

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Семенюк Наталії Євгенівні
на тему „**ФІТОЕПІФІТОН ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ БАСЕЙНУ ДNІПРА**”,
подану на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук
зі спеціальності 03.00.17 – гідробіологія.

Актуальність теми роботи. Глобальні та регіональні кліматично-екологічні зміни, фактори антропогенної діяльності та природно-соціальні трансформації територій не тільки прямо впливають на чисельність та видове багатство угруповань, а й, змінюючи біотичні взаємодії та співвідношення видів в екосистемах, змінюють середовище існування організмів, і, таким чином, чинять вплив на біорізноманіття, продуктивність, стійкість та розвиток екосистем. Також, обумовлені антропогеною діяльністю втрати біорізноманіття можуть бути результатом не тільки перебудови співвідношенні видів в екосистемах, а й інтродукції та домінування інвазійних видів. В той час як зміни видового багатства прямо впливають на функціонування екосистем, втрати або інтродукція певних ключових видів в екосистемі, наприклад інвазійних видів-колонізаторів, можуть мати непропорційні впливи на функціональні процеси в екосистемі. Розуміння механізмів впливу на структуру та екологічні сервіси в угрупованнях та в екосистемі, відповідно, на функціонування екосистеми, є вкрай важливими для розробки методів моніторингу та менеджменту екосистем за різних типів трансформації.

Дисертаційна робота Семенюк Наталії Євгенівни є *актуальною*, оскільки для гідроекосистеми Дніпра визначено механізми, що лежать в основі динаміки різноманіття за комплексного впливу антропогенної діяльності змін видового багатства ценозів для емерджентних функцій екосистем, таких як, запасання, потік та втрати енергії і речовини в трофічній мережі екосистеми, а також запасання, колообіг та втрати живильних субстратів в екосистемі.

Детальний аналіз сучасних і ретроспективних даних показує, що актуальним питанням для фітоепіфітону басейну Дніпра залишається його відгук на комплексний вплив природних, антропогенних та біотичних чинників (у тому числі, на регіональні і глобальні зміни клімату, на масштабне спрацювання рівня води). Недостатньо вивченими є механізми, які забезпечують підтримання динамічної рівноваги (гомеостаз) фітоепіфітону в умовах сучасних змін водного середовища. Нагальними проблемами також є апробація світових підходів, зокрема діатомових індексів, до оцінки екологічного стану (потенціалу) масивів поверхневих вод (МПВ) басейну Дніпра за фітоепіфітоном в аспекті імплементації Водної Рамкової Директиви ЄС в Україні; виділення референційних ділянок для різних МПВ басейну Дніпра за фітоепіфітоном.

Для цього в роботі застосовано широкий спектр емпіричних даних та новітні методи оцінки складних багатофакторних системних впливів.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні закономірностей формування таксономічного складу, чисельності, біомаси, продукційних характеристик фітоепіфітону, їх дискретності та континуальних змін у водоймах і водотоках басейну Дніпра, основні механізми, що забезпечують підтримання його гомеостазу в умовах сучасних змін водного середовища та визначають реакцію на вплив екологічних чинників.

Встановлено, що фітоепіфітон різnotипних водних екосистем басейну Дніпра характеризується високим таксономічним багатством. Упродовж досліджуваного періоду (2008–2019 рр.) у фітоепіфітоні виявлено 715 видів водоростей, представлених 743 в. в. т., включаючи номенклатурний тип виду, із 263 родів, 116 родин, 56 порядків, 20 класів і 8 відділів. Найбільшим флористичним багатством характеризувались Bacillariophyta (41%), Chlorophyta (22%), Cyanobacteria (13%) і Charophyta (10%). Комплексне дослідження із застосуванням сучасного методу трансмісійної і скануючої електронної мікроскопії поєднано з світловою мікроскопією дозволило уточнити видовий склад діатомових водоростей фітоепіфітону дніпровського каскаду і виявити 15 видів та внутрішньовидових таксонів водоростей, нових для флори України.

Видове багатство фітоепіфітону різnotипних водних об'єктів басейну Дніпра складає від 22 ± 4 до 52 ± 3 видів, чисельність – $0,58 \pm 0,21 - 63,94 \pm 17,27$ млн. кл/ 10 см^2 , біомаса – $0,40 \pm 0,18 - 19,88 \pm 7,19$ мг/ 10 см^2 , інтенсивність валової продукції – $0,13 \pm 0,07 - 6,13 \pm 1,50$ мг $\text{O}_2 / 10\text{ см}^2 \times$ добу, $A/R - 0,07 \pm 0,02 - 1,73 \pm 0,37$, P/B -коefіцієнти – $0,11 \pm 0,02 - 1,23 \pm 0,10$ × добу, а індекс Шеннона (H_B) – від $2,54 \pm 0,44$ до $4,16 \pm 0,17$ біт/мг.

Розподіл таксономічного складу фітоепіфітону по водоймах і водотоках басейну Дніпра характеризується дискретністю та континуальною динамікою, що пов'язана із географічним розташуванням і гідрологічним зв'язком між водними екосистемами. Локальна дискретність пояснюється специфічними екологічними умовами конкретних водойм і водотоків.

