



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



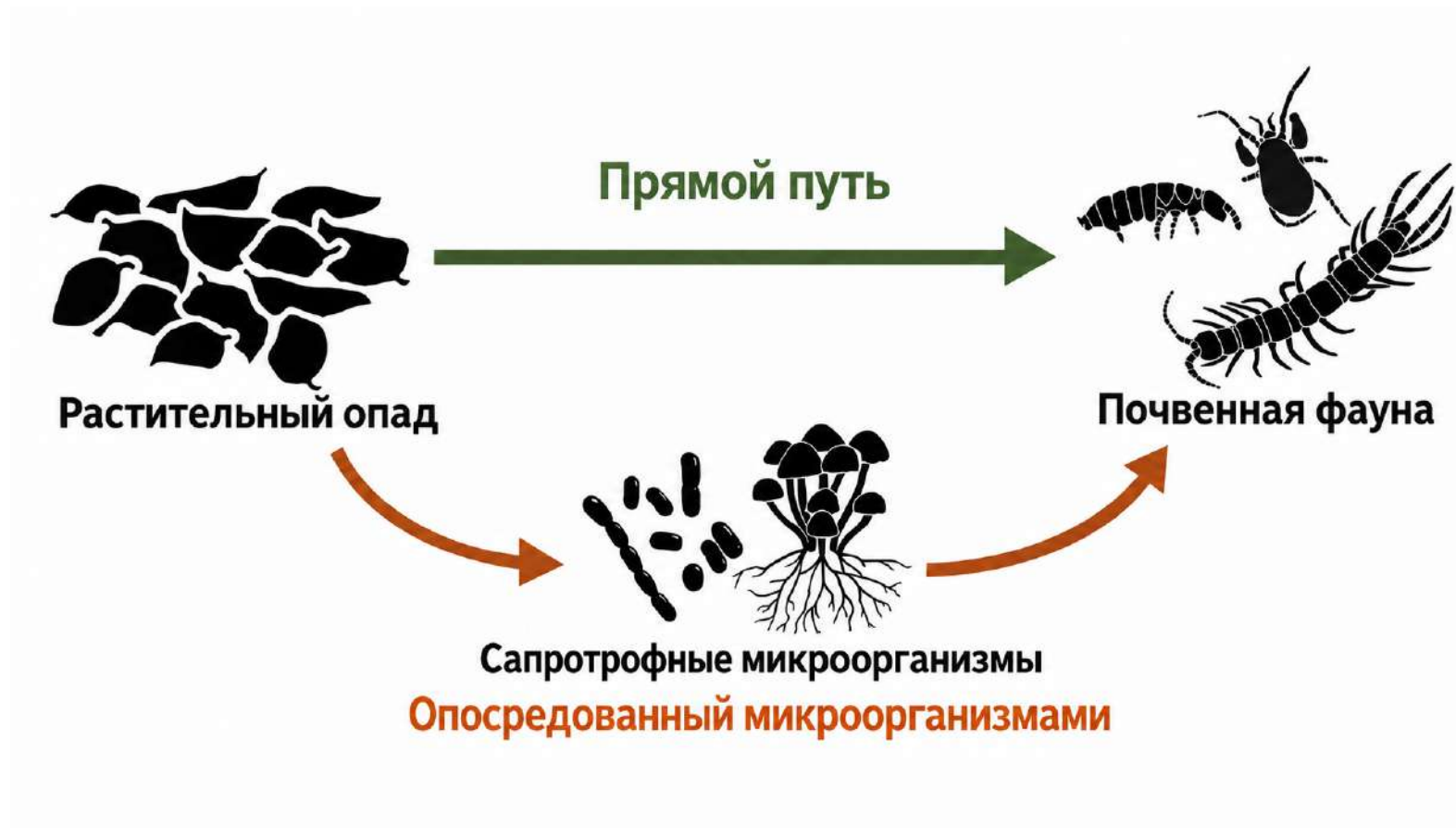
XX Собрание по почвенной зоологии и
экологии

Трофическая организация почвенных животных вдоль экологических градиентов: от ресурсов к потокам энергии

