

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Бабка Романа Вікторовича

«УГРУПОВАННЯ ВІЛЬНОЖИВУЧИХ ВІЙЧАСТИХ НАЙПРОСТІШИХ

(CHROMISTA, CILIOPHORA) КОНТИНЕНТАЛЬНИХ ВОДОЙМ»,

яка подана до спеціалізованої вченої ради Д.26.213.01. при

Інституті гідробіології НАН України на здобуття наукового ступеня
доктора біологічних наук за спеціальністю 03.00.17 - гідробіологія

Актуальність теми. Інфузорії є однією з найбільш поширених і різноманітних груп найпростіших, які відіграють важливу роль у функціонуванні водних екосистем, будучи основними споживачами бактеріальної продукції і сполучною ланкою між прокаріотами і багатоклітинними еукаріотами у трофічних ланцюгах. Протягом тривалого періоду досліджень цієї групи, особливо з другої половини 20 ст., накопичено значний об'єм інформації про видовий склад, поширення у різноманітних середовищах, особливості фізіології цих організмів. Активно тривають і практичні дослідження та теоретичні розробки в галузі екології найпростіших, залишаючи проте багато дискусійних питань. Одним з таких питань є структуризація населення найпростіших у межах екосистем. Автором висвітлено існування значних суперечностей в сучасних уявленнях про структуризацію угруповань найпростіших у водних екосистемах, наявність методичних проблем, які існують у дослідженнях війчастих найпростіших, що доводить актуальність даної роботи як з точки зору розвитку фундаментальної екології найпростіших, так і з точки зору її практичного значення.

Мета дисертаційного дослідження полягала у встановленні закономірностей організації угруповань вільноживучих війчастих найпростіших, виходячи з їх

різноманіття, кількісного розвитку, поширення у просторі та часі в основних біотопах прісних водойм різного типу та розробки методології їх виділення.

Мета роботи здобувачем досягнута.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота підготовлена в Інституті зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України у відділі фауни та систематики безхребетних в межах планової наукової теми «Морфо-екологічний та зоогеографічний аналіз фонових груп гідробіонтів України та суміжних територій», розділ «Війчасті найпростіші (Protista; Ciliophora) солонуватоводних континентальних водойм Українського Причорномор'я та Приазов'я» (2014–2018 pp., державний реєстраційний номер теми № 0114U000100); а також при виконанні ряду міжнародних проектів: «Osad czynny: biologia i analiza mikroskopowa» (2004-2006 pp., IBAES No. EVK2-CT-2002-80009, Ягеллонський університет, Краків, Польща), «Activated sludge bulking control in wastewater treatment plants with usage of rotifers (Rotifera)» (2010–2011 pp., реєстраційний номер: UDA-POIG.01.03.01-12-176/09-02, Ягеллонський університет, Краків, Польща), «Wykorzystanie metod bioindykacyjnych w modelowaniu oczyszczania ścieków miejskich osadem czynnym» (2011–2014 pp., реєстраційний номер: NN523 494934 4949/B/T02/2008/34, Люблінський політехнічний університет, Люблін, Польща), «Effect of drilling mud addition on activated sludge and processes in sequencing batch reactors» (2015–2016 p., реєстраційний номер: BLUE GAS-BG1/SOIL/2013, Люблінський політехнічний університет, Люблін, Польща).

Наукова новизна дослідження та одержаних результатів. Не викликає сумнівів наукова новизна результатів, отриманих особисто здобувачем і представлених у роботі. На основі власних багаторічних досліджень здобувачем запропоновано методологію виділення угруповань вільноживучих війчастих найпростіших, що базується на принципі їх поширення в кисневому градієнті водного середовища. Вперше запропоновано концепцію «біотопічного парадоксу

найпростіших», згідно якої найпростіші поширюються в гіперпросторі водойм незалежно від фізичних параметрів біотопів і формують ценотичні об'єднання відповідно до скалярних полів фізичних і хімічних факторів.

