



Лаборатория изучения
экологических функций
почв

Институт проблем экологии и
эволюции им. А.Н. Северцова
РАН



Экологические функции почв в оценке почвенной мультифункциональности

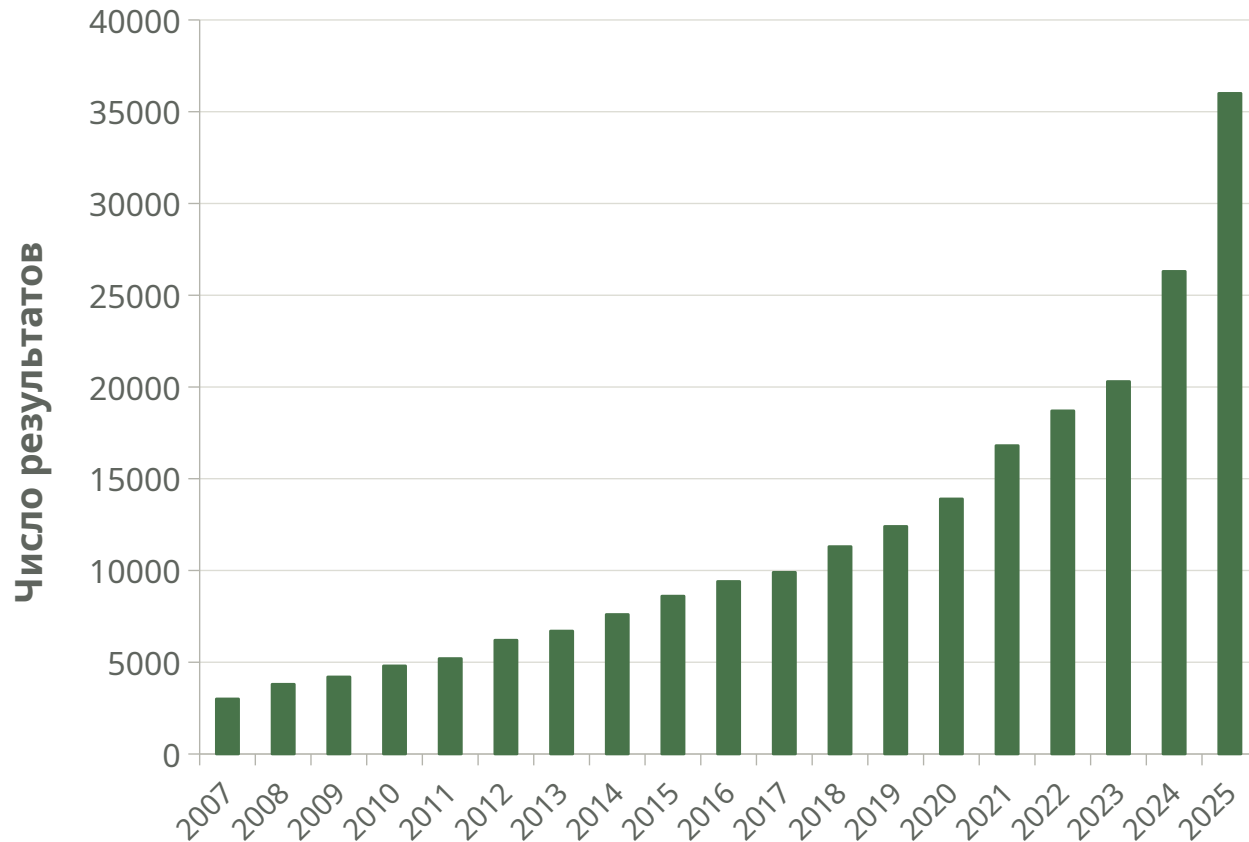
Гонгальский К.Б.¹, Дегтярёв М.И.¹, Котельникова К.В.¹, Созонтов А.Н.²,
Чернова О.В.¹, Гусева П.А.¹, Контобойцева А.А.¹, Коробушкин Д.И.¹,
Сайфутдинов Р.А.¹, Семёнова Т.А.¹, Шахаб С.В.¹, Столпникова Е.М.³,
Терехова В.А.^{1,3}, Зайцев А.С.¹

¹ Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва

² Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Мультифункциональность



Источник: Google Scholar. Поиск по термину "multifunctionality", разбивка по годам.

Термин multifunctionality (MF) применительно к экосистемам появился в начале 2000-х гг.:

- для экосистем употребили Sanderson et al. (2004)
- в названии статьи – Hector & Bagchi (2007)

Sanderson et al. (2004) *Crop Science*
Hector & Bagchi (2007) *Nature*

Оценка multifunctionality

Byrnes et al. (2014) *Meth. Ecol. Evol.*

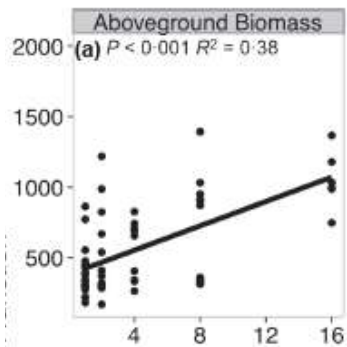
1

Отдельные функции

Каждая функция анализируется отдельно

Прямо и понятно

Нет единого показателя MF



Оценка multifunctionality

Byrnes et al. (2014) *Meth. Ecol. Evol.*

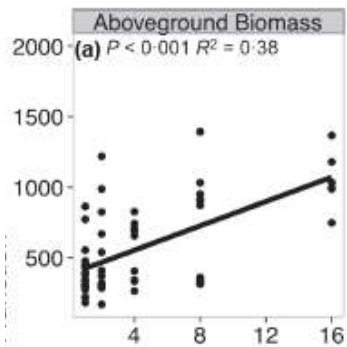
1

Отдельные функции

Каждая функция анализируется отдельно

Прямо и понятно

Нет единого показателя MF



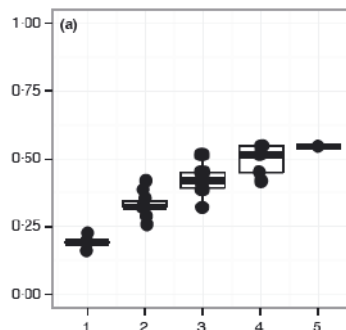
2

Оборот функций

Какие виды поддерживают разные функции?

Показывает разделение ролей между видами

Не измеряет MF напрямую; требует много данных



Оценка multifunctionality

Byrnes et al. (2014) *Meth. Ecol. Evol.*

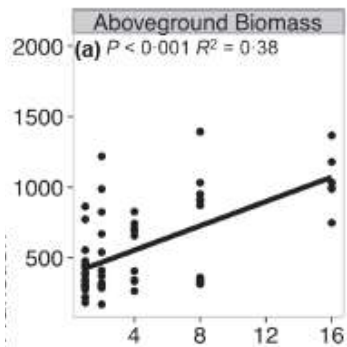
1

Отдельные функции

Каждая функция анализируется отдельно

Прямо и понятно

Нет единого показателя MF



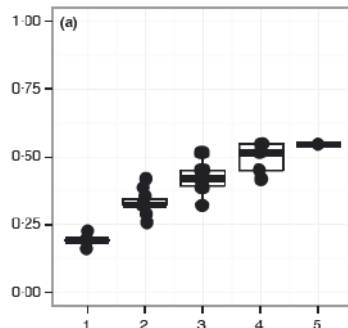
2

Оборот функций

Какие виды поддерживают разные функции?

