

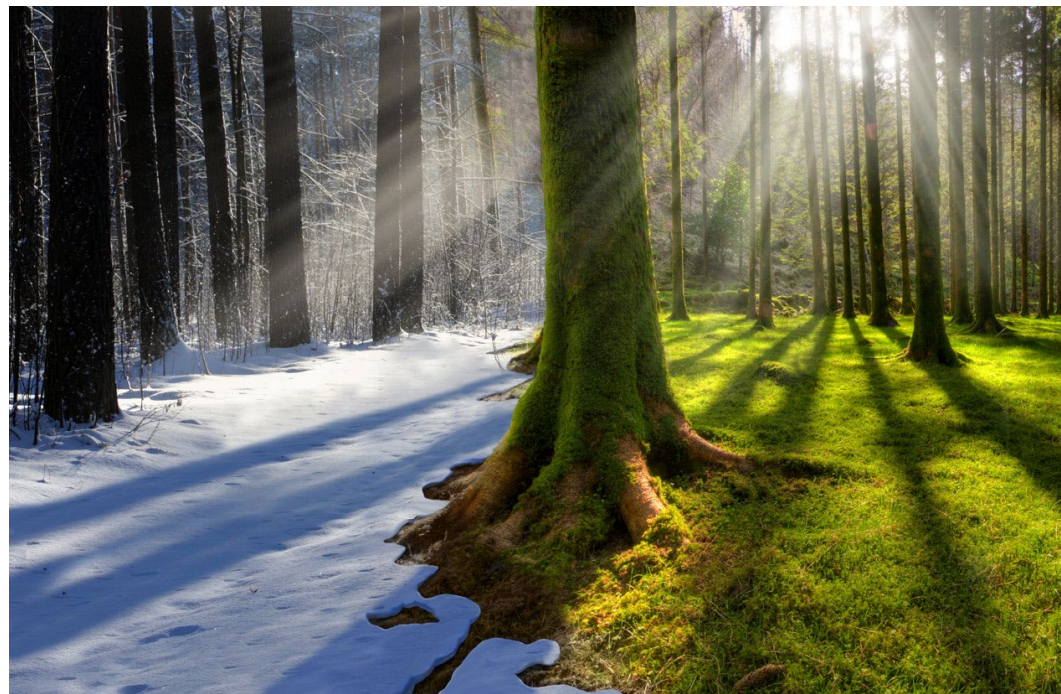
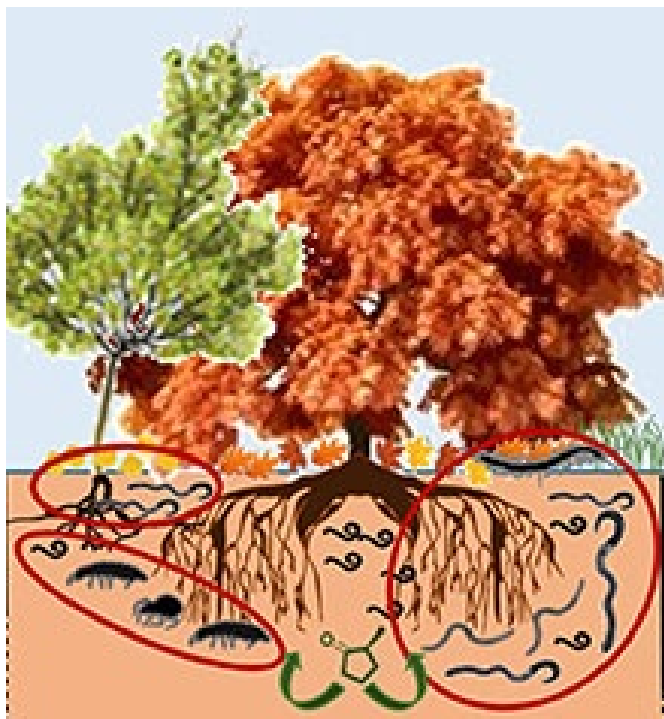


Экосистемные инженеры лесных экосистем в условиях меняющегося климата

Гераськина Анна Петровна

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

angersgma@gmail.com



22.11.2022



СОДЕРЖАНИЕ

- Почвенная зоология – становление науки
- Классификации почвенной фауны – размерная и трофическая
- «Экосистемные инженеры» среди почвенных беспозвоночных
- Комплементарность взаимоотношений групп почвенной биоты
- «Функциональная избыточность» или «недостаточность» в почве?
- Реинтродукция почвенной биоты и восстановление почв – путь в будущее.



Почвенная зоология

возникла на стыке зоологии и почвоведения



Зоология – наука о животных, одна из старейших отраслей естествознания.

Аристотель описал около 500 видов животных и создал первую в истории наук зоологическую систематику.



(384-322 гг. до н.э.)

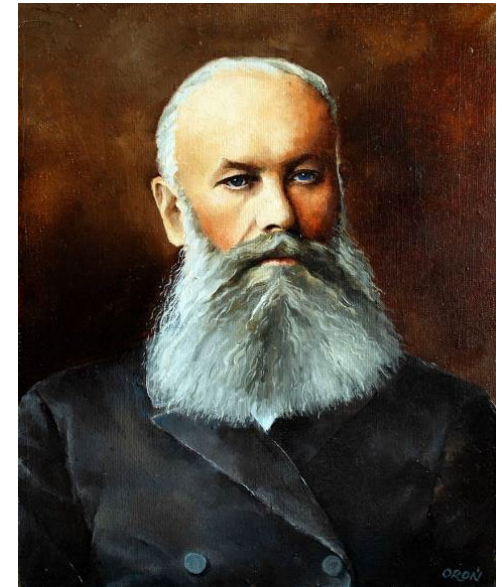
Почвоведение

Знания о почвах накапливались веками. Научное изучение почв началось в Германии в конце XVIII в. Почти целый век ученые, *не затрагивая биологических процессов* в почве, изучали частные вопросы питания растений, минералогического, химического и гранулометрического состава почв, их выветривания.

"Попробуйте пройти по целинной степи и вырезать из нее кубик почвы, увидите вы, что в нем больше корней, трав, ходов жучков, личинок, чем земли. Все это бурлит, сверлит, точит, роет почву, и получается несравнимая ни с чем губка". В.В. Докучаев

***«Почва для нас дороже угля, нефти и золота.
Без золота прожить можно. Без почвы прожить нельзя».***

В.В. Докучаев сформулировали основные законы новой науки и выделили главные факторы почвообразования и их тесную взаимосвязь: климат, почвообразующие (материнские горные) породы, **растительный и животный мир**, возраст и рельеф местности.



**Василий Васильевич Докучаев –
основоположник почвоведения в России**

Становление почвенной зоологии

- В начале XX века в разных странах стремительно накапливаются материалы, касающиеся почвенных беспозвоночных.
- Немецкий исследователь Р. Франсэ в 1912 году на страницах нашего старейшего журнала "Почвоведение" выступил со статьей, где говорилось о взаимосвязанных, обеспечивающих циркуляцию материи организмах, никогда не оставляющих почву, - сообществе, аналогичном планктону водоемов.
- В 30-е годы уже было собрано довольно много сведений о численности ряда групп животных в почвах разного типа, под разной растительностью, об экологических требованиях некоторых представителей почвенной фауны, об их деятельности в почвах и т. д.
- Обобщение разрозненных материалов, опубликованных в советской и зарубежной печати выполнил Меркурием Сергеевичем Гиляровым в 1939 году.

1939 – год становления почвенной зоологии как науки

- М. С. Гиляров в журнале «Почвоведение» опубликовал две обзорные статьи: «Почвенная фауна и жизнь почвы» (1939 г.) и «Влияние почвенных условий на фауну почвенных вредителей» (1941 г.).
- Эти статьи привлекли внимание почвоведов Московского университета, и автору (который в это время руководил Отделом защиты растений Всесоюзного института каучуконосов) предложили организовать при почвенном отделении геолого-почвенного факультета небольшую лабораторию.
- В 1941 г. М.С. Гиляров опубликовал уникальное пособие, первое в мировой литературе. Всемирно известный эколог Ч. Элтон уже в 1943 г. отмечал данную работу как не имеющую аналогов в англоязычной литературе.
- Дело в том, что, помимо методических рекомендаций для выполнения сложных и трудоёмких операций учёта почвенной фауны, автор сформулировал методологические основы почвенной зоологии.
- Работы Гилярова М.С. привлекли внимание академика И.И. Шмальгаузена, который в 1944 г. пригласил его в докторантуру Института эволюционной морфологии АН СССР.
- В ходе работы над диссертацией, успешно защищённой в 1947 г., Меркурий Сергеевич сформировал концепцию эволюционных воззрений на почву как на важнейший фактор, определивший возможность выхода жизни на сушу.



**Меркурий Сергеевич Гиляров
(1912-1985)**

ЭТЮДЫ
ОБ УЧЁНЫХ

DOI: 10.7868/S0869587313040233

ОСНОВАТЕЛЬ ПОЧВЕННОЙ ЗООЛОГИИ

100 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ АКАДЕМИКА М.С. ГИЛЯРОВА



М.С. Гиляров в год своего 70-летия. 1982 г.

формированием новых комплексных наук и отдельных направлений на основе синтеза и взаимопроникновения методов и подходов различных дисциплин. Подобный феномен междисциплинарной интеграции приобрёл статус методологического принципа развития естественных наук прошедшего столетия.

В совершенстве владея способностью теоретического осмысления практически важных задач, М.С. Гиляров сумел раскрыть и обосновать идею о взаимосвязи почвы и её обитателей как сложной системной структуры. Наиболее общие положения позволили учёному объединить проблемы генетического почвоведения с эволюционными представлениями о приспособлении животных к обитанию в почве, их роли в формировании самой почвы как специфического биокосного тела и в поддержании почвенного плодородия. Исходя из этого, им были сформулированы основы новой комплексной дисциплины — почвенной зоологии.

Почвенная зоология

развилась на стыке зоологии и почвоведения



Животный мир почвы

В умеренном климатическом поясе

масса животных в почве:

насекомые – 1 т/га,

дождевые черви – 500 кг/га,

нематоды – 50 кг/га,

ракообразные – 40 кг/га,

улитки, слизни – 20 кг/га,

змеи, грызуны – 20 кг/га



Животный мир почвы: фантастическое разнообразие

Число **видов** раковинных амёб в лесной **почве** составляет 60-70,
клещей - 90-120,
насекомых 20-150.

Показатели локального разнообразия **животного** населения **в почве** выше, чем в наземном ярусе: среднее видовое богатство почвенной фауны в расчете на единицу площади (альфа-разнообразие) превышает таковое в наземной среде. Если принять во внимание, что в почвенном профиле **животное** население сосредоточено лишь в верхнем горизонте, то индекс разнообразия **видов** на единицу объема оказывается еще выше, чем, например, в растительном ярусе.



От модели конкуренции к модели
комплементарности!

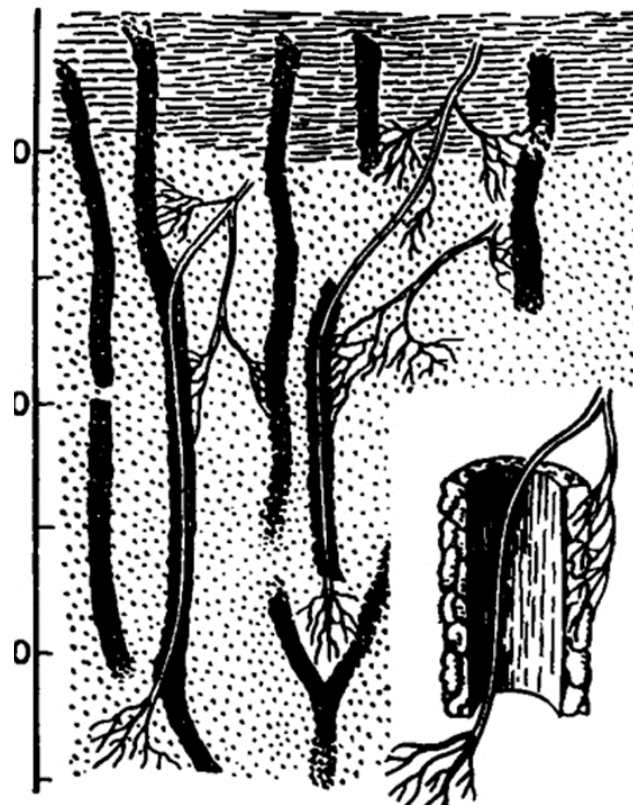
КОМПЛЕМЕНТАРНОСТЬ от лат. «complementum»
- взаимодополняемость

Комплементарность в почве

Роющая деятельность почвенных животных преобразует плотный однородный субстрат в наполненную воздухом и водой среду, пригодную для жизни миллионов мелких организмов: животных, грибов, бактерий, а также для роста и развития корней растений.



