ВІДГУК

офіційного опонента

Замороки Андрія Михайловича

кандидата біологічних наук, доцента кафедри біології та екології Карпатського національного університету імені Василя Стефаника

на дисертаційну роботу Коваленка Павла Андрійовича

«Особливості популяцій *Belgica antarctica* Jacobs, 1900 (Diptera: Chironomidae) в умовах зміни клімату»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – «Екологія» (галузь знань 10 – «Природничі науки»)

1. Актуальність теми дослідження

Дисертаційна робота П. А. Коваленка присвячена комплексному дослідженню популяційних особливостей *Belgica antarctica* Jacobs, 1900 – єдиного представника класу Insecta в ендемічній фавні наземних екосистем Антарктики – в умовах сучасної кліматичної трансформації регіону. Обраний об'єкт дослідження є визнаною модельною системою для вивчення механізмів адаптації живих організмів до екстремальних умов середовища, а Антарктичний регіон – одним із найбільш чутливих до глобальних кліматичних змін.

Актуальність теми не викликає сумнівів і належно обґрунтована здобувачем: останнє масштабне дослідження ареалу виду проведено понад 40 років тому, матеріал для цитогенетичного аналізу природних популяцій востаннє збирався понад 50 років тому, а відомості про мікробіом виду до початку цього дослідження практично були відсутні. Таким чином, дисертація заповнює суттєву прогалину в сучасних знаннях про біологію та екологію одного з ключових аборигенних видів наземних безхребетних Антарктики та має значення для прогнозування наслідків кліматичних змін і розроблення природоохоронних заходів у регіоні, що регулюється міжнародною Системою Договору про Антарктику.

2. Обґрунтованість наукових положень, повнота та вірогідність отриманих результатів

Дисертація виконана на значному й репрезентативному фактичному матеріалі: проаналізовано 812 зразків наземних антарктичних безхребетних і субстрату, зібраних під час українських антарктичних експедицій 2007-2025 рр. (з них 334 – особисто здобувачем у польових сезонах 2021-2022 та 2023-2024 рр.), а також матеріали, надані Національним антарктичним науковим центром МОН України. Для вирішення поставлених завдань застосовано комплекс адекватних і методично коректних підходів: польові методи збору, світлову мікроскопію для морфометричного і цитогенетичного аналізу політенних хромосом слинних залоз, молекулярно-генетичні методи (виділення ДНК, ПЛР, баркодування), біоінформаційний аналіз загальнодоступних геномних архівів, а також широкий арсенал статистичних методів, реалізованих у середовищах R, PAST, PRIMER та SAS. Застосування статистичних процедур методично коректне й відповідає типу отриманих даних.

Достовірність результатів підтверджується узгодженістю власних даних з опублікованими раніше відомостями (там, де порівняння можливе), використанням статистично обґрунтованих обсягів вибірок для більшості аналізів, а також апробацією основних положень роботи на дев'яти міжнародних наукових конференціях і симпозіумах. Окремо варто відзначити коректність та прозорість підходу здобувача до використання інструментів генеративного штучного інтелекту виключно для мовностилістичного редагування тексту, що відповідає сучасним вимогам академічної доброчесності.

3. Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна дисертації є достатньою для роботи такого рівня і полягає, зокрема, у такому:

вперше за понад 40 років комплексно узагальнено сучасні дані щодо поширення *B. antarctica*, уточнено його ареал (виявлено у 67 локалітетах, зокрема на 56 островах і в 11 материкових локалітетах), істотно (майже на 220 км) розширено відомі південні межі поширення виду до острова Олександра I;

вперше виявлено географічну клінальну мінливість частот хромосомних інверсій у популяціях виду та описано дві нові спадкові інверсії (D1 у ділянках 2-10 хромосоми III та інверсію в ділянках 9-11 хромосоми II), а також 39 соматичних хромосомних перебудов;

вперше створено стандартну карту політенних хромосом *B. antarctica*;

вперше досліджено мікробіом виду методами біоінформатичного аналізу та ДНК-штрихкодування, виявлено 14 таксонів бактерій і підтверджено обмежену присутність потенційних ендосимбіонтів-репродуктивних паразитів (*Wolbachia, Rickettsia, Cardinium*);

вперше застосовано метод головних компонент для перевірки гіпотези статевого диморфізму личинок IV віку за морфометричними параметрами головної капсули;

вперше описано низку вад розвитку структур головної капсули личинок.

Отримані результати логічно випливають із поставлених мети і завдань, а сформульовані наукові положення достатньою мірою обґрунтовані фактичним матеріалом.

4. Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення роботи полягає у формуванні бази даних і колекційного матеріалу для подальших екологічних, генетичних, каріологічних і морфометричних досліджень популяцій *B. antarctica*, можливості використання отриманих матеріалів у навчальному процесі підготовки фахівців екологічних та біологічних спеціальностей, а також у поглибленні розуміння механізмів адаптації наземних безхребетних Антарктики до кліматичних змін на популяційному, морфологічному та хромосомному рівнях. Уточнені відомості про ареал і його південну межу мають безпосереднє значення для моніторингових і природоохоронних програм у межах Системи Договору про Антарктику.

5. Повнота викладу результатів в опублікованих працях і структура дисертації

За темою дисертації здобувачем опубліковано 20 наукових праць, з яких 10 статей у наукових фахових виданнях (індексованих у Scopus та/або Web of Science, включно з виданнями квартилів Q1-Q4), 9 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях і симпозіумах та 1 препринт. Це цілком достатньо і відповідає встановленим вимогам щодо повноти оприлюднення результатів дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії. Особистий внесок здобувача в опублікованих у співавторстві працях чітко визначений і виглядає адекватним заявленій ролі у кожному дослідженні.