Показывает разделение ролей между видами

Не измеряет MF напрямую; требует много данных



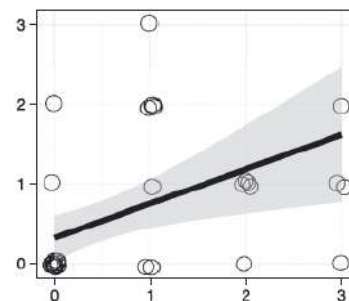
3

Усреднение функций

Стандартизация функций
→ среднее значение

Один простой интегральный индекс

Среднее скрывает дисбаланс функций



Оценка мультифункциональности

Byrnes et al. (2014) *Meth. Ecol. Evol.*

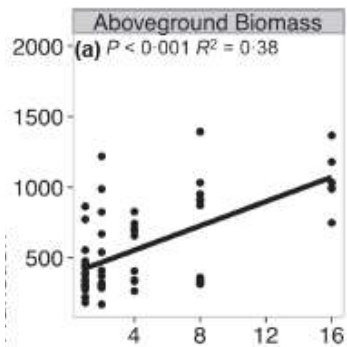
1

Отдельные функции

Каждая функция анализируется отдельно

Прямо и понятно

Нет единого показателя MF



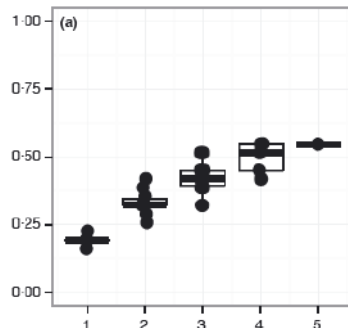
2

Оборот функций

Какие виды поддерживают разные функции?

Показывает разделение ролей между видами

Не измеряет MF напрямую; требует много данных



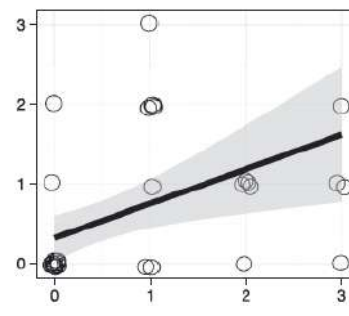
3

Усреднение функций

Стандартизация функций
→ среднее значение

Один простой интегральный индекс

Среднее скрывает дисбаланс функций



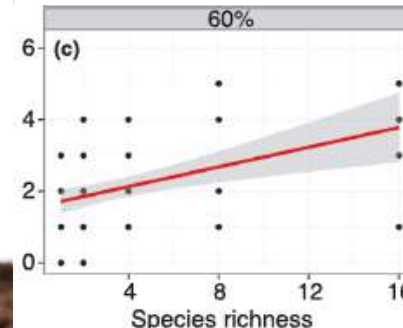
4

Единственный порог

Сколько функций выше заданного порога?

Показывает одновременное «высокое» функционирование

Выбор порога произволен



Оценка мультифункциональности

Byrnes et al. (2014) *Meth. Ecol. Evol.*

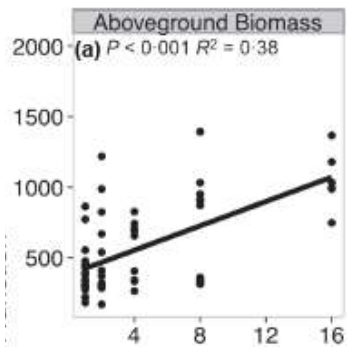
1

Отдельные функции

Каждая функция анализируется отдельно

Прямо и понятно

Нет единого показателя MF



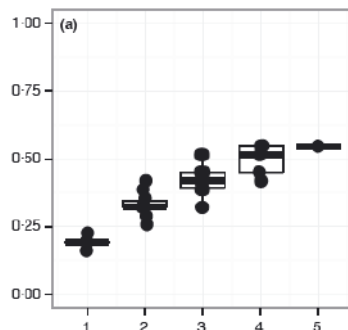
2

Оборот функций

Какие виды поддерживают разные функции?

Показывает разделение ролей между видами

Не измеряет MF напрямую; требует много данных



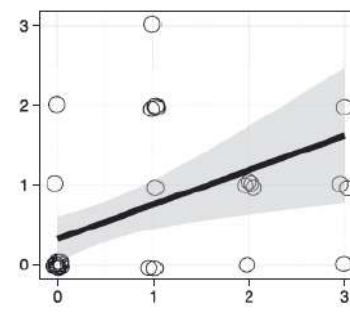
3

Усреднение функций

Стандартизация функций
→ среднее значение

Один простой интегральный индекс

Среднее скрывает дисбаланс функций



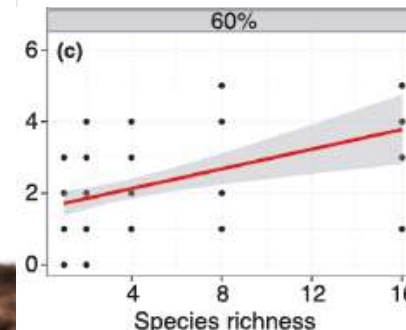
4

Единственный порог

Сколько функций выше заданного порога?

Показывает одновременное «высокое» функционирование

Выбор порога произволен



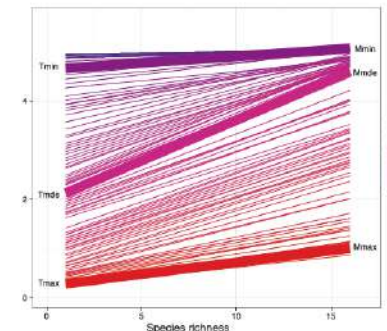
5

Множественные пороги

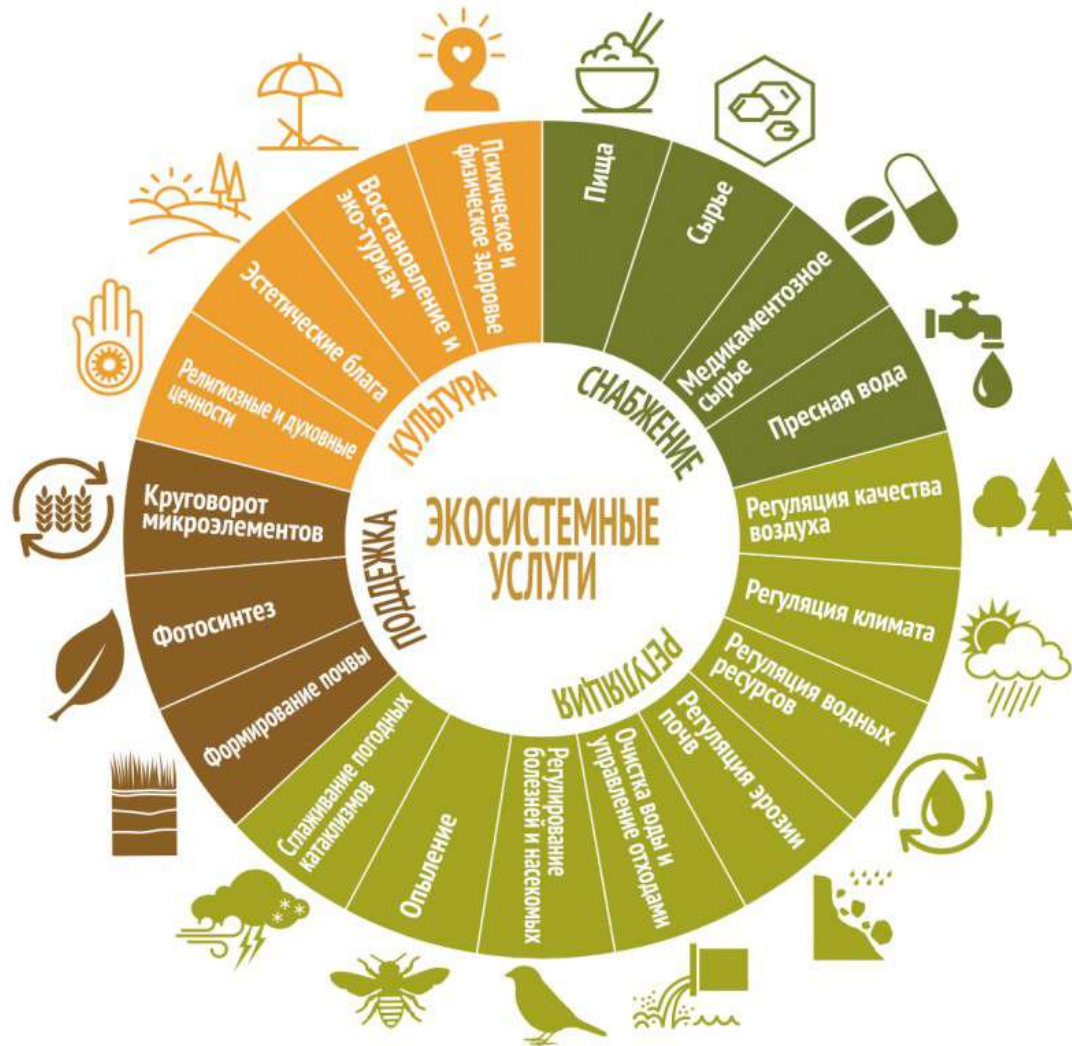
MF оценивается по всему диапазону порогов

