

## О Т З Ы В

официального оппонента, доктора биологических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории почвенной зоологии и общей энтомологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук, Горбунова Олега Григорьевича на диссертацию на соискание учёной степени кандидата биологических наук И.А. Махова “Пяденицы (Lepidoptera, Geometridae) Байкальского региона: анализ видового состава и создание библиотеки ДНК-баркодов”

Диссертационная работа И.А. Махова представляет собой детальное исследование таксономического и хорологического состава пядениц (Lepidoptera, Geometridae) Байкальского региона, одного из наиболее крупных семейств чешуекрылых, насчитывающее в мировой фауне около 24 000 описанных видов и распространённых практически повсеместно. Многие виды пядениц могут выступать удобным объектом для эколого-биогеографических исследований, другие – важны в экономическом отношении, являясь серьёзными вредителями лесных экосистем, сельскохозяйственных культур и садово-парковых насаждений. Кроме этого, в России ввиду её огромной территории и слабой изученности многих труднодоступных областей актуально проведение первичных фаунистических исследований.

В основу работы И.А. Махова положен обширный коллекционный материал, собранный в ходе полевых исследований в 27 точках Иркутской области и 40 – в Республике Бурятия, а также хранящийся в фондовых коллекциях многих отечественных музеев и личных коллекциях. Всего проанализирован состав пядениц из 280 пунктов Иркутской области и Республики Бурятия.

Помимо классического анализа морфологии имаго диссертант использовал данные ДНК-баркодирования (анализ митохондриального гена цитохромоксидазы), анализ нескольких ядерных генов, а также изучение зараженности бабочек бактерией *Wolbachia* (как известно, наличие или отсутствие которой может влиять на таксономическую интерпретацию молекулярных данных). Такой интегративный подход существенно повышает степень надёжности видовой идентификации и, как следствие, наиболее детально и точно выявляет фауну многочисленных и таксономически сложных групп. Кроме этого, работы в области классической энтомологии, к которой мы вправе отнести и настоящий труд, имеют очень большое значение. Таким образом, поставленная в диссертации цель является в высшей степени актуальной, а используемый диссертантом методологический подход соответствует задачам настоящего исследования.

Работа состоит из двух томов. Первый том включает в себя введение, 4 главы, заключение, выводы, список литературы и содержит 165 страниц и 30 рисунков. Второй том включает 6 приложений на 432 страницах.

Во Введении (с. 5–13) рассматривается актуальность диссертационной темы, ставится цель исследования и задачи, необходимые для её достижения (всего 8). Кроме этого, здесь отдельно представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования, апробация и публикации,

личный вклад соискателя и степень достоверности опубликованных результатов, а также благодарности коллегам и всем тем лицам, которые оказали посильную помощь диссертанту. Здесь также декларируются положения, выносимые на защиту. Всего их четыре.

В первой главе диссертации (с. 14–37), которая разделена на три части, представлен обзор литературы по рельефу, климату и растительности региона, истории изучения пядениц Байкалии, а также проанализированы существующие библиотеки ДНК-баркодов различных групп чешуекрылых. Анализ представленного литературного обзора указывает на глубокое знание диссертантом исследуемого предмета.

Вторая глава (с. 38–49) посвящена изученным материалам и методам, используемым для достижения поставленной цели диссертации. Глава разделена на пять разделов. В разделе о материале указано, что был собран диссертантом в 67 локациях Байкальского региона. Кроме этого, был проанализирован коллекционный материал из различных музеев и личных коллекций. Всего был проанализирован материал из 280 пунктов Байкальской Сибири. Далее в отдельных разделах диссертант последовательно и детально описывает методику препарирования генитальных аппаратов, терминологию различных морфологических структур и классификацию ареалов. Специальный раздел касается молекулярному анализу. Здесь очень детально описаны методы экстракции ДНК, амплификации фрагмента цитохромоксидазы субъединицы I (COI) и некоторых других фрагментов генов пядениц и *Wolbachia* – клеточного симбионта и секвенирования. Все полученные гаплотипы были проверены на наличие псевдогенов, а также на наличие участков последовательностей, полученных от симбиотических бактерий.