По ходам кротов перемещаются мелкие млекопитающие, например, полевки



По ходам дождевых червей прорастают корни растений



В ходах дождевых червей обитают клещи и коллемболы

В почве продукты жизнедеятельности одних групп организмов - это источник энергии и среда обитания для других организмов

Первичные деструкторы опада и гумусообразователи

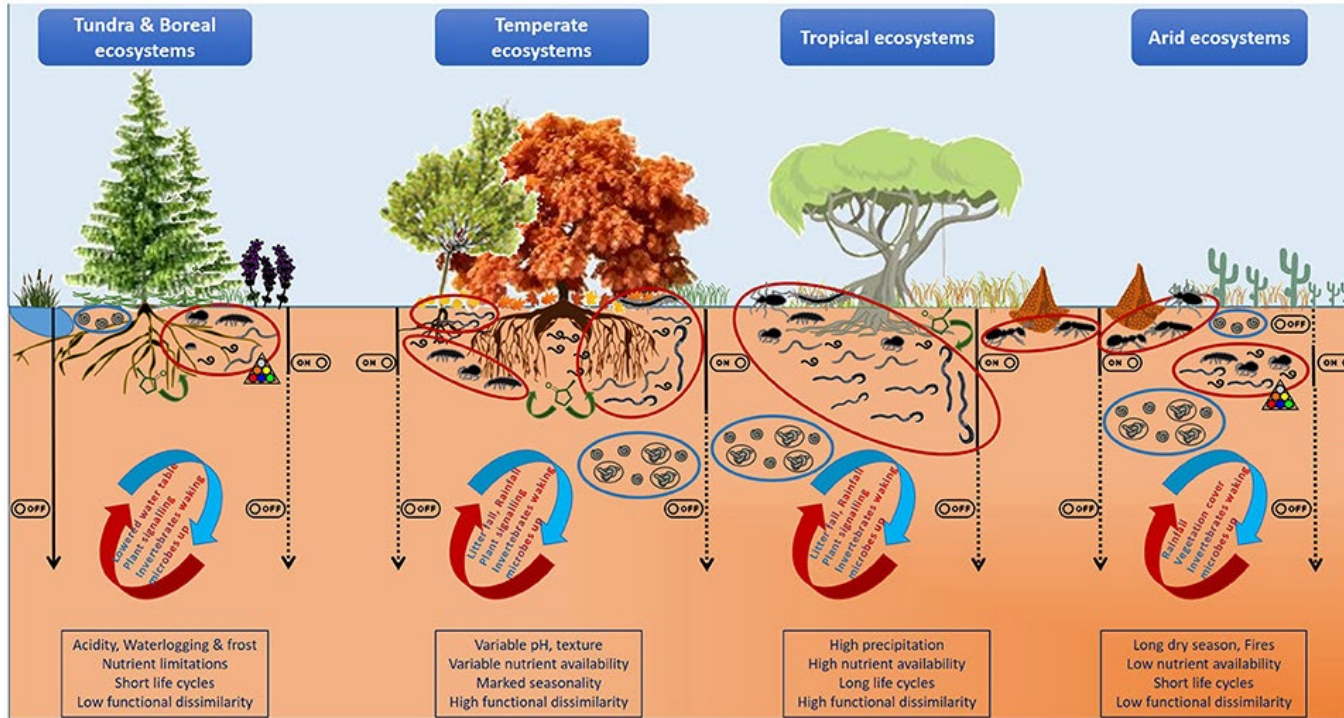


Вторичные гумусообразователи



Растительный опад и экскременты животных перерабатывают первичные разрушители: подстилочные дождевые черви, клещи, коллемболы, жуки-навозники, личинки насекомых. Далее, субстрат, прошедший через пищеварительный тракт первичных разрушителей повторно перерабатывают энхитреиды (мелкие черви), почвенные дождевые черви, личинки жуков-щелкунов и др., обеспечивая дальнейшую минерализацию органического вещества и плодородие почв.

Почвенная фауна – посредник между растительностью и почвой – биотический фактор почвообразования



Front. Environ. Sci., 07 December 2018 | <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00149>



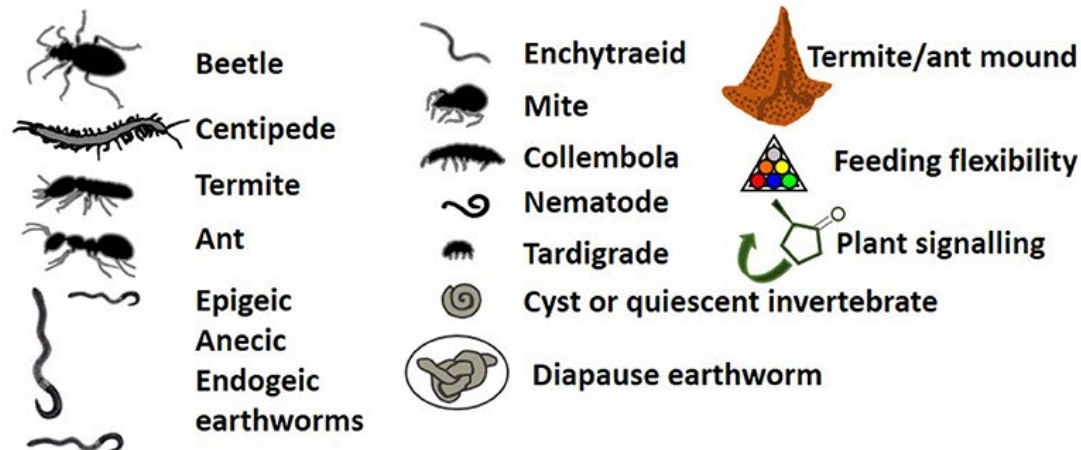
The Serendipitous Value of Soil Fauna in Ecosystem Functioning: The Unexplained Explained

Maria J. I. Briones*

Departamento de Ecología y Biología Animal, Universidad de Vigo, Vigo, Spain

Soil fauna is crucial to soil formation, litter decomposition, nutrient cycling, biotic regulation, and for promoting plant growth. Yet soil organisms remain underrepresented in soil processes and in existing modeling exercises. This is a consequence of assuming that much of the below-ground diversity is just ecologically “redundant” and that soil food webs exhibit a higher

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2018.00149/full>



Круговорот элементов
питания возможен
благодаря почвенной
фауне

Трофические группы почвенных организмов

1) **Фитофаги** питаются тканями растений. Например, свекловичная нематода внедряется в корни сахарной свеклы. Разновидность фитофагов - альгофаги : питаются водорослями.

2) **Зоофаги** (хищники) поедают других животных (выступают в роли хищников или паразитов). Примеры: все насекомоядные животные, хищные клещи (нападают на нематод)

3) **Некрофаги** используют в пищу трупы животных (выступают в роли санитаров в природных экосистемах). Например, жуки-мертвороеды, личинки синих и зеленых мясных мух.

4) **Сапрофаги** перерабатывают мертвые остатки растений, опад (как на поверхности почвы - в подстилке, так и в зоне корневых систем). Примеры: дождевые черви, многоножки, мокрицы, некоторые клещи и личинки насекомых.

- копрофаги (питаются экскрементами других животных. Например, жук-навозник)
- детритофаги (используют в пищу детрит — мелкие разлагающиеся органические частицы).

Размерные группы почвенных организмов

- **Нанофауна** – (размеры $< 0,1$ мм). Одноклеточные простейшие (амебы, инфузории), живут в водной фазе почвы
- **Микрофауна** – (размеры $0,1-1,5$ мм) нематоды, коловратки, тихоходки
- **Мезофауна** – (размеры от $0,5$ мм до 10 мм) клещи, коллемболы, энхитреиды
- **Макрофауна** – (длиной более 4 мм, шириной более 2 мм) крупные беспозвоночные: кольчатые черви, пауки, мокрицы, брюхоногие моллюски, насекомые
- **Мегафауна** – почвенные позвоночные (кроты, землеройки, слепыши).

Группы сапрофагов лесных почв

Макрофауна

- дождевые черви
- двупарноногие многоножки
- ракообразные (мокрицы)
- моллюски
- насекомые: личинки двукрылых, личинки и имаго ряда жуков

Мезофауна

- энхитреиды
- коллемболы
- нематоды

Микробиота

- сапротрофные грибы и бактерии
- простейшие
- коловратки



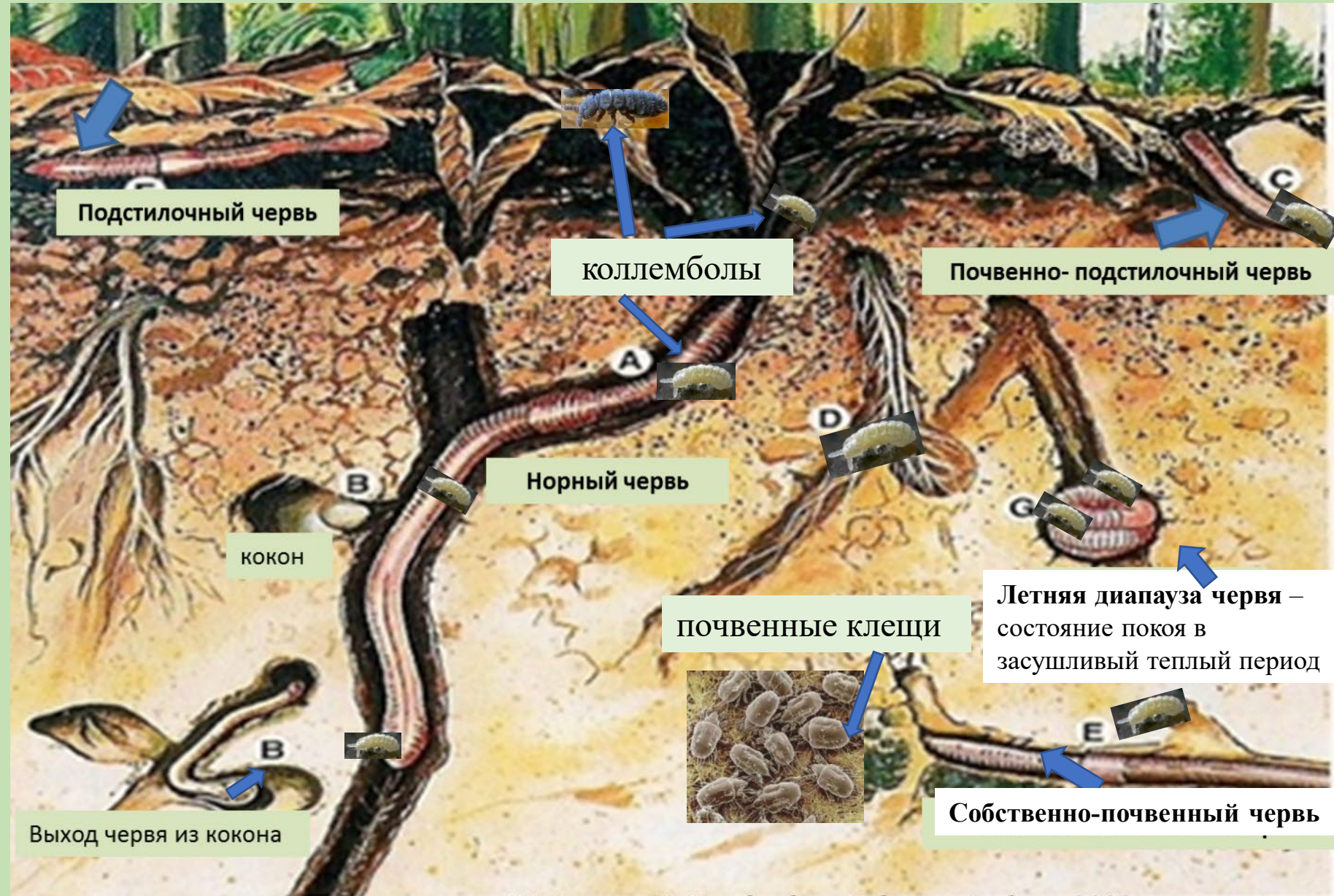
«Экосистемные инженеры» в почве

Экосистемные инженеры («ecosystem engineer») – организмы, которые прямо или косвенно регулируют доступность ресурсов для других видов, вызывая изменения физического состояния биотических или абиотических компонентов (Jones et al., 1994).

