відбувається зміщення максимумів біомаси і первинної продукції від весни-літа до кінця літа – початку осені, що обумовлено змінами за останні десятиріччя температури води і подовженням вегетаційного сезону.

Уперше з'ясовано, що високий рівень первинного продукування водоростевих угруповань із домінуванням зелених, діатомових, а також синьозелених і евгленових водоростей у штучних водоймах, які утворилися на місці затоплених кар'єрів, є важливим механізмом sukcesії автотрофної ланки, що зумовлює формування водних екосистем нового типу.

Уперше експериментально підтверджено, що продукційні процеси в досліджуваних водних екосистемах Полісся виконують середовищеутворюючу роль, змінюючи їх світловий і газовий режими та зміщуючи *pH* у лужний бік. Зроблено оцінку формування потоків енергії у них.

Доведено, що підтримання позитивної направленості балансу органічної речовини ($\Sigma A/\Sigma R > 1$) відносно неглибоких річок і водосховищ зумовлене інтенсивним прогрівом їх мілководь і великою оптичною глибиною цих водних об'єктів. У кар'єрах і озерах важливим чинником, який визначає позитивний баланс органічної речовини, є високий вміст біогенних елементів, зокрема загального азоту.

Уперше зроблено оцінку sukcesійного стану різнотипних водних екосистем за співвідношенням продукційно-деструкційних процесів. Показано, що в лентичних водних екосистемах переважають «молодші» sukcesійні стани у порівнянні з лотичними.

Запропоновано трофічну класифікацію вод Полісся, яка базується на продукційних і деструкційних характеристиках фітопланктону, а також абіотичних показниках вод.

Практичне значення одержаних результатів. Оцінка якості води різнотипних водних об'єктів басейнів Прип'яті і Тетерева є фундаментом для подальшого екологічного моніторингу вод із застосуванням басейнового принципу, прогнозування сценаріїв змін автотрофної ланки за дії природних і антропогенних чинників, розробки заходів із запобігання деградації водних екосистем, а також підготовки довідників по регіональних флорах.

Результати дослідження використовуються під час викладання навчальних курсів «Альгологія», «Гідроекологія», «Біомоніторинг природних вод», «Екологічна біохімія» та «Екологія водойм» у Житомирському державному університеті імені Івана Франка для здобувачів I–III рівнів вищої освіти зі спеціальності 091 Біологія і 101 Екологія.

Створена електронна база даних у форматі Microsoft Excel-2010 за структурно-функціональними показниками фітопланктону, яка є суттєвим доповненням відомостей щодо флори водоростей континентальних вод України.

Установлені закономірності sukcesії водоростевих угруповань штучних водойм, які виникли на місці затоплених кар'єрів, можуть бути основою для розробки рекомендацій щодо їх природного відновлення з метою подальшого використання для рекреації, риборозведення і технічного водозабезпечення.

Проведена оцінка об'єктивності застосування загальновідомих методів визначення первинної продукції у різнотипних водних об'єктах.

Особистий внесок здобувача. Дисертанткою розроблена концепція дослідження, проведено збір матеріалів, здійснена їх камеральна обробка, проведено експерименти з оцінки інтенсивності продукції та деструкції органічної речовини, сформульована проблема, поставлені завдання, проаналізовані результати дослідження, проведена статистична обробка отриманих даних. Авторка самостійно опрацювала літературу з питань дисертаційної роботи, здійснила теоретичне узагальнення результатів натурних досліджень та лабораторної обробки проб, сформулювала висновки та оформила дисертацію. Здобувачка особисто або в співавторстві підготувала до друку наукові праці, в яких викладено основні положення дисертації. Права співавторів публікацій при написанні дисертації не порушені.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати дисертаційної роботи були оприлюднені на V–VI з'їздах Гідроекологічного товариства України (Житомир, 2010; Київ, 2015); I–IX науково-практичній Всеукраїнській конференції для молодих учених та студентів «Біологічні дослідження» (Житомир, 2010–2019); VII Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Україна наукова» (Київ, 2010); IV Міжнародній конференції «Актуальные проблемы современной альгологии» (Київ, 2012); III Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Фундаментальні та прикладні дослідження в біології» (Донецьк, 2014); VII Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Вода в харчовій промисловості» (Одеса, 2016); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України» (Полтава, 2015); XXXIII Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал світової науки – XXI сторіччя» (Запоріжжя, 2015); III Міжнародній науково-практичній конференції «Інтеграційна система освіти, науки і виробництва в сучасному інформаційному просторі» (Тернопіль, 2016); VI Міжнародній конференції «Актуальні проблеми сучасної альгології» (Київ, 2019); науково-практичній конференції «Водні і наземні екосистеми та збереження їх біорізноманіття» (Житомир, 2019); науковій конференції, присвяченій 110-річчю заснування Дніпровської біологічної станції «Перспективи гідроекологічних досліджень в контексті проблем довкілля та соціальних викликів» VIII з'їзду Гідроекологічного товариства України (Київ, 2019).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи відображені в 55 наукових публікаціях, із них 22 – у фахових періодичних виданнях, у тому числі 9 статтях, включених до міжнародної наукометричної бази даних Scopus.

Об'єм роботи. Дисертація складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел, який нараховує 369 найменувань (латиною – 112) та додатків. Обсяг дисертації становить 394 сторінки, з яких 274 сторінки основного тексту, 36 сторінок (які включають 1 таблицю) – додатки. У тексті дисертації міститься 75 таблиць та 87 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В основу роботи покладені матеріали, отримані впродовж 2007–2019 рр. на різнотипних водних об'єктах басейнів головних водотоків Полісся – Прип'яті й Тетерева в межах території України. Дослідженнями було охоплено 21 водотік, що належать до рівнинних. Станції відбору проб розміщені переважно у середній та нижній течії річок.

Дослідження виконувалися на озерах карстового походження Луко, Воронки, Острівське (Рівненська обл.), озері постгляціального походження Дідове, яке входить до складу однойменного гідрологічного заказника загальнодержавного значення в Україні, та заболоченому озері Горохівка (Житомирська обл.). Вивчення закономірностей формування й функціонування фітопланктону здійснювали на 5 водосховищах: Денишівському, Житомирському (р. Тетерів), Бердичівському (р. Гнилоп'ять), Миропільському та Новоград-Волинському (р. Случ). Станції відбору проб знаходилися у верхньому та нижньому б'єфах водоймищ. Також дослідження проводили на кар'єрах: піщаних – Селецькому та Слобідському, гранітних – Богунському, Соколовському, Сонячному (м. Житомир та його околиці), Цегельному (м. Коростень), Морозівському (Рівненська обл.) та кар'єру з видобутку ільменітів Іршанського гірничозбагачувального комбінату (Житомирська обл.).

Зразки у досліджуваних водних об'єктах відбирали переважно щомісяця впродовж не менше 3-х вегетаційних сезонів (березень – листопад), рідше – подекадно. Загалом було відібрано й оброблено 2020 альгологічних проб, які опрацьовувалися загальновідомими гідробіологічними методами (Методи ..., 2006). Паралельно на кожній станції вимірювали температуру води, глибину та прозорість за допомогою диску Секкі.

У роботі використовували таксономічну систему водоростей, запропоновану в зведенні «Algae of Ukraine» (2006; 2009; 2011; 2014) та інтернет-ресурсі AlgaeBase (<https://www.algaebase.org/>). Біоіндикаційний аналіз проводили з урахуванням індикаторних характеристик водоростей, наведених у літературних джерелах (Watanabe, 1986; Van Dam, 1994; Барінова, 2006; Sivaci, 2013). Сапробіологічна оцінка якості води здійснена за методом Пантле-Букк у модифікації Сладечека (Sladeček, 1963). Інформаційне різноманіття (за біомасою фітопланктону) розраховували за індексом Шеннона (Одум, 1986). Для порівняння видового складу фітопланктону водних об'єктів або їх окремих ділянок визначали коефіцієнт видової подібності (Sorensen, 1948).

Домінуючими вважали види, які склали щонайменше 10% від загальної біомаси фітопланктону (Охупкин, Старцева, 2003). Також визначали частоту трапляння видів (Девяткин, Митропольская, 2002).

Хімічні аналізи виконані в ДУ «Житомирський обласний лабораторний центр Держсанепідемслужби України, контрольно-вимірювальній лабораторії комунального підприємства «Житомирводоканал» (свідоцтво про реєстрацію № 4 від 21.10.2013 р.), Бердичівській районній державній лабораторії ветеринарної медицини (атестат акредитації № 05-040 від 31.03.2010 р.) і на кафедрі ботаніки,

біоресурсів та збереження біорізноманіття Житомирського державного університету імені Івана Франка.

Особливості міграції силіцію в залежності від розвитку фітопланктону вивчали на прикладі даних, отриманих упродовж 2012–2013 рр. на нижній ділянці Денишівського водосховища. Визначення вмісту біогенного ($Si_{\text{біог}}$) і мінерального ($Si_{\text{мін}}$) кремнію були проведені співробітниками відділу прісноводної гідрохімії Інституту гідробіології НАН України П. М. Линником, Т. П. Жежерєю та В. А. Жежерєю, за що автор висловлює щирю вдячність.

Аналіз основних тенденцій просторової динаміки структурно-функціональних показників розвитку річкового фітопланктону під дією антропогенних чинників здійснено на прикладі р. Гнилоп'ять за результатами власних досліджень, проведених упродовж 2004–2006 рр. та 2014–2016 рр. на стаціонарних станціях, що охоплювали Бердичівське водосховище, нижче розташовану річкову ділянку, а також ділянки річки нижче очисних споруд м. Бердичів та зарегульовану Скраглівецьким ставком.

Первинну продукцію фітопланктону та деструкцію органічної речовини визначали кисневою модифікацією склянкового методу (Винберг, 1960; Щербак, 1996) на горизонтах 0,10; 0,25; 0,5 і 1,0 м у залежності від глибини водних об'єктів. Для визначення вмісту розчиненого у воді кисню використовували метод Вінклера (Методи ..., 2006). Інтегральну продукцію $\sum A$ під 1 м² розраховували як добуток від множення інтенсивності фотосинтезу на глибині максимуму A_{max} і прозорості води на станції (Бульон, 1983); інтегральну деструкцію $\sum R$ – множенням середніх показників деструкції R на досліджуваних горизонтах водної товщі та глибини водойми (Минеева, 2009). Використовували паралельно добові (9 год.–9 год.) та 4-годинні експозиції. Визначення первинної продукції планктону балансовим методом проводили згідно (Лебедев, 1993). Для оцінки інтенсивності сонячної радіації (Q) (Шмаков, 1988) були використані дані таблиць ТМ-12 актинометричних спостережень на станціях Бориспіль, Нова Ушиця, Ковель за 2005–2017 рр., отримані в архіві Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського.

Для переходу від кисневих одиниць до енергетичних використовували коефіцієнт 3,51 мг O₂/кал (Бульон, 1983).

Для оцінки сукцесійного стану водних екосистем розраховували індекс зрілості: $\theta = \lg D/P$ (Виноградов, Шушкіна, 1983). в інтерпретації Н. М. Минеевої: $\theta = \lg \sum R / \sum A$ (Минеева, 2003).

Встановлення об'єктивності різних методичних підходів до визначення первинної продукції фітопланктону і деструкції органічної речовини в різнотипних водних об'єктах, різною мірою залежних від антропогенної дії та адаптації загальновідомих методів її визначення, було проведено в експедиційних і стаціонарних спостереженнях на річках Синявка, Хомора, Лісна, Житомирському і Бердичівському водосховищах, а також Соколовському кар'єрі.

Оцінка якості води здійснена за біомасою, первинною продукцією фітопланктону, даними біоіндикаційного аналізу, гідрохімічними показниками води, індексом сапробності, які зіставляли з класами якості вод (Методи ..., 2006).

Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою стандартних

методів (Лакин, 1980; Гаркавий, Ярова, 2004), реалізованих у пакеті статистичних програм Microsoft Excel, STATISTICA 6.0, Past. Візуалізацію статистично опрацьованих даних проводили шляхом побудови графіків та діаграм за допомогою програм Microsoft Excel і Graph Pad. У роботі обговорюються лише значимі кореляції ($p < 0,05$).

ФІТОПЛАНКТОН РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ БАСЕЙНІВ ПРИП'ЯТІ І ТЕТЕРЕВА

Визначено високе флористичне багатство водоростей планктону водотоків. Загальний список нараховує 621 вид, представлений 660 внутрішньовидовими таксонами з номенклатурним типом виду включно (в. в. т.), які належали до 217 родів, 81 родини, 35 порядків, 14 класів, 9 відділів. У флористичному відношенні найбагатше представлені відділи зелених (31,1% від загальної кількості видів) і діатомових (28,0%) водоростей. На третьому місці за видовою насиченістю знаходилися евгленові (17,9%). У притоках Прип'яті ідентифіковано 492 види, представлених 517 в. в. т., які належать до 158 родів, 74 родин, 36 порядків, 27 класів і 9 відділів із домінуванням зелених, діатомових та евгленових. У складі флори річок басейну Тетерева ідентифіковано 424 види планктонних водоростей, представлені 446 в. в. т., із 158 родів, 59 родин, 33 порядків, 14 класів, 9 відділів. Переважали Chlorophyta (30,4%), Bacillariophyta (30,2%), Euglenophyta (18,2%), Cyanoprokaryota (7,8%).

Усі досліджувані річки, незважаючи на певну індивідуальність і різну видову насиченість, віднесені до однієї з трьох груп. У першій (річки Уж, Уборть, Вілія, Кам'янка Лісова, Путятинка, Лісна, Полква, Кремно) переважають діатомові, у другій (Горинь, Гнилоп'ять, Гуйва, Деревичка, Зелена, Крошенка, Ікопоть, Синявка, Бересток, Бобрівка) – зелені, у третій (Случ, Коднянка і Корчик) – зелені і діатомові водорості представлені практично рівною кількістю видів. У річках першої групи виявлено зростання вмісту загального заліза у порівнянні з іншими. Особливо це стосувалося річок Кремно, Уж та Уборть, де ці показники зростали до 0,61–2,40 мг/дм³. Встановлено прямий зв'язок між кількістю видових і внутрішньовидових таксонів діатомових водоростей та концентрацією загального заліза у річковій воді ($r=0,38$, $n=63$).