Дисертація викладена на 311 сторінках, складається зі вступу, анотації українською та англійською мовами, шести розділів (огляд літератури; матеріали та методи; сучасний ареал *B. antarctica*; морфометричні особливості личинок; цитогенетичні особливості популяцій; мікроорганізми-симбіонти), загальних висновків, списку використаних джерел (близько 360 найменувань, переважно сучасних) та додатків. Робота оформлена і структурована відповідно до вимог, які висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії; кожен розділ супроводжується проміжними висновками, а загальні висновки логічно узагальнюють отримані результати відповідно до поставлених завдань.

6. Зауваження до роботи

Попри загалом високий науковий рівень дисертації, робота не позбавлена окремих недоліків дискусійного характеру, які, однак, не знижують її загальної високої оцінки.

1. Розділ 3, присвячений уточненню ареалу *B. antarctica*, ґрунтується на зведенні матеріалів експедицій різних років (2007-2025) з нерівномірним обсягом обстеження локалітетів і субстратів. У роботі не наведено кількісної оцінки чи обговорення того, якою мірою нерівномірність дослідницького зусилля (пошукового навантаження) в різних частинах ареалу могла вплинути на висновок про його розширення, зокрема на південну межу поширення виду. Аналогічно, потрактування трьох альтернативних причин відсутності виду в частині субстратів (антропогенне забруднення, низька щільність, справжня відсутність; підрозділ 3.8.3) залишається переважно якісним і не підкріплене

додатковою перевіркою (наприклад, повторним обстеженням чи молекулярною діагностикою (середовищна ДНК) присутності виду в негативних пробах).

2. Висновок про непідтвердження статевого диморфізму личинок IV віку за морфометричними ознаками головної капсули (розділ 4, підрозділ 4.4) отримано методами кластеризації та методу головних компонент, застосованими до вибірки з невідомою апріорною статтю особин. У тексті дисертації не наведено незалежної (наприклад, молекулярно-генетичної) верифікації статі бодай частини дослідженого матеріалу, яка дала б змогу оцінити роздільну здатність застосованого морфометричного підходу на контрольній вибірці з відомою статтю. Без такого контролю негативний результат можна інтерпретувати і як відсутність диморфізму за обраними ознаками, і як недостатню чутливість самого методу.

3. Перелік із 14 таксонів бактерій мікробіому *B. antarctica* (розділ 6) отримано шляхом біоінформаційного аналізу лише 34 загальнодоступних архівів повногеномних послідовностей і транскриптомів, які були депоновані для інших дослідницьких цілей і не становлять цілеспрямованої, репрезентативної вибірки для характеристики мікробіому. Хоча здобувач коректно виключив із розгляду шість явно людино-асоційованих таксонів-контамінантів, залишковий ризик контамінації для решти таксонів обговорено недостатньо. Крім того, висновки про ймовірне адаптивне значення виявлених географічних клінальних закономірностей частот хромосомних інверсій (розділ 5) спираються виключно на кореляційні (у тому числі логістично-регресійні) зв'язки з широтою/довготою без функціональної чи «спільносадової» (common-garden) перевірки; це варто було б чіткіше окреслити як гіпотезу, що потребує подальшої експериментальної перевірки, а не як усталений факт.

7. Питання до здобувача

1. Якою мірою нерівномірність обстежувального зусилля українських антарктичних експедицій різних років могла вплинути на висновок про

розширення ареалу *B. antarctica* на 220 км південніше раніше відомої межі? Чи планується цільове повторне обстеження островів Реф'юдж та прилеглих територій для підтвердження стабільності південної межі ареалу?

2. Якими додатковими методами (окрім повторного обстеження) можна було б розрізнити три запропоновані Вами причини відсутності *B. antarctica* в окремих типах субстрату – забруднення, низьку щільність і справжню відсутність виду?

3. Чи плануєте Ви в подальших дослідженнях застосувати молекулярні маркери для незалежного визначення статі личинок IV віку з метою верифікації чутливості морфометричного підходу, застосованого для перевірки гіпотези статевого диморфізму?

4. Яке функціональне або еволюційне значення, на Вашу думку, можуть мати дві новознайдені хромосомні інверсії (D1 хромосоми III та інверсія в ділянках 9-11 хромосоми II)? Чи відомі гомологічні перебудови в каріотипі філогенетично близьких видів, зокрема *Eretmoptera murphyi*?

5. Наскільки репрезентативним, на Вашу думку, є перелік із 14 бактеріальних таксонів, отриманий на основі аналізу лише 34 загальнодоступних геномних/транскриптомних архівів, для характеристики справжнього мікробіому *B. antarctica*? Які додаткові дослідження (наприклад, цільове метабаркодування 16S рРНК зібраних Вами зразків) дали б змогу підвищити достовірність цього переліку?

8. Загальний висновок

Дисертаційна робота Коваленка Павла Андрійовича «Особливості популяцій *Belgica antarctica* Jacobs, 1900 (Diptera: Chironomidae) в умовах зміни клімату» є завершеною самостійною науковою працею, яка містить нові, науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують актуальне науково-практичне завдання екології – встановлення особливостей популяцій ключового аборигенного виду наземних безхребетних Антарктики в умовах сучасної кліматичної трансформації регіону.

За актуальністю теми, обсягом і вірогідністю фактичного матеріалу, науковою новизною та практичним значенням отриманих результатів, а також повнотою їх викладення в опублікованих працях дисертація відповідає вимогам, що встановлені до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії (пункти 9-11 Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, зі змінами), а її автор, Коваленко Павло Андрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – «Екологія».

Офіційний опонент:

Андрій ЗАМОРОКА
кандидат біологічних наук,
доцент кафедри біології та екології
Карпатського національного університету
імені Василя Стефаника