Вперше вивчено закономірні зміни континуальності і дискретності фітоепіфітону при зміні гідрологічних умов у системі «річка – озеро – річка» на прикладі Верхньої Прип'яті і руслових озер Люб'язь та Нобель. Дискретність проявляється в зростанні таксономічного багатства, чисельності і біомаси в озерах, порівняно з вищерозташованою ділянкою річки, і в зниженні цих показників на ділянці нижче озера, що пов'язано зі зміною гідрологічних умов від лотичних до лентичних і навпаки. Виявлено домінування типових для Полісся видів – десмідієвих водоростей та діатомей з роду *Eunotia*.

Розподіл фітоепіфітону по Дніпровському каскаду характеризується поступовими змінами видового складу фітоепіфітону, зростанням чисельності, біомаси, індексу Шеннона по профілю каскаду у відповідь на градієнт абіотичних чинників (гідрологічних, гідрохімічних, кліматичних) та у зв'язку зі збільшенням трофічного статусу водосховищ у напрямку з півночі на південь. Разом з тим, фітоепіфітону Дніпровському каскаду властиві дискретні характеристики, зумовлені впливом великих міст, а також явищами нагону синьозелених водоростей.

Доведено правомірність «теорії альтернативних стабільних станів» для водойм і водотоків басейну Дніпра. При цьому висока продуктивність фітоепіфітону характерна для «режimu прозорої води», а низька – для «режimu високої каламутності». Встановлено, що розвиток цих угруповань проходить у протифазі (показана достовірна позитивна залежність між прозорістю води та інтенсивністю валової первинної продукції фітоепіфітону ($R^2 = 0,73$) і між прозорістю води та A/R -співвідношенням ($R^2 = 0,81$).

Фітоепіфітон є надійним показником надходження клину солоної води з Дніпровсько-Бузького лиману до Пониззя Дніпра, що супроводжується підвищеннем індексу галобності, зниженням частки видів-індиферентів і збільшенням – видів-галофілів і мезогалобів.

Встановлено пряму кореляцію між вмістом нітратів і валовою продукцією ($r = 0,88; p = 0,008$) та P/B -коефіцієнтами ($r = 0,80; p = 0,03$). Залежність фітоепіфітону від вмісту фосfatів є поліноміальною з максимальною продуктивністю за їх вмісту 0,05–0,09 мг Р/дм³, і за умов зниження співвідношення N:P конкурентну перевагу отримує родина *Rhopalodiaceae*, здатна фіксувати атмосферний азот.

Аналіз впливу типу субстрату на фітоепіфітон показав, що фітоепіфітон на занурених рослинах характеризується достовірно вищим таксономічним багатством, ніж фітоепіфітон рослин інших екологічних груп. Це пояснюється тим, що занурені рослини характеризуються складнішою архітектурою, більшим співвідношенням поверхні до маси, а відповідно і більш сприятливими умовами для розвитку фітоепіфітону, ніж повітряно-водяні рослини і рослини з плаваючим листям. Разом з тим, відсутність достовірної відмінності між величинами біомаси фітоепіфітону (в перерахунку на одиницю площини субстрату) на рослинах різних видів і різних екологічних груп пояснюється тим, що в евтрофіческих водних екосистемах на кількісний розвиток фітоепіфітону більшою мірою впливають інші екологічні чинники, а тип субстрату має підпорядковане значення.

Детально досліджено механізми взаємодії в системі «фітопланктон ↔ фітоепіфітон». Показано, що наявність спільних видів у фітопланктоні та фітоепіфітоні зумовлена: евритопністю цих видів; осадженням водоростей із планктону на поверхню вищих водяних рослин під час

«цвітіння» води; переходом видів, типових для обростань, до планктону завдяки гідродинамічним процесам.

Встановлено існування різних «альтернативних стабільних станів» в залежності від впливу різних чинників (морфометричних характеристик, потужності фотичної зони, рівня розвитку фітопланкtonу). Кількісний розвиток фітоепіфітону у водоймах, які знаходяться в «режимі прозорої води», залежить від проективного покриття рослин-субстратів і є значно більшим, ніж у водоймах, де «режим високої каламутності» зумовлений інтенсивною вегетацією фітопланкtonу.

Встановлено особливості реакції фітоепіфітону на зміни клімату та вперше наведено математичні залежності між фітоепіфітоном і температурою води. Показано, що з підвищенням температури води у фітоепіфітоні зменшується кількість Bacillariophyta ($r = -0,54$; $p = 0,008$) і відносно зростає – Cyanobacteria і Chlorophyta ($r = 0,53$; $p = 0,009$). Залежність функціонування фітоепіфітону від температури води має поліноміальний характер з максимальними біомасою і продукцією за оптимальної температури 14,0–15,0°C і 22,0–24,0°C і мінімальними – за температури вище 25–26°C.

Доведено, що фітоепіфітону екосистем басейну Дніпра притаманні ефективні механізми гомеостазу (динамічної рівноваги у мінливому середовищі), реалізація яких є можливою завдяки високому таксономічному багатству, кількісним, продукційним характеристикам і високій вирівненості угруповання.