Кількісні показники фітопланктону досліджуваних річок змінювалися в широких межах. Граничні середні значення чисельності водоростевих клітин склали $0,058 \pm 0,01$ – $28,617 \pm 1,12$ млн кл./дм³, а біомаси – $0,298 \pm 0,02$ – $5,005 \pm 0,71$ мг/дм³. За біомасою фітопланктону більшість досліджуваних річок можна віднести до II класу якості вод; річки Ікопоть, Деревичка, Синявка, Гнилоп'ять, Лісна, Зелена і Бобрівка – до III класу. Середні значення індексу сапробності були в межах $1,43 \pm 0,06$ – $2,37 \pm 0,11$, що відповідає II–III класам якості вод.

Важливим показником стану річкових екосистем є складність структури угруповань водоростей. У досліджених річках середні значення індексу Шеннона варіювали від $1,07 \pm 0,09$ до $2,94 \pm 0,11$ біт/мг. Вони вказують на переважання полідомінантної структури фітопланктону у ріках Горинь, Случ, Кремно, Зелена, Лісна і Коднянка (2,03–2,94 біт./мг), олігодомінантної – відповідно у річках

Гнилоп'ять, Вілія, Корчик, Деревичка, Крошенка, Синявка, Уборть, Корчик, Уж, Полква, Путятинка, Бобрівка (1,54–1,92 біт./мг). Найнижчі значення N_B спостерігали в річках Бересток, Ікопоть і Гуйва (1,07–1,40 біт./мг). Переважання моно- і олігодомінантної структури фітопланктону цих водотоків значною мірою є наслідком антропогенного навантаження на їх екосистеми.

Встановлено, що в мезотрофних за рівнем первинної продукції річках домінуючі компоненти фітопланктону сформовані значним числом видів, серед яких провідними були різні представники родів *Chlamydomonas* Ehrenberg, *Cyclotella* (Kützing) Brébisson, *Trachelomonas* Ehrenberg, *Euglena* Ehrenberg, *Peridinium* Ehrenberg і *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont. Сезонні зміни складу водоростей виражені нечітко, помітного збіднення домінантного комплексу видів в осінній період та збагачення в літній не відбувається. Зі зростанням рівня трофії спостерігається посилення ролі центричних діатомових водоростей *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *C. stelligera* (Cleve & Grunow) Van Heurck і *Stephanodiscus hantzschii* Grunow. У річках із підвищеною кольоровістю (Уборть, Уж) у складі домінантного комплексу траплялися представники золотистих водоростей *Chrysococcus rufescens* Klebs, *Pseudokephyrion pilidium* Schiller, *Kephyrion ovum* Pascher. У водотоках із частково зарегульованим стоком (Гнилоп'ять, Гуйва, Вілія) посилюється інтенсивність вегетації *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahaul.

До видів із високою частотою трапляння (понад 50%) у досліджуваних водотоках належало 20. Їх склад у басейнах Прип'яті і Тетерева мав значну подібність ($K_s=0,52$). Проте, лише один вид *Chlamydomonas globosa* J. W. Snow мав високу частоту трапляння в більшості річок.

Порівняння власних результатів досліджень кількісних показників розвитку фітопланктону приток Прип'яті і літературних, отриманих упродовж 1960–1963 рр. (Радзимовський, 1970) і 1980–1983 рр. (Крахмальний, 1990) свідчить, що середні значення чисельності і біомаси фітопланктону цих водотоків на сучасному етапі наблизилися до їх рівня до початку меліорації у 60-их роках минулого століття, коли середня чисельність у притоках Прип'яті складала 3 млн кл./дм³, а біомаса – 1 мг/дм³. Після проведення меліорації (80-і роки ХХ століття) спостерігали значне зростання чисельності (у середньому до 7 млн кл./дм³) і біомаси (до 14 мг/дм³) фітопланктону. Зміни таксономічного складу були наступними: до початку меліорації домінували діатомові, зелені та синьозелені, після її проведення – зелені, діатомові, синьозелені, а на сучасному етапі – зелені, діатомові та евгленові.

Аналіз часової динаміки фітопланктону приток Тетерева здійснювали, порівнюючи власні дані, отримані впродовж 2003–2006 рр. (Кузьмінчук, 2007) і 2007–2019 рр. Відомості щодо фітопланктону приток Тетерева за більш ранній період мали переважно спорадичний характер. За зазначений період відзначено помітне збільшення числа ідентифікованих видів, зростання видового багатства евгленових і діатомових та зменшення – харових водоростей. У більшості приток Тетерева за останнє десятиріччя суттєвих змін чисельності і біомаси фітопланктону не виявлено. Їх зростання спостерігалось в р. Гнилоп'ять.

Особливості трансформації річкового фітопланктону під впливом антропогенних чинників вивчали на прикладі р. Гнилоп'ять. Аналіз просторового

розподілу фітопланктону водотоку засвідчив його виражену дискретність. Найбільше число таксонів рангом нижче роду (117) відмічене на зарегульованій ділянці (Бердичівське водосховище), що, ймовірно, обумовлено специфікою створених у процесі зарегулювання водойм, зокрема їх значною біотопічною неоднорідністю. Найменшу кількість видів, різновидів та форм водоростей ідентифікували нижче очисних споруд (26). Найбільшу видову представленість на всіх ділянках мали зелені водорості (40–60%). Збільшення видового багатства Chlorophyta на ділянці річки, зарегульованій Скраглівецьким ставком, може бути пов'язане з посиленням антропогенного евтрофування. Найбільшу частку евгленових (24%) відмічали на ділянці річки, яка зазнає впливу очисних споруд м. Бердичів.

Аналіз еколого-географічних характеристик індикаторних видів водоростей показав, що у фітопланктоні досліджуваних ділянок річки Гнилоп'ять переважають планктонно-бентосні (46–55%) і планктонні (30–42%) форми. Найвища частка планктонних видів відмічена на річковій ділянці нижче водосховища, водночас на ділянках нижче очисних споруд і зарегульованій ставком відзначено найбільшу частку форм, приурочених до ґрунтових, наземних субстратів (9–13%). Відмічено переважання індикаторів стоячо-текучих вод (73–81%), індиферентів за відношенням до pH (47–63%) та солоності (68–81%) й еврисапробів (50–78%). На ділянці нижче очисних споруд фіксували високу частку сапрофілів (50%), що свідчить про значний рівень органічного забруднення. Основну частку індикаторів сапробності формували β -мезосапроби (36–47%), оліго- α -мезосапроби (11–22%), β -олігосапроби (0–16%) та оліго- β -мезосапроби (0–11%). Найбільша частка β - α -мезосапробів, α - β -мезосапробів та α -полісапробів відзначена на ділянці нижче очисних споруд (у сумі 16%).

Кількісний розвиток фітопланктону р. Гнилоп'ять мав такі особливості: найвищі значення чисельності та біомаси на зарегульованих ділянках річки та нижче очисних споруд спостерігали восени, на річковій ділянці нижче водосховища максимум біомаси відмічено влітку, а чисельності – навесні. Середні значення чисельності та біомаси фітопланктону найвищими були на зарегульованій ділянці, найнижчими – на ділянці нижче очисних споруд. Значення індексу сапробності найвищим було на ділянці річки нижче очисних споруд ($S=2,0$).

ФІТОПЛАНКТОН ОЗЕР

У складі фітопланктону досліджуваних озер виявлено 156 видів (159 в. в. т.), які належали до 81 роду, 46 родин, 28 порядків, 14 класів. У флористичному відношенні найбагатше представлені відділи діатомових, зелених (по 30,8% від загальної кількості видів) і евгленових (12,2%) водоростей.

Співвідношення таксонів різних відділів в окремих озерах відрізнялося. У Воронківському озері діатомові за видовим багатством поступалися зеленим та синьозеленим, у Горохівці пропорція зелені – діатомові зберігалася. В озерах Луко та Горохівка третє місце за кількістю видів займали евгленові, у Воронківському і Дідовому – синьозелені, в Острівському участь цих відділів була однаковою. Фітопланктон озер характеризувався значним числом одновидових родів (65–91%).

У карстових озерах Острівське, Воронки і Луко середня чисельність була в межах $1,302 \pm 0,08 - 3,887 \pm 0,10$ млн кл./дм³, біомаса – $2,130 \pm 0,36 - 5,933 \pm 0,92$ мг/дм³. Нижчими вони були в Дідовому озері ($0,150 \pm 0,02$ млн кл./дм³ і $0,793 \pm 0,03$ мг/дм³) та Горохівці ($0,027 \pm 0,002$ млн кл./дм³ і $0,439 \pm 0,040$ мг/дм³). За середніми значеннями біомаси фітопланктону озера належать до I–III класу якості вод. Аналіз інформаційного різноманіття показав, що озерам, крім Острівського ($H_B = 3,06 \pm 0,11$), властиве переважання моно- та олігодомінантної структури фітопланктону впродовж усіх сезонів ($H_B = 0,94 \pm 0,05 - 1,93 \pm 0,04$). Середні значення індексу сапробності були в межах $1,51 \pm 0,03 - 1,81 \pm 0,12$, що відповідає II класу якості вод.

Встановлено, що в озерах доміinantний комплекс фітопланктону сформований видами водоростей, які найчастіше належать до родів *Peridinium*, *Chlamydomonas*, *Crucigeniella* Lemmermann, *Cyclotella*, *Aulacoseira* Thwaites. До видів із частотою трапляння понад 50% належали: в озері Луко – *Trachelomonas volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg (52%), *Cyclotella meneghiniana* (52%); у Воронківському – *Gomphosphaeria aponina* Kützing (51%); в Острівському – *C. meneghiniana* (89%), *C. stelligera* (77%), *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen (89%), *A. italica* (Ehrenberg) Simonsen (77%), *Stephanodiscus hantzschii* (77%), *Nitzschia acicularis* (Kützing) W. Smith (56%), *T. volvocina* (77%), *Aphanizomenon flos-aquae* (67%) і *Chlamydomonas globosa* (56%). У Дідовому озері та Горохівці не було виявлено жодного виду із частотою трапляння понад 50%.

ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОРІЧНОЇ ДИНАМІКИ ФІТОПЛАНКТОНУ ВОДОСХОВИЩ ІЗ РІЗНИМ РІВНЕМ ТРОФНОСТІ

Аналіз результатів власних досліджень, отриманих упродовж 2004–2006 рр. (Кузьмінчук, 2007) і 2007–2019 рр., дозволив у складі фітопланктону Денишівського, Житомирського, Бердичівського, Миропільського та Новоград-Волинського водосховищ ідентифікувати 284 види, представлені 307 в. в. т., із 14 класів, 28 порядків, 50 родин та 123 родів. Найбільшу видову насиченість мали відділи зелених (32,7% від загального списку видів) і діатомових (24,6%) водоростей. Таке співвідношення властиве водоростевим угрупованням планктону кожної водойми. Найбагатше представлений фітопланктон Житомирського водосховища, яке має найбільшу площу і приймає води річок Гуйва й Гнилоп'ять. Зі збільшенням площі та об'єму водосховищ зростає роль синьозелених водоростей: у Житомирському та Денишівському водосховищах вони за кількістю видів займають третє місце (13,8–14,2%), у Бердичівському їх дещо випереджають евгленові, які є помітнішими в найменших водосховищах – Миропільському і Новоград-Волинському. Зі збільшенням площі та об'єму водосховищ відзначено зростання частки динофітових водоростей.

За середніми значеннями біомаси фітопланктону ($0,578 \pm 0,11 - 4,254 \pm 0,67$ мг/дм³) водосховища можна віднести до II–III класу якості вод; індексу сапробності ($1,59 \pm 0,08 - 1,94 \pm 0,05$) – II класу. Середня чисельність клітин водоростей планктону у водосховищах була в межах $0,130 \pm 0,09 - 88,871 \pm 2,24$ млн кл./дм³. Переважання олігодомінантної структури фітопланктону у водосховищах свідчить про специфіку створених у процесі зарегулювання водойм ($H_B = 1,46 \pm 0,12 -$

1,81±0,24 біт./мг).

У водосховищах доміантний комплекс переважно формують різні види родів *Aphanizomenon* A. Morren ex É. Bornet & C. Flahault, *Oscillatoria*, *Anabaena* Bory ex Bornet & Flahault, *Peridinium*, *Chlamydomonas*, *Stephanodiscus* Ehrenberg, *Cyclotella*, *Navicula* Bory, *Nitzschia* Hassall, *Ceratium* F. Schrank, *Acutodesmus* (Hegewald) Tsarenko, *Phacotus* Perty і *Coelastrum* Nägeli.

Досліджувані водойми характеризувалися наявністю по 4–8 видів із високою частотою трапляння. Порівняння фітопланктону водосховищ за складом видів, що найчастіше трапляються, показало їх значну схожість ($K_s=0,36-0,74$). Однак, лише вид *Cyclotella meneghiniana* має високу частоту трапляння в усіх водосховищах.

Особливості багаторічної динаміки фітопланктону малих водосховищ вивчали на прикладі Денишівського і Житомирського, які відрізняються за морфометричними особливостями та рівнем трофії (Денишівське за біомасою фітопланктону – мезотрофне, Житомирське – евтрофне).

