



Как почвенные беспозвоночные справляются с загрязнением микропластиком

Carlos Barreto^{1*†}, **Matthias C. Rillig**^{2,3†}, **Walter R. Waldman**^{4†} and **Stefanie Maaß**^{3,5†}

¹ Department of Biology, Biotron Experimental Climate Change Research Centre, Western University, London, ON, Canada

² Plant Ecology, Institute of Biology, Freie Universität Berlin, Berlin, Germany

³ Berlin-Brandenburg Institute of Advanced Biodiversity Research (BBIB), Berlin, Germany

⁴ Center of Science and Technology for Sustainability, Federal University of São Carlos, Sorocaba, Brazil

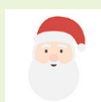
⁵ Plant Ecology and Nature Conservation, Institute of Biochemistry and Biology, Universität Potsdam, Potsdam, Germany

МОЛОДЫЕ РЕЦЕНЗЕНТЫ:



АСТИР

ВОЗРАСТ: 8



ЮНИ

ВОЗРАСТ: 10

Мелкие почвенные животные, называемые беспозвоночными – это очень разнообразная группа почвенных обитателей. К ним относятся дождевые черви, мокрицы, пауки, ногохвостки, клещи и некоторые насекомые. Почвенные беспозвоночные питаются отмершими растениями, микроскопическими грибами и бактериями, или другими почвенными беспозвоночными. Многочисленные взаимодействия почвенных беспозвоночных друг с другом и большое количество их видов делают жизнь в почве сложной и трудной для понимания. К сожалению, почвенные беспозвоночные уже несколько десятилетий имеют дело с загрязнением почвы, включая загрязнение крошечными частицами пластика, называемыми **микропластиком**. Но вреден ли микропластик для этих организмов? Может ли микропластик передаваться между почвенными беспозвоночными, когда одно съедает другого?

Большинство вопросов о микропластике и почвенных беспозвоночных было изучено на примере дождевых червей, но существует также несколько исследований других организмов, таких как ногохвостки, клещи и нематоды. В этой статье мы рассмотрим влияние микропластика на почвенных беспозвоночных.

КТО ТАКИЕ СКРЫТЫЕ ПОЧВЕННЫЕ СУПЕРГЕРОИ И В ЧЕМ ЗАКЛЮЧАЕТСЯ ИХ РАБОТА?

Многие животные живут в почве, но... почему мы их всех не замечаем? Крошечные животные, живущие в почве, называются почвенными беспозвоночными, и они сильно различаются по размеру. Некоторые их виды даже меньше толщины человеческого волоса! Мы можем разделить почвенных беспозвоночных на три основные группы в зависимости от их размеров [1] (Рисунок 1). Макро-беспозвоночные – это крупные беспозвоночные, такие как дождевые черви, мокрицы, пауки, многоножки, сороконожки и некоторые насекомые, например, жуки. Они размером более 2 мм и могут создавать собственные помещения в почве. Мезо-беспозвоночные имеют размер поменьше (0,1-2 мм) и живут в заполненных воздухом пространствах между почвенных частиц. В качестве примера можно привести ногохвосток [2], клещей и горшечных червей-энхитреид. Микро-беспозвоночные имеют размер менее 0,1 мм, настолько маленький, что мы не можем увидеть их без помощи микроскопа. Они живут в воде вокруг частиц почвы. В качестве примера можно привести червей-нематод, коловраток и водяных медведей – тихоходок.

Рисунок 1

Примеры почвенных беспозвоночных разного размера. (A) водяной медведь – тихоходка, (B) коловратка, (C) нематода, (D) горшечный червь-энхитреида, (E) ногохвостка, (F) клещ, (G) паук, (H) жук, (I) мокрица, (J) дождевой червь, (K) сороконожка и (L) многоножка. Иллюстрации не отражают реальный размер почвенных беспозвоночных.