На прикладі Київського водосховища проведено оцінку запасів і біопродукційного потенціалу фітоепіфітону в сучасний період. Показано, що в літній сезон загальні запаси фітоепіфітону Київського водосховища складають 415,10 тон сирої речовини або 1388,08 ГДж. Розраховано, що за добу фітоепіфітон Київського водосховища продукує 191 тонну кисню (2801,97 ГДж енергії), а за вегетаційний сезон – 36290 тонн кисню (532374,30 ГДж енергії).

Вперше показано, що масштабні гідротехнічні роботи, які зумовлюють значне зниження рівня води, призводять до зміни меж гомеостазу фітообростань і переходу угруповань в інший стан динамічної рівноваги зі значно нижчою біомасою. Комплексний вплив антропогенного чинника у сукупності із сучасними змінами клімату є серйозною потенційною загрозою для фітообростань. Спрацювання рівнів води у ВО ЧАЕС призвело до зміни альтернативного стабільного стану водойми з «режimu прозорої води» до «режиму високої каламутності», при цьому у фітоперифітоні збільшилась частка тіньовитривалих видів та підвишився індекс сапробності.

Проведено апробацію визнаних європейських підходів до оцінки стану водойм і водотоків басейну Дніпра за фітоепіфітоном. Показано, що діатомові індекси фітоепіфітону репрезентативно відображають стан

екосистеми і можуть бути рекомендовані до використання та включення в класифікаційні таблиці при інтерпретації даних, отриманих в ході державного моніторингу водойм і водотоків басейну Дніпра.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, грантами.

Дисертаційну роботу виконано в рамках планових тем Інституту гідробіології НАН України: «Розробка теоретичних основ еволюції екосистем рівнинних водосховищ та методології управління їх екологічним станом» (2006–2010 рр.) – № 0106U002148, «Біорізноманіття та біоресурсний потенціал рівнинних водосховищ в умовах глобальних кліматичних змін і розвитку біологічної інвазії» (2011–2015 рр.) – № 0111U003031, «Механізми гомеостазу екосистем дніпровських водосховищ в сучасних умовах їхнього функціонування» (2016–2020 рр.) – № 0116U003031, «Механізми функціонування прісноводних екосистем та адаптації гідробіонтів за дії абіотичних і біотичних факторів в умовах глобальних кліматичних змін» (2012–2016 рр.) – № 0111U000075, «Прогноз та упередження негативних наслідків впливу кліматичних змін на екологічний стан, потенціал та біорізноманіття гідроекосистем України» (2017–2021 рр.) – № 0117U004899, господарських робіт «Оцінка сучасного стану та рівнів радіонуклідного забруднення основних компонентів біоценозів Водоймища-охолоджувача Чорнобильської АЕС, прогноз змін та обґрунтування рекомендацій щодо режиму зниження рівня води в процесі виведення його з експлуатації» (2013–2014 рр.) – № 0113U000933, «Гідробіологічні спостереження при знятті з експлуатації Водоймища-охолоджувача Чорнобильської АЕС» (2016–2018 рр.) – № 0116U000868.

Науково-практична значимість роботи. Вперше доведено, що на сучасному етапі функціонування фітоепіфітону екосистем басейну Дніпра притаманні ефективні механізми гомеостазу.

З'ясовано вплив масштабного спрацювання рівня води у Водоймищі-охолоджувачі Чорнобильської атомної електростанції (ВО ЧАЕС) на фітоепіфітон. Показано, що зниження рівня води зумовило зміну альтернативного стабільного стану водойми з «режimu прозорої води» до «режimu високої каламутності», який характеризується «цвітінням» води планктонними синьозеленими водоростями і значним погіршенням світлових умов для розвитку контурних угруповань. Це в свою чергу призвело до переходу фітоперифітону в інший стан динамічної рівноваги з біомасою, значно нижчою від вихідної.

На прикладі Київського водосховища проведено оцінку запасів і біопродукційного потенціалу фітоепіфітону в сучасний період. Показано, що в літній сезон запаси фітоепіфітону Київського водосховища складають 415,10 тонн сирої речовини або 1388,08 ГДж. Розраховано, що за добу фітоепіфітон Київського водосховища продукує 191 тонну кисню

(2801,97 ГДж енергії), а за вегетаційний сезон – 36290 тонн кисню (532374,30 ГДж енергії).

Вперше проведено апробацію європейських підходів до оцінки стану різновидів водних екосистем басейну Дніпра за фітоепіфітоном. Доведено, що діатомові індекси фітоепіфітону репрезентативно відображають якість води, як важливий елемент стану водних екосистем басейну Дніпра. Запропоновано їх використання та включення в класифікаційні таблиці при інтерпретації даних, отриманих у ході державного моніторингу вод.

Найбільш інформативними показниками, які можуть бути рекомендовані для моніторингу кліматичних змін, є співвідношення Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanobacteria у таксономічному складі та біомасі фітоепіфітону, валова первинна продукція, A/R-співвідношення та добові P/B-коефіцієнти.