ДОЖДЕВЫЕ ЧЕРВИ – экосистемные инженеры

«Биота почвы взаимодействует как большой оркестр, где музыканты из почвы играют вместе на разных инструментах, а дирижеры оркестра - дождевые черви, которые прокладывают почвенные ходы, активируют почвенные бактерии, разносят мицелий и споры грибов, стимулирует рост популяций простейших и нематод»

(Cunha et al., 2016; Eisenhauer, 2012).



W. Dunger, K. Voigtlander. «Leben im Boden», 2008

Роль дождевых червей как «экосистемных инженеров»

перерабатывают растительный опад: механическое разрушение и обработка ферментами повышает доступность опада микроорганизмам;

откладывают копролиты (гранулированные экскременты) внутри ходов и на поверхности почвы - водопрочные, гидрофильные структуры с повышенным содержанием углерода и азота; как следствие, образуется хорошо агрегированный, обогащенный азотом, **гумусовый горизонт почвы, что определяет почвенное плодородие;**

препятствуют закислению почвы: известковые железы пищевода червей накапливают ионы кальция, которые нейтрализуют кислое содержимое их пищи;

повышают порозность: формируют системы ходов и камер, улучшают возможности роста корней растений и передвижения микро- и мезофауны почвы;

улучшают аэрацию и водопроницаемость почвы: формируют среду обитания микро- и мезофауны и повышают содержание доступной влаги для корней растений и почвенных животных.

Копролиты дождевых червей способствуют прорастанию семян



копролиты

Копролиты - образуются из почвы, которая прошла через пищеварительный тракт дождевых червей и обогатилась калием, магнием, азотом, кальцием, что необходимо для прорастания семян. Установлено, что 70% семян растений разных видов на лугах и пастбищах прорастает из копролитов дождевых червей, при этом вид растения и вид дождевого червя не имеет значения (Grant, 1983; Eisenhauer et al., 2008, 2009).

Роль копролитов дождевых червей

Формируют агрегированную структуру почвы

Препятствуют эрозии почвы

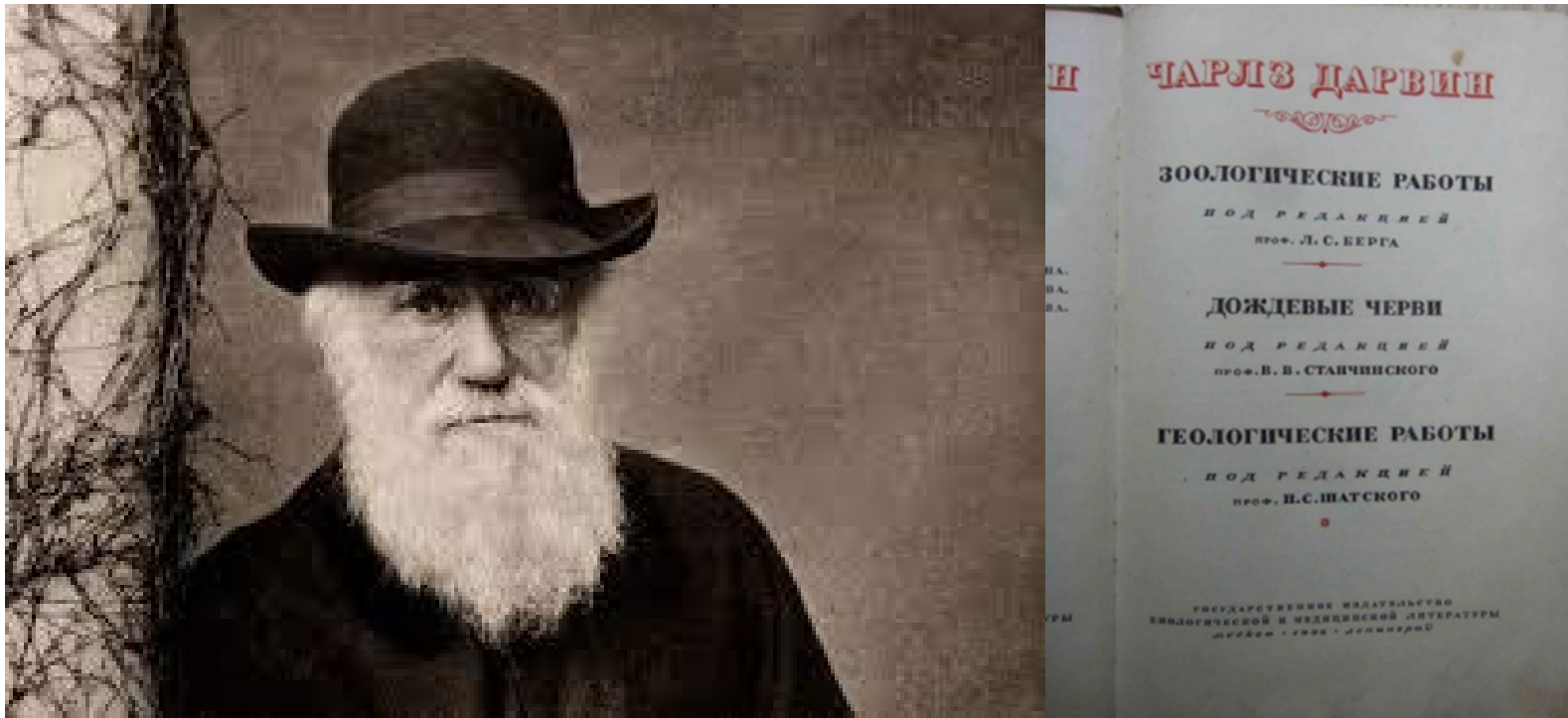
Формируют «углеродные ловушки» в почве

Способствуют прорастанию семян – в особенности орхидных и грушанковых. *Lumbricus terrestris* в Голландии на лугах выносит на поверхность 60-100 семян на м² ежегодно. В копролитах лугов найдены семена 26 видов растений (Добровольский, Чернов, 2011)

элемент	Ca	Mg	K	P	N(NO ₃)
верхний слой почвы	1990	162	32	9	4,7
копролиты червей	2790	492	358	67	21,9

"With Darwin, earthworms turn intelligent and become human friends"
(Brown et al. 2003)

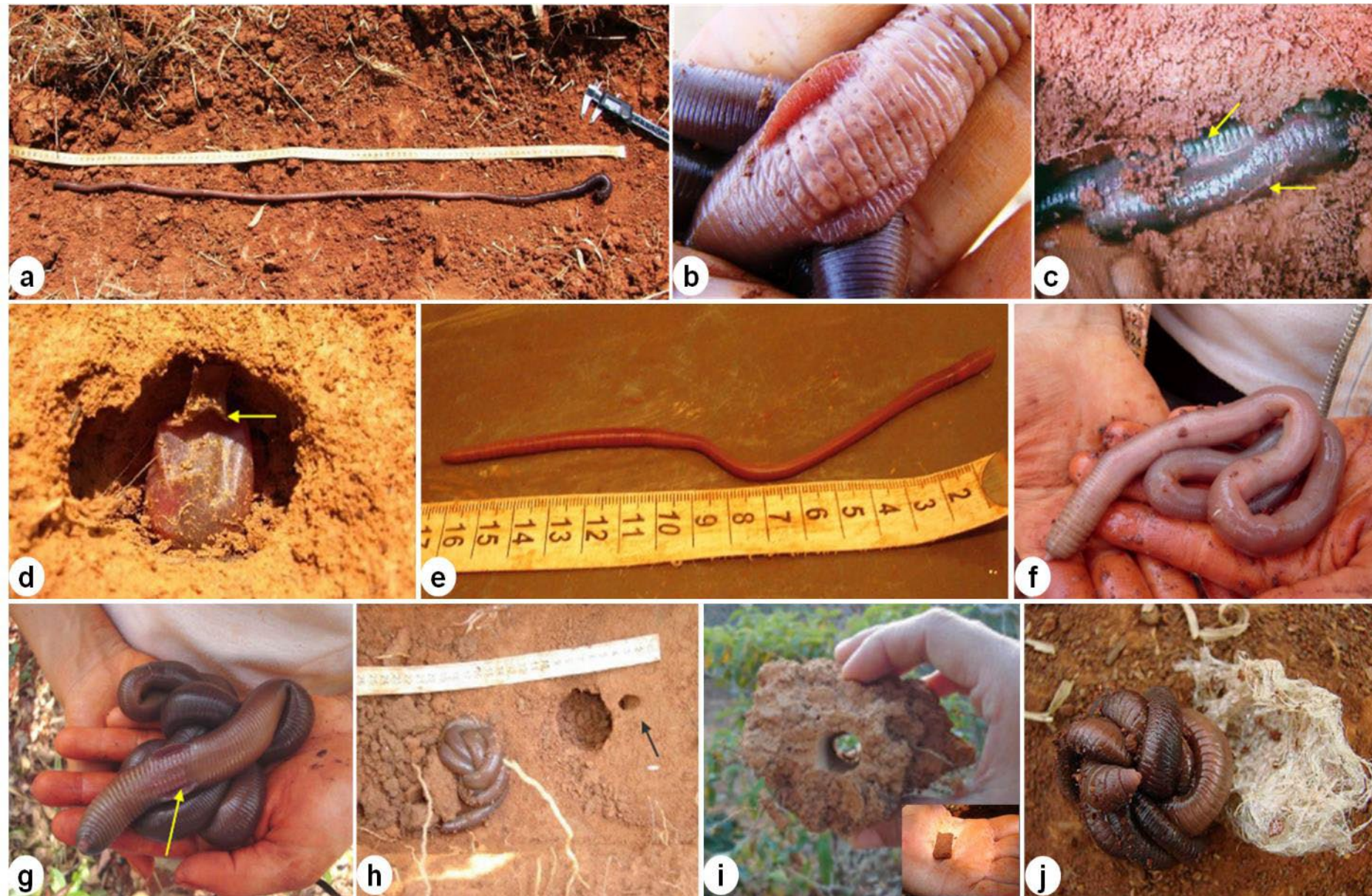
Чарльз Роберт Дарвин (1809-1882)



"Нельзя не удивиться, когда подумаешь о том, что весь растительный слой уже прошел через тело дождевых червей и через несколько лет снова пройдет через них. Плуг принадлежит к числу древнейших и имеющих наибольшее значение изобретений человека; но еще задолго до его изобретения почва правильно обрабатывалась червями и всегда будет обрабатываться ими. Весьма сомнительно, чтобы нашлись еще другие животные, которые в истории земной коры заняли бы столь видное место»
Ч. Дарвин

Дождевые черви занимали Дарвина на протяжении 50-ти лет - всей его жизни в науке. В конце 1881 года вышел его классический научный труд: "Образование растительного слоя Земли деятельностью дождевых червей и наблюдения над их образом жизни". Чарльз Дарвин написал его вместе с тремя сыновьями: Уильямом, Френсисом и Горацием. Он установил биогенный характер почв и указал на важную роль в процессе образования почв животных организмов, в частности на роль дождевых червей.