Здобувачем уперше запроваджено універсальну одиницю розрахунку щільності популяції вільноживучих війчастих найпростіших в умовах бенталі, перифіталі та пелагіалі. Вперше автором запропоновано метод ценоіндикації водойм, який дозволяє проводити експрес оцінку трофічного статусу гідроекосистеми.

Автор зробив вагомий внесок у дослідження фауни війчастих найпростіших України. Згідно його узагальненню вона нараховує 1192 видів. Вперше для фауни України автором були встановлені 71 вид війчастих найпростіших та описано новий для науки вид *Urotricha halteriiformis* (Kovalchuk, Babko, 1989).

Практичне значення. На основі власних досліджень здобувач розробив новий метод ценоіндикації екологічного стану водних екосистем. Запропонована автором методологія визначення структурних і функціональних показників популяцій війчастих найпростіших становить основу для оцінки їх ролі у функціонуванні гідроекосистем.

Матеріали щодо структурної організації і функціональної активності найпростіших та їх ролі у процесах очищення стічних вод увійшли у підручник «Біоіндикаційний контроль процесу очищення стоків» (Łagód, 2017).

Результати досліджень автора були використані у оцінці екологічного стану річок на території Сумської області та у розробці стратегії їх відновлення. Дослідження структури та функціональної активності вільноживучих війчастих найпростіших в умовах активного мулу були використані задля оцінки визначення ефективності роботи очисних споруд різного типу.

Обґрунтованість наукових положень, достовірність результатів, висновків і повнота викладення. Завдання роботи сформульовані згідно мети

дослідження. Робота виконувалася протягом тривалого періоду досліджень, підкріплена великим масивом первинних даних та застосованими ґрунтовними класичними та сучасними математичними та статистичними методами аналізу і сучасними програмами комп'ютерної обробки даних. Роботу відрізняє нестандартний і ґрунтовний підхід автора до аналізу матеріалів.

Наукові положення та висновки сформовані в ході всебічного аналізу отриманих результатів дослідження угруповань вільноживучих війчастих найпростіших прісних водойм України виконаних автором при вирішенні завдань, які поставлені у роботі.

Зміст дисертаційної роботи ідентичний до змісту автореферату.

Повнота викладення основних результатів дисертаційного дослідження. Матеріали дисертації всебічно висвітлені в 82 наукових працях, у тому числі одній колективній монографії та 28 статтях у наукових фахових виданнях, з яких 20 – у закордонних виданнях, що входять до наукометричних баз даних Web of Science і Scopus.

Кількість, обсяг та рівень публікацій відповідають чинним вимогам до опублікування результатів докторських дисертацій.

Обсяг і структура дисертації. Дисертаційна робота викладена на 471 сторінці друкованого тексту (обсяг основного тексту дисертації – 271 сторінка друкованого тексту) та складається зі вступу, аналітичного огляду фахової літератури, опису матеріалів та методів досліджень, 4 розділів власних досліджень, висновків, списку використаної фахової літератури та 2 додатків. Робота ілюстрована 10 таблицями та 141 рисунком. Список використаних джерел налічує 458 посилань, з них 190 латиницею, викладений на 46 сторінках. Додатки викладено на 140 сторінках.

Текст є інтегрованим та має змістовну завершеність. Дослідження характеризуються високим науковим рівнем. Структура дисертації логічно скомпонована, добре проілюстрована і оформлена згідно вимогам пункту 1

«Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 (зі змінами).

Аналіз основного змісту дисертаційної роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної теми, її мету і завдання досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

Перший розділ – аналітичний огляд – «Сучасні уявлення про структуру та організацію угруповань найпростіших» – присвячено аналізу фундаментальних праць, щодо визначення поняття «угруповання» показано існування значних суперечностей в уявленнях про формування і функціонування надорганізменних структур у екосистемах, зокрема у водних екосистемах. Цей розділ включає лише частину проаналізованої фахової літератури. Наприкінці розділу автор обґрунтовує актуальність обраного напрямку досліджень.