Показано, що чисельність чи біомаса діатомових водоростей з родини *Rhopalodiaceae* може слугувати репрезентативним індикатором зниження співвідношення N:P і мати практичне застосування для оцінки і моніторингу забруднення водойм і водотоків басейну Дніпра біогенними елементами.

Вперше для басейну Дніпра за натурними даними з фітоепіфітону проведено вибір референційних ділянок та ділянок з умовами, наблизеними до природних, для таких типів МПВ: велика річка на низовині в органічних породах в екорегіоні Східні рівнини; середнє озеро на низовині за глибиною в органічних породах в екорегіоні Східні рівнини; дуже велика річка на низовині в силікатних породах в екорегіоні Східні рівнини; дуже велика річка на низовині в силікатних породах в екорегіоні Понтійська провінція; кандидати в істотно змінені МПВ.

Наведений в Додатку список видів, включаючи 15 нових видів, розширює список флори водоростей України.

Повнота викладу у фахових виданнях та апробація основних результатів. Основні положення дисертаційної роботи відображені в 40 наукових публікаціях, із них 23 – у фахових виданнях (у тому числі 4 колективні монографії, 12 статей – у закордонних виданнях, індексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 9 статей опубліковано в журналах 3-го квартилю і 1 статтю – в журналі 2-го квартилю).

Зміст роботи. Дисертація Семенюк Н.Є. складається зі вступу, 9 розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 343 найменування, включно 177 з них іноземною мовою, і додатків. Результати ілюструють 40 таблиць і 100 рисунків. Обсяг основного тексту дисертації складає 271 сторінку, загальний обсяг роботи – 408 сторінок.

У Вступі відповідно з вимогами розкрито сутність наукової проблеми, обґрутовано актуальність досліджень та наведено необхідну інформацію

про зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовано об'єкт, предмет, дослідницьку мету та відповідні завдання досліджень, представлено новизну наукових положень та практичне значення результатів, подано інформацію щодо апробації результатів та їх публікації, зазначено структуру роботи та особистий внесок дисертантки. Зазначається важливість дослідження фітоепіфітону, що згідно з топологічною класифікацією належить до контуробіону, тобто екологічних угруповань, які існують на розділі фаз. Контурні біотопи – це утворення, розміщені в межах гідросферних «ділянок згущення» життя, населені специфічними угрупованнями організмів, та відіграють ключову роль у функціонуванні водних екосистем і відрізняються високою чутливістю до зовнішніх впливів. Актуальність дослідження фітоепіфітону, як важливого елемента глобальних контурних структур гідросфери, зумовлена ще й тим, що саме «біоконтур» на сьогодні є недостатньо вивченим у контексті контурних структур.

Розділ 1 ‘Методологічні підходи і методи дослідження’. Обговорюються методологічні засади в межах системно-екологічних понять: екологічна форма; розділ екологічних фаз; екологічний механізм; дискретно-континуальний стан екологічних форм і станів.

В основу дисертаційної роботи покладені матеріали натурних досліджень фітоепіфітону, виконаних на різномінівих водних об'єктах басейну Дніпра з 2008 по 2019 рр. Розділ містить детальний опис кожного об'єкту досліджень, інформацію про територію Дніпровських екосистем.

Розкрито суть процедур альгологічних, гідрохімічних, фітоценотичних та екологічних методів дослідження екосистем. Розраховано і застосовано для аналізу низку сучасних альгологічних та гідроекологічних індексів.

Розділ 2 ‘Розвиток фітоепіфітону водойм і водотоків басейну Дніпра залежно від впливу природних чинників’. Проведено літературний аналіз стану дослідження проблеми у зв'язку з гідрохімічними, гідрологічними та екологічними чинниками. Виокремлено ключові природні чинники, що визначають якісний склад і продуктивність фітоепіфітону басейну Дніпра, до яких належать прозорість води, швидкість течії, кисневий режим і мінералізація води.

Встановлено, що фітоепіфітон чутливо реагує на зміни природних абиотичних чинників зміною якісних (видовий склад, співвідношення відділів), кількісних (біомаса) та продукційних показників (валова первинна продукція, співвідношення продукційних процесів).

Вперше проаналізовано зв'язок між прозорістю води і рівнем розвитку фітоепіфітону Дніпровських водосховищ в аспекті «теорії альтернативних стабільних станів» і показано, що висока продуктивність фітоепіфітону відповідає «режimu прозорої води», а низька – «режиму високої каламутності».

Показано суттєву роль течії у формуванні якісних і кількісних показників фітоепіфітону. На прикладі рівнинного водосховища, а також системи «річка – руслове озеро – річка» встановлено, що при переході від лотичних умов до лентичних відбувається зміна видового складу фітоепіфітону, збільшується його видове багатство і біомаса.

Аналіз зв'язку між вмістом у воді розчинного кисню і біомасою фітоепіфітону показав, що біомаса досягала максимуму при кисневому насиченні близько 100%, а низькі її величини реєструвались як за дефіциту кисню (< 50%), так і за перенасичення (> 150%). Це пояснюється тим, що кисневе перенасичення у дніпровських водосховищах як правило викликано «цвітінням» води синьозеленими водоростями, які екраниують фітоепіфітон та пригнічують його фотосинтез.