Норный червь Бразилии *Rhinodrilus alatus* (Hughes et al., 2019)



а) длина червя более одного метра

б) поясок червя

в) спаривание дождевых червей - стрелки указывают на двух особей

г) кокон внутри камеры

е) недавно родившийся дождевой червь

ф) ювенильный червь

г) взрослый человек (стрелка показывает на поясок)

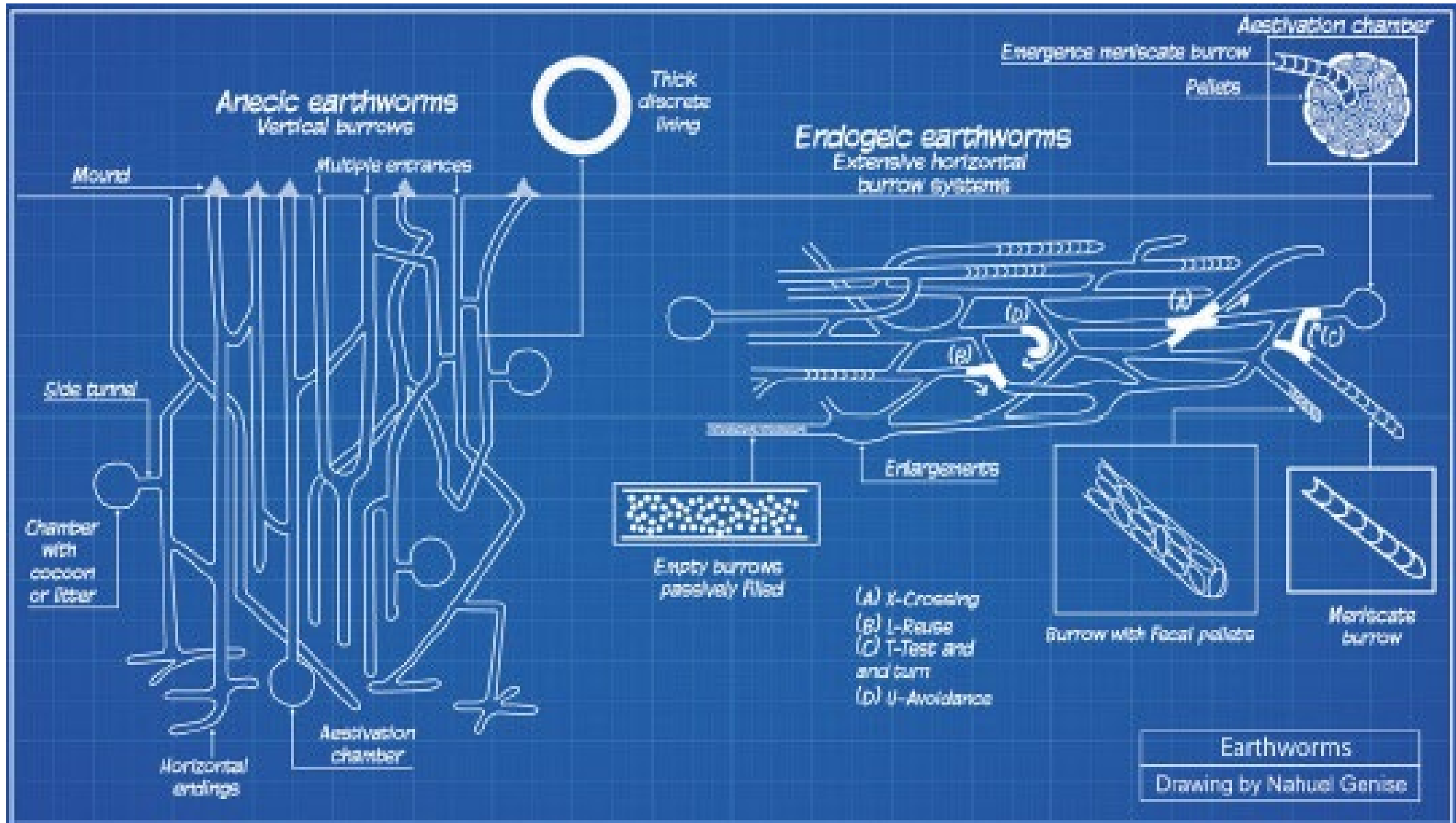
h) земляной червь удален из камеры (большая дыра) - стрелка указывает галерею, которая ведет к камере

и) ход червя

ж) дождевой червь со слизистой оболочкой, выделяемой в течение сухого сезона.

ХОДЫ РАЗНЫХ ГРУПП ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ В ПОЧВЕ

Jorge Fernando Genise, Ichnoentomology, Insect Traces in Soils and Paleosols, 2017



Муравьи



Муравьи

Муравьи относятся к экосистемным инженерам, которые изменяют потоки энергии и вещества в наземных экосистемах (Finer et al., 2013).

Подавляющее большинство видов муравьев строят гнезда в минеральной почве (глубиной до 2, иногда до 4 м), и поэтому они оказывают существенное влияние на свойства почв (Hölldobler, Wilson, 1990).



Муравьи

Древесные муравьи (группа *Formica rufa*) в бореальных и горных лесах Европы и Азии переносят органическое вещество из лесной подстилки в свои гнезда и из гнезд обратно в лесную подстилку, от крон деревьев к гнездам (Punntila, Kipelainen, 2009). Созданию насыпей муравьями рода *Formica* уделено много внимания из-за их большого обилия в бореальных лесах. Древесные муравьи влияют на обилие и распространение многих лесных беспозвоночных и позвоночных в лесах, в лесных подстилках, почвах, на деревьях.



Термиты

Термиты – общественные насекомые с неполным превращением, инфраотряд в составе тараканообразных.

Как и все общественные насекомые, термиты живут в колониях, число зрелых особей в которых может достигать от нескольких сотен до нескольких миллионов и состоящих из каст.

Термиты важны в первую очередь для почв **тропиков**. Термиты из частичек почвы строят термитники таких размеров, что в них может укрыться слон. В засушливых местах термиты способны на несколько десятков метров проделывать ходы в глубь земли, чтобы достать грунтовые воды. Вместе с водой они извлекают необходимые для питания химические элементы и, доставая их на поверхность почв, увеличивают плодородие.

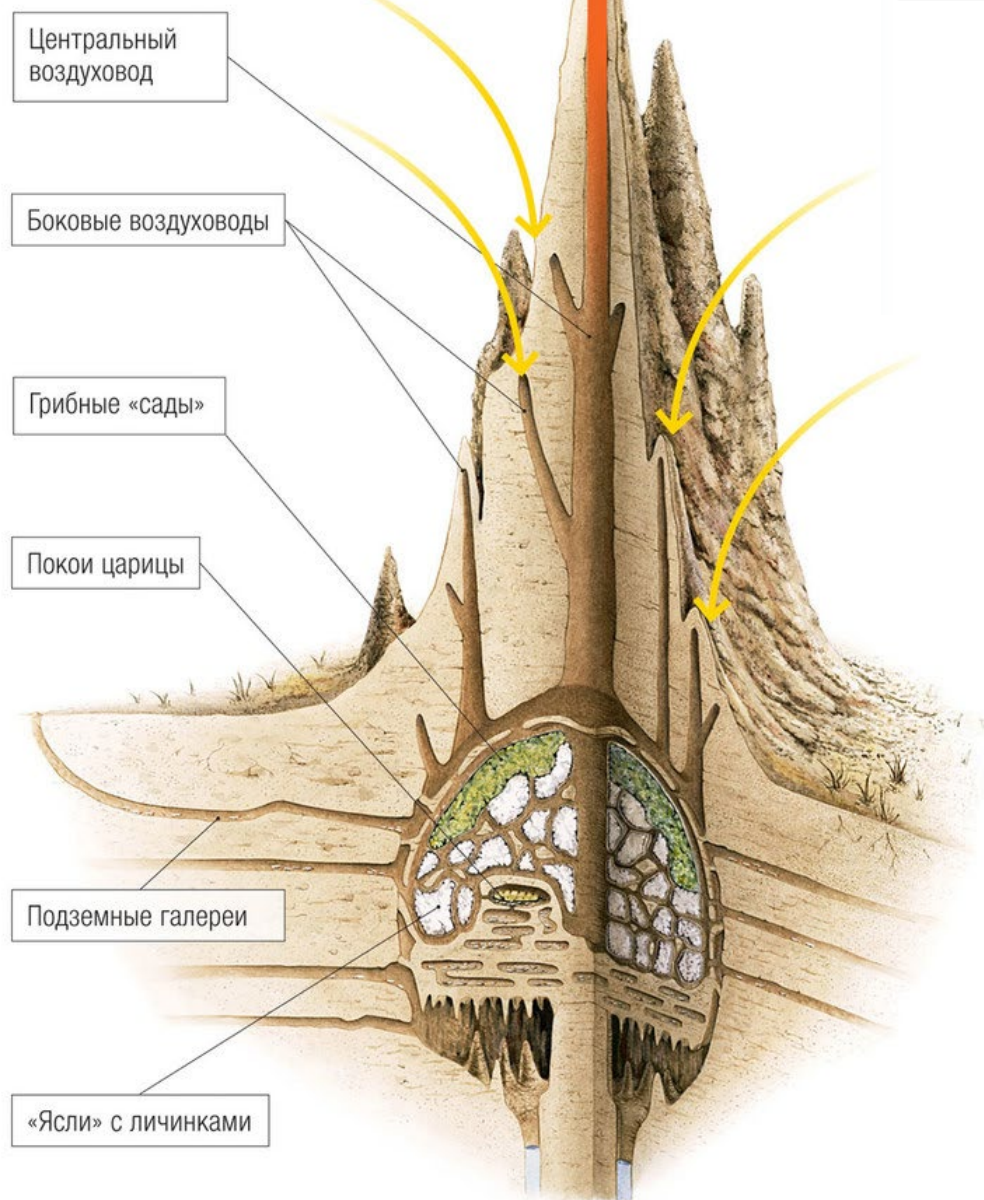


Термиты



Термитники— это целые города, достигающие 10 м в высоту и 15 м в диаметре, с бесчисленными туннелями и коридорами, залами и галереями.

Термитник. Город-башня



Термиты добавляют парниковых газов планете

Марина Кочетова

Новое международное исследование, опубликованное в журнале Science, в котором приняли участие ученые Западного Сиднея (Австралия), показало решающую роль в мировых экосистемах: ожидается, что их роль будет возрастать с повышением температуры.

НОВОСТИ НАУКИ

Термиты помогают тропическим лесам восстанавливаться после засухи

14.01.2019 • ЕЛЕНА НАЙМАРК • ЭНТОМОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ • 6 КОММЕНТАРИЕВ



ПОСЛЕДНИЕ НОВОСТИ

У разных животных действия управляются разными нейронами

20.11 • ЕЛЕНА НАЙМАРК

SCIENCE

Termites mitigate the effects of drought in tropical rainforest

Международная команда экологов отправилась на остров Борнео для изучения факторов устойчивости тропического леса во время засухи. В ходе широкомасштабного полевого эксперимента ученые проверили гипотезу о влиянии термитов на стрессоустойчивость лесной растительности. Убрав значительную долю термитов на выбранных площадках, они показали, что деятельность термитов способствует сохранению влаги в почве, увеличивает циркуляцию необходимых растениям элементов, а также увеличивает выживаемость проростков растений, в частности лиан.

