

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭРиЖ УрО РАН
д-р биол. наук М.Г. Головатин

«12» октября 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБУН Институт экологии растений и животных
Уральского отделения Российской академии наук (ИЭРиЖ УрО РАН)
на диссертационную работу Короткевич Анастасии Юрьевны
**«Структура трофических ниш таксоцена коллембол в природных и
антропогенных местообитаниях»**,

представленную в диссертационный совет 24.1.109.01 при ФГБУН Институт
проблем экологии и эволюции РАН им. А.Н. Северцова (ИПЭЭ РАН)
на соискание ученой степени кандидата биологических наук
по специальности 1.5.15 – Экология (биологические науки)

Актуальность темы. Трофическая структура сообщества была и остается одним из ключевых предметов исследований почвенной зоологии. Ее организация находится в тесной связи с состоянием условий среды, включая антропогенную нагрузку, на которую сообщество может реагировать снижением качества выполняемых экосистемных функций. Поэтому выбранная диссертантом тема актуальна не только в фундаментальном, но и в прикладном аспектах. Многие отечественные работы по синэкологии выполнены на примере коллембол, поэтому выбор этой модельной группы для решения поставленных научных задач следует считать удачным решением.

Научная новизна. Теоретическая и практическая значимость работы.

Диссертантом определены сроки хранения образцов, не снижающие корректности изотопного анализа. Этот результат очень важен с точки зрения методических вопросов, поскольку позволяет анализировать трофическую структуру сообществ коллембол, используя образцы с различными сроками хранения. Показано разделение трофических ниш коллембол в стабильных условиях среды, указывающее на трофическую специализацию видов таксоцена. Наглядно продемонстрировано перекрывание ниш разных видов при антропогенном воздействии, отражающее нарушения в работе детритного блока почвенной биоты и снижение его эффективности. Обнаружено расширение трофической ниши эврибионтных видов в антропогенных местообитаниях. Полученный результат может быть использован при разработке природосберегающих технологий сельского хозяйства и рекультивационных мероприятий для реабилитации нарушенных территорий.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов несомненны, поскольку диссертационная работа базируется на обширном оригинальном материале, корректном статистическом анализе, который логично интерпретирован. Основные результаты работы были апробированы на конференциях, в том числе международных, и опубликованы в изданиях из перечня ВАК и входящих в системы цитирования WoS и Scopus. Особо следует подчеркнуть факт публикации результатов в наиболее престижных международных журналах в области почвенной биологии – Soil Biology and Biochemistry, Pedobiologia и Ecosphere.

Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Диссертация изложена на 95 страницах, проиллюстрирована 17 рисунками, данные представлены в 9 таблицах в основном тексте. Часть первичных данных оформлена в виде таблицы и вынесена в приложение (5 страниц). Рукопись состоит из введения, 7 глав, заключения, выводов и списка литературы, который включает 234 источника, в том числе 197 на иностранных языках.

Во **введении** показана актуальность исследования, сформулированы цель и задачи исследования, выносимые на защиту положения, показана теоретическая и практическая значимость исследования, его научная новизна.

В **главе 1** представлен исчерпывающий обзор литературы, охватывающий и экологическую проблематику, лежащую в основе диссертации, и особенности биологии и экологии модельной группы, и нюансы изучения трофики коллембол методом стабильных изотопов. Обзор дает исчерпывающее представление о современном уровне знаний по теме исследования. Глава логично структурирована, написана хорошим языком, в ней представлены самые современные и авторитетные источники.

В **главе 2** подробно описываются лежащие в основе исследования подходы, протоколы полевых и лабораторных экспериментов, методы статистического анализа данных. Методы сгруппированы по выполненным экспериментам – двум лабораторным и одному полевому. Важное достоинство этой главы – сопровождение применяемых подходов и методов описаниями их преимуществ и границ применимости.