Показывает, как эффект меняется с уровнем функции

Результат — кривая, а не одно число



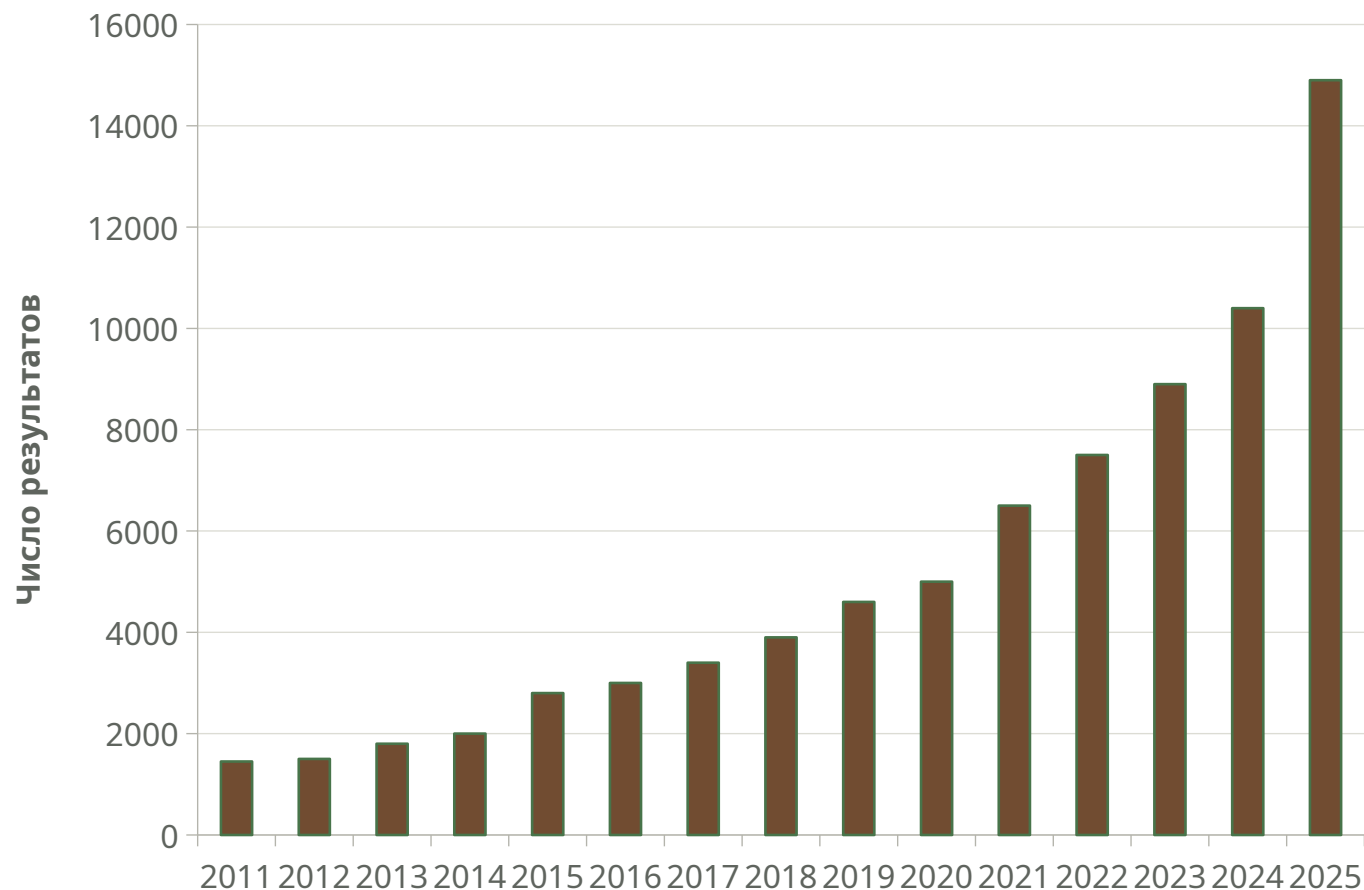
Экосистемные услуги



Экосистемные услуги — это полезные блага и функции, которые люди бесплатно получают от нормально функционирующих природных экосистем (лесов, рек, болот, полей)

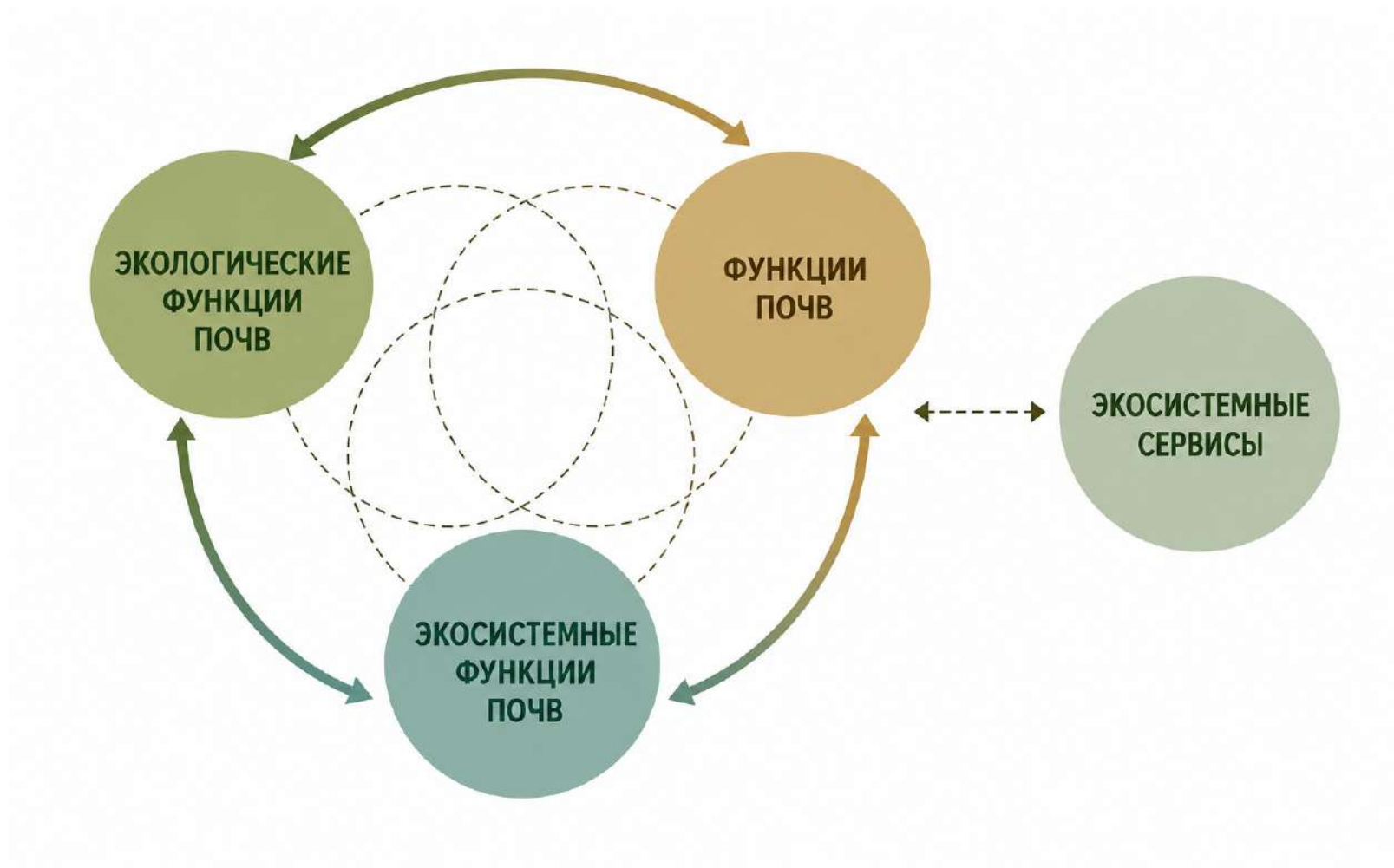
FAO (2000)

Мультифункциональность почв



Источник: Google Scholar. Поиск по термину "soil multifunctionality", разбивка по годам.