Порівняння таксономічного складу водоростей за результатами власних досліджень різних років (2004–2007 рр. і 2008–2017 рр.) показало, що у флористичному відношенні в обох водосховищах найбагатшими відділами були зелені, діатомові та синьозелені водорості. За зазначений період у Денишівському водосховищі відбулося збільшення частки зелених, золотистих і евгленових водоростей, та зниження – діатомових, зникнення харових і жовтозелених, а також поява криптонад. У Житомирському відмічено послаблення флористичної участі синьозелених, посилення евгленових, зникнення жовтозелених. На рівні класів спостерігали зростання частки Chrysophyceae та зникнення представників класу Zygnematorphyceae у Денишівському, а в Житомирському – зростання флористичної ролі Chrysophyceae і Mediophyceae. В обох водосховищах збільшилася наповненість видами класу Euglenophyceae. Помітнішими є перебудови структури фітопланктону водосховищ на рівні провідних порядків, родин та родів. Кількісний розвиток фітопланктону водосховищ у різні роки досліджень також відрізнявся. Спільною особливістю була визначальна роль синьозелених водоростей у формуванні чисельності фітопланктону, а субдомінантами впродовж літа-осені виступали зелені та діатомові. У Денишівському водосховищі спостерігалася тенденція до зниження біомаси фітопланктону, а також зростання в її формуванні частки синьозелених та евгленових водоростей із одночасним суттєвим зниженням ролі діатомових. У Житомирському водосховищі величини біомаси за майже десятирічний період не змінилися. У Денишівському водосховищі максимумами чисельності й біомаси у різні періоди досліджень реєстрували в літній період, а в Житомирському було зафіксовано зміщення максимумів біомаси від літа до осені.

Доведено, що діатомові водорості беруть участь у міграції кремнію у воді: на прикладі Денишівського водосховища показано, що зі збільшенням їх біомаси концентрація розчиненого кремнію знижується, а завислого – зростає ($r=0,73$ для поверхневого горизонту, $n=16$; $r=0,63$ для придонного, $n=16$). Вилучення з товщі води розчиненого кремнію діатомовими водоростями є не просто поглинанням, у його основі лежить процес трансформації, тобто перетворення за участю діатомей форм кремнію – розчиненої в завислу.

ОСОБЛИВОСТІ СУКЦЕСІЇ ФІТОПЛАНКТОНУ ШТУЧНИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

У фітопланктоні кар'єрів виявлено 357 видів (368 в. в. т.). Найбільшою кількістю видів були представлені зелені (26,3–47,6%) та діатомові (21,4–42,1%) водорості. Таке співвідношення властиве конкретним флорам майже кожної водойми, крім Соколовського кар'єру, де частка діатомових була порівняно нижчою (16,7%). У цьому кар'єрі відмічено зростання флористичної ролі синьозелених водоростей (26,7%). У штучних водоймах реєстрували найнижчі серед досліджуваних водних об'єктів значення родових коефіцієнтів (від 1,16 до 1,70).

Найбільшу подібність видового складу мали гранітні кар'єри м. Житомир – Богунський і Сонячний, а також піщані – Слобідський і Селецький.

Чіткої закономірності у сезонному розподілі чисельності та біомаси фітопланктону кар'єрів не виявлено. Середня чисельність фітопланктону була в межах $0,901 \pm 0,08$ – $11,122 \pm 0,14$ млн кл./дм³; біомаса – $0,249 \pm 0,03$ – $2,681 \pm 0,13$ мг/дм³ (I–III клас якості вод).

Аналіз інформаційного різноманіття показав, що у більшості кар'єрів переважає моно- та олігодомінантна структура фітопланктону впродовж усіх сезонів; у Морозівському, Крошенському і Слобідському – полідомінантна. Середнє значення індексу сапробності було в межах $1,65 \pm 0,06$ – $2,14 \pm 0,07$, що відповідає II–III класам якості вод. Найнижчі значення індексу сапробності фіксували у Сонячному і Соколовському, а найвищі – в ільменітовому Іршанському кар'єрі.

Кар'єри мали спільну особливість: у них високу частоту трапляння мав вид *Cyclotella meneghiniana* (64–100%). Домінантні комплекси кар'єрів відрізнялися індивідуальністю, свідченням якої була відсутність жодного спільного виду-домінанта та низькі коефіцієнти їх видової подібності ($K_s=0,00$ – $0,48$). Це вказує на своєрідність формування доміантних комплексів штучних водойм. У кар'єрах до складу доміантних комплексів переважно входили *Cyclotella meneghiniana*, *Chlamydomonas monadina* (Ehrenberg) F. Stein, *Ch. globosa*, *Coelastrum microporum* Nägeli та *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing.

Сукцесії водоростевих угруповань водойм, які виникли на місці кар'єрів із видобутку корисних копалин, є основою формування нового типу водних екосистем Українського Полісся.

ПЕРВИННА ПРОДУКЦІЯ ЯК ЕНЕРГЕТИЧНА ОСНОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ПОЛІССЯ

Первинна продукція фітопланктону річкових екосистем Полісся. Впродовж вегетаційних сезонів у притоках Прип'яті інтенсивність валової первинної продукції на глибині оптимального фотосинтезу A_{max} змінювалася від 0,16 до 9,95 мг O₂/(дм³·добу), інтегральна продукція $\sum A$ – від 0,06 до 10,60 г O₂/(м²·добу); деструкція R – від 0,17 до 9,94 мг O₂/(дм³·добу), інтегральна деструкція $\sum R$ – від 0,12 до 6,96 г O₂/(м²·добу). У притоках Тетерева A_{max} коливалася від 0,01 до 13,86 мг O₂/(дм³·добу), $\sum A$ – від 0,06 до 13,87 г O₂/(м²·добу), R – від 0,20 до 10,29 мг O₂/(дм³·добу), $\sum R$ – від 0,09 до 11,32 г O₂/(м²·добу) (табл. 1).

**Межі коливань (у чисельнику) і середні $X \pm m_x$ значення (у знаменнику)
первинної продукції та деструкції органічної речовини, P/B- коефіцієнти річок**

Річки	A_{max} , мг O ₂ / (дм ³ ·добу)	$\sum A$, г O ₂ / (м ² ·добу)	P/B - коефіцієнт	R, мг O ₂ / (дм ³ ·добу)	$\sum R$, г O ₂ / (м ² ·добу)
Басейн Прип'яті					
Горинь	<u>2,60–7,80</u> 4,61±0,44	<u>2,30–4,91</u> 3,40±0,38	<u>0,15–1,24</u> 0,43±0,06	<u>0,80–5,10</u> 2,95±0,40	<u>0,48–3,06</u> 2,48±0,36
Случ	<u>0,16–9,15</u> 3,82±0,47	<u>0,06–7,96</u> 1,37±0,16	<u>0,05–2,22</u> 0,95±0,08	<u>0,50–6,21</u> 1,94±0,23	<u>0,50–5,85</u> 1,80±0,17
Уж	<u>0,45–6,53</u> 4,00±0,36	<u>0,78–5,22</u> 3,20±0,16	<u>0,19–0,30</u> 0,22±0,09	<u>0,85–4,87</u> 1,79±0,27	<u>1,04–4,39</u> 1,74±0,18
Уборть	<u>1,04–7,53</u> 3,23±0,31	<u>0,42–3,01</u> 1,94±0,28	<u>0,16–1,20</u> 0,53±0,01	<u>0,30–6,53</u> 2,70±0,11	<u>0,21–3,19</u> 1,93±0,14
Корчик	<u>0,33–9,95</u> 5,74±0,76	<u>0,13–3,92</u> 2,30±0,17	<u>0,17–1,10</u> 0,63±0,04	<u>1,10–6,25</u> 3,02±0,26	<u>0,31–2,31</u> 1,08±0,11
Вілія	<u>0,44–2,26</u> 1,00±0,14	<u>0,19–2,33</u> 1,19±0,09	<u>-0,53–1,74</u> 0,32±0,08	<u>0,22–2,01</u> 0,82±0,32	<u>0,18–1,44</u> 0,76±0,28
Ікопоть	<u>3,26–9,77</u> 6,69±0,71	<u>2,11–10,60</u> 5,69±0,54	<u>0,26–1,42</u> 0,75±0,14	<u>1,10–5,43</u> 3,24±0,54	<u>1,21–3,97</u> 2,43±0,36
Полква	<u>0,47–1,97</u> 1,04±0,21	<u>0,43–1,31</u> 1,02±0,18	<u>-0,31–5,91</u> 1,61±0,29	<u>0,18–2,06</u> 0,95±0,19	<u>0,18–2,06</u> 0,95±0,19
Синявка	<u>1,16–5,55</u> 3,94±0,30	<u>1,16–9,13</u> 3,45±0,51	<u>0,01–3,13</u> 0,44±0,08	<u>0,17–9,94</u> 2,70±0,31	<u>0,12–6,96</u> 2,88±0,24
Бересток	<u>0,51–3,38</u> 2,00±0,26	<u>0,32–2,73</u> 1,20±0,45	<u>0,10–0,80</u> 0,31±0,06	<u>0,40–3,61</u> 1,32±0,16	<u>0,28–0,62</u> 0,43±0,05
Басейн Тетерева					
Гнилоп'ять	<u>2,29–13,86</u> 6,35±0,47	<u>2,29–13,87</u> 3,36±0,71	<u>0,14–1,88</u> 0,56±0,07	<u>0,81–10,29</u> 4,04±0,03	<u>0,89–11,32</u> 4,44±0,47
Кам'янка Лісова	<u>0,65–5,22</u> 2,72±0,10	<u>0,16–1,31</u> 0,68±0,03	<u>0,10–0,76</u> 0,30±0,06	<u>0,32–2,17</u> 1,19±0,12	<u>0,10–0,65</u> 0,29±0,02
Коднянка	<u>0,30–11,06</u> 5,78±0,47	<u>0,21–7,74</u> 4,05±0,54	<u>0,73–7,45</u> 2,81±0,13	<u>0,20–3,57</u> 2,31±0,18	<u>0,21–2,73</u> 1,58±0,19
Лісна	<u>0,01–7,30</u> 2,97±0,29	<u>0,06–3,29</u> 1,32±0,31	<u>0,03–1,31</u> 0,36±0,05	<u>0,32–2,42</u> 1,12±0,19	<u>0,13–3,42</u> 0,84±0,08
Путятинка	<u>0,33–3,27</u> 1,02±0,21	<u>0,55–1,83</u> 0,86±0,10	<u>0,13–0,71</u> 0,28±0,05	<u>0,49–3,47</u> 1,27±0,15	<u>0,29–3,28</u> 1,30±0,17
Зелена	<u>1,07–10,87</u> 5,99±0,78	<u>0,72–7,39</u> 4,03±0,35	<u>0,10–1,15</u> 0,37±0,05	<u>0,80–5,67</u> 2,56±0,21	<u>0,24–3,26</u> 1,65±0,16
Бобрівка	<u>1,62–11,72</u> 6,08±0,73	<u>0,81–5,13</u> 2,90±0,15	<u>0,10–5,71</u> 1,76±0,13	<u>1,63–8,00</u> 3,01±0,21	<u>0,83–4,08</u> 1,73±0,29
Крошенка	<u>0,22–10,00</u> 2,59±0,41	<u>0,80–3,22</u> 1,29±0,22	<u>0,02–4,44</u> 1,02±0,22	<u>0,60–1,96</u> 1,12±0,16	<u>0,09–1,78</u> 0,69±0,04

Сезонна динаміка інтенсивності фотосинтезу досить чітко виражена і характеризується наростанням A_{max} від весни до літа та зниженням до осені в мезотрофних водах. В евтрофних водах до середини осені спостерігається досить висока валова первинна продукція фітопланктону. У мезотрофних водах найбільші показники A_{max} спостерігали переважно в липні, в евтрофних – у вересні. Інтегральна первинна продукція в основному зберігає і повторює тенденції часових і просторових змін A_{max} .

У річкових екосистемах басейнів Прип'яті і Тетерева ефективність утилізації сонячної енергії ($EUSE$, U) у загальних рисах повторює динаміку первинної продукції. У річках із високим рівнем трофії спостерігали зростання $EUSE$ від весни до середини осені. Розрахунки вказують на те, що на власний обмін водоростей у водотоках витрачається від 11% (р. Полква) до 35% (Кам'янка Лісова) валової первинної продукції. У вигляді доступної наступним трофічним рівням чистої продукції в евфотній зоні залишається від 41% (р. Гнилоп'ять) до 78% (р. Коднянка) валової продукції. Дихальні втрати фітопланктону складають у середньому від 15% (р. Горинь) до 53% (р. Бересток).

Індекс A/R упродовж вегетаційного сезону у досліджених водотоках коливався в межах 0,10–8,45. У просторовому розподілі відношення A/R знижувалося зі збільшенням глибини на глибоководних ділянках. Найвищі значення індексу A/R фіксували у річках Бересток, Уж, Ікопоть, Корчик і Коднянка.

Середні значення $\sum A/\sum R$ протягом вегетаційного сезону для всіх водотоків, окрім річки Путятинка, вищі за 1. Переважання гетеротрофної фази у р. Путятинка, ймовірно, є відгуком її екосистеми на антропогенний тиск, оскільки річка частково каналізована, а береги її бетоновані. Можливо, саме за рахунок алохтонних надходжень підтримується гетеротрофна активність цієї річкової екосистеми.

Переважання автотрофних процесів над гетеротрофними пов'язане з невеликими глибинами водотоків басейнів Прип'яті і Тетерева, оскільки мілководні зони є повністю евфотними, за класифікацією С. П. Китаєва (1984) – оптично глибокими. За прозорості води в 1,0 м границя фотичного шару, як правило, розміщується на глибині 3,0–3,5 м. Енергетичною субсидією, що обумовлює переважання автотрофної фази, виступає й висока забезпеченість водоростей біогенними елементами, а також відносно інтенсивний прогрів води значних за площею мілководних зон водотоків. У сезонному циклі гетеротрофна фаза спостерігається ранньої весни та пізньої осені. Середні за вегетаційні сезони індекси зрілості характеризують угруповання річок як «розвинуті» або «рівноважні».

Аналіз первинної продукції річок Кам'янка Лісна і Гнилоп'ять упродовж 2004–2018 рр. свідчить про відсутність направлених змін цього показника в часі, що вказує на стабільність функціонування їх екосистем.

Особливості формування первинної продукції озер. Упродовж вегетаційних сезонів A_{max} і $\sum A$, R , $\sum R$ змінювалися в озерах у досить широких межах (табл. 2).