Глава 3 посвящена вопросу допустимых сроков хранения материала до проведения анализов, позволяющих провести корректный анализ трофики всего таксоцена и отдельных видов. Продемонстрировано, что хранение проб сроком до месяца незначительно влияет на изотопный состав коллембол, а общая картина разделения ниш по изотопной подписи, определяемая относительным положением видов, не меняется. Несомненно, этот вывод очень важен в методическом отношении из-за специфики объекта исследований. Несомненно также востребованность этого результата другими исследователями.

В **главе 4** обсуждается разделение трофических ниш близких видов коллембол. Показано, что в естественных условиях виды имеют различный изотопный состав, поскольку, по-видимому, используют различные пищевые ресурсы. Интересно, что одни виды различаются только по соотношению изотопов азота, другие – по соотношению и азота, и углерода, т.е. и по

трофическому уровню, и по пищевому субстрату. В ходе выполнения экспериментов в лабораторных условиях наглядно показано, что при содержании на идентичном корме и субстрате трофические ниши видов не различаются. Важным следствием из этого можно считать заключение – к сожалению, не вынесенное в выводы – об использовании разных пищевых ресурсов близкими видами.

Глава 5 посвящена структуре трофических ниш коллембол в естественных условиях – в еловых лесах и на лугах. В этих таксоценах наблюдается четкое разделение трофических ниш. Высказано предположение о взаимосвязи стабильности видовой структуры и такого четкого разделения ниш. Выдвинутая гипотеза конкурентной организации в лесах таксоцена коллембол была подтверждена эмпирическими данными. Интересно, что сенокос ведет к несколько большему перекрытию видовых ниш на лугах по сравнению с лесами. Наблюдение сопоставимой на лугах и в лесах степени разделения трофических ниш при значительно большем таксономическом разнообразии коллембол в лесах – еще один важный результат данной главы.

В **главе 6** рассматривается структура трофических ниш таксоценов коллембол в условиях выраженной антропогенной нагрузки – на пастбищах и на газонах. Значимого различия между видами по положению их ниш не выявлено. Другими словами, выдвинутая диссертантом гипотеза относительно слабого (плохо выраженного) разделения трофических ниш в антропогенных местообитаниях подтвердилась. Виды, заселяющие естественные и трансформированные местообитания, как правило, не различаются по изотопному составу углерода, но различаются по составу азота. Наряду с этим показано, что одни и те же виды имеют более узкую трофическую нишу в антропогенных местообитаниях по сравнению с естественными. Диссертант связывает такое сужение ширины ниши с отсутствием ряда пищевых ресурсов в антропогенных местообитаниях, которые присутствуют в лесной подстилке естественных местообитаний.

Продемонстрированные в этой главе результаты весьма показательны, а их сравнение с результатами из главы 5 сделано очень изящно. Еще более элегантно указано их место в современной системе знаний об общих принципах организации трофических ниш и пищевых цепей в биотических сообществах (стр. 71–75).

В **заключении** и пяти **выводах** отражены основные результаты диссертационного исследования, проведенного на оригинальном материале. Выводы в достаточной степени подкреплены аргументацией в тексте и строго соответствуют поставленным задачам.

Автореферат полностью отражает структуру и содержание диссертации.

Несмотря на общее положительное впечатление, к диссертационной работе есть несколько вопросов и замечаний.

1. Структуру рукописи вряд ли можно считать оптимальной. Так, глава 4 изложена всего на 3,5 страницах включая рисунки, а подглава 4.2 представляет собой всего один абзац. Главы раздела «Результаты и обсуждение» (4–6) содержат обширные блоки, более уместные в разделах «Методика» или «Обзор литературы». Заключение включает фрагменты обзора литературы и даже результаты, не показанные в основных главах (рис. 17). Приложение и таблица в нем не озаглавлены. Общий объем рукописи нетипично мал (95 стр. без приложения и 100 стр. с ним).
2. Со ссылкой на литературные данные (Post, 2002; Caut et al., 2009) утверждается, что одному трофическому уровню соответствует примерно 3‰ отклонения по изотопному составу азота. Эта величина далее использована при определении числа трофических уровней: на нее нормируется размах для вида или таксоцена. Следовало бы подробнее обсудить основания и «подводные камни» для таких расчетов, потому как некоторые выводы вызывают удивление. Так, по мнению диссертанта, в трофических цепях коллемболы могут занимать до 4 (стр. 66) и даже до 5 (стр. 67) трофических уровней. Вид *Hypogastrura assimilis* использует