Фітоепіфітон є індикатором надходження клину соленої води з Дніпровсько-Бузького лиману до Пониззя Дніпра, при цьому реєструється підвищення індексу галобності, зниження частки видів-індинферентів і збільшення – видів-галофілів і мезогалобів.

Структурні і функціональні характеристики фітоепіфітону можуть бути використані для оцінки і прогнозування реакції біоти басейну Дніпра на глобальні зміни навколошнього середовища.

Розділ 3 “Відгук фітоепіфітону на вплив антропогенних чинників” стосується вивчення механізмів формування та функціонування і екологічного значення екосистем Дніпра, за впливу підвищених рівнів біогенних елементів, насамперед сполук Фосфору і Нітрогену, «спрацювання рівня води» водоймища-охолоджувача ЧАЕС. Показано, що в сучасних умовах вплив антропогенних чинників на фітоепіфітон водних екосистем басейну Дніпра в найбільшій мірі проявляється в зміні біогенного режиму і співвідношення N:P. Встановлено пряму кореляцію між вмістом нітратів і валовою продукцією ($r = 0,88$; $p = 0,008$) та P/B-коефіцієнтами ($r = 0,80$; $p = 0,03$) фітоепіфітону. Залежність фітоепіфітону від вмісту фосфатів є нелінійною з максимальною продуктивністю за їх вмісту 0,05–0,09 мг Р/дм³ і зниженням продуктивності при відхиленні вмісту фосфатів від цього діапазону. Відгуком фітоепіфітону на сучасне зниження співвідношення N:P є адаптація до поглинання атмосферного азоту шляхом збільшення кількісного розвитку представників родини *Rhopalodiaceae* з азотфіксуючими ендосимбіонтами.

Іншим важливим аспектом антропогенного впливу є масштабне спрацювання рівня води, що призводить до суттєвої перебудови структури водоростевих угруповань та значних змін у їхніх кількісних і продукційних показниках. По мірі зниження рівня води у ВО ЧАЕС зменшується видова подібність фітоперифітону його ділянок, що пов’язано з припиненням гідрологічного зв’язку між ними. Гідробіологічні процеси, які відбуваються у ВО ЧАЕС внаслідок зниження рівня води, призвела до зниження її прозорості і зменшення біомаси контурних

водоростевих угруповань. Можна стверджувати, що на даний час відбувається перехід водойми з «режиму прозорої води» до «режиму високої каламутності». Унаслідок цих процесів ВО ЧАЕС характеризується значно гіршою якістю води. У межах ВО ЧАЕС найвищі індекси сапробності відмічені в північно-східній частині, де зареєстроване найінтенсивніше «цвітіння» води синьозеленими водоростями.

Розділ 4 “Зв’язок фітоепіфітону з біотичними чинниками” містить дані про роль у розвитку фітоепіфітону ключових біотичних чинників, якими вважають вплив рослин-субстратів. Встановлено, що для фітоепіфітону на повітряно-водяних рослинах спостерігається достовірна обернена залежність біомаси від проективного покриття.

На основі комплексних натурних досліджень детально розглянуто взаємовплив між фітопланктоном і фітоепіфітоном. За досліджуваний період (2010–2011 рр.) в епіфітоні на комиші озерному (*Scirpus lacustris* L.) було виявлено 140 в. в. т. водоростей, включаючи номенклатурний тип виду, із 6 відділів: Cyanobacteria, Bacillariophyta, Cryptophyta, Miozoa, Ochrophyta, Charophyta, Chlorophyta, Euglenozoa. Основу флористичного складу формували діатомові (61% від загальної кількості видів і різновидів), зелені (17%) і синьозелені (13%). Частка інших відділів була незначною і не перевищувала 1–4%. Чисельність фітоепіфітону змінювалась від 291 до 17090 тис. кл/10 см² площині рослин, а біомаса – від 0,110 до 5,832 мг/10 см² площині рослин. У літній сезон структуру чисельності визначали діатомові і синьозелені водорости, структуру біомаси – діатомові і зелені. Восени як за чисельністю, так і за біомасою домінували діатомові водорости. Домінуючий комплекс видів протягом досліженого періоду формували *Melosira varians* C. Agardh, *Cocconeis placentula* Ehrenberg, *Navicula tripunctata* (O.F. Müller) Bory, *Cymbella tumida* (Brébisson) Van Heurck, *Cymbella helvetica* Kützing, *Heteroleibleinia kuetzingii* (Schmidle) Compère, *Cosmarium formosulum* Hoff.

Біологічною особливістю фітоепіфітону є те, що його видове багатство, чисельність і біомаса збільшувались від літа до осені, на відміну від фітопланктону, якісні і кількісні показники якого, навпаки, знижувались у зв’язку з тим, що домінуючим компонентом фітоепіфітону є діатомові водорости, максимум розвитку яких припадає на осінній період. Авторка дійшла висновку, що в системі «фітопланктон ↔ фітоепіфітон» існує чітко виражена взаємодія, де фітопланктон впливає на структуру фітоепіфітону, і, навпаки, фітоепіфітон у певні періоди року може впливати на структуру фітопланктону.