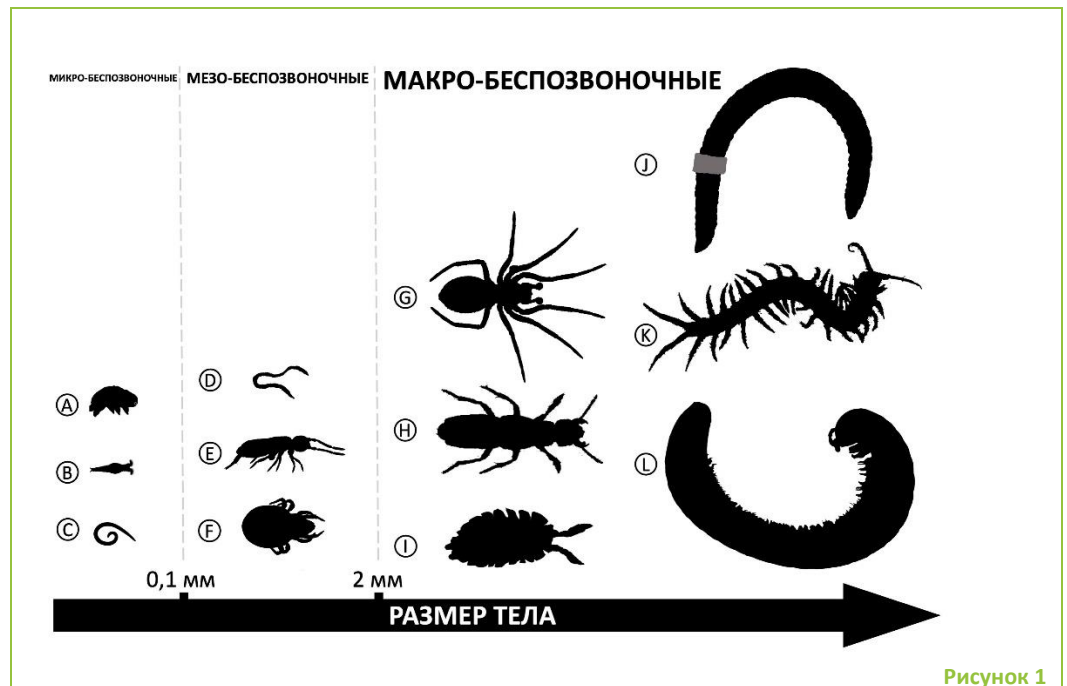


Рисунок 1

Каждая группа почвенных беспозвоночных любит разную пищу [3]. В целом, некоторые почвенные беспозвоночные, например пауки, питаются другими почвенными беспозвоночными. Другие, например ногохвостки,

питаются микробами, такими как плесени и бактерии; а третьи, например дождевые черви, питаются мертвыми растениями. Эти пищевые связи являются частью сложной пищевой сети, состоящей из многих видов (Рисунок 2) и множества взаимодействий.

Рисунок 2

Примеры почвенных беспозвоночных. Микро-беспозвоночные (менее 0,1 мм) включают (А) водяных медведей – тихоходок и (В) нематод; мезо-беспозвоночные (от 0,1 до 2 мм) включают (С) горшечных червей-энхитреид, (D-G) ногохвосток и (H,I) клещей; макро-беспозвоночные (более 2 мм) включают (J) мокриц, (K) жуков, (L) дождевых червей, (M) многоножек, (N) сороконожек и (O) пауков (фотографии: А,С-О: Frank Ashwood; В: Devdutt Kamath).



Рисунок 2

Все почвенные беспозвоночные важны для окружающей среды. Например, водяные медведи могут осваивать новые среды обитания и служить пищей для других организмов. Нематоды могут способствовать круговороту питательных веществ в почве – не без помощи ногохвосток, клещей, мокриц и дождевых червей. Мокрицы, ногохвостки и некоторые клещи [4] помогают разлагать листья и другие ранее живые материалы в почве [5], они также помогают удерживать в почве углерод из атмосферы. Дождевые черви помогают дождевой воде просачиваться в почву. Некоторые почвенные беспозвоночные могут питаться организмами, вызывающими болезни растений, защищая растения от этих вредителей. Каждый по-своему, эти существа помогают сохранить почву здоровой, что в том числе необходимо для обеспечения качества наших продуктов питания.