У досліджених озерах значення $EUSE$ були співвідносні з наведеними в літературі відомостями щодо Нарочанських озер Республіки Білорусь (Михеева, 1979), озера Байкал, озер Вологодської та Ярославської областей (Росія) (Бондаренко, 1997; Минеева, 1984), а також м. Київ (Кравцова, 2019). Граничні

значення склали 0,01–0,54% у Воронківському озері, 0,01–0,22% – у Лукомському, 0,01–0,15% – у Горохівці. Сезонна динаміка цього показника в озерах Луко та Воронки характеризувалася максимумами в квітні та червні – серпні, а в Горохівці відзначено досить низькі значення $EVCE$ у літній період.

Таблиця 2

Межі коливань (у чисельнику) і середні $X \pm m_x$ значення (у знаменнику) первинної продукції та деструкції органічної речовини, P/B -, A/R -, $\sum A/\sum R$ - коефіцієнти озер

Показники	Озера		
	Луко	Воронки	Горохівка
A_{max} , мг O_2 /(дм ³ ·добу)	<u>0,01–1,96</u> 1,26±0,33	<u>0,02–2,89</u> 1,27±0,24	<u>0,17–1,05</u> 0,51±0,09
$\sum A$, г O_2 /(м ² ·добу)	<u>0,01–1,57</u> 1,01±0,14	<u>0,03–2,31</u> 1,02±0,19	<u>0,16–0,84</u> 0,41±0,08
P/B -коефіцієнт	<u>0,08–6,15</u> 1,60±0,42	<u>0,05–8,27</u> 1,66±0,44	<u>0,28–3,18</u> 0,43±0,30
R , мг O_2 /(дм ³ ·добу)	<u>0,31–1,01</u> 0,59±0,12	<u>0,32–2,56</u> 1,14±0,19	<u>0,50–5,86</u> 2,33±0,77
$\sum R$, г O_2 /(м ² ·добу)	<u>0,34–1,10</u> 0,63±0,13	<u>0,30–2,82</u> 1,25±0,24	<u>0,45–4,25</u> 1,89±0,37
A/R	<u>0,03–3,02</u> 1,84±0,26	<u>0,01–4,06</u> 1,70±0,22	<u>0,16–0,84</u> 0,33±0,07
$\sum A/\sum R$	<u>0,02–2,54</u> 1,41±0,25	<u>0,01–3,42</u> 1,35±0,39	<u>0,16–0,75</u> 0,29±0,05

Сезонні зміни інтенсивності фотосинтезу досить чітко виражені: у Лукомському озері вона зростає від весни до літа і різко знижується восени, а в Горохівці – максимуми інтенсивності фотосинтезу припадають на весняний період, влітку відмічається її зниження із незначним зростанням до середини осені. Інтегральна первинна продукція у досліджених озерах повторювала тенденції часових змін A_{max} . Сумарна за вегетаційний сезон (квітень – жовтень) первинна продукція в озерах Луко та Воронки склала 56 і 64 г С/м²; у Горохівці – 27 г С/м². У сезонному циклі основний запас органічної речовини у Лукомському і Воронківському озерах синтезується влітку, в озері Горохівка – навесні.

Аналіз отриманих даних щодо дихальних втрат фітопланктону засвідчив, що на власний обмін водоростей витрачається 13–18% валової первинної продукції. У вигляді доступної наступним трофічним рівням чистої продукції в евфотній зоні залишається від 55% до 63% валової продукції. Дихальні втрати фітопланктону складають у середньому від 4% до 35%.

Середні значення P/B -коефіцієнтів свідчать про переважання впродовж вегетаційного сезону автотрофної фази в Лукомському і Воронківському озерах, гетеротрофної – у Горохівці. Переважання деструкційних процесів над продукційними в оз. Горохівка, незважаючи на порівняно невеликі глибини (до 1,3 м), обумовлено високою кольоровістю, в результаті – низькою прозорістю води.

Середні за вегетаційні сезони індекси зрілості характеризують угруповання досліджених озер як «молоді».

Формування потоків енергії малих водосховищ. Досліджені водосховища на сучасному етапі функціонування характеризуються досить високою інтенсивністю фотосинтезу. В цілому валова первинна продукція фітопланктону змінюється від 0,16 до 15,66 мг O_2 /(дм³·добу), інтегральна – від 0,30 до 12,58 г O_2 /(м²·добу), деструкція органічної речовини – від 0,22 до 10,29 мг O_2 /(дм³·добу), інтегральна деструкція – від 0,24 до 10,29 г O_2 /(м²·добу) (табл. 3). Функціональна активність водоростей була найвищою у Денишівському водосховищі. Зі зростанням трофії її рівень знижувався. Оскільки ефективність утилізації сонячної енергії фітопланктоном збільшується з ростом трофії, то зменшення *P/B*-коефіцієнтів узгоджується з закономірностями розвитку лентичних екосистем, що супроводжується зниженням кількості енергії, яка витрачається на одиницю біомаси (Margalef, 1975).

Таблиця 3

Межі коливань (у чисельнику) і середні $X \pm m_x$ значення (у знаменнику) первинної продукції та деструкції органічної речовини, *P/B*-коефіцієнти водосховищ басейнів Прип'яті і Тетерева

Водосховища	A_{max} , мг O_2 / (дм ³ ·добу)	$\sum A$, г O_2 / (м ² ·добу)	<i>P/B</i> - коефіцієнти	<i>R</i> , мг O_2 / (дм ³ ·добу)	$\sum R$, г O_2 / (м ² ·добу)
Новоград-Волинське (евтрофне)	<u>0,16–3,14</u> 1,65±0,35	<u>0,46–2,14</u> 1,46±0,25	<u>0,02–2,23</u> 0,89±0,06	<u>0,22–2,28</u> 1,25±0,18	<u>0,24–2,28</u> 1,01±0,08
Денишівське (евполітрофне)	<u>0,42–6,91</u> 3,16±0,11	<u>0,37–7,10</u> 3,38±0,22	<u>0,18–1,70</u> 1,11±0,08	<u>0,46–5,66</u> 2,84±0,30	<u>0,78–6,24</u> 4,07±0,22
Житомирське (політрофне)	<u>0,59–11,37</u> 5,22±0,14	<u>0,30–6,49</u> 3,43±0,40	<u>0,06–1,67</u> 0,84±0,05	<u>0,32–6,49</u> 3,66±0,39	<u>0,45–8,21</u> 4,03±0,32
Бердичівське (гіпертрофне)	<u>2,29–15,66</u> 7,90±0,53	<u>2,29–12,58</u> 6,58±0,68	<u>0,15–1,88</u> 0,67±0,03	<u>0,81–10,29</u> 4,62±0,46	<u>1,05–10,29</u> 5,13±0,40

Примітка. Тип трофії зазначено за валовою первинною продукцією.

Індекс *A/R* у водосховищах упродовж вегетаційного сезону змінювався від 0,10 до 6,22. Найпомітніше швидкість фотосинтезу переважала швидкість деструкції у Новоград-Волинському і Бердичівському водосховищах ($\sum A / \sum R > 1$), що, ймовірно, обумовлено інтенсивним прогрівом водної товщі, а також особливостями оптичної глибини – вони є повністю евфотними. Переважання гетеротрофної фази ($\sum A / \sum R < 1$) спостерігали у значно глибших водосховищах – Житомирському та Денишівському.

Аналіз динаміки первинної продукції на Денишівському й Житомирському водосховищах за період 2005–2017 рр. засвідчив відсутність направлених змін первинної продукції планктону водосховищ за весь період досліджень. Цьому сприяють перебудови водоростевих угруповань на рівні таксономічної структури і домінантних комплексів.

Сезонні зміни валової первинної продукції досить чітко виражені у водосховищах із різним типом трофії: у Житомирському валова та інтегральна

первинна продукція зростають від весни до початку осені з подальшим зниженням, у Денишівському спостерігається декілька підйомів первинної продукції: у кінці квітня – травні та у липні – серпні, а найнижчі A_{max} зафіксовані восени. Отже, при збільшенні трофії відбувається зміщення максимумів інтенсивності фотосинтезу від весни-літа до літа – початку осені.

Сезонна динаміка E_{UCE} у Житомирському та Бердичівському водосховищах характеризувалася максимумами в липні – жовтні, у Денишівському – липні – вересні, а в Новоград-Волинському – у квітні та липні.

Сумарна за вегетаційний сезон (квітень – жовтень) первинна продукція в евтрофному Новоград-Волинському водосховищі склала $91,9 \text{ г С/м}^2$; в евополітрофному Денишівському – $197,19 \text{ г С/м}^2$; у політрофному Житомирському – $216,1 \text{ г С/м}^2$, в гіпертрофному Бердичівському – $414,3 \text{ г С/м}^2$. У сезонному циклі основний запас органічної речовини у Бердичівському і Житомирському водосховищах синтезується влітку і восени, у Новоград-Волинському і Денишівському – влітку і навесні. На власний обмін водоростей витрачається від 12% до 25% валової первинної продукції. У вигляді доступної наступним трофічним рівням чистої продукції в евфотній зоні залишається від 61% до 86% валової продукції. Дихальні втрати фітопланктону водосховищ складають у середньому від 14% до 35%.

Середні за вегетаційні сезони індекси зрілості характеризують угруповання водосховищ як «рівноважні». Однак ці стани мінливі: у Новоград-Волинському і Бердичівському водосховищах переважно у ході сезонної сукцесії стан змінюється від «рівноважного» навесні через «розвинутий» улітку, який періодично чергувався з «рівноважним», до «рівноважного» восени. У Новоград-Волинському водосховищі у вересні спостерігали навіть підтримання «молодого» стану. У Житомирському і Денишівському водосховищах переважали молодші стани: «рівноважний» та «молодий».

Первинна продукція та деструкція органічної речовини в штучних водних об'єктах. Водойми, які виникли на місці затоплених кар'єрів, мають досить високу інтенсивність продукційних і деструкційних процесів. Показники первинної продукції на горизонті максимального фотосинтезу були в межах $0,50\text{--}9,77 \text{ мг О}_2/(\text{дм}^3 \cdot \text{добу})$, інтегральної – від $1,13$ до $10,75 \text{ г О}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$, деструкції органічної речовини – від $0,32$ до $6,19 \text{ мг О}_2/(\text{дм}^3 \cdot \text{добу})$, інтегральної деструкції – від $1,35$ до $11,46 \text{ г О}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$ (табл. 4).

Сумарна за квітень – жовтень первинна продукція в кар'єрах сягає від 167 до 431 г С/м^2 . E_{UCE} змінювалася впродовж вегетаційного сезону у широких межах: від $0,02$ до $1,05\%$. Функціональна активність водоростей була високою у більшості досліджених водойм.

У кар'єрах, не залежно від рівня трофії, спостерігали декілька максимумів інтенсивності продукційних процесів (як правило, навесні, влітку і восени). Поява додаткових піків продуктивності фітопланктону обумовлена змінами структури фітопланктону в штучних водоймах.

На власний обмін водоростей витрачається від 6% до 13% валової первинної продукції. У вигляді доступної наступним трофічним рівням чистої продукції в

евфотній зоні залишається від 49% до 79% валової продукції. Дихальні втрати фітопланктону складають у середньому від 6% до 27%.

Таблиця 4

Межі коливань (у чисельнику) і середні $X \pm m_x$ значення (у знаменнику) A_{max} , R (мг O_2 /(дм³·добу), ΣA , ΣR (г O_2 /(м²·добу), P/B -, A/R і $\Sigma A/\Sigma R$ -коефіцієнтів кар'єрів

Показ-ники	I	II	III	IV	V	VI	VII
A_{max}	<u>0,50–3,55</u> 2,11±0,40	<u>0,60–4,10</u> 2,41±0,18	<u>0,96–9,97</u> 5,00±0,37	<u>2,10–6,50</u> 4,63±0,45	<u>0,53–1,96</u> 1,26±0,18	<u>1,57–3,25</u> 2,23±0,39	<u>1,30–6,22</u> 4,24±0,37
ΣA	<u>2,22–9,24</u> 4,66±0,49	<u>2,10–7,90</u> 4,43±0,18	<u>2,55–10,75</u> 6,59±0,83	<u>2,90–8,80</u> 5,15±0,58	<u>2,75–4,15</u> 3,45±0,18	<u>1,13–3,29</u> 2,48±0,20	<u>2,50–6,90</u> 5,08±0,39
R	<u>0,90–2,40</u> 1,57±0,22	<u>0,80–2,50</u> 1,59±0,09	<u>0,42–5,82</u> 2,79±0,38	<u>1,03–5,82</u> 2,80±0,20	<u>0,32–1,00</u> 0,55±0,09	<u>0,45–0,80</u> 0,63±0,09	<u>0,49–6,19</u> 3,14±0,29
ΣR	<u>2,40–6,60</u> 4,71±0,37	<u>2,30–5,40</u> 3,42±0,61	<u>2,79–11,46</u> 6,24±0,42	<u>2,84–6,60</u> 4,63±0,58	<u>2,22–6,95</u> 4,68±0,31	<u>1,35–2,40</u> 1,91±0,28	<u>4,60–9,10</u> 6,91±0,21
P/B	<u>0,10–2,50</u> 1,11±0,30	<u>0,12–2,61</u> 1,29±0,23	<u>0,33–3,40</u> 1,92±0,20	<u>0,90–3,40</u> 2,50±0,20	<u>0,37–2,09</u> 1,07±0,16	<u>0,10–0,87</u> 0,39±0,06	<u>0,31–3,40</u> 1,89±0,23
A/R	<u>0,85–1,71</u> 1,34±0,08	<u>0,75–2,34</u> 1,51±0,24	<u>0,91–9,15</u> 3,42±0,26	<u>0,95–3,16</u> 1,81±0,32	<u>1,59–4,06</u> 2,52±0,34	<u>2,03–6,50</u> 3,79±0,31	<u>0,31–2,86</u> 1,98±0,27
$\Sigma A/\Sigma R$	<u>0,46–1,60</u> 0,95±0,18	<u>0,60–2,50</u> 1,30±0,14	<u>0,34–3,35</u> 1,10±0,11	<u>0,81–1,45</u> 1,17±0,03	<u>0,59–1,24</u> 0,65±0,08	<u>0,54–1,73</u> 1,05±0,13	<u>0,39–1,41</u> 0,71±0,18

Примітка. I – Богунський кар'єр, II – Сонячний, III – Слобідський, IV – Селецький, V – Соколовський, VI – Морозівський, VII – Цегельний.