Кореляційний аналіз показав достовірну позитивну кореляцію між температурою води (у діапазоні від 5 до 27°C) та показниками фітопланктону: кількістю видів ($r = 0,70$; $p < 0,0001$) та біомасою ($r = 0,48$; $p = 0,003$). Разом з тим, для фітоепіфітону не відмічено лінійної кореляції цих показників із температурою води (у діапазоні від 5 до 27°C), що

пояснено явищем домінування у фітоепіфітоні діатомових водоростей, оптимум розвитку яких припадає на поміrnі температури (10–20°C), чому взаємозв'язок між температурою води та загальною біомасою фітоепіфітону є нелінійним.

Вплив біотичних чинників (вищих водяних рослин і фітопланктону) має важливе значення для вегетації фітоепіфітону водних екосистем басейну Дніпра. Аналіз залежності розвитку фітоепіфітону від екологічної групи рослин-субстратів показав, що фітоепіфітон на занурених рослинах характеризується достовірно вищим таксономічним багатством, ніж на рослинах інших екологічних груп. Це пояснюється складною архітектурою занурених рослин та високим співвідношенням поверхні до маси. У той же час, відсутність достовірної відмінності між величинами біомаси фітоепіфітону в перерахунку на одиницю поверхні рослин різних екологічних груп пов'язано із тим, що в евтрофіческих водних екосистемах на кількісний розвиток фітоепіфітону більшою мірою впливають інші екологічні чинники, а тип субстрату має підпорядковане значення.

Фітоепіфітон та фітопланктон формують динамічну систему. Наявність спільних видів у планктоні та епіфітоні може бути зумовлена: евритопністю цих видів; осадженням водоростей із планктону на поверхню вищих водяних рослин під час «цвітіння» води; переходом видів, типових для обростань, до планктону завдяки гідродинамічним процесам.

Як вищі водяні рослини, так і планктонні водорості екранують фітоепіфітон, що підтверджується оберненою кореляцією між проективним покриттям ВВР і біомасою фітоепіфітону, а також протифазністю у розвитку фітопланктону і фітоепіфітону. Вперше запропоновано методичний підхід для комплексної експрес-оцінки режиму освітлення в заростях занурених рослин, яка враховує вплив проективного покриття ВВР і прозорості води. Така оцінка допомагає з'ясувати причини відмінностей у кількісних показниках водоростевих угруповань, що є особливо актуальним при проведенні порівняльних досліджень, а також при оцінці трофічного статусу та екологічного стану водних екосистем.

Встановлено, що роль фітоепіфітону в структурі автотрофної ланки водної екосистеми визначається комплексним впливом екологічних чинників, як абіотичних (морфометричні характеристики водойми, потужність фотичної зони), так і біотичних (видове багатство і площа заростань вищих водяних рослин).

У Розділі 5 “Закономірності континуальності і дискретності фітоепіфітону різnotипних екосистем басейну Дніпра за досліджуваний період у фітоепіфітоні басейну Дніпра виявлено 715 видів водоростей, представлених 743 в. в. т., включаючи номенклатурний тип виду, які належали до 263 родів, 116 родин, 56 порядків, 20 класів і 8 відділів:

Cyanobacteria, *Bacillariophyta*, *Cryptophyta*, *Miozoa*, *Ochrophyta*, *Charophyta*, *Chlorophyta*, *Euglenozoa*. Повний список видів наведено в електронній базі даних Excel, яка є доповненням до роботи.

На рівні класів домінуюча роль належала *Bacillariophyceae* (38% від загальної кількості видів), *Chlorophyceae* (13%), *Cyanophyceae* (13%) і *Zygnematophyceae* (10%).

На рівні порядків домінували *Sphaeropleales* (12%), *Naviculales* (10%), *Desmidiales* (9%), *Cymbellales* (8%) і *Bacillariales* (5%).

На рівні родин ядро флористичної структури фітоепіфітону формували *Desmidiaceae* (7%), *Bacillariaceae*, *Scenedesmaceae*, *Gomphonemataceae*, *Naviculaceae* (по 5%) і *Cymbellaceae* (3%).

До числа родів, представлених найбільшою флористичною часткою, входили: *Cosmarium* (5%), *Nitzschia* (4%), *Navicula* (3%), *Gomphonema* (3%), *Cymbella*, *Desmodesmus*, *Eunotia*, *Closterium* (по 2%).

Таким чином, фітоепіфітон різnotипних водойм і водотоків басейну Дніпра характеризується високим таксономічним багатством, а його основу формують діатомові, зелені, синьозелені і харові водорості.