С.М. Цуриков
и консорциум IsoDataBase

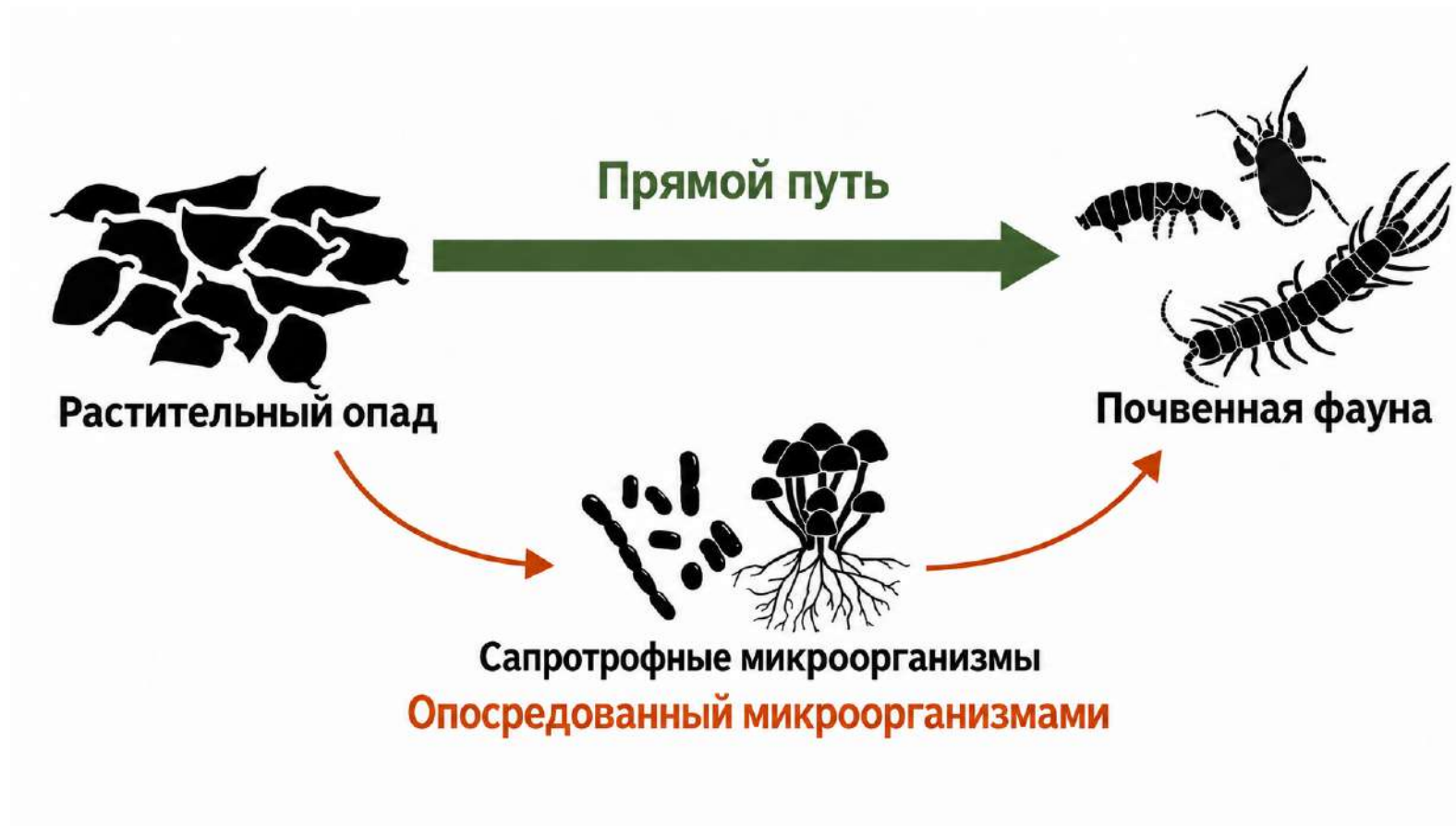
Екатеринбург – 2026

Основные трофические пути