Аналіз змін індексу зрілості показав, що досліджені екосистеми не досягають «зрілого» стану. У кар'єрах переважають ранні стадії, де розвиваються переважно «молоді» та «рівноважні» водоростеві угруповання.

Порівняльна оцінка методів визначення продукції фітопланктону водних об'єктів різної трофності і проточності. Співставлення отриманих власних результатів визначення валової первинної продукції склянковим методом при добовому і 4-годинному експонуванні проб показало, що в усіх дослідженнях на високопродуктивних річках і водосховищах первинна продукція, інтегрована з 4-годинних експозицій, проведених у світлий і темний період доби, була вищою за добові показники: в річках у 1,6–3,6, у водосховищах – у 1,1–2,4 рази. При цьому біомаса фітопланктону переважно не перевищувала 15 мг/дм³. У цілому в досліджених річках і водосховищах інтегрована із 4-годинних експозицій продукція достовірно перевищувала добову (величина t -критерію Стьюдента, розрахована для річок, рівна 2,482 ($p=0,024$), для водосховищ – 2,191 ($p=0,045$)). Для Соколовського кар'єру статистично достовірної різниці між добовою продукцією фітопланктону й інтегрованою з 4-годинних експозицій не виявлено. Співвідношення цих показників не перевищувало 1,05–1,28, $t = 0,203$ ($p=0,849$).

На доцільність обчислення добової продукції інтегруванням величин, визначених у короткотривалих експозиціях, указує й встановлена різна

інтенсивність первинної продукції протягом світлового дня. Дослідження на Житомирському і Бердичівському водосховищах, а також р. Лісній показали, що найбільша кількість синтезованої органічної речовини припадає на період із 9 до 13 години у Бердичівському водосховищі, а в Житомирському водосховищі і р. Лісній максимум фотосинтезу припадає на 13–17 години (рис. 1).

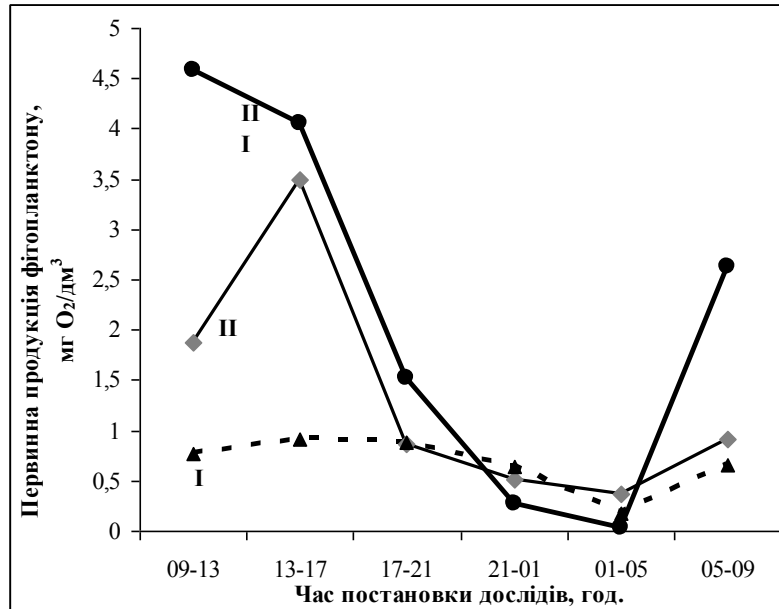


Рис. 1. Добовий хід первинної продукції планктону різнотипних водних об'єктів. I – р. Лісна, II – Житомирське водосховище, III – Бердичівське водосховище.

Деструкція органічної речовини при перерахунку на 1 годину у 83% вимірювань при короткотривалих експозиціях була в 1,3–7,0 разів вищою, ніж при добових, у 17% дослідів – нижчою на 11–80%. Найменше співвідношення середнього показника деструкції органічної речовини при 4- і 24-годинному експонуванні проб отримане для Соколовського кар'єру.

Отже, об'єктивна оцінка продукційно-деструкційних процесів склянковим методом у високопродуктивних водних об'єктах, незалежно від їх величини, не можлива без обліку даних короткотривалих дослідів із визначення первинної продукції і деструкції органічної речовини навіть за показників біомаси фітопланктону, що не перевищують 15 мг/дм³.

Співставлення розрахованого A/R -коефіцієнту для різнотипних водних екосистем при короткотривалій і добовій експозиціях не виявило суттєвих відмінностей. Це свідчить про те, що для характеристики направленості продукційно-деструкційних процесів у водних об'єктах таких типів об'єктивним є використання показників первинної продукції і деструкції органічної речовини, отриманих як у добових, так і в короткотривалих експозиціях.

Інтегральна і отримана балансовим методом продукція достовірно не відрізнялися – $t=0,924$ ($p=0,369$), що дозволяє не погодитися з існуючим положенням, наведеним Ю. М. Лебедевим (Лебедев, 1993) про те, що склянковий метод, який широко застосовується для вимірювань первинної продукції та дихання у річкових екосистемах, у властивих для водотоків умовах високої турбулентності дає занижені результати.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРНИХ І ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФІТОПЛАНКТОНУ РІЗНОТИПНИХ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ПОЛІССЯ

Особливістю водозбірних басейнів Прип'яті і Тетерева є помірна заболоченість території. Кольоровість вод переважно відповідає мезогумозному типу. Через значну антропогенну складову в басейнах Прип'яті і Тетерева у водних об'єктах усіх типів відмічаємо досить високий вміст біогенних елементів. Усереднення отриманих даних за типами водних об'єктів показало, що найвищий вміст загального азоту і фосфору фосфатів спостерігається у кар'єрах та водосховищах, найменший – у річках. Порівняно високі концентрації загального азоту фіксували й в озерах. За значеннями середньої за вегетаційний сезон температури поверхневого шару води водойми лентичного типу мало відрізняються, зниження цього показника спостерігали у річках. Маючи морфометричну своєрідність, досліджені водойми та водотоки відрізнялися і за гідрооптичними параметрами. Прозорість води найвища в кар'єрах і водосховищах і зменшується в напрямку: кар'єри → водосховища → річки → озера (табл. 5).

Таблиця 5

Основні абіотичні характеристики (середні значення $X \pm m_x$) різнотипних водних об'єктів басейнів Прип'яті і Тетерева

Показники	Водні об'єкти			
	Річки	Озера	Водосховища	Кар'єри
Прозорість, м	0,77±0,03	0,62±0,05	1,09±0,02	1,21±0,02
Кольоровість, °	36,20±1,58	47,67±4,45	42,70±0,78	23,3±0,96
pH	7,34±0,09	7,22±0,09	7,84±0,18	6,90±0,06
Вміст розчиненого у воді кисню, мг O ₂ /(дм ³ ·добу)	9,93±1,64	8,68±0,61	11,2±0,67	7,82±0,11
Температура поверхневого шару води, °С	15,68±0,84	17,30±1,10	17,50±0,72	17,42±0,32
Перманганатна окиснюваність, мг O ₂ /дм ³	9,01±0,54	10,01±1,64	11,11±0,21	5,98±0,13
Вміст загального азоту, мг N/дм ³	0,83±0,04	2,05±0,42	1,45±0,14	3,21±0,22
Вміст фосфору фосфатів, мг P/дм ³	0,05±0,003	0,02±0,001	0,07±0,002	0,08±0,003

Зворотний зв'язок між прозорістю і кольоровістю води ($r=-0,51- -0,92$) у водних об'єктах усіх типів є свідченням того, що їх світловий режим визначається вмістом гумусових речовин.

Максимальну середню кількість видів і внутрішньовидових таксонів ідентифіковано у водосховищах. Другу позицію за видовим багатством фітопланктону займають річки, третю – водні екосистеми, які утворилися на місці затоплених кар'єрів. Найменшим середнім числом видів сформований планктон озер (табл. 6). За кількістю таксонів рангом нижче роду у загальному списку видів у водних об'єктах усіх типів переважали зелені і діатомові водорості (рис. 2). У найбільших водосховищах – Житомирському і Денишівському, та у більшості кар'єрів на третьому місці за видовим багатством знаходилися синьозелені.

Структурні і функціональні показники (середні значення $X \pm m_x$) розвитку фітопланктону різнотипних водних об'єктів басейнів Прип'яті і Тетерева

Показники	Водні об'єкти			
	Річки	Озера	Водосховища	Кар'єри
Кількість видів	106,8±5,29	58,4±2,44	118,8±2,82	98,7±3,00
B , мг/дм ³	2,30±5,29	1,36±0,15	2,88±0,37	1,95±0,15
N , млн кл./дм ³	5,58±0,98	1,38±0,25	9,29±1,45	1,79±0,09
S	1,85±0,06	1,73±0,36	1,77±0,06	1,74±0,20
H , біт./мг	1,89±0,02	1,64±0,05	1,76±0,03	1,62±0,10
A_{max} , мг O ₂ /(дм ³ ·добу)	4,46±0,19	1,03±0,01	5,73±0,75	4,18±0,55
ΣA , г O ₂ /(м ² ·добу)	4,98±0,20	0,78±0,05	5,93±0,63	5,29±0,50
R , мг O ₂ /(дм ³ ·добу)	2,28±0,09	1,12±0,05	3,62±0,38	1,94±0,37
ΣR , г O ₂ /(м ² ·добу)	1,63±0,08	1,38±0,06	4,00±0,37	6,11±0,77
A/R	2,30±0,14	0,89±0,03	1,86±0,22	2,55±0,31
$\Sigma A/\Sigma R$	3,71±0,20	0,86±0,08	1,48±0,17	0,93±0,06
P/B -коефіцієнт	0,70±0,14	1,19±0,11	0,88±0,17	1,22±0,05
U , %	0,43±0,03	0,06±0,01	0,47±0,05	0,53±0,06

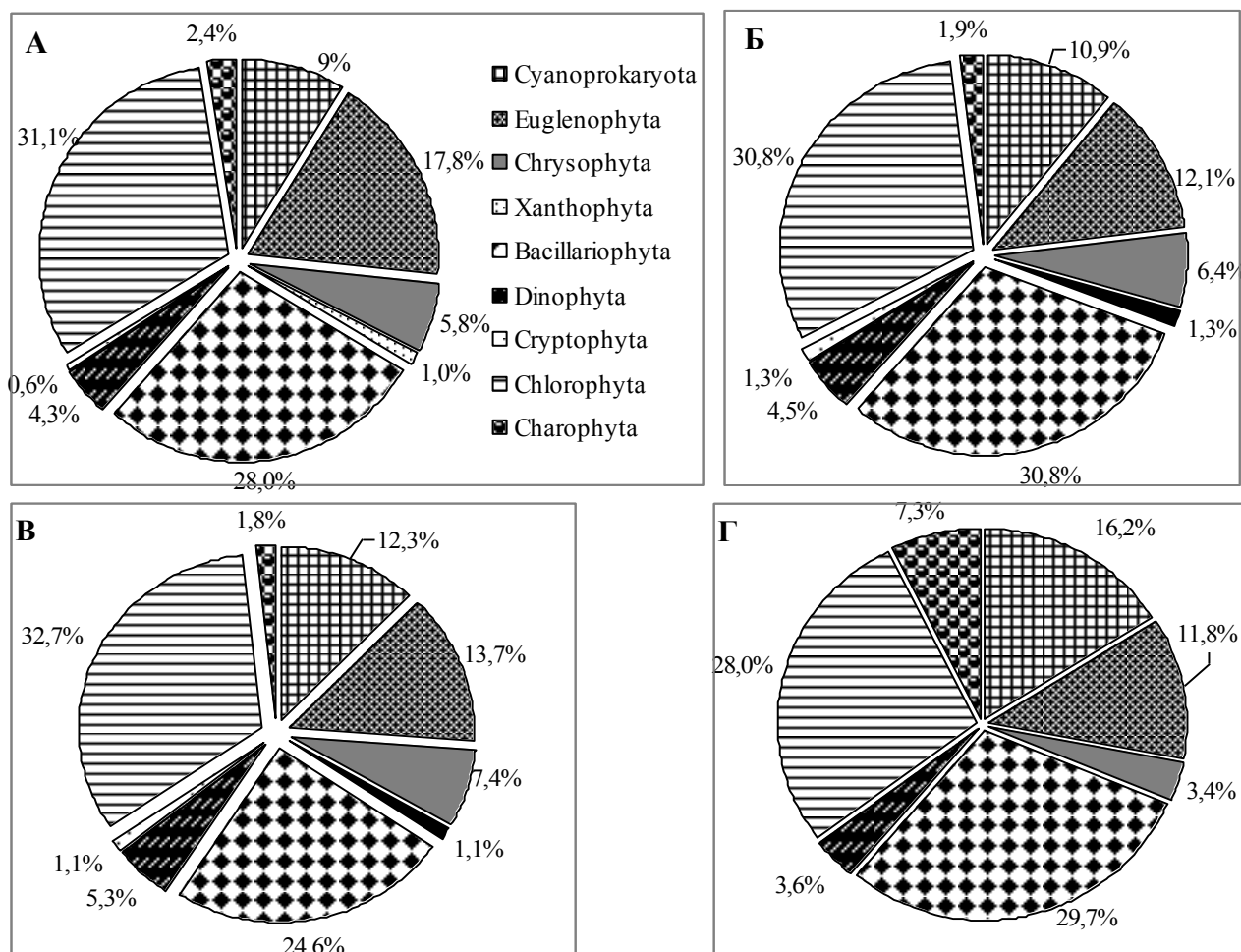


Рис. 2. Таксономічний склад фітопланктону річок (А), озер (Б), водосховищ (В), кар'єрів (Г).

У найменших за площею водосховищах – Миропільському і Новоград-Волинському та більшості річок, озерах Луко і Горохівка третю позицію займали евгленові водорості.