(Экосистемные?) функции почв

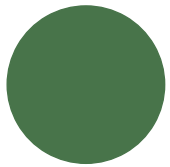


Подходы к классификации функций почв

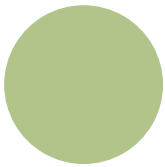
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ПОЧВ

I. БИОГЕОЦЕНОТИЧЕСКИЕ (экосистемные, локальные)

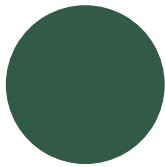
реализуются на уровне отдельной экосистемы



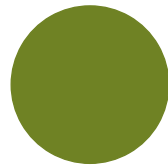
Физическ
е



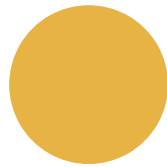
Химически
е и
физ.-хим.



Информа-
ционные



Целостные

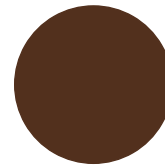


Почвенное
плодороди
е

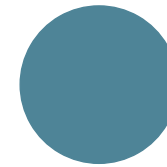
жизненное пространство • питание и депонирование
• «память» биогеоценоза • трансформация вещества
и энергии

II. ГЛОБАЛЬНЫЕ (биосферные)

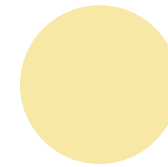
проявляются на уровне геосфер и биосферы



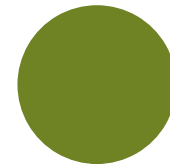
Лито-
сфера



Гидро-
сфера



Атмо-
сфера



Биосфера

преобразование литосферы • регулирование вод •
газообмен и климат • поддержание жизни и
круговоротов

Добровольский и Никитин (1986)

Подходы к классификации функций почв



Функция описывает, что почва способна обеспечивать;
конкретные измеряемые параметры служат индикаторами этой способности

Soil Framework Directive (CEC, 2006)



Подходы к классификации функций почв

Поддержание экосистем



Биомасса • круговорот и очистка • биоразнообразие
• углерод

Ресурсы и среда для общества



Пространство для деятельности • сырьевые ресурсы

Память ландшафта



Сохранение геологического и археологического наследия

Функция описывает, что почва способна обеспечивать;
конкретные измеряемые параметры служат индикаторами этой способности

Soil Framework Directive (CEC, 2006)



План доклада

I. Что такое экологические функции почв

II. Как экологические функции почв используются в оценке мультифункциональности почв

III. Перспективы изучения экологических функций почв

I. Что такое экологические функции почв

Методы

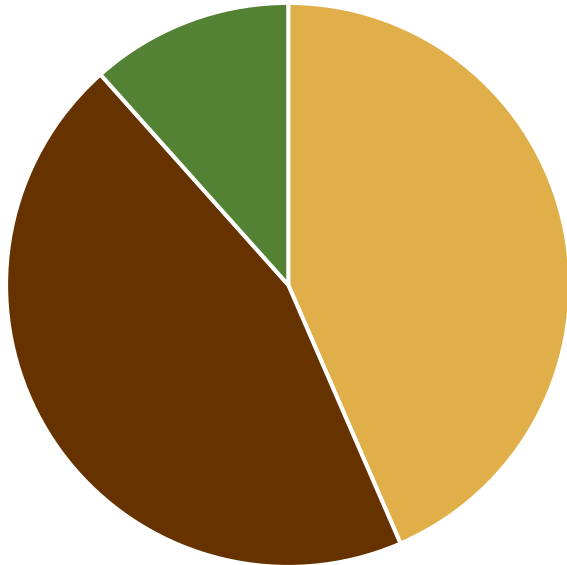
- Для анализа было случайным образом отобрано 138 статей, по 69 статей в каждом из двух ключевых слов (soil functions, soil multifunctionality).
- Из них 22 были опубликованы в период с 2003 по 2016 год, а 116 — в период с 2017 по 2025 год.

Понимание экосистемных функций почв

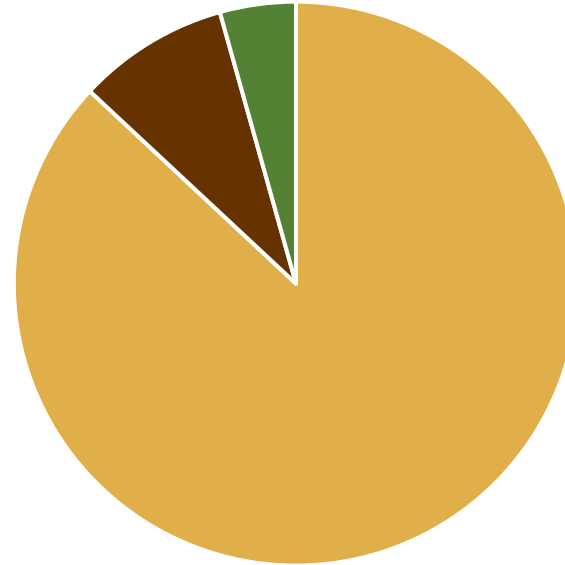


Понимание экосистемных функций почв

"Soil multifunctionality"



"Soil functions"



- Functions = capabilities
- Functions = factors
- Mix/neither

Как авторы статей понимают функции почв?

- Слева: среди статей, найденных по запросу "многофункциональность почвы".
- Справа: среди статей, найденных по запросу "функции почвы".