ОПАСНОСТЬ МИКРОПЛАСТИКА

К сожалению, в жилища многих почвенных беспозвоночных вторглись загрязняющие вещества, такие как микропластик. **Микропластик** - это мелкие частицы (менее 5 мм), которые образуются различными способами (Рисунок 3; Вставка 1). Например, когда автомобили ездят по дорогам, их шины изнашиваются и теряют микропластик, который может быть подхвачен ветром и оказаться в почве. Кроме того, когда мы стираем белье, пластиковые волокна попадают из одежды в воду. Одно только флисовое пальто может выделять до миллиона волокон за один цикл стирки! Многие из этих пластиковых волокон попадают в сточные воды, что является проблемой, поскольку очищенные сточные воды могут использоваться для удобрения почвы, на которой выращиваются сельскохозяйственные культуры. Микропластик также может попасть в почву через пластиковый мусор и дождевую воду.

МИКРОПЛАСТИК

Мелкие пластиковые частицы (менее 5 мм), которые могут быть вредны для почвенных и водных обитателей.

Рисунок 3

Примеры микропластика. (A) Ногохвостка и частицы урео-формальдегида. (B) Ногохвостка и пластик, соскобленный с бутылки. (C) Полипропиленовые микробусины. (D) Полипропиленовые микроволокна. (E,F) Взрослые нематоды и фрагменты полистирола. (G) Частицы, образовавшиеся в результате истирания шин. (H) Крупный план полиуретановой губки. (I) Порошкообразный полипропилен (фотографии: A,B: C. Reinhart и D. Daphi, C,I: Stefanie Maaß, D: Carlos Barreto, E,F: Shin Woong Kim, G: Eva Leifheit, H: Walter Waldman).

ДОБАВКИ

Химические вещества, которые делают пластик более гибким по цвету или менее горючим.