Усього у досліджених водних об'єктах басейнів Прип'яті і Тетерева ідентифіковано 812 видів (877 в. в. т. із номенклатурним типом виду включно), які належать до 15 класів, 43 порядків, 99 родин і 261 роду.

Збільшення кольоровості води у всіх типах водних об'єктів обумовлювало зменшення числа видів ($r=-0,70$ – $-0,79$). Проте, у кар'єрах ця залежність була слабшою ($r=-0,25$).

Зворотний зв'язок між біомасою та вмістом загального азоту, виявлений у річках, водосховищах і озерах, є результатом його активного поглинання клітинами водоростей ($r=-0,39$ – $-0,61$); у водоймах, які утворилися на місці затоплених кар'єрів, він прямий ($r=0,43$). У водосховищах у порівнянні з іншими типами вод відчутніший вплив на біомасу фітопланктону фосфору фосфатів ($r=0,46$).

Середні значення родового коефіцієнта зменшувалися у напрямку: річки (1,90) → водосховища (1,74) → озера (1,53) → кар'єри (1,43). У водосховищах і кар'єрах вплив вмісту азоту на складність структури угруповань сильніший (коефіцієнти кореляції між вмістом загального азоту і значеннями родового коефіцієнту були в межах $-0,71$ – $-0,74$), ніж у річках та озерах ($r=-0,39$ – $-0,42$).

У річках та водосховищах зростання вмісту загального азоту ($r=0,52$ – $0,67$), а в озерах – фосфору фосфатів ($r=0,77$) обумовлює зростання ролі високопродуктивних дрібноклітинних центричних діатомових, як відмічали й інші дослідники (Stoemer, Nakansson, 1984; Casper et al., 1987; Охупкин, 1998), свідченням чого є збільшення відношення числа видів центричних діатомових до числа пенатних зі зростанням вмісту загального азоту чи фосфору фосфатів. Слабким був зв'язок між діатомовим коефіцієнтом та вмістом загального азоту в кар'єрах ($r=0,23$).

Середня за вегетаційні сезони біомаса фітопланктону знижувалася в напрямку: водосховища → річки → кар'єри → озера. Вищі середні значення біомаси планктонних водоростей у водосховищах і річках обумовлені їх біотопічною неоднорідністю за високої ресурсної забезпеченості. Зниження біомаси в окремих річках може бути спричинене дією антропогенного навантаження (у тому числі стічних вод).

Інтенсивність фотосинтезу характеризувалася таким само співвідношенням величин. За рахунок великих глибин і прозорості інтегральна первинна продукція була найвищою у водосховищах та кар'єрах і знижувалася у напрямку: водосховища → кар'єри → річки → озера. Ефективність використання сонячної енергії у процесі фотосинтезу зменшувалися у напрямку: кар'єри (0,73%) → водосховища (0,61%) → річки (0,50%) → озера (0,06%).

Інтенсивність фотосинтезу в усіх типах водних екосистем визначається біомасою фітопланктону ($r=0,51$ – $0,76$), а також впливом таких абіотичних чинників, як сонячна радіація ($r=0,32$ – $0,58$), температура води ($r=0,18$ – $0,56$), вміст загального азоту ($r=0,21$ – $0,77$) і фосфору фосфатів ($r=0,52$ – $0,54$).

Кольоровість у річках і озерах пригнічувала інтенсивність фотосинтезу ($r=-0,35$ – $-0,51$). Однак, у водосховищах та кар'єрах була встановлена позитивна

кореляція між валовою первинною продукцією і кольоровістю ($r=0,71-0,78$), на яку вказували й дослідники для великих водосховищ Волги, пояснюючи це можливим стимулюючим впливом на розвиток водоростей гумусових сполук, подібним до дії гіберелінів (Guminski, 1983).

Продукційні процеси у досліджених водних екосистемах басейнів Прип'яті і Тетерева виконують середовищеутворюючу роль, зміщуючи pH у лужний бік ($r=0,40-0,58$), змінюючи їх газовий (це підтверджують коефіцієнти кореляції між вмістом розчиненого у воді кисню і первинною продукцією: $r=0,50-0,68$) та світловий режими. Зв'язок інтенсивності фотосинтезу з прозорістю у річках і озерах прямий ($r=0,44-0,58$), у водосховищах і кар'єрах – зворотний ($r=-0,51- -0,67$).

У річках, водосховищах і кар'єрах із первинною продукцією тісно пов'язана деструкція органічної речовини. Найсильніше зв'язок виражений у водосховищах ($r=0,82$), що свідчить про найвищу серед досліджених типів водних об'єктів швидкість включення новоутвореної органічної речовини в біотичний кругообіг.

Інтенсивність деструкції органічної речовини пов'язана з pH ($r=0,37-0,63$), що в свою чергу формується під впливом процесів синтезу та окиснення органічної речовини. Залежність її від кисневого режиму ($r=0,19-0,76$) обумовлена інтенсифікацією процесів окиснення під дією кисню; від температури ($r=0,25-0,52$), за винятком кар'єрів ($r=0,07$), – власне, механізмом ферментативних дихальних процесів.

$EVCE$ (U) у водних екосистемах кожного типу визначалася інтенсивністю фотосинтезу. У річках ця залежність була слабшою ($r=0,33$) у порівнянні з лентичними водними екосистемами ($r=0,64-0,84$). У річках та затоплених кар'єрах залежність ефективності утилізації сонячної енергії від надводної опроміненості має зворотний характер ($r=-0,49- -0,54$), що пояснюється можливостями світлової адаптації водоростей (Reynolds, 1984; Falkowski, Raven, 1997), які використовують низьку світлову енергію з більшою ефективністю. В озерах та водосховищах вплив надводного опромінення на U слабкий ($r=0,12-0,29$).

Прозорість прямо впливає на $EVCE$ в усіх типах водних екосистем ($r=0,11-0,48$). Виявлена пряма залежність цього показника від температури ($r=0,17-0,32$) є ще одним підтвердженням того, що ефективність функціонування автотрофної ланки й екосистем загалом може певною мірою змінюватися в умовах глобальних кліматичних змін.

В усіх типах водних екосистем U зростає зі збільшенням рівня загального азоту ($r=0,32-0,60$).

Оцінка трофічного статусу за інтенсивністю фотосинтезу та біомасою фітопланктону, які є репрезентативними показниками реалізованої продукції і покладені в основу чисельних шкал трофності, показала невідповідність у категоріях трофії для більшості річок і водосховищ, а також для Цегельного, Соколовського, Селецького і Слобідського кар'єрів. Трофічний статус, визначений за інтенсивністю фотосинтезу, був вищим, ніж визначений за біомасою фітопланктону. Неадекватність у трофічному статусі водних екосистем за цими показниками, ймовірно, обумовлена переважанням у домінантних комплексах дрібноклітинних високопродуктивних видів, які забезпечують підтримку високого

трофічного статусу водних екосистем при порівняно невеликій біомасі фітопланктону за достатньої забезпеченості водоростей біогенними речовинами. Окрім того, висока інтенсивність фотосинтезу водотоків та малих водосховищ із великими площами мілководних ділянок, а в малих річках взагалі з їх переважанням, пояснюється підвищеною швидкістю продукційних процесів мілководь (Петрова, 1990), високою асиміляційною активністю фітопланктону та інтенсивним використанням променевої енергії (Минеева, 2009).

У водних екосистемах високого рівня трофії відмічено зміщення максимумів первинної продукції від весни-літа до кінця літа – початку осені, що зумовлено змінами температури води за останні десятиріччя і подовженням вегетаційного сезону.

Аналіз інформаційного різноманіття фітопланктону за індексом Шеннона показав, що найбільші значення H_B властиві річковим екосистемам, його зменшення відбувається в напрямку: річки → водосховища → озера → кар'єри. Зростання вмісту біогенів обумовлює зниження інформаційного різноманіття у всіх типах водних екосистем. Між вмістом загального азоту та індексом Шеннона виявлено негативну кореляцію в річках, кар'єрах та озерах ($r=-0,36-0,67$). У водосховищах абіотичним параметром, який визначає величину інформаційного різноманіття, був вміст фосфору фосфатів ($r=-0,73$). Наявність прямого зв'язку між інформаційним різноманіттям і температурою води встановлено у кар'єрах ($r=0,54$), а в інших типах водних екосистем зміни різноманіття не лімітуються температурним чинником.

Оцінка рівня органічного забруднення водної товщі водойм та водотоків за середніми значеннями індексів сапробності показала, що вони переважно є β -мезосапробними. Погіршення якості води спостерігали в окремих водних екосистемах усіх типів. Проте найчастіше воно спостерігається у водних екосистемах із високим рівнем трофії в осінній період внаслідок вторинного забруднення автохтонною органічною речовиною.

Ранжування водних об'єктів за вмістом фосфору фосфатів (Методи ..., 2006) дозволило проаналізувати мінливість продукційних характеристик фітопланктону та деяких абіотичних параметрів у водах різної трофії (табл. 7).

Зі змінами трофії пов'язана низка абіотичних параметрів. Так, зниження прозорості відбувається в напрямку: оліготрофні → мезотрофні → евтрофні води за зростання вмісту розчиненого у воді кисню. При переході від оліготрофних до мезотрофних вод спостерігається зростання вмісту загального азоту, в евтрофних він різко знижується.

Зі зростанням рівня трофії відбувається збільшення значень pH і кольоровості вод. Зміни за градієнтом трофії показників, які безпосередньо характеризують продукцію і деструкцію органічної речовини (A_{max} , $\sum A$, R , $\sum R$, U) значною мірою узгоджується з основними положеннями розвитку екосистем (Одум, 1996). При зростанні трофії відмічаємо й зростання валової та інтегральної продукції. Деструкція органічної речовини, як процес, який підтримує цілісність екосистем, повинна бути високою за високої біомаси, що відповідає зростанню деструкції зі зростанням рівня трофії.

У ряду оліго – мезо – евтрофні води відбувається збільшення ефективності утилізації сонячної енергії, що відповідає переходу до затіненої екосистеми, якій властивий вищий коефіцієнт використання світла.

Таблиця 7

Середні значення ($X \pm m_x$) продукційних характеристик фітопланктону та абіотичних параметрів у водах різної трофії (за вмістом фосфору фосфатів)

Параметри	оліготрофні води	мезотрофні води	евтрофні води
pH	7,17±0,28	7,26±0,33	7,74±0,26
Прозорість, м	1,08±0,04	0,88±0,07	0,87±0,08
Кольоровість, °	37,75±2,59	42,60±3,27	42,71±3,3
Вміст розчиненого у воді кисню, мг O_2 /дм ³	9,27±0,77	9,64±0,74	10,63±0,61
Вміст загального азоту, мг N/дм ³	1,29±0,40	1,86±0,32	1,02±0,11
B , мг/дм ³	1,29±0,24	2,39±0,61	2,98±0,58
A_{max} , мг O_2 /(дм ³ ·добу)	2,61±0,43	3,69±0,09	5,02±0,73
$\sum A$, г O_2 /(м ² ·добу)	1,76±0,07	2,69±0,55	2,33±0,22
R , мг O_2 /(дм ³ ·добу)	1,76±0,40	2,37±0,35	2,73±0,60
$\sum R$, г O_2 /(м ² ·добу)	1,24±0,07	1,61±0,06	2,12±0,52
$\sum A/\sum R$	1,36±0,22	1,83±0,24	1,54±0,23
U , %	0,27±0,04	0,36±0,06	0,44±0,04

Таким чином, при різній забезпеченості енергетичними і мінеральними ресурсами фітопланктон річок, озер, водосховищ і кар'єрів Полісся відрізняється за таксономічним багатством, інформаційним різноманіттям, складом домінуючих комплексів, а також видів із високою частотою трапляння. Різноманіття фітопланктону та інтенсивність вегетації визначається особливостями біогенного та світлового режиму. Інтенсивність фотосинтезу і співвідношення продукційно-деструкційних процесів значною мірою залежать від якісних та кількісних показників розвитку фітопланктону, вмісту біогенних елементів, гідрооптичних умов, морфометричних особливостей водойм і водотоків. Найбільше вплив сонячної радіації на інтенсивність фотосинтезу виражений у водних екосистемах лентичного типу. Підтримання позитивної направленості балансу органічної речовини відносно неглибоких річок і водосховищ зумовлене інтенсивним прогрівом їх мілководь і великою оптичною глибиною цих водних об'єктів. У кар'єрах і озерах позитивний баланс органічної речовини забезпечено високим вмістом біогенів, зокрема загального азоту. Гетеротрофна фаза переважає в глибоких водосховищах Житомирському і Денишівському, озері Горохівка, Соколовському, Богунському і Цегельному кар'єрах. При цьому продукційні процеси у досліджених водних екосистемах басейнів Прип'яті і Тетерева виконують середовищеутворюючу роль, змінюючи їх світловий і газовий режими та зміщуючи pH у лужний бік.

ВИСНОВКИ

На підставі аналізу таксономічного складу, інформаційного різноманіття,

кількісних показників розвитку водоростевих угруповань планктону, первинної продукції і деструкції органічної речовини, їх часової та просторової динаміки встановлені основні закономірності формування і функціонування фітопланктону водних екосистем Полісся в градієнті залежності від антропогенного навантаження – від природних вод до істотно змінених і штучних водних об'єктів.

1. При різній забезпеченості енергетичними і мінеральними ресурсами фітопланктон різнотипних водних екосистем Полісся відрізняється за таксономічним багатством, інформаційним різноманіттям, складом домінантних комплексів. Загальний список водоростей, ідентифікованих у водоймах та водотоках басейнів Прип'яті і Тетерева, включає 812 видів (877 в. в. т.), які належать до 15 класів, 43 порядків, 99 родин і 261 роду. Найвища середня кількість видів зустрічалася у водосховищах і зменшувалася в напрямку: водосховища → річки → кар'єри → озера. У досліджених водних об'єктах переважали зелені, діатомові, евгленові та синьозелені водорості.