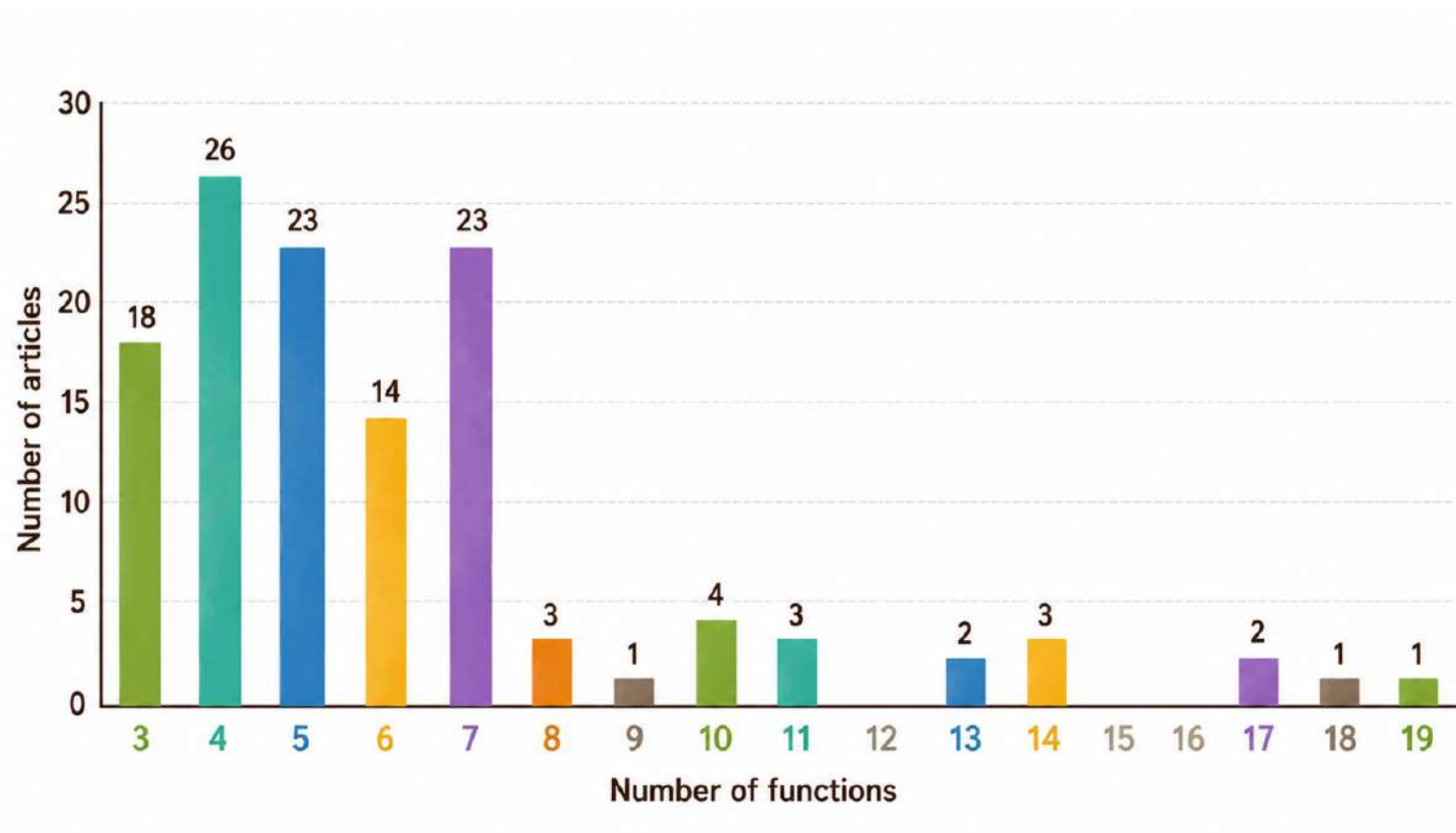
Понимание экосистемных функций почв



Наиболее часто используемые функции почвы (подход «функции = возможности»).

1. Хранение, фильтрация и преобразование химических соединений
2. Хранение, фильтрация и преобразование воды
3. Поддержание круговорота углерода и регулирование климата
4. Резервуар биоразнообразия
5. Производство биомассы
6. Источник сырья
7. Архив информации
8. Платформа для человеческой деятельности
9. Почвообразование и сохранение почвы
10. Физическая поддержка
11. Регулирование болезней и вредителей

Понимание экосистемных функций почв



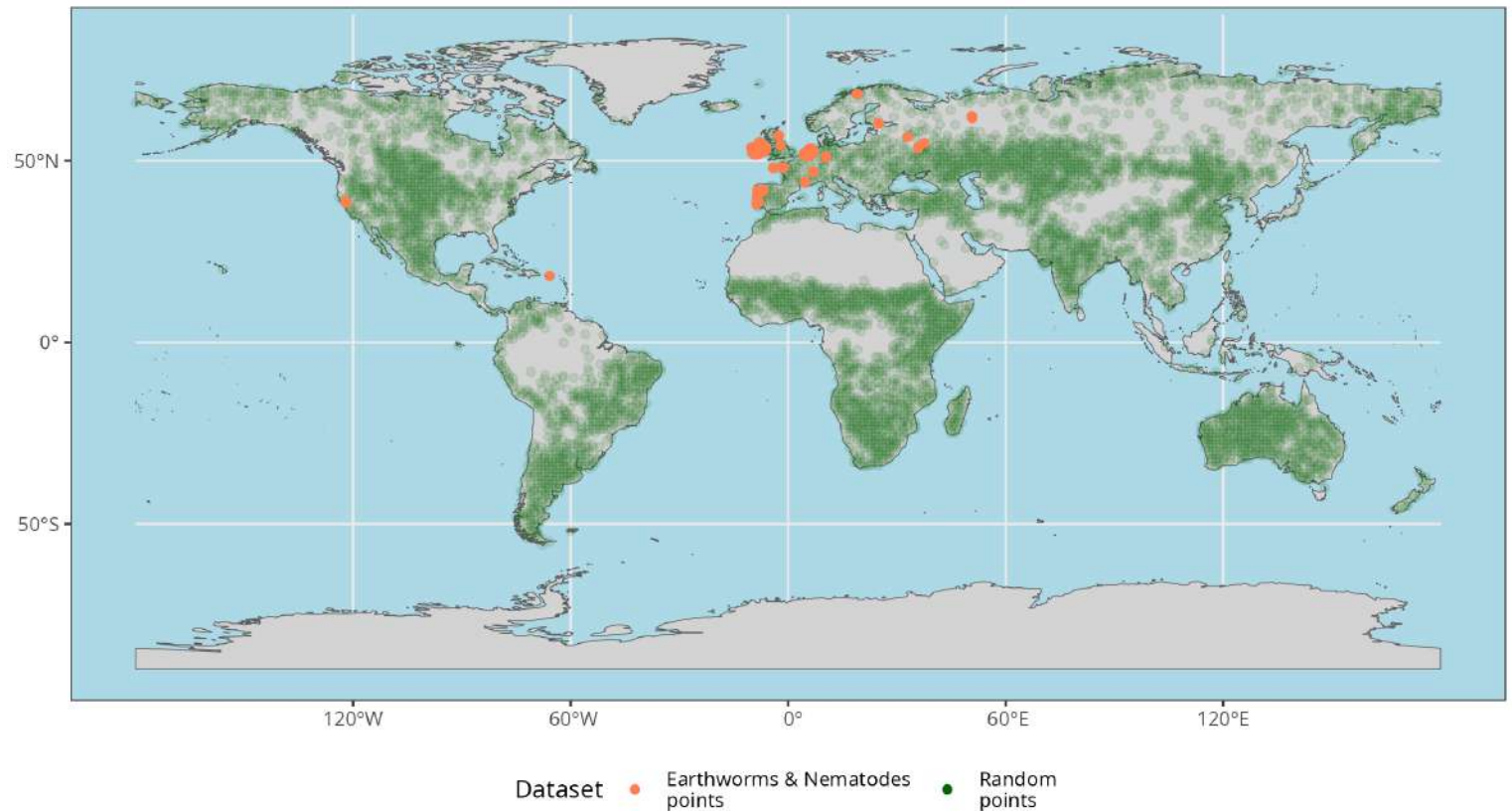
Количество статей, в которых используются различные функции почв ($n=138$).

II. Как экологические функции почв используются в оценке мультифункциональности почв

Пример оценки мультифункциональности

Два набора данных из открытых источников:

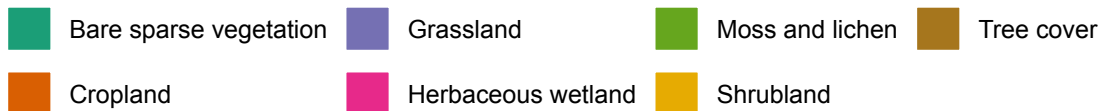
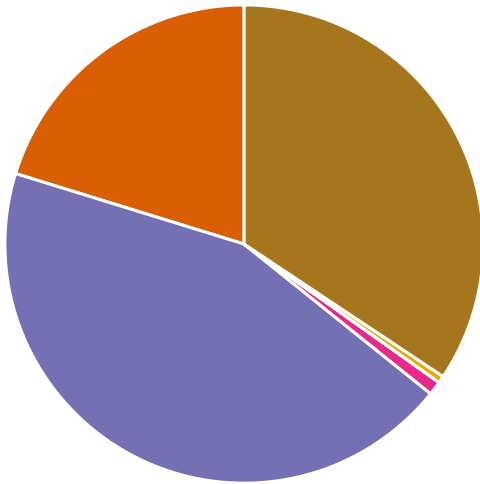
1. Регулярная сетка с шагом 1 градус, к которой добавлен «белый шум» (± 0.2 градуса), в результате чего получено 19810 точек с данными.
2. Точки, представленных одновременно в наборах данных дождевым червям и почвенным нематодам.