Гипотеза «функциональной избыточности»

Представления о видовой и функциональной избыточности почвенной биоты



В 1 кубическом метре почвы хвойно-широколиственных лесов России обитает более 1000 видов животных общей численностью более 10 миллионов

Open Access | Published: 23 November 2015

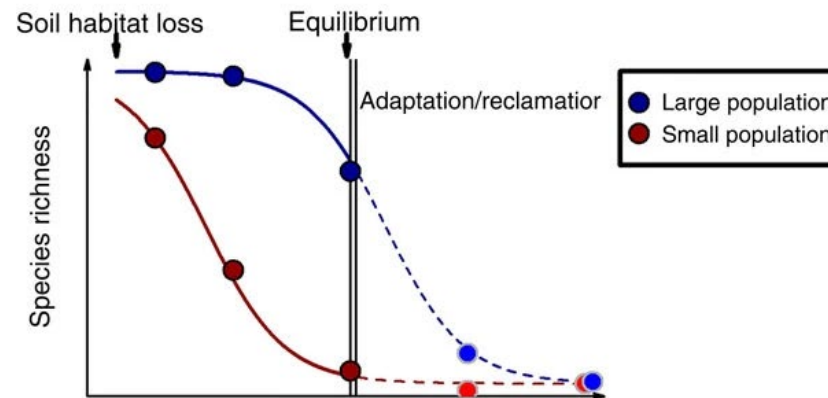
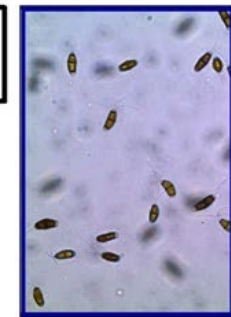
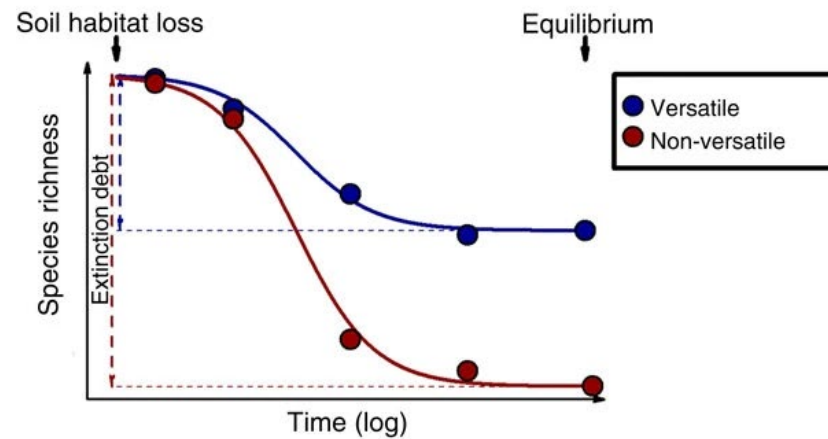
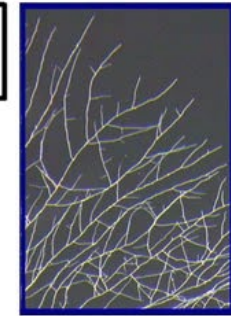
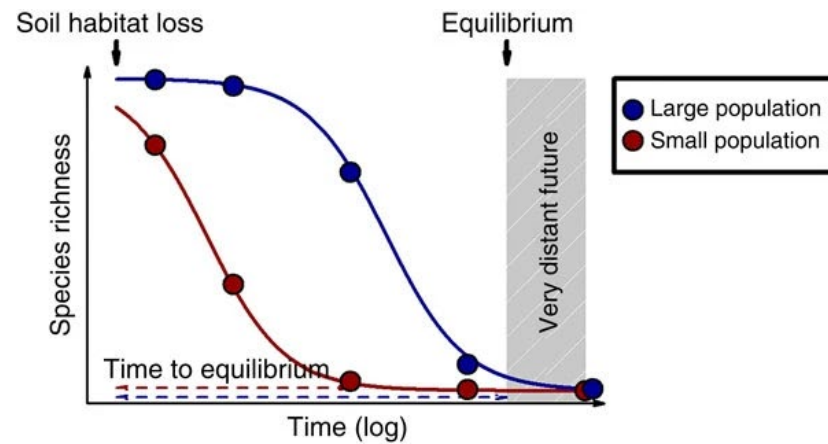
Extinction risk of soil biota

Stavros D. Veresoglou, John M. Halley & Matthias C. Rillig

Nature Communications 6, Article number: 8862 (2015) | Cite this article

2812 Accesses | 77 Citations | 97 Altmetric | Metrics

В настоящее время гипотеза избыточности все чаще ставится под сомнение (Ayres, et al., 2009; Maestre et al., 2012; Veresoglou et al., 2015). Полевые эксперименты показывают функциональную недостаточность почвенной биоты в пределах лесных сообществ при разложении трудно разлагаемого опада (Veresoglou et al., 2015).



ЖИЗНЬ В ПОЧВЕ



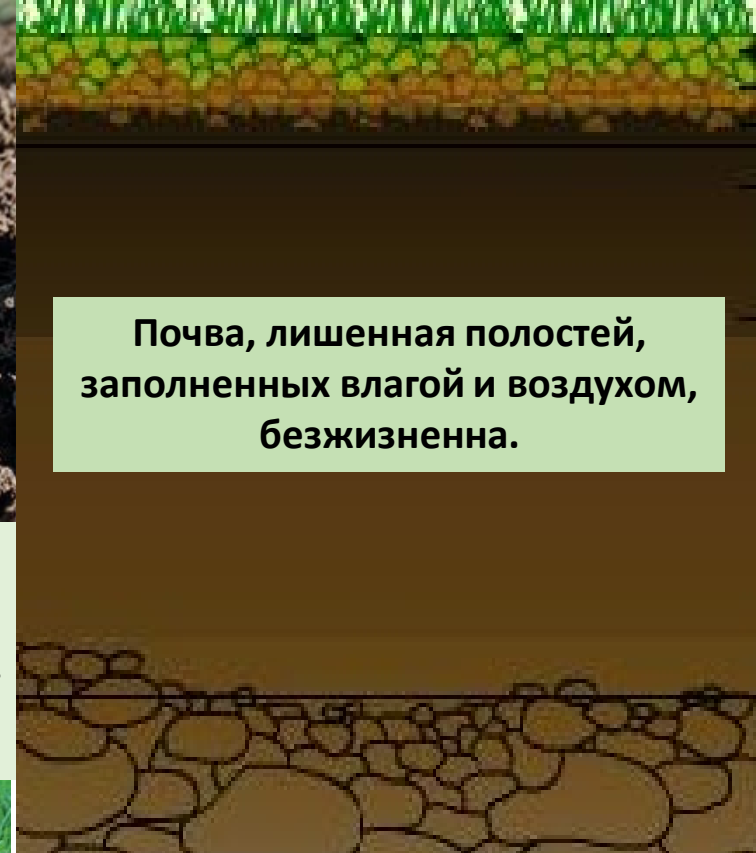
Разрез почвы, населенной кротами и дождевыми червями. Слои почвы перемешиваются, создаются системы ходов и полостей.



Дождевые черви или люмбрициды (на территории России большинство червей принадлежит семейству Lumbricidae) – основная часть пищевого рациона кротов.



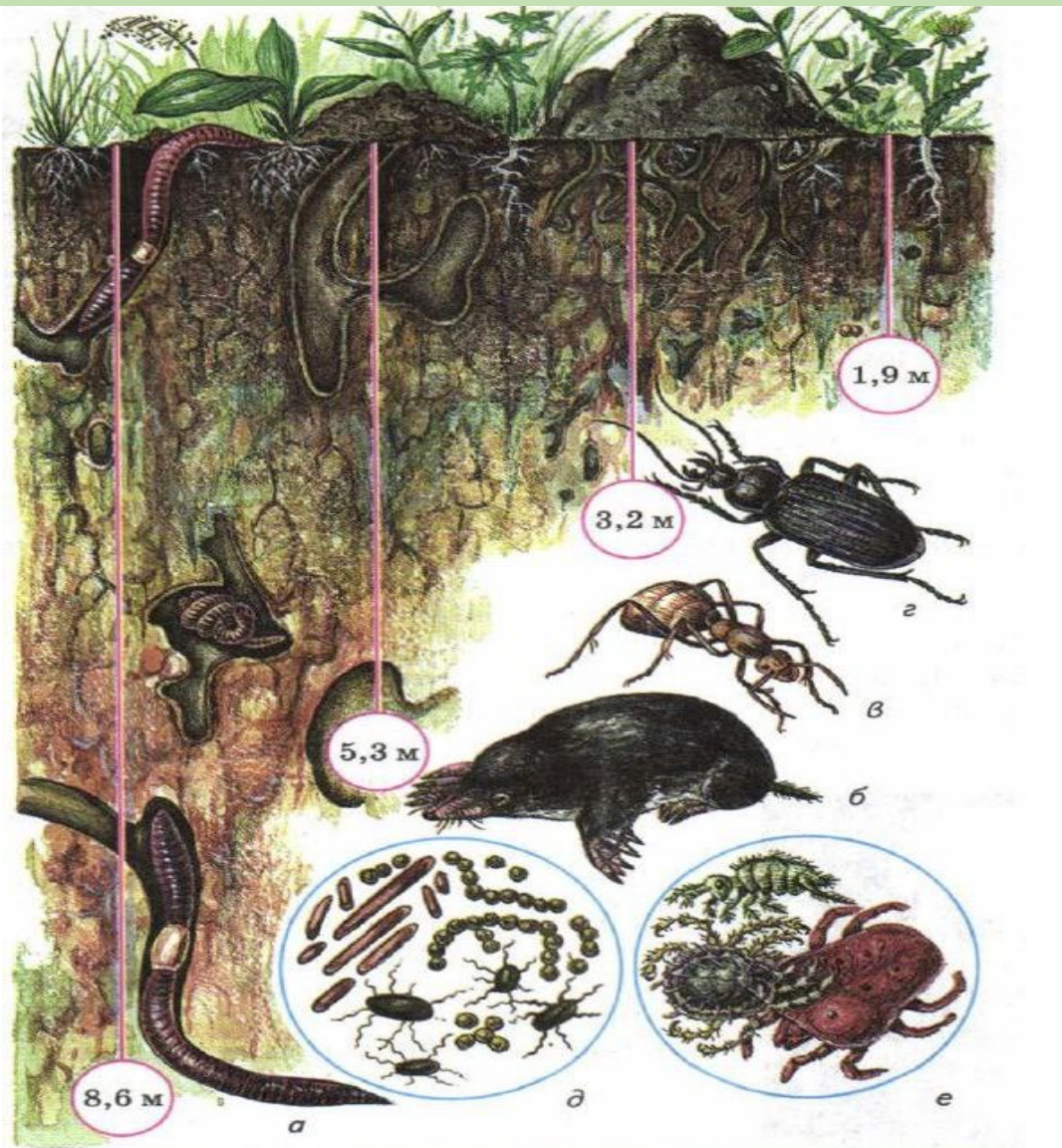
Кротовина в лесу



Почва, лишенная полостей, заполненных влагой и воздухом, безжизненна.

«люмбрицидная» или «кротовая пустыня»-признак техногенных почв вблизи крупных промышленных производств (Воробейчик, Нестеркова, 2015) или избыточного использования минеральных удобрений в сельском хозяйстве.

ЖИЗНЬ В ПОЧВЕ



Мощная лесная подстилка - верхний горизонт почвы с благоприятным гидротермическим режимом, обилием пищевых ресурсов и физического пространства - служитместищем более 1500 видам. Экологическая устойчивость и нормальное функционирование организмов базируется на их **множественности** и способности к **частичной взаимозаменяемости**). Чем сложнее система взаимодействующих существ, тем она устойчивее к воздействию неблагоприятных факторов, в том числе антропогенных (Булахов, 1973; Емельянов И.Г. 1994; 1999; Чернова, 1991; Булахов и др., 2003). *Конкуренция возникает только при недостатке ресурсов (Ганин, 2006; Стриганова, 2006).*

Возможна ли взаимозаменяемость групп почвенной биоты в современных почвах?