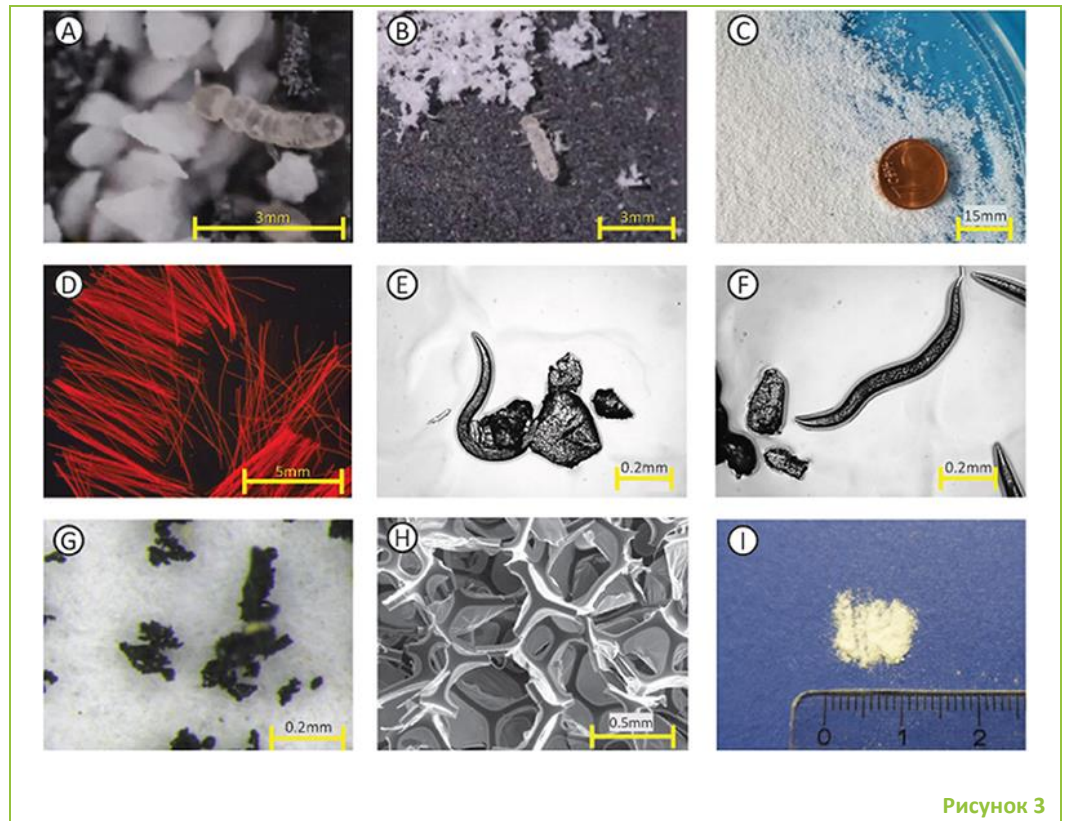


Рисунок 3

Микропластик может иметь очень разные химические и физические свойства. Пластиковые материалы часто содержат **добавки**. Эти добавки могут сделать микропластик еще более вредным для окружающей среды, особенно после того, как частицы микропластика начнут разрушаться. Пластиковые частицы становятся все более хрупкими под воздействием солнечного света, воды и окружающих частиц почвы, которые трутся об них. Со временем частицы микропластика распадаются на еще более мелкие частицы, называемые нанопластиком. В процессе деградации добавки начинают медленно вымываться из микропластика в почву. Частицы также могут просачиваться в ткани организмов в процессе питания. К сожалению, мы все еще мало знаем о том, какое влияние

может оказать высвобождение добавок из пластика на окружающую среду.

Итак, частицы микропластика, безусловно, могут влиять на почву, но как они влияют на почвенных беспозвоночных? [6] Если мы посмотрим на дождевых червей с их постоянным аппетитом к мертвым листьям и рытью почвы, мы легко можем представить, что они регулярно заглатывают частицы микропластика и переносят их глубоко в почву. Они могут переносить эти частицы не только питаясь, но и на своей коже. То же самое было показано и для ногохвосток. Что это означает? С одной стороны, частицы микропластика будут разлагаться по мере прохождения через кишечник почвенных организмов. Но с другой стороны, как только частицы попадают глубже в почву, деградация замедляется из-за отсутствия солнечного света и снижения активности микроорганизмов. Другими словами, чем глубже частицы продвигаются в почву, тем больше времени требуется для их полной **деградации**.

ДЕГРАДАЦИЯ

Распад или разделение чего-либо на более простые/мелкие части.

Вставка 1 | Источники микропластика в почве.

Вещи	Виды пластика	Комментарий
Краски	Эпоксидные и алкидные смолы	Микропластик образуется при шлифовке окрашенных поверхностей и при отслаивании краски со стен или других конструкций.
Пластиковые пакеты	Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП)	Когда пластиковые пакеты выбрасываются неправильно, они могут оказаться на земле и разлагаться под воздействием солнца, образуя в итоге микропластик.
Мульчирующие пленки	Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП)	Некоторые фермеры используют пластиковые мульчирующие пленки для защиты растений от потери воды. Эти пластики разрушаются под воздействием солнца и образуют микропластик.
Шины	Полиизопрен (натуральный каучук)	Хотя шины изготавливаются в основном из натурального каучука, они также содержат добавки, и их токсичность в настоящее время проверяется.
Пенопласт	Полистирол (PS)	Пенопласты широко используются для теплоизоляции домов и в упаковке для защиты продуктов при транспортировке и хранении. При повреждении и разрушении пенопласта образуется микропластик.
Блестки	Полиэтилентерефталат (PET)	Блестки легко разлетаются, могут отделяться от косметики и игрушек и загрязнять почву.
Бутылки для воды, бутылки для безалкогольных напитков	Полипропилен (PP), Полиэтилентерефталат (PET)	Разрушение неправильно утилизированных бутылок из-под воды и прохладительных напитков может загрязнить почву.
Одежда	Полиэстеры и полиамиды	Синтетические волокна выделяют микроволокна во время стирки, и они попадают в почву через удобрения, приготовленные из сточных вод.