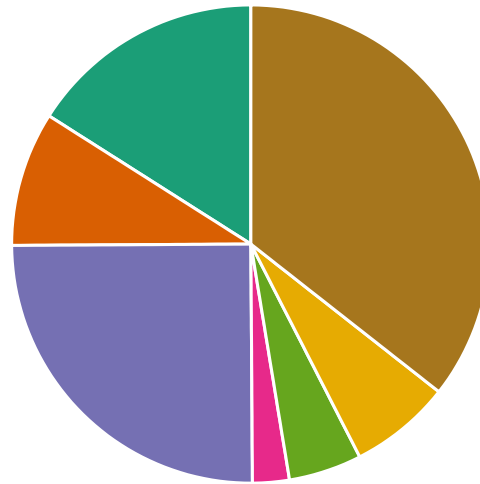
van den Hoogen et al. (2020) *Sci. Data*
Phillips et al. (2021) *Sci. Data*

Пример оценки multifunctionality

Черви и нематоды



Параметры почвы



Параметры

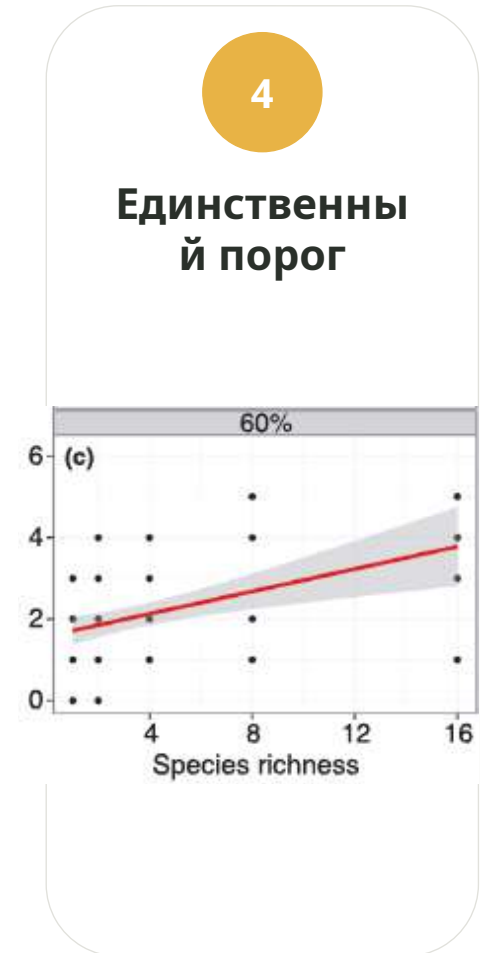
- Все параметры среды (188 показателей), извлеченные из баз данных, были использованы как прокси для функций почв
- приписаны к двум основным типам классификаций
 - ФАО
 - Добровольского-Никитина

Типы землепользования, на которых были собраны данные

Пример оценки мультифункциональности

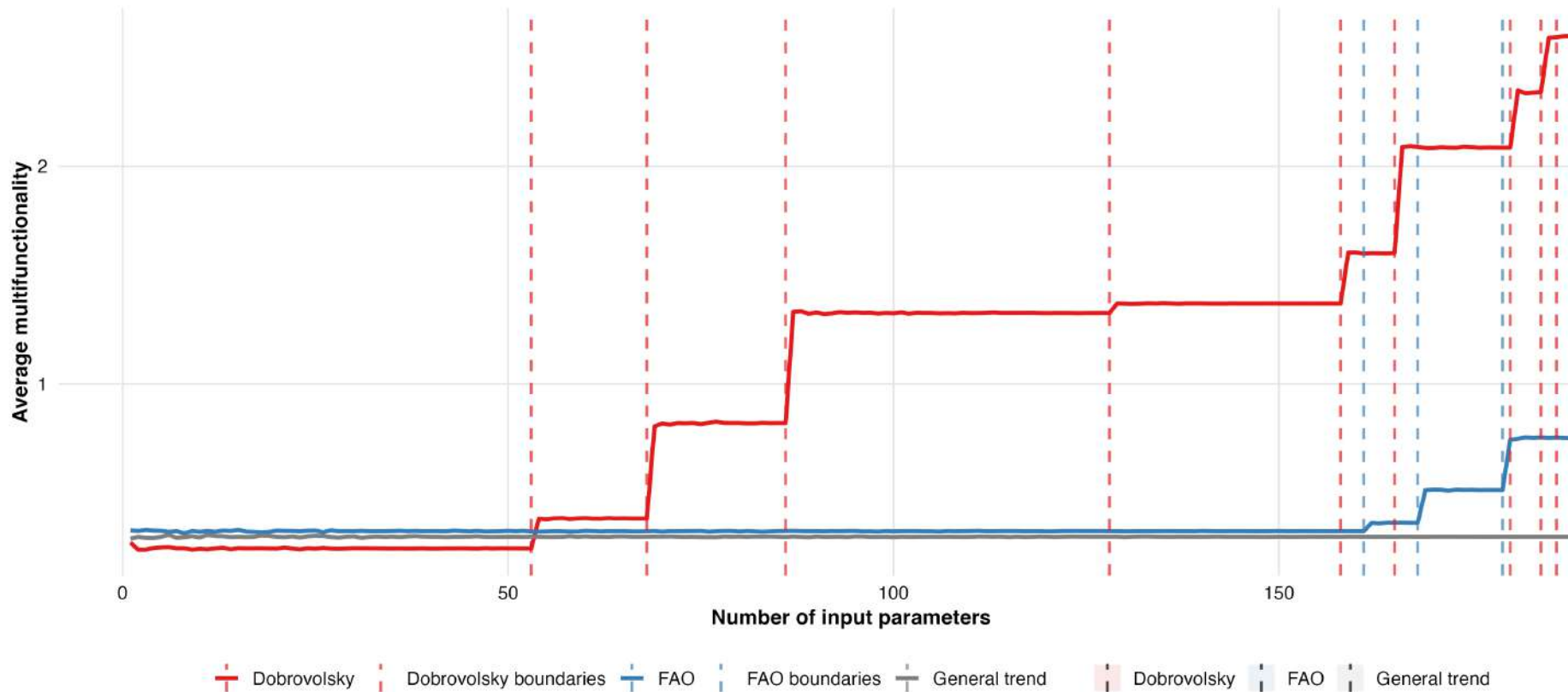
Расчет мультифункциональности почв (SMF)

- Для расчета SMF в каждой из выбранных точек был использован пороговый метод с равными весами.
- Пороговый подход подсчитывает количество функций (параметров), которые превысили некоторый порог (принят порог 50%), выраженный в процентах от максимального наблюдаемого в исследовании уровня функционирования.