Завершает главу описание алгоритма филогенетического анализа, который проводился с использованием программ MEGA7, BioEdit и др. Кроме сиквенсов, полученных диссертантом в процессе данного исследования, некоторые последовательности были взяты из баз данных BoLD и GenBank.

Третья глава “Морфологическое исследование и ДНК-баркодинг” (с. 50–112) состоит из трёх разделов. В первом из них представлены результаты изучения морфологии гениталий всех 360 видов пядениц, обнаруженных на исследованной территории. Для некоторых видов гениталии были изучены впервые. Очень интересен и важен с практической точки зрения подраздел о различиях в строении гениталий у близких видов. У некоторых из них были впервые выявлены достаточно устойчивые различия. Были обнаружены возможные гибридные формы двух близких видов *Idaea serpentata* и *I. dohlmanni*, с территории их предположительной симпатрии. Выявлена внутривидовая изменчивость в строении гениталий *Scopula immutata* и *Dysgnophos turfosaria*. В случае с *Dysgnophos* удалось показать, что отдельные варианты внутривидовой изменчивости ранее в разных работах принимались за дискретные видоспецифичные признаки.

Далее рассмотрен вопрос создания библиотеки ДНК-баркодов и её значения в видовой диагностике пядениц Байкальской Сибири. Всего диссертантом были изучены 633 образца прибайкальских пядениц, принадлежащих

к 312 видам. 97 % изученных ДНК-баркодов оказались видоспецифичными, то есть отличными по нуклеотидному составу от баркодов близких видов. В большинстве случаев эти различия превышали уровень в 2–3 % или в более чем 13–17 нуклеотидных позициях из 658 изученных. Сравнение полученных последовательностей с таковыми из опубликованных баз данных позволило выявить 28 ошибочных определений.

Анализ ДНК-баркодов позволил найти устойчивые различия в последовательности *COI* у четырёх пар видов-двойников, а также обнаружить 11 видовых пар, у которых баркоды, полностью (или почти полностью) совпадая, либо частично перекрываясь у части популяций, не позволяют достоверно идентифицировать вид.

Заключительная глава 4 “Обсуждение и создание итогового фаунистического списка” (с. 113–162) разделена на семь разделов. В первом диссертант утверждает, что, в отличие от морфологического подхода, ДНК-баркодинг имеет одинаковую разрешающую способность при идентификации не только по имаго и любым преимагинальным стадиям, но и по фрагментам тела насекомого, что может быть полезно, например, при изучении пищевых связей насекомоядных животных и других исследованиях.

Во втором разделе главы диссертант обсуждает проблемы разграничения видов-двойников в контексте молекулярно-генетического подхода, возможности и ограничения ДНК-баркодинга как инструмента для решения этих проблем и указывает на эффективность ДНК-баркодов в вопросе делимитации конкретных криптических видов и уточнении их распространения.

В двух следующих разделах решаются проблемы, когда два вида имеют сходные или даже идентичные ДНК-баркоды, а также при которой баркодинговые последовательности демонстрируют значительную гетерогенность, образуя два (или более) глубоко дифференцированных кластера в пределах одного вида.

В пятом разделе главы на основании синтеза данных из литературных источников, полученных диссертантом данных по морфологии имаго и результатов ДНК-баркодинга был составлен видовой список Geometridae для Байкальского региона. Он представлен в виде аннотированного каталога, включающего 363 вида, в котором для каждого вида приведены найденные упоминания в литературе, перечислен весь изученный материал, указаны распространение и кормовые растения гусениц.

В шестом разделе представлен фаунистический анализ пядениц региона, в котором приведены очерки по каждому из пяти подсемейств с его краткой характеристикой, обзорами групп, которые были пересмотрены диссертантом на основании морфологического анализа (в основном строения гениталий) и фаунистические уточнения, сделанные на основе этого анализа.