В настоящее время известна роль почвенной биоты, в особенности крупных экосистемных инженеров (дождевые черви, муравьи, термиты), как в создании среды обитания для огромного числа мелких организмов (мезофауны, грибов, бактерий), так и в пространственном и временном распределении жизненно важных ресурсов (воды, питательных веществ) (Whitford, 1996). Трофическая, локомотрная и, в целом, средообразующая деятельность «экосистемных инженеров» уникальна, но в то же время масштабна и значима, и несмотря на высокое таксономическое разнообразие почвенных беспозвоночных в современных почвах **может не быть функциональных эквивалентов крупным почвенным «экосистемным инженерам».**

**Почвенная фауна –
ВОЗМОЖНЫЙ КЛЮЧ К НОВЫМ УГЛЕРОДНЫМ МОДЕЛЯМ**

Дождевые черви смягчают изменения климата и формируют

«climate-smart soils»

литым почва, растительный покров, почвенная фауна во время стигдийной сукцессии на участке после
образцы, Armadillo (rodents) и другой макрофауны на органическое вещество. А толстый, 1

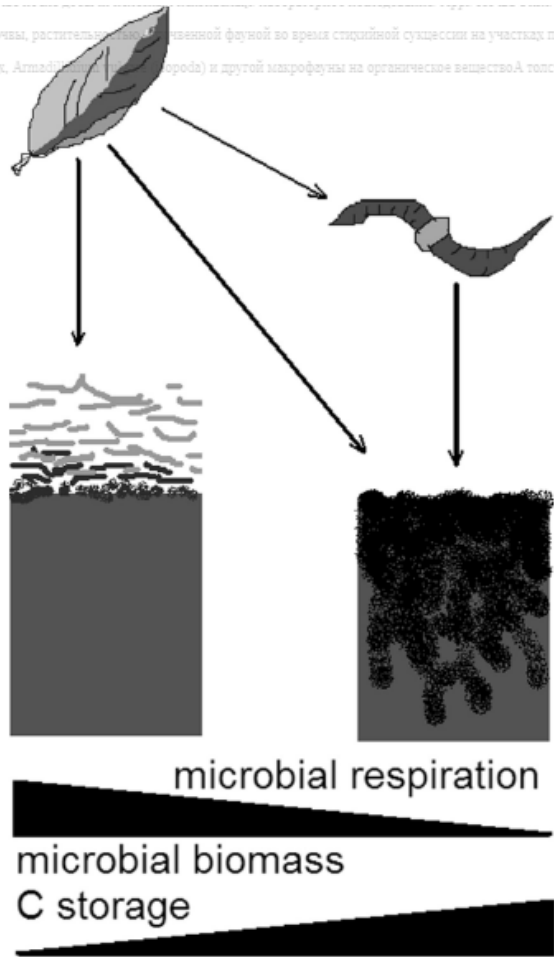


Fig. 5. Hypothetical conceptual model describing the relationships between the tree effect and fauna effect on soil properties. When the fauna effect is small, litter tends to remain on the soil surface, the Oe horizon is thick, the A horizon is thin, microbial respiration is high, and soil C storage is low. When the fauna effect is large, litter tends to be transported into the soil, the Oe horizon is thin, the A horizon is thick, microbial respiration is low, and soil C storage is high.

Frouz et al., 2013



Is the effect of trees on soil properties mediated by soil fauna?
A case study from post-mining sites

Jan Frouz^{a,*}, Miluše Livečková^b, Jana Albrechtová^c, Alica Chroňáková^d, Tomáš C. Ladišlav Háněl^d, Josef Starý^d, Petr Baldrian^e, Zuzana Lhotáková^c, Hana Šimáčková^f

^aInstitute of Environmental Studies, Charles University in Prague, Benátská 2, CZ 128 00 Prague, Czech Republic

^bDepartment of Ecosystem Biology, University of South Bohemia in České Budějovice, CZ 370 05 České Budějovice, Czech Republic

^cDepartment of Experimental Plant Biology, Charles University in Prague, Viničná 5, CZ 128 44 Prague, Czech Republic

^dInstitute of Soil Biology, Biology Centre AS CR, Na Sádkách 7, CZ 370 05 České Budějovice, Czech Republic

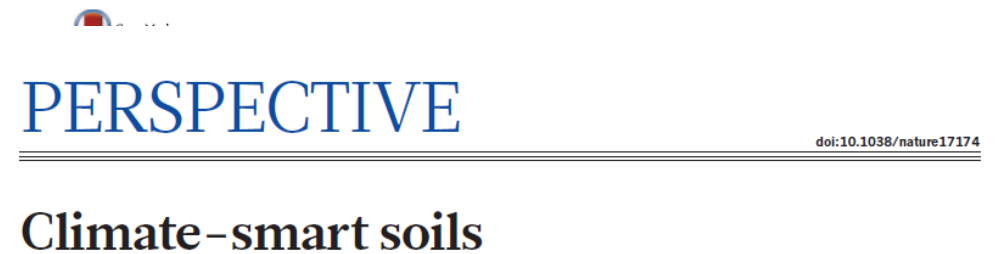
^eInstitute of Microbiology AS CR, Vědeňská 1083, CZ 142 20 Prague, Czech Republic

ARTICLE INFO

Article history:
Available online 18 March 2013

ABSTRACT

The effects of tree species differing in foliage and litter chemistry on and biological properties of soil were studied on post-mining sites a (sorce, pine, larch, oak, lime, and alder) and also on sites left to na



Keith Paustian^{1,2}, Johannes Lehmann³, Stephen Ogle^{2,4}, David Reay⁵, G. Philip Robertson⁶ & Pete Smith⁷

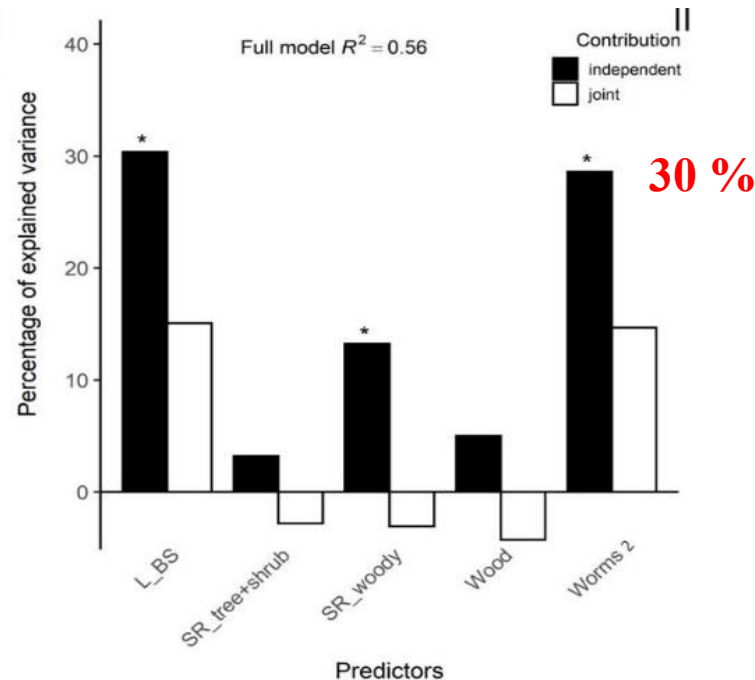
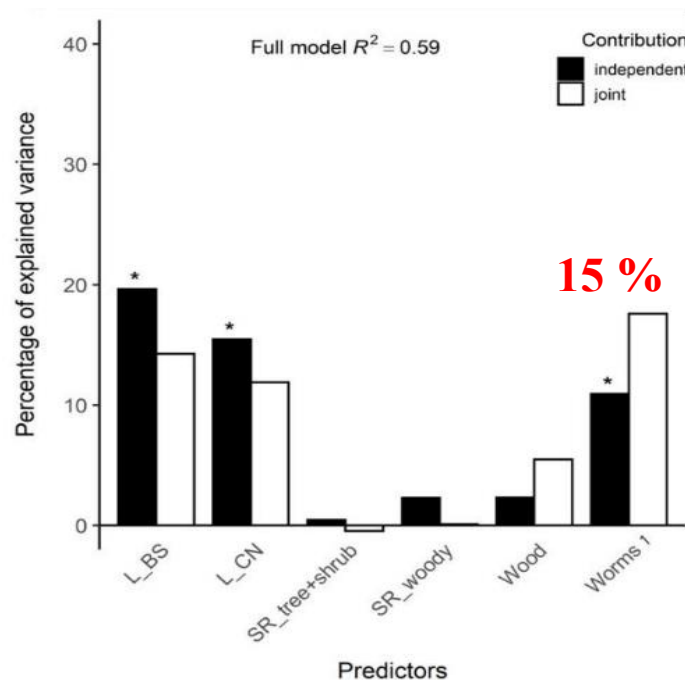
Дождевые черви ограничивают выбросы парниковых газов из почвы (Lubbers et al., 2020). Известно, что более высокое функциональное разнообразие почвенной макрофауны приводит к интенсификации разложения подстилки и закреплению углерода в почве в форме гумусовых соединений в результате трофической деятельности почвенных сапрофагов, а также биотурбации, осуществляемой, в первую очередь, дождевыми червями. В отсутствие макрофауны, в особенности дождевых червей, разложение опада осуществляется сапротрофной мезо- и микрофауной, однако это ведет к интенсификации эмиссии углекислого газа с поверхности почвы, и только деятельность дождевых червей снижает эти потери (Frouz et al., 2013).

Дождевые черви – предикторы запасов почвенного углерода

Вклад предикторов (иерархическое разложение) в:

I. запасы почвенного углерода
в органогенном горизонте почвы

II. запасы почвенного углерода
в минеральном слое (до 50 см)

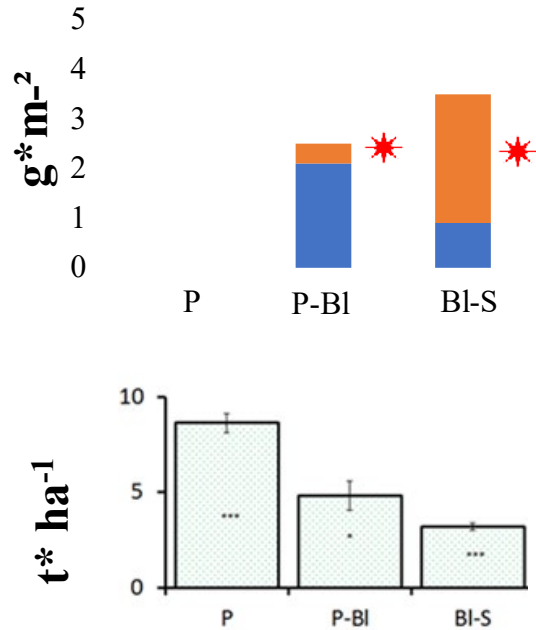


Хвойно-широколиственные леса

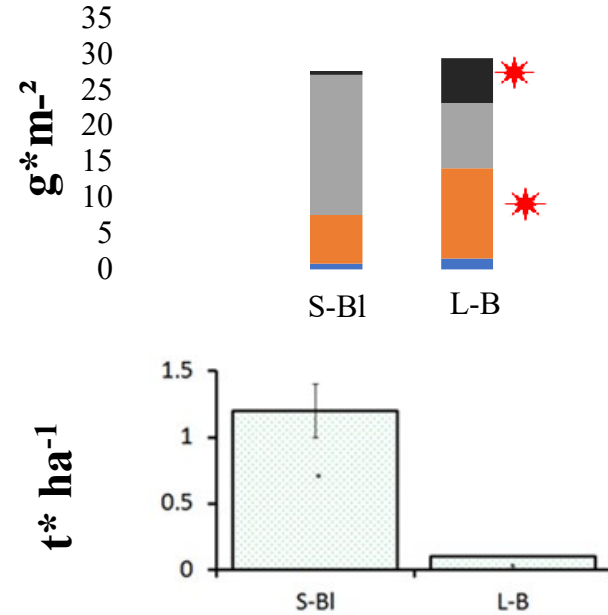
Независимые переменные: L_BS – насыщенность основаниями в подстилке; L_CN – соотношение C:N в подстилке; SR_tree+shrub – общее видовое богатство в кустарничковом и древесном ярусах; SR_woody – видовое богатство древесных растений травяного яруса; Wood - стволовая древесина; **Worm1** – функциональные группы дождевых червей, связанные с органогенным горизонтом; **Worm2** - функциональные группы дождевых червей, связанные с минеральными горизонтами почвы.