использования растительного опада



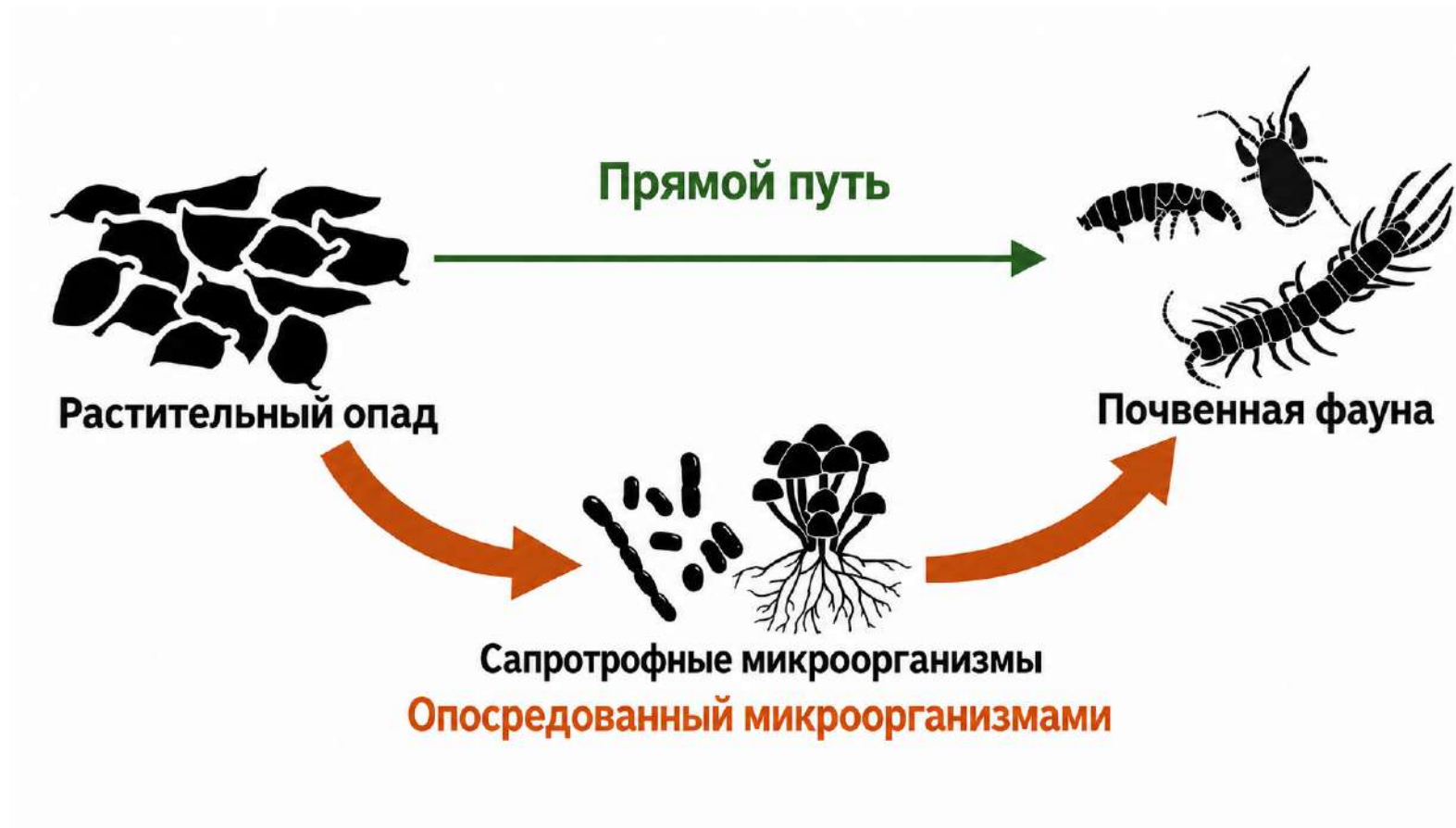
Основные трофические пути использования растительного опада

