

## ВІДГУК

офіційного опонента

кандидата біологічних наук Дідюра Олега Олексійовича  
на кваліфікаційну наукову працю на правах рукопису  
Чубченко Єлизавети Артемівни «Фітоіндикація евтрофікації водоймищ  
природного заповіднику "Дніпровсько-Орільський"», подану на здобуття  
ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія  
10 – Природничі науки

**Актуальність теми дисертації.** Проблема антропогенної евтрофікації водних об'єктів сьогодні є однією з ключових загроз екологічній безпеці, що призводить до деградації біорізноманіття та зниження якості водних ресурсів. Для України, де більшість річкових басейнів перебуває під потужним техногенним тиском, розробка об'єктивних методів діагностики трофічного стану водойм є пріоритетним завданням, що відповідає вимогам Водної рамкової директиви Європейського Союзу.

Особливої ваги це питання набуває для природного заповідника «Дніпровсько-Орільський», який функціонує в умовах екстремального навантаження Дніпровської промислової агломерації. Традиційний гідрохімічний моніторинг часто не відображає цілісної картини трансформації екосистем, тому перехід до методів фітоіндикації на основі макрофітів є методологічно виправданим. Вища водна рослинність, як довгоіснуючий компонент біоценозу, виступає інтегральним показником екологічного стану, що дозволяє виявити стійкі тенденції евтрофікації.

Наукова актуальність роботи Є. А. Чубченко підсилюється інтеграцією класичної геоботаніки з новітніми технологіями дистанційного зондування (супутники Sentinel-2). Створення прогностичних моделей, що пов'язують спектральні характеристики водної поверхні з індикаційними показниками рослинності, дозволяє перейти від фрагментарних спостережень до суцільного просторового моніторингу заповідних територій. Отже, запропоноване дослідження є вкрай своєчасним і має вагоме значення для розвитку теорії екологічного моніторингу та практики збереження об'єктів природно-заповідного фонду за сучасних умов та викликів.

**Мета дисертаційного дослідження** – визначення рівня евтрофікації водойм природного заповідника Дніпровсько-Орільський на основі фітоіндикації екосистем. На підставі детального ознайомлення з представленим рукописом та глибокого аналізу результатів польових і дистанційних досліджень, констатую, що Чубченко Єлизаветою Артемівною успішно досягнуто поставлену мету дослідження.

**Наукова новизна результатів.** Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у формуванні цілісного методологічного підходу до оперативного моніторингу заповідних екосистем, що базується на синергії класичної фітоіндикації та сучасних цифрових технологій.

***Уперше для умов заповідних заплавних водойм Середнього Дніпра:***

- *Концептуалізовано та впроваджено* методику розділення варіації (variation partitioning), що дозволило вперше кількісно розмежувати вплив природних гідрологічних факторів від антропогенно зумовленої евтрофікації. Це створює теоретичну основу для побудови високоточних екологічних моделей, очищених від «просторового шуму».
- *Розроблено та верифіковано* регіонально-адаптовані індикаторні шкали для макрофітів, які, на відміну від існуючих загальних шкал, враховують специфічну екологічну пластичність видів у степовій зоні. Це відкриває перспективи для створення уніфікованої системи біоіндикації для всього каскаду Дніпровських водосховищ.
- *Доведено високу прогностичну здатність* поєднання наземних геоботанічних даних із показниками спектральної яскравості супутників Sentinel-2. Уперше встановлено математичні залежності між флористичним складом угруповань та дистанційними індексами хлорофілу-а, що дозволяє масштабувати локальні результати на великі важкодоступні акваторії.

Викладена наукова новизна та отримані теоретичні результати слугують підґрунтям для того, щоб запропонований у роботі підхід створив надійну методологічну базу для розробки універсальних алгоритмів інтеграції наземної фітоіндикації та супутникового моніторингу, що можуть бути успішно екстрапольовані на інші об'єкти природно-заповідного фонду та водосховища Дніпровського каскаду. Отримані результати закладають наукову основу для впровадження інтелектуальних систем дистанційного контролю екологічного стану акваторій у режимі реального часу, що мінімізує потребу в ресурсозатратних польових виїздах. Окрім того, розроблені прогностичні моделі мають високу цінність для моделювання векторів сукцесійних змін та деградаційних процесів у заплавних екосистемах в умовах зростаючих кліматичних ризиків та антропогенної трансформації гідрологічного режиму річкових систем.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу Чубченко Єлизавета Артемівна виконувала протягом 2022–2025 рр. на кафедрі ботаніки, екології та садово-паркового господарства Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. Її дослідження є складовою державної науково-дослідної теми

«Біологічне різноманіття як фактор стійкості екосистем Приазовського регіону в умовах глобальних змін клімату та антропогенного впливу».