Авторка вважає, що континуум проявляється у тому, що у всіх досліджуваних водоймах і водотоках основу флористичного багатства фітоепіфітону формують *Bacillariophyta* (від 38 до 77%), *Chlorophyta* (від 8 до 25%) і *Cyanobacteria* (від 8 до 17%). Разом з тим, виявлено й ознаки дискретності, що проявляється у співвідношенні відділів у флористичній структурі. Детальний аналіз континуальності і дискретності фітоепіфітону басейну Дніпра було проведено за допомогою коефіцієнту видової подібності Серенсена. Фітоепіфітон характеризується високим таксономічним багатством і представлений 715 видами водоростей. Цю величину можна порівняти з таксономічним багатством дніпровського фітопланктону, яке нараховує 1192 види. Стверджується, що фітоепіфітон відіграє важливу роль у формуванні біорізноманіття басейну Дніпра. Це дозволяє використовувати його у якості репрезентативного біоіндикатора якості води та екологічного стану (потенціалу) водних екосистем басейну Дніпра.

Дискретно-континуальні закономірності розвитку фітоепіфітону виявлено також в системі «річка – руслове озеро – річка» та в системі «лотичні умови – лентичні умови».

Просторовому розподілу фітоепіфітону по Дніпровському каскаду притаманна континуальність з ознаками дискретності, зумовленої локальним антропогенним впливом. Розподіл біомаси фітоепіфітону Дніпровського каскаду має характер континууму з поступовим градієнтом її підвищення по поздовжньому профілю каскаду. На фоні загального континууму спостерігаються локальні прояви дискретності – зниження біомаси фітоепіфітону в нижніх частинах водосховищ, що зумовлено

явищами нагону планктонних синьозелених водоростей та погіршенням світлових умов для розвитку водоростей обростань.

Розділ 6 «Реакція фітоепіфітону на вплив кліматичних змін». Оскільки одним із найважливіших наслідків кліматичних змін для водойм і водотоків басейну Дніпра є підвищення температури повітря і, відповідно, води, біоценози літоралі, складовою частиною яких є фітоепіфітон, особливо вразливі до змін клімату, оскільки термічний режим мілководних ділянок швидше реагує на будь-які флюктуації температури повітря, ніж пелагіаль чи бенталь.

Залежність біомаси фітоепіфітону від температури води є нелінійною. Показано, коли середня температура води за період спостережень становила 19–20°C, розвиваються майже монодомінантні діатомові угруповання, а при її підвищенні частка діатомових водоростей поступово знижується. При цьому частка більш теплолюбних зелених і синьозелених водоростей, навпаки, зростає, оскільки вони отримують конкурентну перевагу в умовах підвищеної температури води.

Важливим підсумком проведених досліджень є узагальнення багаторічних натурних матеріалів по фітоепіфітону і вибір його найбільш репрезентативних показників, які чутливо реагують на зміну температури води, до яких належать: співвідношення діатомових, зелених і синьозелених водоростей; інтенсивність валової первинної продукції; співвідношення продукційно-деструкційних процесів (A/R); питома продукція (P/B -коєфіцієнти); індекс сапробності Пантле-Букк у модифікації Сладечека.

Розділ 7. «Апробація європейських підходів до оцінки стану водних екосистем басейну Дніпра за фітоепіфітоном». Доведено, що діатомові індекси, розраховані за фітоепіфітоном, репрезентативно відображають якість води та сукупно з іншими біологічними елементами якості можуть слугувати показниками екологічного стану та екологічного потенціалу МПВ басейну Дніпра. Відповідно вони можуть використовуватись як дескриптори біологічного елементу «фітобентос твердих субстратів» для здійснення державного моніторингу масивів поверхневих вод України.

Вперше для басейну Дніпра на основі натурних даних по фітоепіфітону (фітобентосу твердих субстратів) проведено вибір референційних та умовно референційних ділянок для таких типів масивів поверхневих вод : велика річка на низовині в органічних породах в екорегіоні Східні рівнини; середнє озеро на низовині середнє за глибиною в органічних породах в екорегіоні Східні рівнини; дуже велика річка на низовині в силікатних породах в екорегіоні Східні рівнини; дуже велика річка на низовині в силікатних породах в екорегіоні Понтійська провінція; кандидати в істотно змінені масиви поверхневих вод.

Розділ 8 «Гомеостаз фітоепіфітону водних екосистем басейну Дніпра з різним ступенем антропогенного навантаження». У результаті аналізу

часової динаміки фітоепіфітону Київського водосховища в межах декількох десятиліть показано, що фітоепіфітон ефективно підтримує динамічну рівновагу в довгостроковому масштабі. Авторка роботи вважає, що динамічна рівновага підтримується за рахунок «компенсаторних взаємодій між таксонами». Так, зміни екологічних чинників, які відбулись у сучасний період, порівняно з 70–80 гг. ХХ ст., могли викликати зниження таксономічного багатства відділів *Bacillariophyta*, *Euglenozoa*, і в той же час надати можливість для компенсаторного підвищення різноманіття водоростей інших відділів: *Cyanobacteria*, *Ochrophyta*, *Cryptophyta*, *Chlorophyta*. Аналогічна закономірність характерна і для домінуючого комплексу: зменшення біомаси *Oedogonium sp.* дало можливість для компенсаторного підвищення біомаси інших видів водоростей.