МИКРОПЛАСТИК МОЖЕТ ВЛИЯТЬ НА ЗДОРОВЬЕ ПОЧВЕННЫХ ОРГАНИЗМОВ

Почвенные организмы чувствуют себя плохо, когда едят микропластик, – это показано на примере дождевых червей и ногохвосток. После питания частицами микропластика дождевые черви страдали от проблем со здоровьем, включая воспаление и повреждение кишечника [7]. Кроме того, проглатывание микропластика привело иммунную систему дождевых червей в состояние повышенной готовности. У ногохвосток, проглотивших микропластик, произошли изменения в сообществе полезных бактерий, живущих в их пищеварительной системе [8]. И дождевые черви, и ногохвостки росли медленнее, имели меньше потомства и чаще умирали после попадания в организм микропластика.

Это звучит как плохая новость для нематод, но есть и хорошая: ученые не наблюдали накопления частиц микропластика в организмах с течением времени, что означает, что они, возможно, не так уж сильно страдают. Однако вполне вероятно, что частицы микропластика могут передаваться по пищевой сети почвы, от микробов, таких как плесени, к ногохвосткам, и к хищным клещам; или от микробов к дождевым червям, а затем к цыплятам [9] – и, возможно, к людям! Мы все еще мало знаем о том, как микропластик перемещается по пищевой сети почвы, но исследования на эту тему быстро продвигаются. Несмотря на эти опасения, ученые обнаружили проблеск света! Одна исследовательская группа сообщила, что определенные бактерии в кишечнике дождевых червей могут переваривать проглоченный микропластик, что приводит к высокой скорости разложения [10]. Это означает, что бактерии могут ускорить процесс разрушения микропластика в почве. Могут ли другие почвенные беспозвоночные делать то же самое? Пока мы просто не знаем.

ЧТО МЫ МОЖЕМ СДЕЛАТЬ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ?

Вы можете задаться вопросом, почему ученые не добились большего прогресса, отвечая на важные вопросы о влиянии микропластика на почву и живущие в ней организмы. К сожалению, эти исследования сталкиваются с многочисленными трудностями. Например, у нас пока нет надежного метода измерения количества всех видов микропластика во всех типах почв. Кроме того, многие исследования состоят из краткосрочных экспериментов, которые проводятся в лаборатории, вместо долгосрочных исследований, проводимых на открытом воздухе в почве. Огромное разнообразие типов пластика и добавок делает невозможным тестирование всех комбинаций в реальных условиях. Лабораторные эксперименты информативны лишь до определенной степени. Лабораторные эксперименты сложны еще и потому, что не все почвенные организмы выживут в лабораторных условиях. Но будьте уверены: ученые делают все возможное для решения этих проблем. Тем временем, есть способы, которыми вы можете помочь!

Мы все должны сделать все возможное, чтобы свести к минимуму попадание в окружающую среду пластика любого типа и размера. Возможно, вы уже знаете некоторые из наиболее важных способов! Избегайте одноразовых пластиковых предметов, таких как пластиковые стаканчики или соломинки. Выберите свой любимый металлический или многоразовый пластиковый стаканчик, а также металлическую соломинку и держите их под рукой в своей сумке или рюкзаке. Важно также помещать пластиковые отходы в отдельный контейнер для переработки: Это поможет сократить количество пластика, попадающего в воду и почву. Кроме того, избегайте косметических средств, в состав которых входит микропластик, например, некоторых кондиционеров. Существуют альтернативные продукты, не содержащие микропластик, а некоторые приложения для смартфонов помогут вам выбрать лучшие из них. Чтобы уменьшить количество пластиковых волокон, выбрасываемых в окружающую среду, старайтесь не выбрасывать старую одежду только потому, что она вам больше не нужна! Вместо этого постарайтесь продать, отдать на благотворительность или использовать ее повторно в творческом ключе. Давайте объединим усилия и спасем наших крошечных почвенных супергероев от дальнейшего загрязнения микропластиком. Это стоит усилий!