2. Середня за вегетаційні сезони біомаса фітопланктону та валова первинна продукція знижувалися в напрямку: водосховища → річки → кар'єри → озера. Середні показники інтенсивності фотосинтезу у водних екосистемах були в межах $0,51 \pm 0,09 - 7,90 \pm 0,53$ мг O_2 /(дм³·добу), деструкції органічної речовини – $0,55 \pm 0,09 - 4,62 \pm 0,46$ мг O_2 /(дм³·добу). Внаслідок великих глибин і прозорості інтегральна первинна продукція була найвищою у водосховищах і кар'єрах.

3. Найвище інформаційного різноманіття властиве річковим екосистемам, його зменшення відбувається в напрямку: річки → водосховища → озера → кар'єри. Зростання вмісту загального азоту обумовлює зниження H_B у всіх типах водних об'єктів ($r = -0,36 - -0,67$), крім водосховищ, в яких величину інформаційного різноманіття визначає вміст фосфору фосфатів ($r = -0,73$).

4. Інтенсивність фотосинтезу у водоймах і водотоках Полісся залежать від вмісту загального азоту ($r = 0,21 - 0,77$), фосфору фосфатів ($r = 0,52 - 0,54$), сонячної радіації ($r = 0,32 - 0,58$), температури води ($r = 0,18 - 0,56$), кольоровості (у річках і озерах $r = -0,35 - -0,51$, у водосховищах та кар'єрах $r = 0,71 - 0,78$).

5. Ефективність утилізації сонячної енергії у водних екосистемах кожного типу визначалася інтенсивністю фотосинтезу ($r = 0,33 - 0,84$), прозорістю вод ($r = 0,11 - 0,48$), вмістом загального азоту ($r = 0,32 - 0,60$).

6. Висока інтенсивність первинної продукції водоростевих угруповань із домінуванням зелених, діатомових, а також синьозелених і евгленових водоростей штучних водойм, які утворилися на місці затоплених кар'єрів із видобутку корисних копалин, є важливим механізмом сукцесії автотрофної ланки, яка зумовлює формування водних екосистем нового типу.

7. Підтримання позитивної направленості балансу органічної речовини ($\Sigma A / \Sigma R > 1$) відносно неглибоких річок і водосховищ зумовлене великою оптичною глибиною цих водних об'єктів та інтенсивним прогрівом їх мілководь. У кар'єрах та озерах енергетичною субсидією, яка визначає позитивний баланс органічної речовини, є високий вміст біогенних елементів, зокрема загального азоту.

8. Рівень трофії більшості річок та водосховищ, визначений за первинною продукцією, вищий, ніж за біомасою фітопланктону, що пов'язано з переважанням у

домінантних комплексах дрібноклітинних високопродуктивних видів водоростей, а також значними площами мілководних ділянок із властивою їм підвищеною швидкістю продукційних процесів.

9. У водних екосистемах з високим трофічним статусом відмічено зміщення максимумів біомаси і первинної продукції від весни-літа до кінця літа – початку осені, що обумовлено змінами в останні десятиріччя температури води і подовженням вегетаційного сезону.

10. Зі зростанням рівня трофії відбувається збільшення інтенсивності первинної продукції, деструкції органічної речовини й ефективності утилізації сонячної енергії, а також зміна абіотичних параметрів вод: прозорості, кольоровості, pH , вмісту розчиненого у воді кисню.

11. Продукційні процеси у водних екосистемах Полісся виконують середовищеутворюючу роль, зміщуючи pH у лужний бік ($r=0,40-0,58$), змінюючи їх газовий (це підтверджують коефіцієнти кореляції між вмістом розчиненого у воді кисню і первинною продукцією: $r=0,50-0,68$) та світловий режими (зв'язок інтенсивності фотосинтезу з прозорістю у річках і озерах прямий: $r=0,44-0,58$, у водосховищах і кар'єрах – зворотний: $r=-0,51-0,67$).

12. У лентичних екосистемах переважають «молодші» сукцесійні стани в порівнянні з лотичними. Цьому сприяють високий вміст біогенних елементів, а у водосховищах і кар'єрах – ще й відносно короткий період їх існування.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях:

1. Shcherbak V. I., Shelyuk Yu. S. Primary production of phytoplankton and its correlation with biomass, chlorophyll *a* content and algae species richness in a small river reservoir. *Hydrobiol. J.* 2008. Vol. 44, N 6. P. 3–12. (Збір матеріалу, обробка даних, написання статті)
2. Шелюк Ю. С. Кількісні характеристики розвитку фітопланктону р. Тетерів. *Вісник держ. агроекологічного ун-ту.* 2008. Вип. 1 (22). Житомир. С. 154–161.
3. Шелюк Ю. С. Екологічна характеристика фітопланктону Промислового водосховища (р. Тетерів). *Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка.* Сер. Біологія. 2008. Вип. 3 (37). С. 177–179.
4. Shelyuk Yu. S. Relationship between the processes of production and decomposition as the index of the succession state of plankton communities of the ecosystem of the regulated river (on the example of the Teterev River). *Hydrobiol. J.* 2009. Vol. 54, N 3. P. 33–41.
5. Шелюк Ю. С. Концентрація хлорофілу *a* фітопланктону р. Тетерів та її динаміка. *Укр. ботан. журн.* 2009. 66, № 2. С. 264–271.
6. Шелюк Ю. С., Щербак В. І. Екологічна характеристика фітопланктону водосховищ р. Тетерів. *Доповіді Національної академії наук України.* 2009. № 9. С. 205–208. (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, написання статті)

7. **Шелюк Ю. С.**, Корнейчук Н. Н. Таксономическое разнообразие водорослевых сообществ р. Тетерев (Украина). *Альгология*. 2009. Т. 19, № 3. С. 284–293. (Збір матеріалу, обробка та аналіз даних, написання статті)
8. **Шелюк Ю. С.** Структурно-функціональна характеристика фітопланктону тетерівських водосховищ. *Наукові записки Тернопільського нац. ун-ту ім. В. Гнатюка*. Сер. Біологія. 2010. 2 (43). С. 546–548.
9. **Шелюк Ю. С.**, Корнейчук Н. Н. Стратегия сохранения биоразнообразия автотрофной компоненты речных экосистем Украинского Полесья. *Альгология* : материалы IV Международной конференции «Актуальные проблемы современной альгологии». Киев, 2012. С. 334–335. (Збір матеріалу, обробка даних, написання статті)
10. **Shelyuk Yu. S.** Phytoplankton structure and functioning in artificial water bodies of the town of Zhitomir. *Hydrobiol. J.* 2014. Vol. 50, N 4. P. 15–27.
11. Кравцова О.В., **Шелюк Ю. С.** Екологічна оцінка стану екосистем малих річок за біорізноманіттям та продукційними характеристиками водоростей. *Біологічні системи : Науковий вісник Чернівецького університету*. Біологія. Т. 7, Вип. 1. 2015. С. 113–118. (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, участь у формулюванні висновків)
12. **Shelyuk Yu. S.** Long-term phytoplankton dynamics in the Denishi Reservoir (Ukraine). *Hydrobiol. J.* 2016. V. 52, N 4. P. 42–54.
13. Linnik P. N., Zhezherya T. P., **Shelyuk Yu. S.**, Zhezherya V. A. Peculiarities of chemical elements migration and phytoplankton development in the reservoirs of the Teterev River. *Hydrobiol. J.* 2016. V. 52, N 5. P. 93–107. (Ідея дослідження, участь в обробці та аналізі даних, участь у формулюванні висновків)
14. **Шелюк Ю. С.**, Щербак В. І., Рудюк Т. М. Вплив географічної зональності на різноманіття річкового фітопланктону. *Вісник Запорізького нац. ун-ту*. 2016. С. 148–155. (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, написання статті)
15. **Shelyuk Yu. S.** The bio-indicative analysis of species composition of phytoplankton of the Pripyat River tributaries (Ukraine). *International Journal on Algae*. 2017. Vol. 19. P. 147–162.
16. **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. V. 53, N 6. P. 37–48.
17. **Шелюк Ю. С.**, Гончаренко К. П. Просторово-часова динаміка різноманіття річкового фітопланктону за впливу антропогенних чинників (на прикладі р. Гнилоп'ять, басейн Дніпра). *Studia Biologica*. 2017. Т. 11, № 1. С. 85–92. (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, узагальнення результатів і формулювання висновків)
18. **Шелюк Ю.**, Щербак В., Козин Ю. Піонерні сукцесії фітопланктону водойм антропогенного походження. *Науковий вісник Східноєвропейського нац. ун-ту ім. Лесі Українки*. Сер. Біологічні науки. 2017. № 7 (356). С. 109–115. (Збір матеріалу, обробка даних, написання статті)

19. **Shelyuk Yu. S.**, Shcherbak V. I. Phytoplankton structural and functional indices in the Rivers of the Pripyat' and Teterev basins. *Hydrobiol. J.* 2018. Vol. 54, N 3. P. 10–23. (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, написання статті)
20. **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.
21. **Шелюк Ю. С.** Формирование потоков энергии в малых водохранилищах. *Гидробиол. журн.* 2019. Т. 55, № 6. С. 20–36.
22. **Шелюк Ю.**, Житова О., Курин Н. Особливості формування озерного фітопланктону. *Науковий вісник Східноєвропейського нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Сер. Біологічні науки.* 2019. 4 (388). С. 17–23. (Ідея дослідження, участь у зборі матеріалу, обробка даних, написання статті)

В інших виданнях:

1. **Шелюк Ю. С.** Порівняльно-флористичний аналіз різноманіття фітопланктону малих річок. *Наукові записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. В. Гнатюка. Сер. Біологія.* 2015 С. 3–4 (64). С. 78–82.
2. Боковенко І. І., **Шелюк Ю. С.** Еколого-географічна характеристика фітопланктону Житомирського водосховища. *Біологічні дослідження – 2015 : Збірник наукових праць. Житомир : ПП «Рута», 2015. С. 157–159.* (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)
3. Козин Ю. О., **Шелюк Ю. С.** Біоіндикаційний аналіз якості води річки Бобрівка (Житомирський район) за структурно-функціональними показниками розвитку фітопланктону. *Біологічні дослідження – 2015 : Збірник наукових праць. Житомир : ПП «Рута», 2015. С.180–182.* (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)
4. Комісарук Г. О., **Шелюк Ю. С.** Таксономічна структура фітопланктону р. Ікопоть (Хмельницька обл.). *Біологічні дослідження – 2015 : Збірник наукових праць. Житомир : ПП «Рута», 2015. С.182–184.* (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)
5. Кравцова О. В., **Шелюк Ю. С.** Склад та первинна продукція фітопланктону р. Крошенка (Житомирський р-н). *Біологічні дослідження – 2015 : Збірник наукових праць. Житомир : ПП «Рута», 2015. С.187–189.* (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)
6. Гончаренко К. П., **Шелюк Ю. С.** Склад і первинна продукція фітопланктону Бердичівського водосховища (р. Гнилоп'ять). *Біологічні дослідження – 2016 : Збірник наукових праць. Житомир : ПП «Рута», 2016. С. 104–105.* (Ідея дослідження, збір, обробка, аналіз та узагальнення даних)
7. Патюк М. С., **Шелюк Ю. С.** Різноманіття фітопланктону р. Гуївка. *Біологічні дослідження – 2016 : Збірник наукових праць. Житомир : ПП «Рута», 2016. С. 104–105.* (Ідея дослідження, збір матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)
8. Гриневич В. С., **Шелюк Ю. С.** Різноманіття фітопланктону водно-болотного угіддя Горохівка (Овруцький р-н, Житомирська обл.). *Біологічні дослідження – 2018 : Збірник наукових праць. Житомир : ПП «Рута», 2018. С. 171–172.* (Ідея дослідження, участь у зборі матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)

9. Боднар І. Ю., Шелюк Ю.С. Різноманіття фітопланктону р. Полква (Хмельницька область). *Біологічні дослідження – 2019* : Збірник наукових праць. Житомир : «Полісся», 2019. С. 144–146. (Ідея дослідження, участь у зборі матеріалу, обробка даних, написання статті)

Матеріали конференцій:

1. Шелюк Ю. С., Винокурова М. В. Різноманіття фітопланктону річки Путятинка (басейн р. Тетерів). *Біологічні дослідження – 2010* : матеріали I наук.-практич. Всеукр. конф. молодих вчених та студентів (24 березня 2010, м. Житомир). Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2010. С. 8–9. (Ідея дослідження, участь у зборі матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)

2. Шелюк Ю. С., Винокурова М. В., Юрик Л. О. Різноманіття фітопланктону р. Лісова (басейн р. Тетерів). *Україна наукова* : матеріали VII Всеукр. наук.-практич. інтернет-конф. (20–22 грудня 2010, м. Київ). Київ, 2010. С. 9–12. (Ідея дослідження, участь у зборі матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)

3. Березюк О. М., Шелюк Ю. С. Особливості таксономічного складу водоростевих угруповань малих річок Житомирщини. *Біологічні дослідження 2012* : матеріали III наук.-практич. Всеукр. конф. молодих вчених та студентів (26 квітня 2012, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2012. С. 102–104. (Ідея дослідження, участь у зборі матеріалу, обробка даних, написання статті)

4. Винокурова М. В., Шелюк Ю. С. Водоростеві угруповання антропогенно змінених річок м. Житомира. *Біологічні дослідження 2012* : матеріали III наук.-практич. Всеукр. конф. молодих вчених та студентів. (26 квітня 2012, м. Житомир) Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2012. С. 123–125. (Ідея дослідження, участь у зборі матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)

5. Іщук Р. А., Шелюк Ю. С. Склад та продукція фітопланктону р. Случ. *Біологічні дослідження 2012* : матеріали III наук.-практич. Всеукр. конф. молодих вчених та студентів (26 квітня 2012, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2012. С. 120–123. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)

6. Козлов М. Ю., Шелюк Ю. С. Різноманіття фітопланктону річки Уж. *Біологічні дослідження 2012* : матеріали III наук.-практич. Всеукр. конф. молодих вчених та студентів (26 квітня 2012, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2012. С. 105–107. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)