**Особистий внесок здобувача.** Авторкою здійснено ґрунтовний аналіз наукової літератури, розроблено комплексну методику дослідження, організовано та проведено польові й експериментальні роботи. Здобувачка особисто виконала статистичну обробку первинних даних, їх інтерпретацію та формулювання наукових положень і висновків. Зокрема, науковою новизною, що належить безпосередньо автору, є розробка індикаторних шкал для оцінки режиму трюфності водойм. Основні ідеї та результати роботи апробовано на міжнародних та всеукраїнських конференціях. У наукових публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачці належить провідна роль у підготовці матеріалів та узагальненні результатів. Робота оформлена авторкою одноосібно відповідно до встановлених вимог.

### **Практичне значення роботи**

Результати дослідження мають безпосереднє прикладне застосування:

- Запропоновано ефективний та економічно доступний метод моніторингу стану водойм ПЗФ.
- Отримані дані можуть бути використані адміністрацією заповідника для розробки рекомендацій з охорони та відновлення водно-болотних угідь.
- Методики оцінки якості води за даними дистанційного зондування можуть бути інтегровані в системи автоматизованого екологічного моніторингу.

Зазначу, що практична значущість виконаної наукової роботи полягає у можливості масштабування запропонованих підходів на інші об'єкти природно-заповідного фонду України, що забезпечує перехід до якісно нового рівня управління природоохоронними територіями.

Основні теоретичні положення й матеріали дисертації застосовуються у ході викладання дисциплін: «Екологічна біоіндикація», «Моніторинг довкілля», «Заповідна справа», «Актуальні напрями екологічних досліджень», «Оцінка стану екосистем та їх компонентів». Одержані матеріали дисертаційної роботи використані під час складання Літопису природи природного заповіднику «Дніпровсько-Орільський».

**Обґрунтованість наукових положень та достовірність результатів.** Достовірність результатів забезпечується значним обсягом польових досліджень (обстежено 76 ділянок) , використанням сучасного обладнання (ехолоти, GPS) та супутникових знімків Bing Maps і Sentinel. Статистична обробка даних проведена на високому рівні із застосуванням аналізу надмірності (RDA), аналізу канонічної відповідності (CCA) та програмного середовища R.

**Структура дисертаційної роботи та аналіз її розділів.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Зміст розділів відповідає поставленій меті та завданням дослідження. Робота логічно побудована: від теоретичного огляду та характеристики району досліджень (Розділи 1 і 2) до методичного обґрунтування та аналізу структури макрофітних угруповань (Розділи 3 і 4) і фінальної оцінки рівня евтрофікації (Розділ 5).

**Вступ**, відповідно до вимог, містить стислі дані про актуальність теми дослідження, мету, завдання, об'єкт, предмет, методи збору та обробки матеріалу, наукову новизну, теоретичне та практичне значення одержаних результатів, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дослідження.

**У першому розділі (Аналіз стану проблеми евтрофікації та методів її оцінки)** здобувачка проводить масштабний ретроспективний та критичний аналіз світового та вітчизняного досвіду вивчення антропогенної трансформації водних екосистем. Авторка детально розглядає евтрофікацію не просто як процес накопичення біогенів, а як складний ланцюг екологічних наслідків, що призводять до структурної перебудови біоценозів. Особлива увага приділена порівняльному аналізу методів моніторингу: від традиційних гідрохімічних показників до біологічних індикаторів. Здобувачка переконливо доводить, що вища водна рослинність (макрофіти) є найбільш репрезентативним об'єктом для довгострокового екологічного прогнозування в умовах заповідних територій, оскільки вони акумулюють вплив екологічних факторів і виступають «стабілізаторами» екосистеми. Теоретичний огляд завершується чітким обґрунтуванням необхідності впровадження новітніх методів дистанційного зондування, що дозволяють подолати певну фрагментарність класичних спостережень.