Биомасса функциональных групп дождевых червей и запасы углерода в подстилке

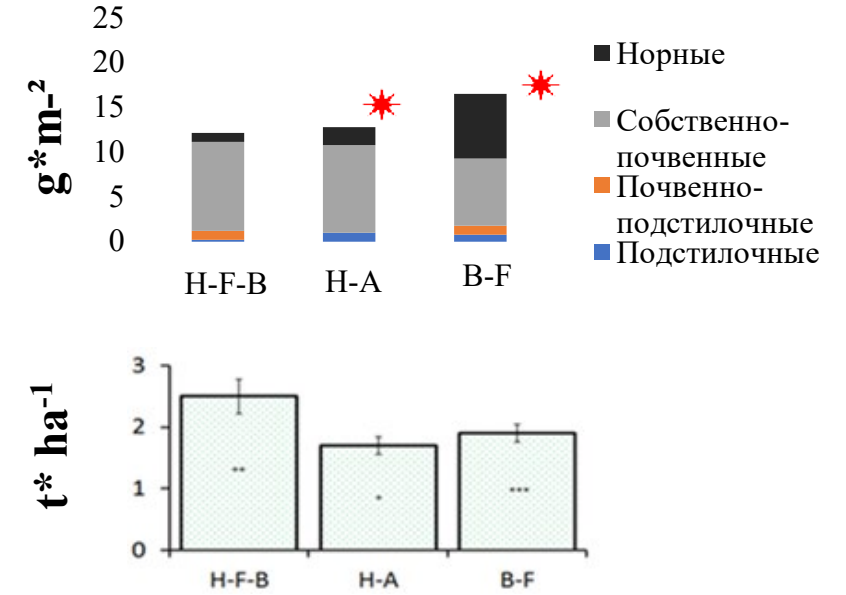
Брянское Полесье



Москворецко-Окская равнина



Северо-Западный Кавказ



- Норные
- Собственно-почвенные
- Почвенно-подстилочные
- Подстилочные

Запас углерода в подстилке тесно и **отрицательно** связан с биомассой функциональных групп червей, перерабатывающих подстилку. *

(Гераськина, 2020; Кузнецова и др., 2022 и др.)

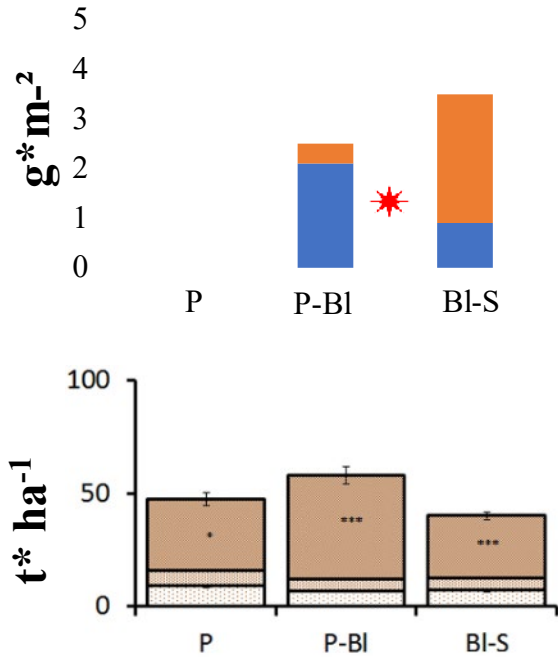
! Биологическое фракционирование подстилки

szoOH

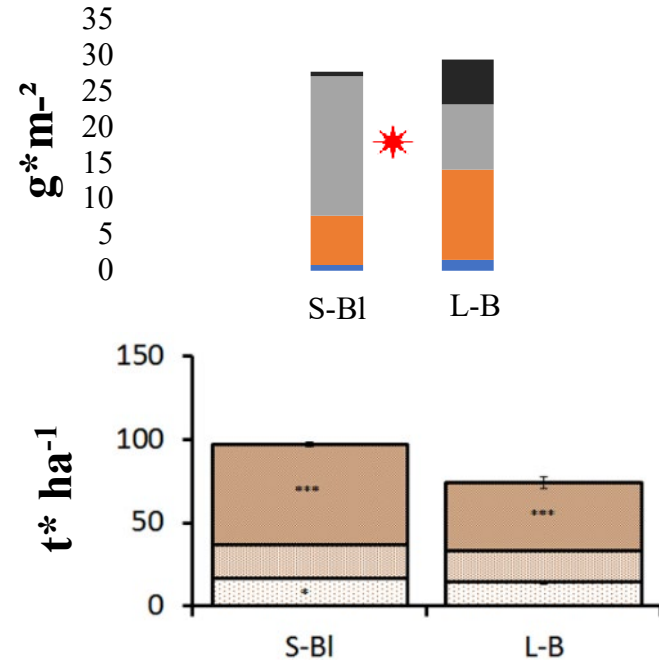


Биомасса функциональных групп дождевых червей и запасы углерода в 50-см минеральном слое

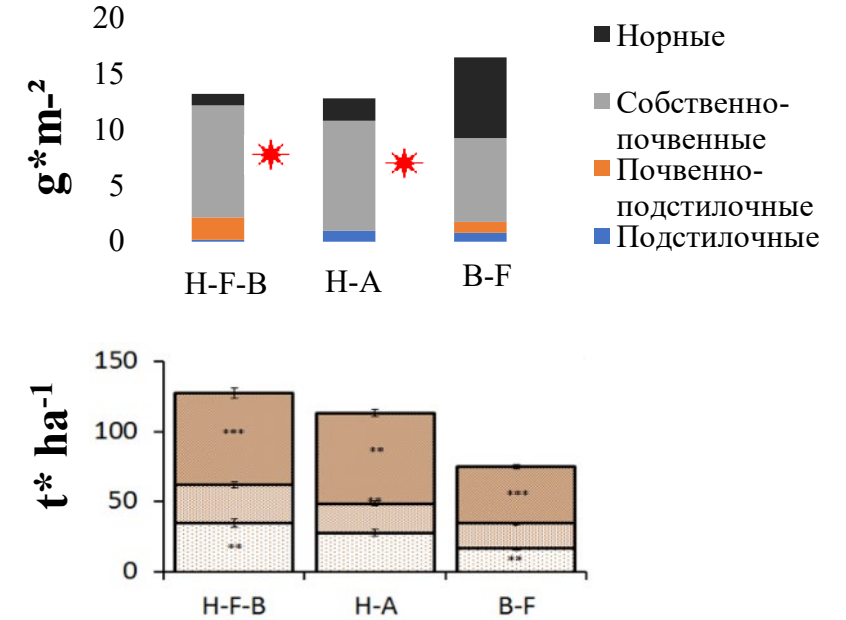
Брянское Полесье



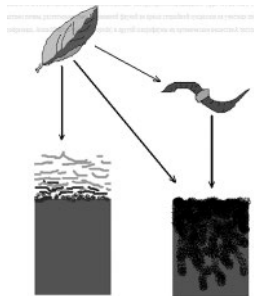
Москворецко-Окская равнина



Северо-Западный Кавказ



Запас углерода в минеральных слоях **положительно связан** с биомассой функциональных групп червей, деятельность которых связана с минеральной частью почвы. *



ДОЖДЕВЫЕ ЧЕРВИ – СПОСОБСТВУЮТ АККУМУЛЯЦИИ УГЛЕРОДА В ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВЫ, ТЕМ САМЫМ СПОСОБСТВУЮТ СМЯГЧЕНИЮ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

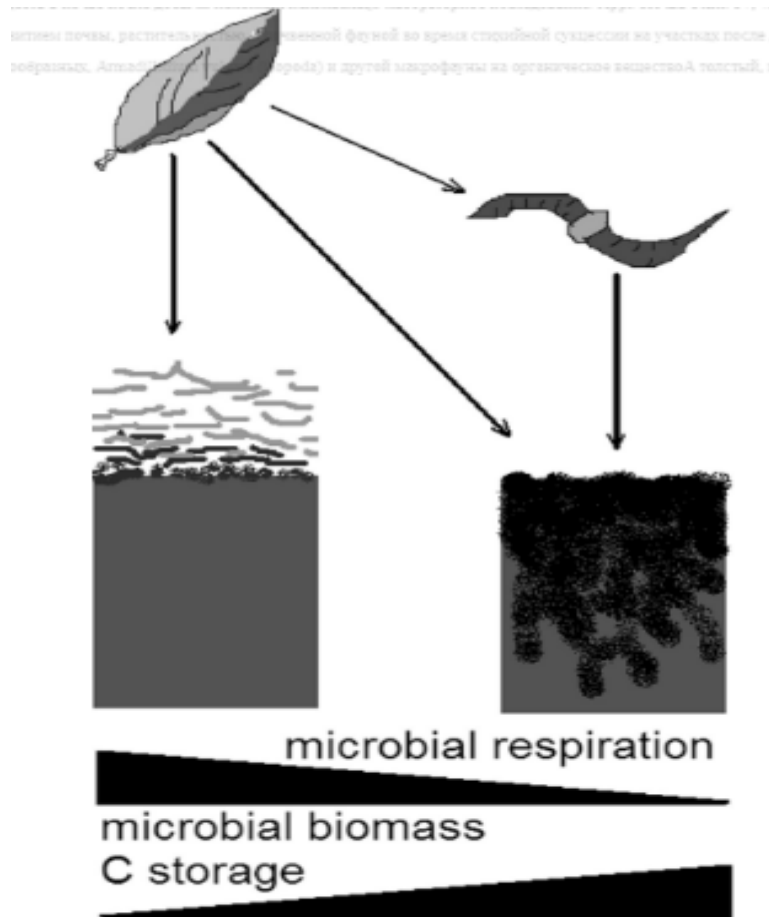


Fig. 5. Hypothetical conceptual model describing the relationships between the tree effect and fauna effect on soil properties. When the fauna effect is small, litter tends to remain on the soil surface, the Oe horizon is thick, the A horizon is thin, microbial respiration is high, and soil C storage is low. When the fauna effect is large, litter tends to be transported into the soil, the Oe horizon is thin, the A horizon is thick, microbial respiration is low, and soil C storage is high.

- ✓ Дождевые черви не только способствуют гумусообразованию, но и обеспечивают горизонтальную и вертикальную миграцию соединений углерода в почвенном профиле в результате активной биотурбации.
- ✓ Дождевые черви вносят большой вклад в цикл азота. Через популяции дождевых червей проходит около 40% всего азота, ежегодно поглощаемого растениями.
- ✓ Деятельность дождевых червей приводит к неравному усилению стабилизации углерода по сравнению с его минерализацией, что создает «углеродные ловушки» и приводит к повышению общего пула углерода на 22% (Bossuyt et al., 2005; Zhang et al., 2013).
- ✓ Исключение дождевых червей из почвы снижает накопление почвенного органического углерода на глубине 30–40 см до 75%, что связано с уменьшением указанной доли водоустойчивых агрегатов (Schmidt et al., 2011).
- ✓ Дождевые черви ограничивают выбросы парниковых газов из почвы (Lubbers et al., 2020).
- ✓ Почвенную фауну называют «ключом к новым углеродным моделям» (Filser et al., 2016).

RESTORATION ECOLOGY

- Восстановительная экология - это научное направление, которое использует практику обновления деградированных, поврежденных или уничтоженных экосистем и местообитаний в результате активного вмешательства человека.

«Зоологическая мелиорация» почв (середина XX века)

"Интродукция отсутствующих на данной территории видов беспозвоночных-почвообразователей - технически самый простой и эффективный прием зоологической мелиорации почв" М.С. Гиляров

Известен успешный опыт реинтродукции дождевых червей (Евразия: СССР, Нидерланды, Германия, Польша), термитов (Африка, Азия, Австралия) и интродукции жуков-навозников (Австралия). Часто происходит непреднамеренная реинтродукция дождевых червей вместе с посадочным материалом, которая также оказывается полезной для восстановления почвенного плодородия.