Другий розділ – Матеріали та методи досліджень - присвячений стислій характеристиці різнотипних континентальних водойм України, як-то: природних, що входять до складу п'яти основних річкових басейнів України, озер що не пов'язані за походженням з річками та лиманів, та штучно створених водойм, таких як водосховища, канали, тощо. Також, до розгляду включені такі широко розповсюджені в Україні водні системи штучного походження, як аеротенки очисних споруд, з огляду на високу ступень вивчення їх основного компоненту – активного мулу, що є субстратом для найпростіших. Наведено перелік і докладний опис окремих водойм, де автором здійснювалися стаціонарні дослідження .

Автором всебічно і детально представлено опис і аналіз методів як відбору проб в різних типах оселищ вільноживучих війчастих найпростіших водойм, та первинної обробки проб, так і методів ідентифікації видів, включаючи і прижиттєві. Автором описані використані у дослідженні сучасні методи ідентифікації інфузорій.

Автором розроблено власну методику розрахунку щільності населення війчастих найпростіших в одиницях об'єму. Методика передбачає приведення кінцевої отриманої питомої чисельності або біомаси організмів в усіх типах оселищ до кількості екземплярів чи маси в об'ємі – в мілілітрі, чи літрі, що дозволяє порівнювати проби з різних біотопів – пелагіалі, бенталі і перифіталі.

У третьому розділі «Таксономічний склад та різноманіття вільноживучих війчастих найпростіших континентальних водойм України» представлена інформація щодо різноманіття і характеристики таксономічного складу вільноживучих війчастих найпростіших у континентальних водоймах різного типу, а також в активному мулі. Здобувач провів кропітку роботу з узагальнення результатів власних багаторічних досліджень і літературних даних за останній сторічний період щодо вільноживучих війчастих найпростіших різнотипних водойм України, які представлені у додатку А (таблиці 1 і 2). Таксономічний список, наведений автором, складається з 1192 видів війчастих найпростіших. Вперше упорядковано загальний список видів вільноживучих війчастих найпростіших водойм України на основі сучасної систематики Д. Лінна (2008), з урахуванням останніх ревізій. Також у цьому розділі автор представив результати аналізу таксономічного складу війчастих найпростіших різнотипних континентальних водойм, які представлені повним рядом гідроекосистем – від середніх і малих річок до їх похідних водойм та водойм штучного походження, а також активному мулі очисних споруд.

У четвертому розділі «Населення вільноживучих війчастих найпростіших континентальних водойм та його структура» автором розглянуті питання біхевіоральної та трофічної структури вільноживучих війчастих найпростіших угруповань та запропоновано концепцію «біотопічного парадоксу найпростіших», яка дозволяє подолати існуючі суперечності у поглядах щодо структуризації населення найпростіших у водоймах.

Автор доводить, що у відповідності до «біотопічного парадоксу найпростіших» *ценотичні об'єднання* вільноживучих війчастих найпростіших формуються відповідно до скалярних полів фізичних і хімічних факторів (температури та вмісту кисню) і не детерміновані фізичними параметрами біотопів.

Автором детально описано методологію виділення ценотичних об'єднань вільноживучих війчастих найпростіших. У розділі показано відмінності виділених угруповань вільноживучих війчастих найпростіших за типом і рівнем метаболічних процесів, видовою, біхевіоральною і трофічною структурами.

На основі поширення видів в градієнті кисню встановлені діапазони їх толерантності. Загалом діапазони толерантності до температури і кисню встановлено для 154 видів, які у графічному виді представлено у Додатках Б.1 і Б.2.