**Другий розділ (Фізико-географічна характеристика району досліджень)** містить детальний опис природних умов та гідрологічної структури Дніпровсько-Орільського природного заповідника. У ньому розглянуто:

– Географічне положення та антропогенний контекст. Зокрема, показано, що заповідник розташований у зоні інтенсивного промислового впливу (трикутник Дніпро-Запоріжжя-Кривий Ріг). Попри сусідство з промисловими центрами, територія є оазисом біорізноманіття, де представлено 731 вид судинних рослин (зокрема 11 червонокнижних) та понад 2000 видів тварин.

– Трансформація гідрологічного режиму з висвітленням історії радикальних змін рельєфу заплави внаслідок будівництва каскаду Дніпровських водосховищ, що призвело до підняття рівня води на 3,0–3,5 м порівняно з природними умовами та затоплення значної частини заплави.

– Типологія водойм: У розділі класифіковано 302 водні об'єкти заповідника, які об'єднані у п'ять систем (руслова частина р. Дніпро зі збереженим річковим режимом, гирло р. Оріль (штучний канал із реверсною течією влітку), Обухівська заплавна система з мілководними, малопроточними водоймами з високою інтенсивністю заростання, система Таромського уступу з озерами з активним заболочуванням та замуленням та система Миколаївського уступу з водоймами з крутими берегами та значними добовими коливаннями рівня води).

– Екологічні особливості та гідрохімія з описанням гідрологічної зв'язності водойм як чинника динаміки біорізноманіття та фільтрації води. Зазначено, що вода належить до гідрокарбонатно-кальцієвої групи, проте в останні роки в деяких озерах спостерігається зростання вмісту вільної вуглекислоти, що свідчить про активні процеси заболочування.

Цей розділ формує підґрунтя для розуміння екологічної диференціації макрофітних угруповань, що досліджуються в наступних частинах роботи, а здобувачка демонструє глибоке розуміння гідрологічного режиму заплавних водойм в умовах зарегулювання стоку Дніпра.

*У третьому розділі (Матеріали та методика досліджень)* представлено методологічну базу досліджень, що базується на польових спостереженнях на 76 станціях, де проводили геоботанічні описи прибережних ділянок з візуальною оцінкою покриття рослин за 5-бальною шкалою. Для картографування водойм та вимірювання глибин використовували ехолоти, GPS-пристрої та супутникові знімки сервісу Bing Maps. Оцінка трофічного стану та рівня деградації гідроекосистем здійснювали за допомогою низки індексів (біологічного індексу макрофітів для річок MBIR, макрофітного індексу MI, трофічного індексу макрофітів TIM, середнього трофічного рангу рослинного угруповання MTR та макрофітного індексу для річок MIR). Додатково застосовано дані дистанційного зондування зі супутника Sentinel-2 для розрахунку спектральних показників якості води, зокрема концентрації хлорофілу-а, фікоціаніну, прозорості за диском Секкі та індексу каламутності.

Статистична обробка результатів включала використання багатовимірних методів, таких як аналіз надмірності (RDA), канонічний кореспондентний аналіз (CCA) та узагальнені лінійні моделі (GLM). Аналіз Прокруста застосували для виявлення зсувів у структурі угруповань під впливом екологічних факторів. Отже, використання багатогранних екологічних методів та сучасного математичного апарату, включаючи мову програмування R та спеціалізовані бібліотеки для багатовимірного статистичного аналізу, свідчить про високу професійну підготовку автора та забезпечує високу якість і точність отриманих результатів.

**Розділ 4 (Структура макрофітних угруповань водойм Дніпровсько-Орільського природного заповідника)** присвячений комплексному аналізу структури макрофітних угруповань заповідника, де на основі гідрохімічних показників та статистичного моделювання встановлено закономірності формування рослинного покриву під впливом просторових та екологічних чинників. Доведено, що просторова організація макрофітів має ієрархічну структуру, де широкомасштабні (гідрологічна зв'язаність заплави) та середньомасштабні (морфометрія водойм) фактори разом із чистими середовищними ефектами визначають видовий склад та інтенсивність заростання. У розділі детально описано флористичне різноманіття, зокрема поширення представників родин Рдесникові (*Potamogetonaceae*), Жабурникові (*Hydrocharitaceae*), Куширові (*Ceratophyllaceae*) та вищих спорових рослин (зокрема, представник відділу мохоподібні та відділу папоротей), а також виокремлено основні типи заростання – від зонального до суцільного. За допомогою кластерного аналізу проведено диференціацію водних об'єктів, яка дозволила чітко розмежувати руслові ділянки з високим рівнем гемеробії та спрощеною структурою угруповань від більш стабільних і природних систем заплавних озер. Підсумкові висновки розділу підтверджують високу індикаторну здатність макрофітів у відображенні градієнтів евтрофікації та антропогенної трансформації досліджуваних гідроекосистем.