При сильной деградации почв проводят комплекс мероприятий по трансплантации блоков верхних слоев почвы из близлежащих регионов, что часто способствует более быстрому и устойчивому заселению почвенной фауной восстанавливаемых территорий в сравнении с мероприятиями по реинтродукции почвенной фауны без почвы.



**Меркурий Сергеевич Гиляров
(1912-1985)**

«Rewilding» почвенной биоты, XXI век

AUTHOREA

Rewilding with invertebrates and microbes to restore ecosystems:
present trends and future directions

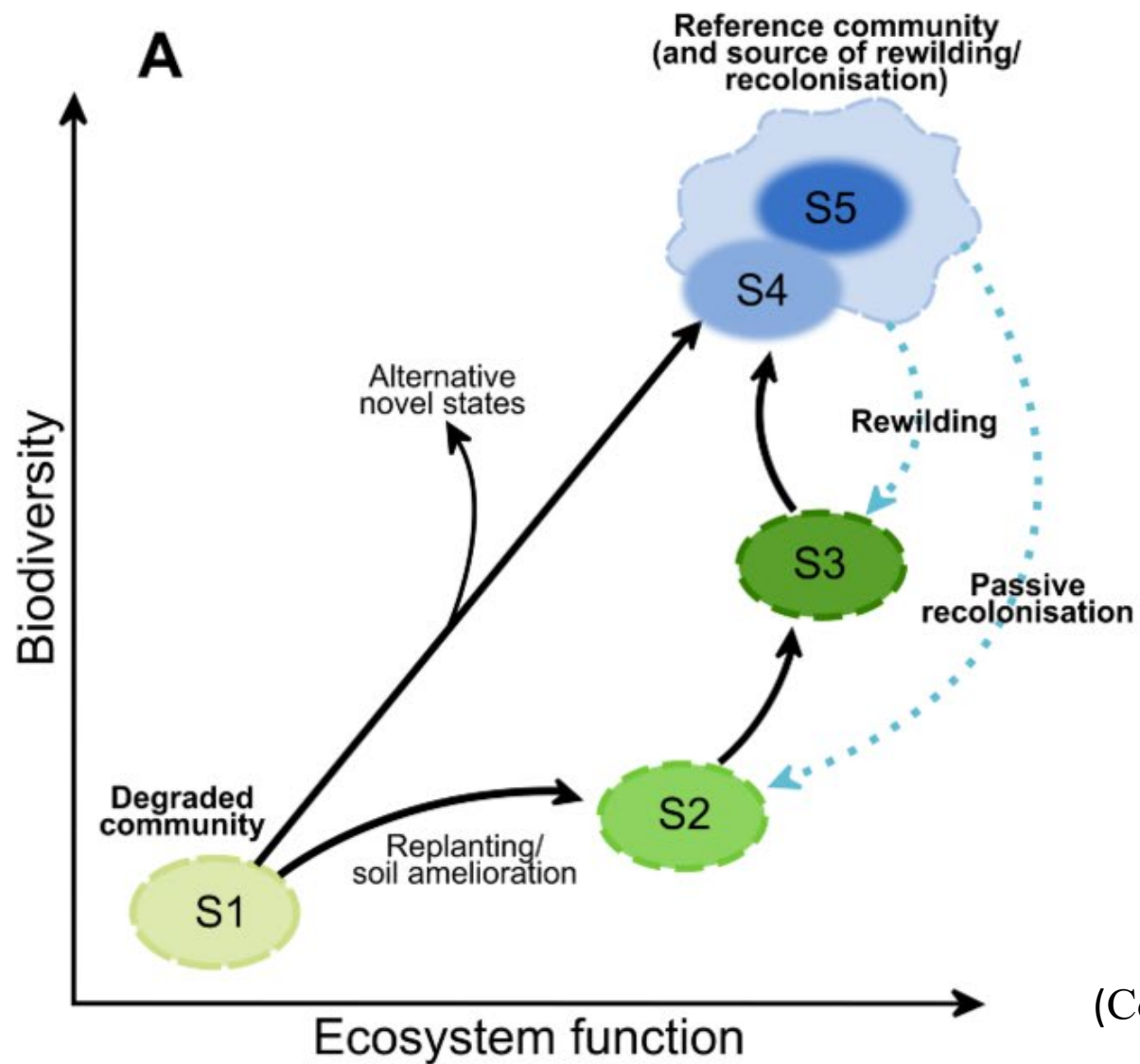
Peter Contos¹, Jennifer Wood¹, Nicholas Murphy¹, and Heloise Gibb¹

¹La Trobe University College of Science Health and Engineering

April 6, 2021

Abstract

1. Restoration ecology has historically focused on reconstructing communities of highly visible taxa whilst less visible taxa, such as invertebrates and microbes, are ignored. This is problematic as invertebrates and microbes make up the vast bulk of biodiversity and drive many key ecosystem processes, yet they are rarely actively reintroduced following restoration, potentially



Этапы восстановления:

1. Постановка целей восстановления
2. Оценка траектории восстановления
3. Выбор сообществ, из которых будут взяты объекты для восстановления
4. Реинтродукция
5. Мониторинг
6. Оценка успехов восстановления

(Contos et al., 2021)

Реинтродукция зубров способствует сохранению дождевых червей и другой почвенной фауны

ВЛИЯНИЕ РЕИНТРОДУКЦИИ ЗУБРОВ НА КОМПЛЕКСЫ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ОРЛОВСКОЕ ПОЛЕСЬЕ»

А. П. Гераськина

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Россия, 127990, в. Москва, ул. Профсоюзная, 54/55д
 (Москва/Иркутская область) лаборатория энтомологии, Россия, 127994, в. Москва, ул. Николоямская 8, 8, комн. 5
 E-mail: engerskaya@yandex.ru

Л. Л. Киселева

ФГБУ Национальный парк «Орловское Полесье»,
 Россия, 309345, Орловская область, Хотинский район, пос. Нудерский, ул. Лесная, 1
 E-mail: kiseleva@yandex.ru

А. П. Карпачев

ФГБУ Национальный парк «Орловское Полесье»,
 Россия, 309345, Орловская область, Хотинский район, пос. Нудерский, ул. Лесная, 1
 E-mail: karpachev@yandex.ru



Рис. 9. Дождевые черви под экскрементами зубров:

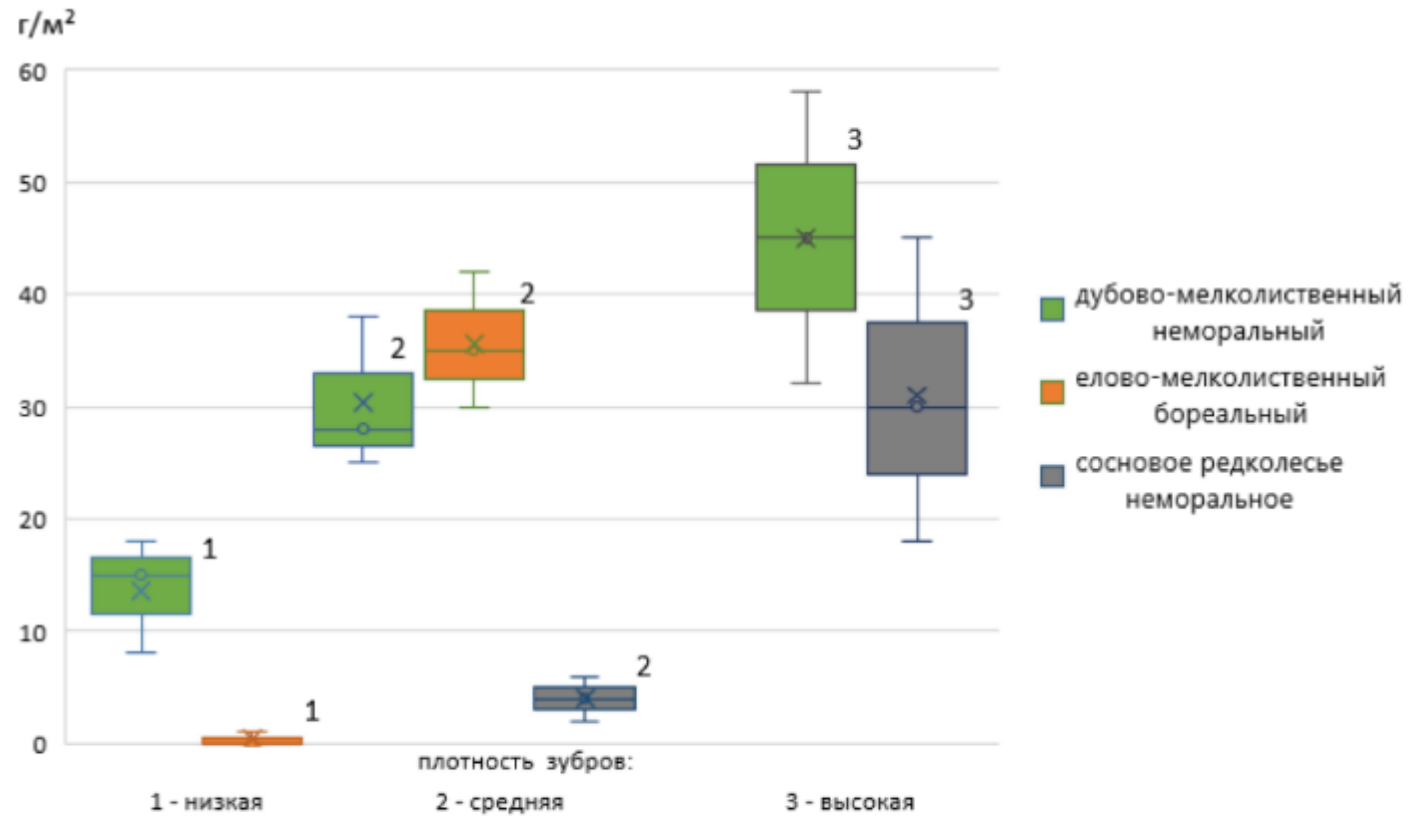


Рис. 8. Биомасса дождевых червей в лесных сообществах национального парка «Орловское Полесье» с разной плотностью зубров

Риски реинтродукции и их предотвращение

Риски	Решение
Подрыв сообществ, которые служат «донором» почвенной биоты	Минимизировать площади и объемы, изымаемых почвенных блоков, или количество беспозвоночных. «Сплошное» изъятие материала заменить на «шахматное», для более быстрого восстановления «донорных» сообществ. Искусственное разведение почвенной фауны.
Неэффективность реинтродукции (гибель реинтродуцированной биоты)	Детальные знания биологии видов и условий мест реинтродукции
Каскадные трофические эффекты при реинтродукции хищников (например, пауков) нарушение баланса между трофическими группами (пауки-моллюски)	Контроль и регуляция плотности реинтродуцированных групп, реинтродукция недостающих звеньев сообщества (не только беспозвоночных, но и позвоночных, растений с разным качеством опада)
Гибридизация между популяциями близких видов, что ставит под угрозу целостность эндемичных эволюционных линий и их сохранение	Необходимо проводить генетическую оценку внутривидового разнообразия до реинтродукции и если это невозможно, выбирать повторную интродукцию популяций из ближайшей остаточной популяции

Ревайдинг почвенной фауны должен происходить только тогда, когда естественная реколонизация кажется невозможной или чрезвычайно медленной.

Ступенчатое восстановление сообществ путем добавления отдельных видов становится все более нереалистичным и неэффективным способом в настоящее время, когда происходит стремительная утрата видов, групп, сообществ.

Эффективен перенос микрофрагментов сообществ из наиболее сохранившихся в деградированные экосистемы и их части.

При лесовосстановлении для успешной реколонизации разных групп почвенной биоты эффективны посадки смешанных культур (лиственных и хвойных), создание мозаики микросайтов (сохранение валежа, формирование окон).

Реинтродукция крупных фитофагов (например, зубров) способствует успешной реколонизации почвенной биоты.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