В заключительном разделе главы рассмотрена хорологическая характеристика фауны пядениц Байкальского региона. Показано, что региональная фауна по долготной составляющей представлена широкоареальными видами (53,7 % от общего числа). Среди них выделяются пяденицы с трансберингийским распространением, которые составляют десятую часть всей выявленной фауны. В ши-

ротном аспекте основную часть фауны составляют температурные (48 %) и суббореальные виды (31 %), что вполне соответствует географическому положению региона.

В Заключение (с. 163–164) диссертант указывает, что созданный аннотированный список видов пядениц Байкалии является самым полным для исследуемого региона, а библиотека ДНК-баркодов позволяет существенно повысить надёжность идентификации байкальских пядениц, делает возможным определение преимагинальных стадий и их ассоциацию с кормовыми растениями. Разработанные определительные таблицы для родов и видов, дополненные качественными иллюстрациями генитальных аппаратов, делают возможным надёжное определение пядениц региональной фауны (в том числе таксономически сложных групп).

Завершают диссертацию Выводы (с. 164–165), имеющие отчасти реферативный характер и чётко излагающие её основные положения. Список литературы включает 414 наименований, из которых 141 на русском языке и 273 на иностранных языках. В Приложения 1–4 вынесены список местонахождений пядениц в Байкальском регионе, идентификационные номера полученных баркодов прибайкальских пядениц, депонированных в базах данных Genbank и BoLD Systems, образцы *Alcis* и *Thalera*, собранные диссертантом и использованные в молекулярно-генетическом анализе и данные о сиквенсах, загруженных из баз данных GenBank и BoLD. Приложение 5 (с. 34–225) включает аннотированный каталог пядениц (Lepidoptera, Geometridae) Байкальского региона, а Приложение 6 (с. 226–432) – определительные ключи и атлас генитальных структур пядениц региона.

Автореферат полностью соответствует тексту диссертации.

Незначительным замечанием, которое, однако, ни в коем случае не влияет на ценность данного исследования, является некоторая неоднородность полученных результатов, что проявляется в неравной степени изученности отдельных таксонов и отдельных районов изученного региона (например, северо-восток региона изучен заметно слабее других частей, хотя там, особенно с учетом наличия там высоких горных хребтов, можно ожидать богатую фауну. Впрочем, учитывая гигантский размер изучаемого региона избежать этой проблемы было бы почти невозможно даже при проведении многолетнего исследования.

Диссертационная работа Ильи Андреевича Махова “Пяденицы (Lepidoptera, Geometridae) Байкальского региона: анализ видового состава и создание библиотеки ДНК-баркодов”, представленная на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.14. Энтомология (биологические науки), обладает внутренним единством, написана хорошим научным языком и является самостоятельным исследованием, имеющим научную новизну, теоретическую и практическую значимость. Выводы соответствуют цели и задачам исследования. Работа выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне и соответствует требованиям ВАК РФ о полноте изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени, о выполнении требований к публикации

основных научных результатов диссертации, предусмотренных пунктами 11 и 13, выполнена с соблюдением требований пункта 14 Положения о присуждении учёных степеней (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.).

Вышеизложенное позволяет считать, что диссертационная работа Махова И.А. по своему содержанию, полноте и достоверности полученных результатов, значимости теоретических выводов и практических результатов соответствует пункту 9 указанного выше Положения о присуждении учёных степеней, а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.14. Энтомология (биологические науки).

Официальный оппонент  
доктор биологических наук  
по специальности 1.5.14. Энтомология,  
ведущий научный сотрудник  
ФГБУН ИПЭЭ им. А.Н. Северцова  
Российской академии наук

Олег Григорьевич Горбунов

ФГБУН Института проблем экологии и  
эволюции им. А.Н. Северцова  
Российской академии наук  
119071, г. Москва, Ленинский проспект, дом. 33  
e-mail: gorbunov.oleg@mail.ru  
тел. (495) 954-75-53

02 сентября 2022 г.

С научными публикациями О.Г. Горбунова можно ознакомиться на странице Интеллектуальной Системы Тематического Исследования Наукометрических данных (ИСТИНА): <http://istina.msu.ru/profile/GorbunovOG/>, научной электронной библиотеки: <http://elibrary.ru> и на сайтах научных журналов.