**Розділ 5 (Оцінка рівня евтрофікації водойм Дніпровсько-Орільського заповідника на основі фітоіндикації)** присвячений комплексній оцінці трофічного стану водойм заповідника на основі фітоіндикаційних показників та аналізу гідрологічної зв'язності. Здобувачкою встановлено, що концентрація хлорофілу-а, яка виступає ключовим маркером евтрофікації, статистично значущо залежить від морфометричних характеристик водойм, їхньої віддаленості від русла р. Дніпро, а також показників сполученості та порядку в гідрологічній мережі. Доведено, що руслова частина Дніпра зберігає мезотрофний статус, тоді як заплавні водойми вищих порядків трансформуються в евтрофні та гіперевтрофні екосистеми. На основі адаптованого до регіональних умов біологічного індексу макрофітів (MBIRd) виявлено, що понад 91% досліджених ділянок мають поганий або незадовільний екологічний стан. Диференціація восьми виокремлених асоціацій макрофітів чітко відображає градієнти антропогенної трансформації: зростання рівня гемеробії безпосередньо корелює з накопиченням біогенів та зміною температурного режиму води. Аналіз просторової мінливості підтвердив, що гідрологічна зв'язність є вирішальним чинником самоочищення заплави, оскільки забезпечує евакуацію надлишкової органічної речовини до основного русла. Узагальнюючи результати розділу, можна констатувати, що ізоляція

водойм неминуче призводить до їх замулення, заболочування та спрощення структури рослинних угруповань, тоді як збереження активного водообміну з Дніпром підтримує стабільність реофільних рефугіумів біорізноманіття. Таким чином, поєднання методів фітоіндикації з даними дистанційного зондування дозволяє об'єктивно оцінювати екологічні ризики та прогнозувати подальшу деградацію заплавлених екосистем під впливом антропогенного навантаження

**Висновки** базуються на ретельному аналізі, проведеному на фундаментальному матеріалі польових досліджень авторки та логічному узагальненні літературних відомостей, застосуванні сучасних методів дослідження та проведеної статистичної обробки, відповідають поставленій меті і завданням та відображують результати дослідження.

Отже, представлена дисертація характеризується логічною послідовністю та цілісністю. Перехід від теоретичного обґрунтування до збору емпіричних даних, їхньої глибокої біологічної інтерпретації, математичного доведення закономірностей та практичної реалізації свідчить про високу зрілість наукового підходу Є. А. Чубченко. Робота не лише вирішує актуальне прикладне завдання, а й робить вагомий внесок у розвиток методології екологічної індикації та дистанційного моніторингу біосфери.

**Повнота викладу наукових результатів, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.** Основні матеріали дисертаційної роботи опубліковані в 12 наукових працях, із них 2 – у виданнях, які включені до міжнародних наукометричних баз Web of Science або Scopus, із них 2 – що входять до переліку категорії «А», 8 – матеріали наукових конференцій, що свідчить про високу якість наукового доробку.

Водночас, під час комплексного аналізу дисертаційної роботи Є. А. Чубченко виникли певні зауваження та запитання, які доцільно винести на подальше обговорення під час наукової дискусії:

1. Обґрунтування наукової новизни щодо уточнення екоморфічних характеристик видів (сторінка 17) виграло б від наочного представлення. Доцільно було б подати таблицю з прийнятими екоморфами за Бельгардом і Тарасовим у зіставленні з уточненими даними здобувачки.

2. Для підсилення актуальності теоретичного блоку (Розділ 1. Теоретичні засади фітоіндикації евтрофікації водойм (літературний огляд) автору пропонується звернути увагу на специфіку мілітарного впливу на заповідні території. Корисним було б хоча б трохи висвітлити питання, чи впливає цей фактор на прискорення евтрофікації, а також на зміни стану водойм Дніпровсько-Орільського заповідника, зумовлених опосередкованим впливом війни (зокрема через кардинальну зміну гідрологічного режиму після знищення Каховського водосховища).

3. Авторка зазначає (розділ 1. сторінка 31), що просторова складова може «дезінформувати» щодо реакції макрофітів на трофічний режим водойми. Варто було б тут додатково пояснити, як саме диференціювати природну сукцесійну зміну водойми (заростання) від антропогенної евтрофікації у межах дослідженого заповідника.