7. Пилипко М. М., Шелюк Ю. С. Різноманіття водоростей планктону піщаних кар'єрів м. Житомира. *Біологічні дослідження 2012* : матеріали III наук.-практич. Всеукр. конф. молодих вчених та студентів (26 квітня 2012, м. Житомир). Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2012. С. 115–116. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)

8. Дмитрук М. М., Шелюк Ю. С. Кількісні показники розвитку водоростевих угруповань піщаних кар'єрів м. Житомира. *Біологічні дослідження – 2013* : матеріали IV наук.-практич. Всеукр. конф. для молодих учених та студентів (16–18 квітня 2013, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. С. 30. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)

9. Клюско В. В., **Шелюк Ю. С.** Сукцесія фітопланктону Денишівського водосховища. *Біологічні дослідження – 2013* : матеріали IV наук.-практич. Всеукр. конф. для молодих учених та студентів (16–18 квітня 2013, м. Житомир). Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. С. 42–43. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)
10. Козлов М. Ю., **Шелюк Ю. С.** Таксономічний склад фітопланктону малого озера антропогенного походження Цегельне (м. Коростень). *Біологічні дослідження – 2013* : матеріали IV наук.-практич. Всеукр. конф. для молодих учених та студентів (16–18 квітня 2013, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. С. 41. (Ідея дослідження, участь у зборі матеріалу, обробка даних, формулювання висновків)
11. Кулиневич Т. В., **Шелюк Ю. С.** Водоростеві угруповання планктону річки Зелена. *Біологічні дослідження – 2013* : матеріали IV наук.-практич. Всеукр. конф. для молодих учених та студентів (16–18 квітня 2013, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. С. 44–45. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)
12. Мазур К. Ю., **Шелюк Ю. С.** Різноманіття фітопланктону р. Корчик (Рівненська область). *Біологічні дослідження – 2013* : матеріали IV наук.-практич. Всеукр. конф. для молодих учених та студентів (16–18 квітня 2013, м. Житомир). Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. С. 47. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)
13. Некрашевич Ю. І., **Шелюк Ю. С.** Особливості структури та функціонування фітопланктону різнотипних водойм антропогенного походження Житомирщини. *Біологічні дослідження – 2013* : матеріали IV наук.-практич. Всеукр. конф. для молодих учених та студентів (16–18 квітня 2013, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2013. С. 51–52. (Планування експерименту, збір матеріалу, узагальнення результатів)
14. Комісарук Г. О., **Шелюк Ю. С.** Різноманіття фітопланктону р. Деревичка (с. Хустівці Хмельницька обл.). *Біологічні дослідження – 2014* : збірник наук. праць V Всеукр. наук.-практич. конф. молодих учених і студентів (4–5 березня 2014, м. Житомир). Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. С. 231–233. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)
15. Кравцова О. В., **Шелюк Ю. С.** Структурно-функціональна характеристика водоростевих угруповань планктону р. Коднянка (с. Пряхів, Житомирський р-н.). *Біологічні дослідження – 2014* : збірник наук. праць V Всеукр. наук.-практич. конф. молодих учених і студентів (4–5 березня 2014, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. С. 235–38. (Планування експерименту, збір матеріалу, узагальнення результатів)
16. Мазур К. Ю., **Шелюк Ю. С.** Різноманіття фітопланктону кар'єру Морозівського (Рівненська область). *Біологічні дослідження – 2014* : збірник наук. праць V Всеукр. наук.-практич. конф. молодих учених і студентів (4–5 березня 2014, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. С. 241–243. (Планування експерименту, збір матеріалу, узагальнення результатів)

17. Хомутовська Н. А., **Шелюк Ю.С.** Різноманіття фітопланктону р. Уборть (с. Рудня-Хочинська Олевський р-н.). *Біологічні дослідження – 2014* : збірник наук. праць V Всеукр. наук.-практич. конф. молодих учених і студентів (4–5 березня 2014, м. Житомир). Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2014. С. 257–259. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)
18. **Шелюк Ю. С.** Різноманіття фітопланктону річок м. Житомира. *Фундаментальні та прикладні дослідження в біології* : матеріали III Міжнародної наук. конф. студентів, аспірантів та молодих учених (24–27 лютого 2014, м. Донецьк). Донецьк : Вид-во «Ноулідж», 2014. С. 35–37.
19. Остапчук Л. С., **Шелюк Ю. С.** Різноманіття фітопланктону річки Бересток (Ємельчинський р-н). *Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України* : матеріали Всеукр. наук.-практич. конф. (16 квітня 2015, м. Полтава). Полтава : Астроя, 2015. С. 66–68. (Планування експерименту, збір матеріалу, узагальнення результатів)
20. Бугрик А. А., **Шелюк Ю. С.** Оцінка якості води р. Синявка за видовим складом фітопланктону. *Вода в харчовій промисловості* : матеріали VII Всеукр. наук.-практич. конф. молодих учених, аспірантів і студентів (26–27 квітня 2016, м. Одеса). Одеса : ОНАХТ, 2016. С. 148–152. (Планування експерименту, збір матеріалу, узагальнення результатів)
21. **Шелюк Ю. С.**, Козин Ю. О. Оцінка екологічного стану екосистеми Соколовського кар'єру за різноманіттям фітопланктону. *Інтеграційна система освіти, науки і виробництва в сучасному інформаційному просторі* : матеріали III Міжнародної наук.-практич. конф. (19–20 травня 2016, м. Тернопіль). Тернопіль : Крок, 2016. С. 91–93. (Збір, обробка та аналіз даних, формулювання висновків)
22. **Shelyuk Yu. S.** Phytoplankton development in small reservoirs. *VI International Conference advances in modern phycology* (15–17 May 2019, Kyiv). Kyiv : M.G. Kholodny Institute of Botany of NAS of Ukraine, 2019. С. 97–98.
23. **Шелюк Ю. С.**, Михайленко К. В. Фітопланктон Дідового озера (басейн Прип'яті). *Водні і наземні екосистеми та збереження їх біорізноманіття – 2019* : матеріали наук.-практич. конф. (22–24 травня 2019, м. Житомир). Житомир : вид-во ЖНАЕУ, 2019. С. 81–82. (Збір та обробка проб, аналіз матеріалу, підготовка до друку)
24. **Шелюк Ю. С.** Закономірності розвитку фітопланктону водних екосистем басейнів Прип'яті і Тетерева (Україна) : матеріали VIII з'їзду Гідроекологічного товариства України, присвяченого 110-річчю заснування Дніпровської біологічної станції (6–8 листопада 2019, м. Київ). Київ, 2019. С. 97–100.

Подяка

Авторка висловлює щирю вдячність науковому консультанту доктору біологічних наук, професору В. І. Щербаку за надання цінних порад і консультацій, доктору біологічних наук, професору Г. С. Киричук за підтримку на всіх етапах підготовки дисертаційної роботи; колегам із Житомирського державного університету імені Івана Франка та Інституту гідробіології НАН України, рідним і друзям за всебічну підтримку.

Анотація

Шелюк Ю.С. Фітопланктон різнотипних водних екосистем Полісся. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук зі спеціальності 03.00.17 – Гідробіологія. – Інститут гідробіології НАН України, Київ, 2020.

Дисертаційна робота присвячена встановленню основних закономірностей формування структурних і функціональних характеристик фітопланктону різнотипних водних екосистем Полісся.

У типологічно різних водних екосистемах басейнів Прип'яті і Тетерева ідентифіковано 812 видів водоростей (877 в. в. т.). У всіх типах водних об'єктів переважали зелені, діатомові, евгленові і синьозелені водорості.

Різноманіття фітопланктону, інтенсивність його вегетації у водоймах і водотоках Полісся визначається особливостями біогенного та світлового режимів. Інтенсивність фотосинтезу і співвідношення продукційно-деструкційних процесів залежать від вмісту біогенних елементів, гідрооптичних умов та морфометричних особливостей водних об'єктів. Вплив сонячної радіації на інтенсивність фотосинтезу найбільше виражений у водних екосистемах лентичного типу.

Високий рівень первинної продукції є найважливішим механізмом сукцесії автотрофної ланки водойм антропогенного походження, яка зумовлює формування водних екосистем нового типу.

Продукційні процеси у водних екосистемах Полісся виконують середовищеутворюючу роль, змінюючи їх світловий і газовий режими, та зміщуючи *pH* у лужний бік.

Ключові слова: фітопланктон, первинна продукція, потоки енергії, басейни Прип'яті і Тетерева, Полісся, річки, озера, водосховища, кар'єри.

Аннотация

Шелюк Ю.С. Фитопланктон разнотипных водных экосистем Полесья. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 03.00.17 – Гидробиология. – Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, 2020.

Диссертационная работа посвящена выяснению основных закономерностей формирования структурных и функциональных характеристик фитопланктона разнотипных водных экосистем Полесья.

В типологически разных водных объектах бассейнов Припяти и Тетерева идентифицировано 812 видов (877 в. в. т.). Во всех типах водных экосистем преобладали зеленые, диатомовые, эвгленовые и синезеленые водоросли.

Разнообразие фитопланктона, интенсивность вегетации водоемов и водотоков Полесья определяется особенностями биогенного режима. Интенсивность фотосинтеза и соотношение продукционно-деструкционных процессов зависят от содержания биогенных элементов, гидрооптических условий, морфометрических

особенностей водных объектов. Влияние солнечной радиации на интенсивность фотосинтеза наиболее сильно выражено в водных экосистемах лентического типа.

Высокая интенсивность первичной продукции является важным механизмом сукцессии автотрофного звена водоемов антропогенного происхождения, обуславливающей формирование водных экосистем нового типа.

Первичная продукция в водных экосистемах Полесья исполняет средообразующую роль, изменяя их световой и газовый режимы, смещая pH в щелочную сторону.

Ключевые слова: фитопланктон, первичная продукция, потоки энергии, бассейны Припяти и Тетерева, Полесье, реки, озера, водохранилища, карьеры.

Summary

Shelyuk Yu.S. Phytoplankton of diverse aquatic ecosystems within Polesye region. – Manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Biological Sciences in the specialty 03.00.17 “Hydrobiology” (091 – Biology). – Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine, Kyiv, 2020.

A total of 812 algal species (877 infraspecific taxa) from 15 classes, 43 orders, 99 families and 261 genera were identified in lakes and rivers within basins of the Prypiat River and the Teteriv River – the main rivers of Polesye. All types of waterbodies were predominated by green algae, diatoms and euglena algae.

The highest average number of species and infraspecific taxa has been identified in water reservoirs (119). The second position in the phytoplankton species richness was occupied by rivers (107), the third one – aquatic ecosystems, which were formed from flooded quarries (99). The lowest average number of species was registered in the lake phytoplankton (58).

The share of dominant species and species with high occurrence rate (over 50%) decreases in the following sequence: rivers → water reservoirs → lakes → quarries. This is explained by increase in the ecological conditions uniformity from lotic environment to lentic environment.

The vegetation period average phytoplankton biomass and gross primary production reduced in the following direction: water reservoirs → rivers → quarries → lakes. The average photosynthesis intensity in the aquatic ecosystems were within 0.51 ± 0.09 – 7.90 ± 0.53 mg O₂/(dm³·day), organic matter destruction – 0.55 ± 0.0 – 4.62 ± 0.46 mg O₂/(dm³·day). The integral primary production was the highest in water reservoirs and quarries due to significant depths and water clarity.

Phytoplankton diversity and growth intensity in lakes and rivers are determined by specifics of nutrient and light conditions. Photosynthesis intensity and production-destruction ratio to a great extent depend upon the nutrient content, hydrooptic conditions, morphometric parameters of lakes and rivers. Effect of solar radiation upon photosynthesis intensity is the most well-marked in lentic ecosystems.

Positive balance of organic matter in relatively shallow rivers and water reservoirs is supported by intensive warming-up of their shallow areas and considerable optic depth, because the photic layer thickness reaches the bottom. In waterbodies formed from flooded quarries and lakes high nutrient content, especially nitrogen content, is an

important environmental variable, determining positive balance of organic matter. Heterotrophic phase prevails in deep water reservoirs – Zhytomyrske Water Reservoir and Denyshyvske Water Reservoir, some quarries and Horokhivka Lake, which are distinguished by high color index.

The ecological efficiency of solar energy utilization in aquatic ecosystems of each type is determined by photosynthesis intensity, above-water insolation, water clarity, total nitrogen content. Direct relation between this parameter and water temperature proves the fact, that the efficiency of autotrophic link (and ecosystems in general) functioning may change under conditions of global climate change. The most well-marked relation between the solar energy utilization efficiency and water temperature is observed in water reservoirs and quarries. In rivers and lakes the impact of temperature factor is weaker, than in human-modified and artificial waterbodies, which is explained by higher resilience of natural waterbodies to environmental variables and intensive self-regulation processes.

High level of algae primary production is the most important mechanism supporting phytoplankton succession in artificial water-bodies, which causes new types of aquatic ecosystems to form.

It has been proven experimentally, that production processes in the aquatic ecosystems under study play the environment-forming role, altering their light and gas conditions and shifting pH towards alkaline conditions. Planktonic algae take part in chemical elements migration, for example in silicon migration.

In highly-trophic aquatic ecosystems the maximums of biomass and primary production are shifted from spring – summer to late summer – early autumn, which is related to temperature changes during the last decades and increase in the vegetation period duration. In quarries, depending upon the trophic level, several peaks of production processes were observed. The additional peaks of phytoplankton productivity were explained by changes in its structure.

With the trophic level rising, we observed an increase in the primary production, organic matter destruction and solar energy utilization efficiency, and changes in abiotic variables: *pH*, water clarity, color, dissolved oxygen content, total nitrogen content.

The calculated maturity indices show that lentic ecosystems are dominated by “younger” succession states as compared with lotic ecosystems. This is facilitated by high nutrient content, and in water reservoirs and sand quarries – relatively short period of their existence as well, and in lakes – low phytoplankton abundance.

Keywords: phytoplankton, primary production, energy flow, the Prypiat River basin, the Teteriv River basin, Polesye region, rivers, lakes, water reservoirs, quarries.