ресурс 3–4 трофических уровней (стр. 66), а *Lepidocyrtus cyaneus* – 5 (стр. 69). Как диссертант может объяснить этот феномен? Насколько общепризнана возможность существования столь широкого диапазона в пределах таксоцена коллембол в экосистемах умеренного климата? Кроме того, у одного из видов коллембол $\delta^{15}\text{N}$ при хранении возрастает на 2,3 ‰ (стр. 40). Следует ли это интерпретировать так, что вид почти перешел на следующий трофический уровень? Возможно, в работе используется оригинальная трактовка понятия «трофический уровень»? В таком случае ее следовало бы сообщить. Либо дело в методическом подходе к выделению трофических уровней, который базируется исключительно на величине размаха? Хорошо известно, что абсолютная величина размаха может быть обусловлена единственным статистическим выбросом. В частности, такая интерпретация не исключена для рис. 15 и рис. 14 (вид *Sphaeridia pumilis*). Была ли реализована какая-либо процедура исключения статистических выбросов или аналитических ошибок при нахождении величины размаха? Насколько изменились бы выводы, если бы была использована более робастная метрика, например, децильный размах?

3. На наш взгляд, логичным было бы сопоставление трофической структуры таксоцена с традиционно измеряемыми в синэкологии компонентами биоразнообразия. Наведение «мостиков» между двумя аспектами синэкологии – изучением таксономической структуры многовидовых сообществ и анализом потоков вещества и энергии в них – выглядит ожидаемым, поэтому отсутствие движения в этом направлении следует считать недостатком работы.
4. Ни из диссертации, ни из автореферата не ясен суммарный объем собранного материала (число проб, количество особей, количество анализов), что затрудняет оценку объема проделанной полевой и лабораторной работы.

5. В эксперименте по разделению трофических ниш близких видов в качестве субстрата для лабораторного содержания коллембол служила стандартная смесь, включающая 10% угля. Можно ли полностью исключить загрязнение коллембол этим углем? Не может ли такое загрязнение углеродом неясного происхождения и изотопного состава приводить к смещениям в анализируемом изотопном составе коллембол? Скорее всего, нет. Однако следовало бы в явном виде высказаться по этому вопросу.
6. На стр. 25 упоминается корректировка изотопного состава относительно подстилки, но из текста рукописи не ясно, была ли такая корректировка проведена, соответственно, использовались ли скорректированные или исходные значения. В научных текстах любая информация, особенно методическая, должна быть изложена однозначно, даже если она считается «само собой разумеющейся» в рамках конкретного направления.
7. Минимальная навеска образца, необходимая для изотопного анализа, в разных местах диссертации различается: она составляет то 50 мкг (стр. 34), то 50–100 мкг (стр. 38), то 20 мкг (стр. 36). Какая величина правильная? В любом из вариантов точность взвешивания доходит до 10^{-5} г, поэтому стоило бы указать, как и на каких весах взвешивали такие образцы.
8. Описания площадок, особенно растительности, очень скудные, и не дают должного представления о биотических условиях. Ни один из упоминаемых видов растений не сопровождается латинским названием, что в ряде случаев вносит неопределенность.
9. В главах 3–6 статистические утверждения с использованием слова «достоверно» фигурируют 20 раз, но в половине из этих случаев не указаны не только достигнутый уровень значимости, меры изменчивости, объемы выборок, но и сами обсуждаемые значения (стр. 43, 59, 60, 70 и др.). Стоит ли говорить, что для содержательной интерпретации важна не только (а часто – и не столько) формальная статистическая значимость, сколько

собственно абсолютная величина различий между сравниваемыми вариантами.