Зроблено висновок, що стабільна кількість видів у водоростевому угрупованні забезпечується за рахунок його структури, яка складається із постійного «ядра» і мінливого компоненту. Постійне «ядро» фітоепіфітону на рівні відділів переважно формують діатомові і зелені водорости, а на рівні видів – переважно водорости з широким діапазоном толерантності по відношенню до різних чинників. Мінливий компонент формується видами водоростей, які реєструються в окремі роки залежно від екологічних умов. Це можна розглядати як один із механізмів гомеостазу фітоепіфітону. Як один із механізмів підтримання гомеостазу також є полідомінантна структура домінуючого комплексу фітоепіфітону, яка свідчить про високу вирівненість угруповань.

До механізмів гомеостазу фітоепіфітону дніпровських водосховищ у сучасних умовах належать: міжрічні зміни структури фітоепіфітону на рівні відділів і видового складу залежно від екологічних чинників, спрямовані на підтримання загального таксономічного багатства на стабільно високому рівні; полідомінантна структура і висока вирівненість угруповання, про які свідчать високі величини індексу Шеннона і які забезпечують підтримання динамічної рівноваги кількісних показників водоростевого угруповання в мінливих умовах середовища.

У п.р. «Узагальнення» (рис. 9.1.) наведена «Блок-схема основних чинників, які визначають розвиток фітоепіфітону басейну Дніпра» (с. 323), та роль фітоепіфітону у функціонуванні водної екосистеми, де наведено абіотичні чинники, компоненти біоти, прямі зворотні зв'язки. Узагальнення результатів власних досліджень і літературних даних дозволило сформулювати різні сценарії розвитку фітоепіфітону водойм басейну Дніпра при зміні екологічних умов. Зважаючи на те, що на сьогодні одними з найактуальніших екологічних проблем є кліматичні зміни і зміна біогенного режиму, розглянуто сценарії розвитку фітообростань при підвищенні температури води і при збільшенні вмісту біогенних елементів. Крім того, з огляду на те, що важливим чинником

впливу на біоту є штучне зниження рівня води, було проаналізовано сценарій розвитку водоростевих обростань при спрацюванні ВО ЧАЄС (рис. 9.2) (с. 331).

Висновки містять 12 пунктів, що узагальнюють науковий доборок за напрямами досліджень та акцентують увагу на основних досягненнях роботи, що повністю витікають з результатів досліджень та їх аналізу.

Список використаних джерел літератури включає 343 найменування джерел, з яких, 177 найменувань іноземними мовами.

Автореферат повністю відповідає структурі та змісту дисертації, відображає основні положення роботи, добре проілюстрований.

Зауваження та дискусійні питання щодо змісту та оформлення дисертації:

Питання:

1. Чи були виявлені у водоймах новітні «інвазійні» та «паразитичні» види, які можуть порушити біорізноманіття та продуктивність в екосистемі?
2. Як Ви розглядаєте взаємозв'язок між біорізноманіттям та трофічною структурою в контексті поняття і ефекту «стійкість екосистем»?

Зауваження:

1. В меті і завданнях роботи йдеться про «ступінь антропогенного впливу». Що вкладається в це поняття? Які критерії цього впливу?
2. Чи є чинниками формування видового складу та структурно-функціональної активності фітоепіфітону вплив забруднень токсичного характеру (пестициди, важкі метали, нафтопродукти тощо).
3. Варто проаналізувати характер структури і кількісне забезпечення екологічних сервісів у системі структури та функціонування фітоепіфітону за дії різних чинників.
4. Яка роль фітоепіфітону у формування якості води поряд з іншими чинниками гідроекосистем?

Загалом робота викладена доброю науковою та літературною мовою, проте має незначні граматичні та стилістичні помилки.

Проте вищезазначені недоліки не зменшують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи.

Висновок до дисертації. Дисертаційна робота Семенюк Н.Є. є самостійною завершеною науковою працею, в якій інтегровано великий обсяг емпіричних показників та новітні методи оцінки багатокомпонентних даних, на основі яких здійснено якісний та кількісний аналіз механізмів формування структури та функціонування фітоепіфітону за різного рівня дії різноманітних, включно антропогенних, впливів. Представлені в роботі результати мають наукову значимість для

розуміння динаміки і стану гідроекосистем різних типів, теоретичне значення для розвитку таких напрямів біологічної науки як гідробіологія, екосистемологія та диверсикологія, та практичне значення для розроблення стратегій охорони і менеджменту водних екосистем. За свою актуальністю, новизною, практичним значенням, високою якістю, достовірністю та великим обсягом емпіричного матеріалу і результатів їх аналізу, а також за змістом та структурою дисертаційна робота Семенюк Наталії Євгенівни „Фітоепіфітон водних об'єктів басейну Дніпра” відповідає Порядку присудження наукових ступенів, затвердженному Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами), а Семенюк Наталія Євгенівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора біологічних наук зі спеціальності 03.00.17 – гідробіологія.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри загальної біології
та методики навчання природничих дисциплін
Тернопільського національного
педагогічного університету
імені Володимира Гнатюка,
доктор біологічних наук, професор

В.В. Грубінко

10 листопада 2020 року