Manning et al. (2018) *Nature Ecology & Evolution*

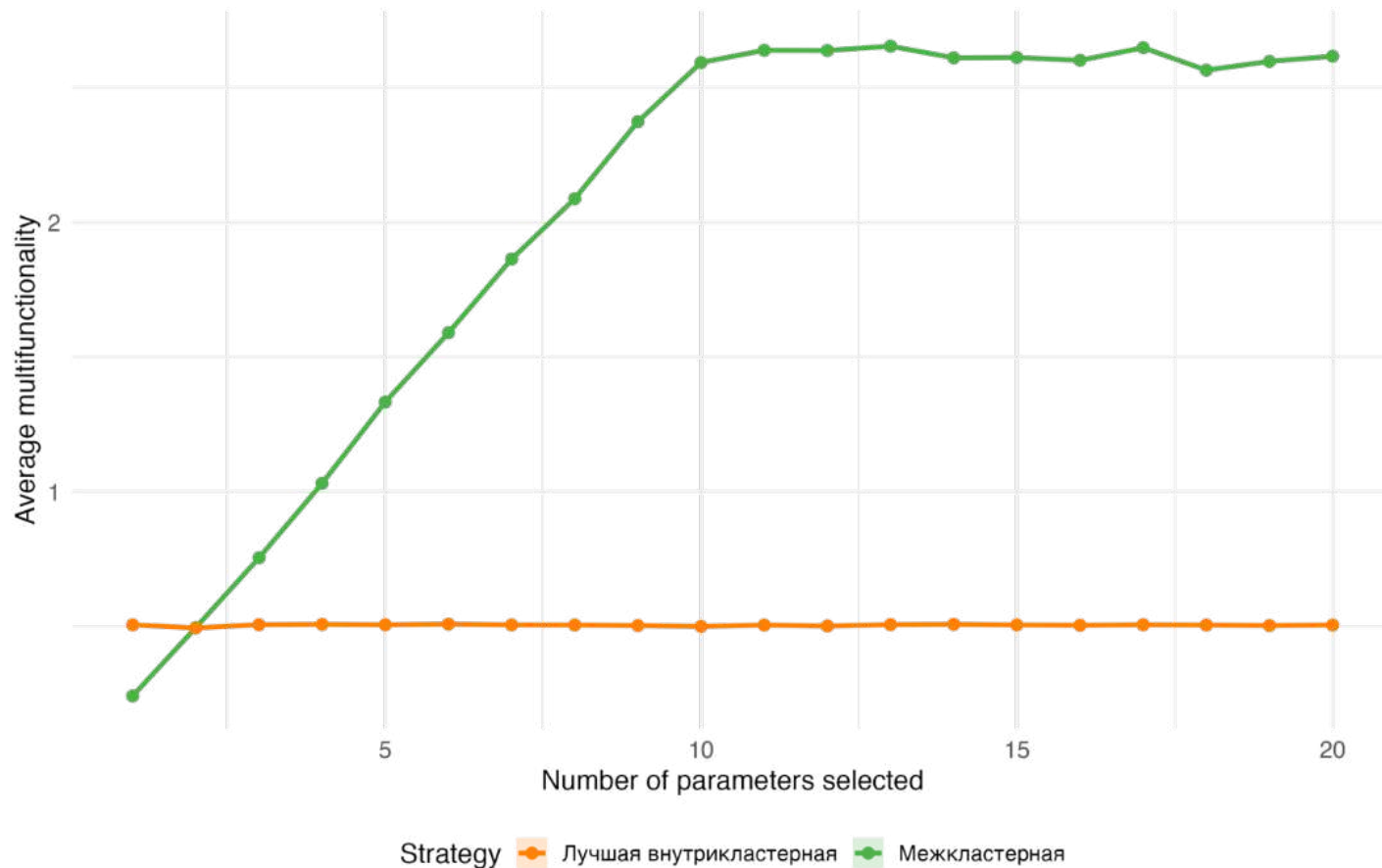
Пример оценки multifunctionality



Изменение индекса multifunctionality при добавлении новых параметров для двух классификаций: **ФАО** и **Добровольского-Никитина**

Параметры добавляются по очереди внутри кластеров-функций: сначала исчерпываются все параметры в одном кластере, и только потом добавляются параметры из следующих кластеров

Пример оценки multifunctionality



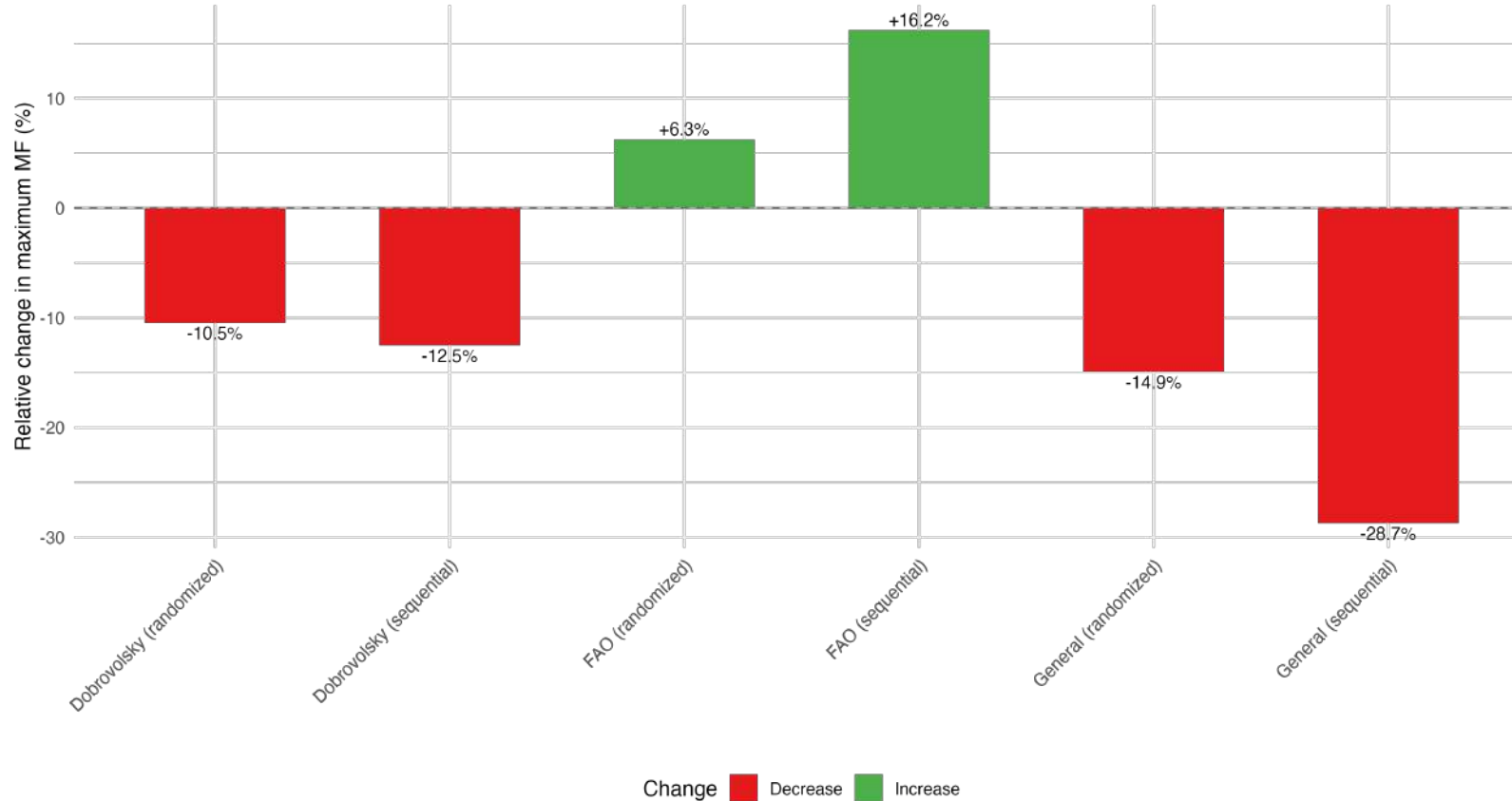
Изменение индекса
мультифункциональности
при добавлении новых
параметров между
классами и в пределах
одного класса

Общее число параметров
до 20

Пример оценки multifunctionality

Effect of filtering correlated variables on maximum multifunctionality

Positive = filtered dataset yields higher maximum MF



Изменение максимального значения индекса multifunctionality при фильтрации скоррелированных между собой параметров

Рекомендации для количественной оценки multifunctionality почв

Необходимо не менее 10 параметров из разных классов

Лучше брать более дробную классификацию функций, т.к. МФ почв зависит от того, какая классификация функций выбрана



Для точной оценки МФ почв необходимы многопрофильные коллективы, способные оценить разные аспекты почвенных функций

Перспективы изучения функций почв и почвенной мультифункциональности

1. Переход от структурных показателей почв и почвенного биоразнообразия к функциональным показателям
2. Системный анализ функций почв
3. Переход от теории к практике: разработка критериев устойчивости экосистем при растущей антропогенной нагрузке
 1. Оценки рисков при растущих нагрузках и пределы устойчивости экосистем
 2. Поиск критически уязвимых узлов почвенных экосистем

Перспективы изучения функций почв и почвенной мультифункциональности

Шаги в этом направлении:

- Анализ понятийного аппарата и методологии
- Понимание роли каждого сотрудника в общей структуре задач
- Сбор информации и анализ конкретных функций почв и почвенных организмов – измерено множество структурных параметров, но нет перехода к их роли в функционировании
- Анализ всей картины

**Концептуальные
проблемы**

Что такое
«критические блоки»?