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы благодарим Фрэнка Эшвуда (Комиссия по лесному хозяйству Великобритании), Шин Вун Кима (Свободный университет Берлина) и Девдutta Камата (Университет Гельфа) за любезное разрешение использовать их фотографии почвенных беспозвоночных. Мы благодарим К. Райнхарта, Д. Дафи и Еву Лейфхайд (Свободный университет Берлина) за фотографии пластика. Мы благодарим Андерсона Абея де Соуза Мачадо, Алису А. Хортон и Тейлора Дэвиса за работу над главой книги о микропластике, которая послужила отправной точкой для этой статьи. MR подтверждает финансирование из гранта ERC Advanced Grant (694368). Эта работа также частично финансировалась Федеральным министерством образования и научных исследований Германии BMBF в рамках совместного проекта Bridging in Biodiversity Science-BIBS (фаза 2, номер финансирования 01LC1501B). Мы благодарим Хелен Филлипс, Реми Богнон и Мальте Йохум, редакторов сборника "Биоразнообразие почв", за такую большую и важную инициативу. И последнее, но не менее важное, мы благодарим наших молодых рецензентов за их комментарии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Coleman, D. C., Callahan, M. A., and Crossley, D. A. Jr. 2018. *Fundamentals of Soil Ecology*, 3rd Edn. London: Academic Press. p. 376.2.
- [2] Potapov, A. 2020. Springtails — worldwide jumpers. *Front. Young Minds*8:545370. doi: 10.3389/frym.2020.5453703.
- [3] Erktan, A., Pollierer, M., and Scheu, S. 2020. Soil ecologists as detectives discovering who eats whom or what in the soil. *Front. Young Minds*8:544803. doi: 10.3389/frym.2020.5448034.

- [4] Barreto, C., and Lindo, Z. 2020. Armored mites, beetle mites, or moss mites: thefantastic world of oribatida. *Front. Young Minds*8:545263. doi: 10.3389/frym.2020.5452635.
- [5] Barreto, C., and Lindo, Z. 2020. Decomposition in peatlands: who are theplayers and what affects them? *Front. Young Minds*8:107. doi: 10.3389/frym.2020.001076.
- [6] de Souza Machado, A. A., Horton, A., Davis, T., and Maaß, S. 2020. Microplastics and their effects on soil function as a life-supporting system. In: *The Handbookof Environmental Chemistry*, eds D. He and Y. Luo. Cham: Springer. p. 1–24.7.
- [7] Rodriguez-Seijo, A., Lourenço, J., Rocha-Santos, T. A. P., da Costa, J., Duarte, A.C., Vala, H., et al. 2017. Histopathological and molecular effects of microplastics in *Eisenia andrei* Bouché. *Environ. Pollut.*220:495–503. doi: 10.1016/j.envpol.2016.09.0928.
- [8] Zhu, D., Qing-Lin, C., Ana, X., Yanga, X., Christiec, P., Ked, X., et al. 2018. Exposure of soil collembolans to microplastics perturbs their gut microbiota and alters their isotopic composition. *Soil Biol. Biochem.*116:302–10. doi: 10.1016/j.soilbio.2017.10.0279.
- [9] Huerta Lwanga, E., Mendoza Vega, J., Quej, V.K., de los Angeles Chi, J., Sanchezdel Cid, L., Chi, C., et al. 2017. Field evidence for transfer of plastic debris alonga terrestrial food chain. *Sci. Rep.* 7:14071. doi: 10.1038/s41598-017-14588-210.
- [10] Huerta Lwanga, E., Thapa, B., Yang, X., Gertsen, H., Salánki, T., Geissen, V., et al.2018. Decay of low-density polyethylene by bacteria extracted fromearthworm’s guts: a potential for soil restoration. *Sci. Total Environ.*624:753–7. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.144

EDITED BY: Rémy Beugnon, German Centre for Integrative Biodiversity Research(iDiv), Germany

CITATION: Barreto C, Rillig M, Waldman W and Maaß S (2021) How Soil Invertebrates Deal With Microplastic Contamination. *Front. Young Minds.* 9:625228. doi: 10.3389/frym.2021.625228