П'ятий розділ «Кількісні і функціональні показники угруповань вільноживучих війчастих найпростіших континентальних водойм» є логічним продовженням попереднього розділу. У ньому містяться результати досліджень просторового поширення ценоекоморф в пелагіалі, бенталі і перифіталі. Здобувачем встановлено, що ценоекоморфи вільноживучих війчастих найпростіших структуруються у відповідності до градієнтів кисню, що притаманні біотопам. Саме тому присутність бентосних форм в межах пелагіалі є явищем природним, так само як і їх розвиток в перифіталі, а оксиклин, який утворюється в кількох сантиметровому шарі донних відкладів, відповідає за співіснування аеробного і анаеробного угруповань. Автором доведено що, максимальної щільності і біомаси в пелагіалі досягають не планктонні форми, а бентосні, представлені мікрооксифільною ценоекоморфою, локалізованою в межах «рідкого дна». В умовах активно вегетуючої вищої водяної рослинності переважають представники евріоксифільної ценоекоморфи. Натомість, в перифіталі решток рослин і рослин, вкритих детритними і муловими частками,

евриоксифіли заміщуються представниками мікрооксифільної ценоекоморфи. Доведено, що максимальні значення біомаси угруповань вільноживучих війчастих найпростіших та інтенсивності деструкції досягаються в інтервалах кисню 2-4 мг/л і 10–15 мг/л, відповідно, а найнижчі – в інтервалі 5–8 мг/л.

Показано що сезонна динаміка деструкції інфузорій аноксифільної ценоекоморфи і оксифільної співпадають з ходом температурної кривої. В мікрооксифільних умовах максимумами деструкційної активності найпростіших реалізуються на кінець літа та початок осені, що за версією автора є проявом оптимальних кисневих і трофічних умов в цей період. Представники евриоксифільної ценоекоморфи мають один пік деструкційної активності, який реалізується навесні чи на початку літа, в залежності від динаміки річних температур. Осінній пік деструкції в перифіталі відбувається переважно за рахунок мікрооксифільної ценоекоморфи.

Шостий розділ «Структура угруповань вільноживучих війчастих найпростіших в умовах різнотипних водойм» містить результати аналізу ценотичної структури угруповань вільноживучих війчастих найпростіших у водоймах різного типу та різного типу оселищах. У першій частині охарактеризовано структуру угруповань війчастих найпростіших у річках, струмках, озерах, ефемерних водоймах, болотах і штучних водоймах. Автором встановлені відмінності у структурі населення найпростіших у різних типах водойм і обґрунтовано причини формування тієї чи іншої структури.

У другій частині розділу розглянуто поширення ценоекоморф в умовах різних типів оселищ, представлених у прісних водоймах. Здобувачем виявлені та проаналізовані зміни ценотичної структури найпростіших в залежності від ступеня органічного забруднення водойм.

У цьому ж розділі автором розглянуто приклади застосування запропонованого методу ценоіндикації якості води та евтрофного стану водойми,

який базується на визначенні біхевіоральної структури ценоекоморф та їх просторової локалізації у біотопі.

Також у цьому розділі пошукач розглядає структуру населення війчастих найпростіших активного мулу водних систем штучного походження – очисних споруд. Автор переконливо доводить що війчасті найпростіші активного мулу представлені мікрооксифільною вибіркою, яка має кисневий оптимум, що детермінований технологічним процесом. Різноманіття інфузорій активного мулу визначається специфікою технологічної схеми очистки.

У **Висновках** наведено узагальнення польових і експериментальних досліджень і оригінальне вирішення актуального наукового завдання, що полягає у встановленні і теоретичному обґрунтуванні закономірностей організації угруповань війчастих найпростіших, які базуються на даних щодо різноманіття, кількісного розвитку, поширення у просторі та часі в основних біотопах прісних водойм різного типу, розроблена методологія її виділення ценотичних структур на основі поширення певних ценоекоморф у градієнті кисню, та запропонований метод ценоіндикації стану водних екосистем щодо якості води та трофності водойми, який вже використовується при оцінці екологічного стану та для розробки стратегій відновлення різноманітних прісноводних об'єктів.

Разом з тим, можна акцентувати увагу на деяких дискусійних питаннях.