Связь трейты →
процессы → функции

Масштабирование
уровней организации

**Перспективы
изучения
функций
почв и
почвенной
мультифункц
иональности**

Концептуальные проблемы	Что такое «критические блоки»?	Связь трейты → процессы → функции	Масштабирование уровней организации
Методологические проблемы	Стандартизация трейтов почвенной фауны	Измерение функций почвы	Связывание данных разных типов

**Перспективы
изучения
функций
почв и
почвенной
мультифункц
иональности**

Концептуальные проблемы	Что такое «критические блоки»?	Связь трейты → процессы → функции	Масштабирование уровней организации	
Методологические проблемы	Стандартизация трейтов почвенной фауны	Измерение функций почвы	Связывание данных разных типов	
Данные и наблюдения	Недостаток данных по почвенной фауне	Cryptic (black) diversity	Контроль условий	Лабораторные эксперименты

Перспективы изучения функций почв и почвенной multifunctionality

Концептуальные проблемы	Что такое «критические блоки»?	Связь трейты → процессы → функции	Масштабирование уровней организации	
Методологические проблемы	Стандартизация трейтов почвенной фауны	Измерение функций почвы	Связывание данных разных типов	
Данные и наблюдения	Недостаток данных по почвенной фауне	Cryptic (black) diversity	Контроль условий	Лабораторные эксперименты
Пространственно-временная динамика	Пространственная неоднородность	Временная изменчивость	Глобальные изменения	

Перспективы изучения функций почв и почвенной multifunctionality

Концептуальные проблемы	Что такое «критические блоки»?	Связь трейты → процессы → функции	Масштабирование уровней организации	
Методологические проблемы	Стандартизация трейтов почвенной фауны	Измерение функций почвы	Связывание данных разных типов	
Данные и наблюдения	Недостаток данных по почвенной фауне	Cryptic (black) diversity	Контроль условий	Лабораторные эксперименты
Пространственно-временная динамика	Пространственная неоднородность	Временная изменчивость	Глобальные изменения	
Моделирование	Трофические взаимодействия	Нетрофические взаимодействия	Выбор типа моделей	Нелинейность и критические точки

Перспективы изучения функций почв и почвенной multifunctionality

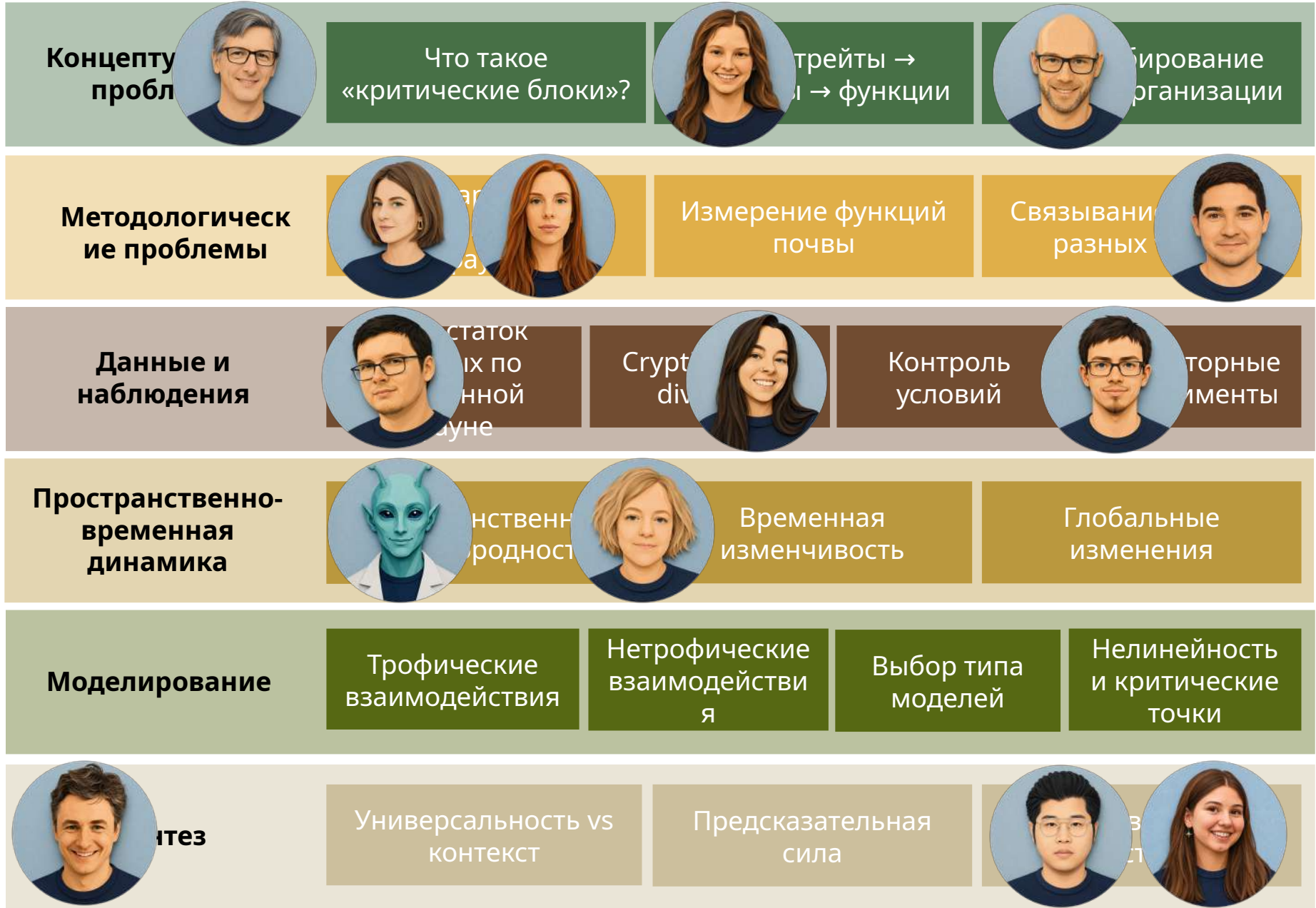
Перспективы изучения функций почв и почвенной multifunctionality

Концептуальные проблемы	Что такое «критические блоки»?	Связь трейты → процессы → функции	Масштабирование уровней организации	
Методологические проблемы	Стандартизация трейтов почвенной фауны	Измерение функций почвы	Связывание данных разных типов	
Данные и наблюдения	Недостаток данных по почвенной фауне	Cryptic (black) diversity	Контроль условий	Лабораторные эксперименты
Пространственно-временная динамика	Пространственная неоднородность	Временная изменчивость	Глобальные изменения	
Моделирование	Трофические взаимодействия	Нетрофические взаимодействия	Выбор типа моделей	Нелинейность и критические точки
Синтез	Универсальность vs контекст	Предсказательная сила	Управление экосистемами	

Концептуальные проблемы	Что такое «критические блоки»?	Связь трейты → процессы → функции	Масштабирование уровней организации	
Методологические проблемы	Стандартизация трейтов почвенной фауны	Измерение функций почвы	Связывание данных разных типов	
Данные и наблюдения	Недостаток данных по почвенной фауне	Cryptic (black) diversity	Контроль условий	Лабораторные эксперименты
Пространственно-временная динамика	Пространственная неоднородность	Временная изменчивость	Глобальные изменения	
Моделирование	Трофические взаимодействия	Нетрофические взаимодействия	Выбор типа моделей	Нелинейность и критические точки
Синтез	Универсальность vs контекст	Предсказательная сила	Управление экосистемами	

Перспективы изучения функций почв и почвенной multifunctionality





Перспективы изучения функций почв и почвенной multifunctionality

 Алексей Дыган

Спасибо за внимание!

- Руслану Сайфутдинову
- Коллегам по лаборатории
- Оргкомитету
- ChatGPT за картинки и советы