2. Варто звернути увагу, що у розділі 2 (Фізико-географічна характеристика району досліджень) латинські назви біологічних видів доцільно було б супроводити прізвищами авторів таксонів для дотримання повноти наукового опису.

3. У Розділі 3 (Матеріали та методи дослідження) зазначено, що чисельність рослин оцінювали за п'ятибальною шкалою, проте далі наведено градацію проєктивного покриття у відсотках. Водночас здобувачка акцентує, що візуально в польових умовах визначався саме відсоток покриття видів, а не їх чисельність, що створює термінологічну розбіжність.

4. Запитання до розділу 3 (Матеріали та методи досліджень). Використання супутникових даних для оцінки концентрації хлорофілу-а є прогресивним сучасним методом, проте на мілководді на спектральні характеристики суттєво впливають завислі речовини (каламутність) та донна рослинність. Чи проводили валідацію супутникових індексів шляхом прямого зіставлення з результатами лабораторних вимірювань у цих конкретних водоймах?

5. У четвертому розділі, присвяченому структурі макрофітних угруповань заповідника, представлено результати аналізу гідрохімічних параметрів водного середовища за 2022–2024 рр. (табл. 4.1.1). Автором проаналізовано загальну жорсткість, уміст розчиненого кисню, показник біохімічного споживання кисню, концентрацію нітратів тощо. Проте варто зауважити, що у розділі 3 відсутні посилання на методики, за якими проводили визначення цих гідрохімічних характеристик.

6. У розділі 4 представлено таблицю 4.2.2 щодо ступенів гемеробії водних макрофітів, однак у розділі 3 не зазначено, що аналіз здійснювали за цим показником. Включення цієї методики до відповідного розділу збагатило б його та посилило б враження про багатогранність і комплексність виконаного дослідження.

7. У назвах рисунків 4.2.8, 4.2.10, 4.2.12 та ін. (Розділ 4) та в таблиці 5.3.1 (Розділ 5) варто замінити кальки "зустрічаємось" та "зустрічальність" на нормативні відповідники "трапляння" або "поширеність" (наприклад: "Частота трапляння виду..."). Це краще відповідає контексту наукового стилю.

8. У Розділі 5 (Оцінка рівня евтрофікації водойм Дніпровсько-Орільського заповідника на основі фітоіндикації) варто звернути увагу на назву

таблиці 5.1.2 ("Описова статистика оцінки вмісту хлорофілу-а, мкг/л"). Було б доцільно уточнити, що ці дані отримані на основі дистанційних спектральних характеристик води. Також слід виправити технічну похибку в оформленні цифр: у межах однієї таблиці дробова частина чисел має бути відокремлена однаковим знаком (або тільки комою, або тільки крапкою), щоб уникнути неузгодженості

Резюмуючи все вище сказане відмічу, що, не дивлячись на наявність дискусійних питань і певні технічні помилки, принципових недоліків, які зменшують цінність роботи, не виявлено. Зауваження та уточнення не впливають на теоретичну та практичну наукову цінність кваліфікаційної праці. Висновки, що випливають із результатів роботи, є аргументовані, обґрунтовані, відображають положення дисертації. Основні результати дисертації повно викладені в наукових фахових виданнях.

**Загальна оцінка роботи та висновок.** Дисертаційна робота Чубченко Єлизавети Артемівни «Фітоіндикація евтрофікації водоймищ природного заповіднику "Дніпровсько-Орільський"» є самостійним завершеним науковим дослідженням, яке вирішує важливе екологічне завдання і яке здобувачка виконала особисто із застосуванням традиційних та новітніх методів досліджень і коректно інтерпретованими результатами. Робота має цілісність та наукову новизну, обґрунтованість висновків базуються на великому обсягу матеріалі, зібраному авторкою. Результати її досліджень оприлюднені у наукових працях. Дисертація повністю відповідає спеціальності 101– екологія та вимогам наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» (зі змінами, внесеними згідно з Наказу МОН України № 759 від 31.05.2019) та п. 28 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету міністрів України від 12 січня 2022 р., № 44, зі змінами до постанови № 341 від 21.03.2022, а її авторка, Чубченко Єлизавета Артемівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія.

Офіційний опонент:

старший науковий співробітник

НДЛ наземної екології, лісового ґрунтознавства,

та рекультиватії земель НДІ біології,

канд. біол. наук, старший дослідник

*Ученый секретар ДНУ*



Олег ДІДУР

*Тетяна КОЗАНЕН*