10. По непонятной причине для статистических расчетов диссертант использует программы 15-летней (!) давности – MS Excel 2007 и Past 2.17. Для каких-то простых вещей – это некритично, но для относительно продвинутых методов анализа – может быть важно из-за наличия неисправленных ошибок в алгоритмах расчета. Особенно странным указанный архаизм выглядит в отношении Past: это ведь бесплатная и ежеквартально обновляемая программа, ее последняя версия – 4.07. Каждая новая версия программы исправляет ошибки, что увеличивает вероятность их отсутствия в расчетах. Именно поэтому всегда следует стремиться к использованию актуальной версии.

Часть расчетов выполнена в среде программирования R, однако не сообщается версия ни ядра, ни используемых пакетов. Кроме того, использованные скрипты не размещены в публичном репозитории (что сейчас уже считается стандартным подходом), поэтому остаются недоступны для проверки.

11. В тексте рукописи процитированы источники, отсутствующие в списке литературы, и наоборот, – в списке литературы присутствуют не процитированные в тексте источники. Статьи как отечественных классиков – М.С. Гилярова (1977), Ю.И. Чернова (2005), С.К. Стебаевой (1970) – так и современных авторов (Коробушкин и др., 2016; Вахушев, Раутиан, 1993), исходно написанные на русском языке, почему-то процитированы в переводной версии на английском языке.
12. В тексте встречаются неудачные формулировки: «кутикула защищает тело от потери влаги и проницаема для испарения» (стр. 19), «интерпретация нуждается в тщательном анализе» (стр. 23), «В напочвенном покрове доминируют ... во влажные годы зеленые мхи» (стр. 33: медленнорастущие

мхи вряд ли могут «выйти» в доминанты за один сезон, даже если год и выдался влажным), «данные предполагают» (стр. 42) и др.

Есть и чисто оформительские огрехи. Так, по всему тексту перепутаны дефисы и тире, часто отсутствуют пробелы между родовым и видовым названием, массы изотопов даны простыми знаками вместо надстрочечных. Рисунки, таблицы и их заголовки разнесены по разным страницам (рис. 4, табл. 4, 7) или же начинаются с новой страницы, оставляя предыдущую страницу заполненной только частично (рис. 14 диссертации, рис. 1, 2, 4 автореферата – а ведь в данном случае на счету каждый абзац). Рисунки растровые, с низким разрешением и на бумаге выглядят мутными. Иногда это распространяется даже на подрисуночную подпись (рис. 2)! На технические ограничения это не списать (например, рис. 4, в отличие от большинства прочих, с технической стороны безупречен) – только на небрежность при оформлении.

Общее заключение. Несмотря на ряд замечаний, диссертация Короткевич Анастасии Юрьевны – это законченная научно-квалификационная работа, все задачи которой четко сформулированы, а цель – достигнута. Диссертанту удалось удачно сочетать лабораторные и полевые эксперименты. Результаты базируются на большом и корректно проанализированном фактическом материале, вносят вклад в понимание закономерностей функционирования трофических цепей в почве. Основные результаты диссертации апробированы на 12 конференциях и представлены в 4 журнальных публикациях в изданиях из перечня ВАК и систем цитирования WoS и Scopus. Выводы соответствуют поставленным задачам, а автореферат корректно отражает содержание диссертации. Защищаемая работа полностью соответствует всем критериям пунктов 9–11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Короткевич Анастасия Юрьевна – заслуживает присуждения

ученой степени кандидата биологических наук по специальности 1.5.15 – Экология (биологические науки).

Диссертация и отзыв рассмотрены на заседании лаборатории экотоксикологии популяций и сообществ ФБГУН Институт экологии растений и животных УрО РАН (протокол № 89 от 08.10.2021 г.).

Воробейчик Евгений Леонидович, доктор биологических наук, заведующий лабораторией экотоксикологии популяций и сообществ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук

Созонтов Артём Николаевич, кандидат биологических наук, н.с. лаборатории геоинформационных технологий Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии растений и животных Уральского отделения Российской академии наук
тел.: +7 (343) 210-38-53
e-mail: info@ipae.uran.ru, common@ipae.uran.ru
620144, РФ, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202