1. Недоцільно на початку роботи – в першому розділі, де наводиться аналітичний огляд літературних джерел, робити висновки щодо прийняття концепції «біотичного парадоксу» вільноживучих війчастих найпростіших, тому що цю концепцію автор розроблює на основі власних досліджень, що наведені у наступних розділах та аналізу фахової літератури, який проведений у цих же розділах.
2. Положення щодо відсутності залежності видового різноманіття вільноживучих війчастих найпростіших з географічним положенням водойм потребує уточнення та подальших досліджень, оскільки автор вивчав тільки

континентальні водойми лісостепової та частково степової зон помірного кліматичного поясу.

3. Анаеробні умови у водоймах найчастіше спостерігаються на замуленому імлистому дні, чи в місцях скопичення рослин, що відмирають. Тому, можливо, що першопричиною домінування сидячих та повзаючих ценоекоморф війчастих найпростіших може бути характер донних відкладень.
4. В роботі не прослідковується чіткого визначення застосованих термінів – «біхевіоральна» група, «екоморфа», «ценоекоморфа» та «життєва форма». Ці терміни трактуються як синоніми, насамперед, це стосується поняття «біхевіоральна» групи, «екоморфи» та «ценоекоморфи». Але «біхевіоральна» структура визначає специфічну поведінку групи організмів, тому застосування терміну «ценоекоморфа» до цих груп є дискусійним.
5. Є деякі протиріччя у тому, що за умов максимального рівня органічного забруднення водойми у структурі угруповань війчастих найпростіших залишається саме мікрооксифільна ценоекоморфа, тоді як відомо, що високий рівень органічного забруднення призводить до критичного зниження вмісту кисню у воді. За логікою автора, в таких умовах мала би залишатися аноксифільна ценоекоморфа.
6. До того ж, на практиці значно простіше визначити вміст кисню у воді, ніж ідентифікувати видовий склад найпростіших. Пропозиція щодо використання ценоекоморф вільноживучих війчастих найпростіших як методу біоіндикації кисневого режиму водойм може бути розглянута як перспективний метод в умовах наявності фахівців-протозоологів.
7. Положення щодо специфічності видового складу вільноживучих війчастих найпростіших у різнотипних водоймах є досить відносним, тому що розраховані автором коефіцієнти подібності видового складу ценоекоморф досить високі – в більшості випадків вони перевищує 50 %.

8. В додатку Б.2.1 - Б.2.5 наведені дані щодо толерантності інфузорій до температури, але нажаль температурний чинник у роботі автором не достатньо проаналізований та відсутній аналіз структури ценоекоморф по відношенню до температурної толерантності видів.

До суто технічних недоліків можна віднести наступні:

1. В тексті дисертації доцільно було б застосувати скорочення словосполучення, яке досить часто зустрічається у тексті роботи – «вільноживучі війчасті найпростіші», наприклад – ВВН.
2. У рубрикації висновків до розділів доцільно не уточнювати розділ, достатньо слова - висновки,
3. Малоінформативними виглядають діаграми, що відображають загальну кількість вільноживучих війчастих найпростіших, виявлених в р. Дніпро. І що автор має на увазі – тільки річкову ділянку Дніпра, чи руслову що перетворена на каскад водосховищ.
4. Не зовсім зрозуміло, що автор має на увазі, коли використовує термін «доплива».
5. У 5 розділі подається класифікація аеробних та анаеробних угруповань, що поділяються на ценоекоморфи за характером поведінки, але у висновку 13 не вказано, саме які екоморфи входять до складу аноксифільної ценоекоморфи.
6. Робота дещо перевантажена однотипними рисунками, які можна було би подати більш уніфіковано.

Загалом, дисертаційна робота є цілісним теоретичним та практичним дослідженням, а зауваження та деякі технічні недоліки не є принциповими і не применшують наукової значущості дисертаційної роботи.

Висновок щодо дисертаційної роботи. Представлена на розгляд дисертаційна робота Бабко Романа Вікторовича «Угруповання вільноживучих війчастих найпростіших (Chromista, Ciliophora) континентальних водойм» є закінченим самостійним дослідженням, що за новизною, науковим та

12