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

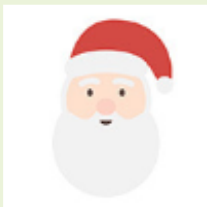
COPYRIGHT © 2021 Barreto, Rillig, Waldman and Maaß. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License(CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

МОЛОДЫЕ РЕЦЕНЗЕНТЫ



АСТИР, ВОЗРАСТ: 8

Мне 8 лет. Я люблю читать, делать поделки, рисовать, раскрашивать, заниматься искусством, математикой, письмом и историей. Мои любимые книги - Гарри Поттер и Перси Джексон.



ЮНИ, ВОЗРАСТ: 10

У меня много хобби, но больше всего я люблю готовить, читать, рисовать и шить. Я хожу в начальную школу в большом городе в Великобритании, и мой возраст - 10 лет. Мои любимые книги - "Перси Джексон", книги Джудит Блум, "Скарлет и Айви" и "Дитя Севера".

АВТОРЫ

КАРЛОС БАРРЕТО



Уже в раннем возрасте Карлос понял, что ему нравятся животные, возможно, даже слишком. В школе наука всегда была его любимой дисциплиной, вплоть до старших классов. Именно тогда он решил, что хочет заниматься чем-то, связанным с наукой и животными. Он пытался стать ветеринаром, но ничего не вышло. Не страшно. Через несколько лет он стал экологом и с тех пор работает с маленькими животными (в основном насекомыми и клещами) в тропических лесах, железорудных и известняковых пещерах, бореальных лесах, городских полях и торфяниках на трех континентах: Южной Америке, Северной Америке и Европе. *cbarreto@uwo.ca; †orcid.org/0000-0003-2859-021X

МАТТИАС К. РИЛЛИГ



Маттиас любит почву и всю живность в ней, – не только животных. Больше всего ему нравятся плесени и другие грибы. Его любимый почвенный процесс - агрегация почвы, образование маленьких крошек почвы. Маттиас является профессором Свободного университета Берлина и целыми днями размышляет о почве и о том, что в ней происходит. В настоящее время он очень заинтересован в том, как на почву влияет широкий спектр факторов, включая микропластик. † orcid.org/0000-0003-3541-7853

ВАЛЬТЕР Р. ВАЛЬДМАН



Уолтер с гордостью является бразильским химиком, который любит музыку, химию, еду, кино и полимеры. В его первом эксперименте участвовали жевательная резинка и волосы бывшей подруги. Эксперимент закончился не очень хорошо для всех участников, но адгезивная способность полиизопрена была подтверждена, и в тот день родился ученый-полимерщик. Теперь он пытается понять роль деградации полимеров в воздействии микропластика. Когда у него есть свободное

время, вы можете найти его читающим что-нибудь о химии и полимерах. И потребляющим еду... †orcid.org/0000-0002-7280-2243

ШТЕФАНИ МААСС



Стефани хотела стать визажистом или художником по костюмам, но из-за отсутствия художественных навыков перешла к чему-то совершенно другому: биологии. Когда во время учебы она познакомилась с тропическими насекомыми и клещами на коре деревьев, она была очарована их красотой и разнообразием. Затем она занялась почвенными насекомыми и клещами и стала страстным и любопытным почвенным экологом, который хочет понять пищевые отношения, реакции на загрязняющие вещества (например, микропластик) и закономерности распространения своих любимых почвенных существ. †orcid.org/0000-0003-4154-1383

ПЕРЕВОДЧИКИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ ПЕРЕВОДА

АНТОН МИХАЙЛОВИЧ ПОТАПОВ



Я почвенный эколог, работаю в Лейпцигском и Геттингенском университетах в Германии. Мне особенно нравится изучать ногохвосток и других почвенных животных, чем я занимаюсь в различных условиях – от русской тайги до тропических дождевых лесов. Я хочу понять, как мелкие животные формируют сложные пищевые сети взаимодействий и определяют биоразнообразие и функционирование экосистем на Земле.