Высокое качество опада (низкий C:N)
преобладание прямого пути

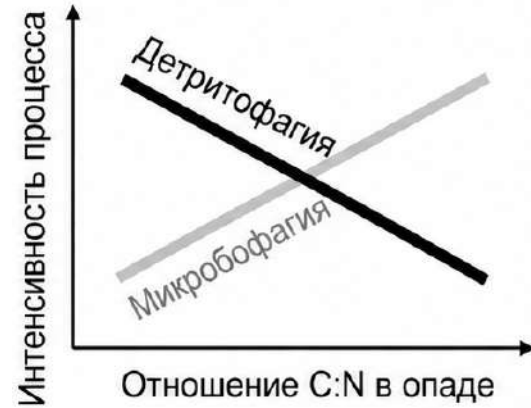


Основные трофические пути использования растительного опада

Низкое качество опада (высокий C:N)
возрастание роли микроорганизмов

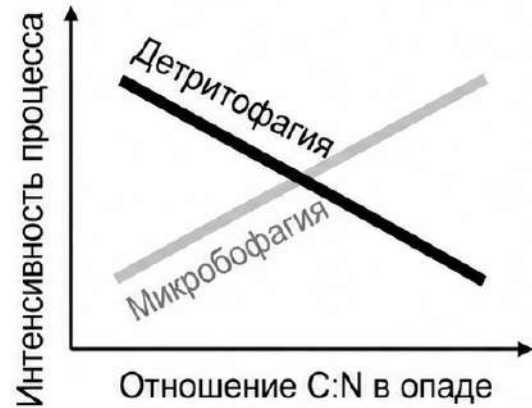


Гипотезы исследования

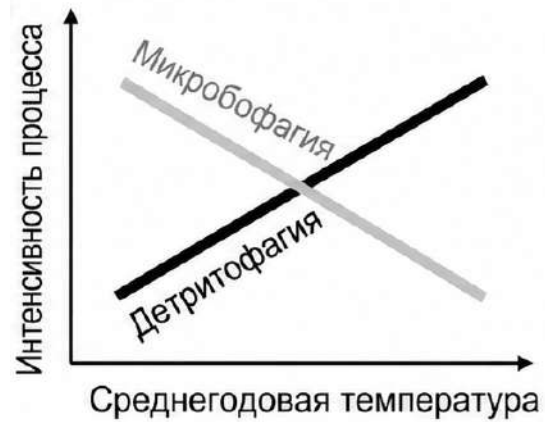


С увеличением отношения C:N в опаде интенсивность детритофагии уменьшается, а **микробофагии – возрастает**

Гипотезы исследования

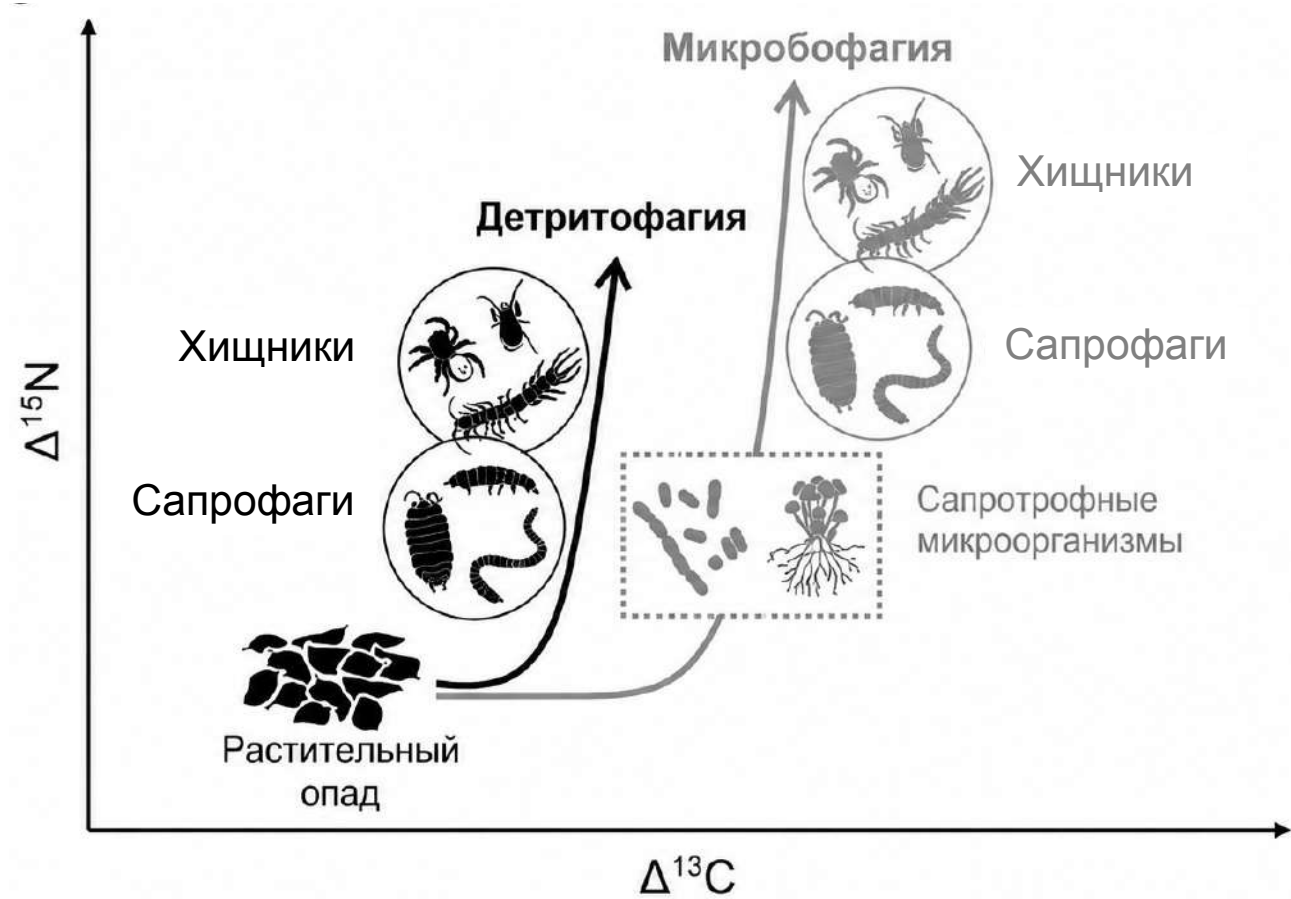
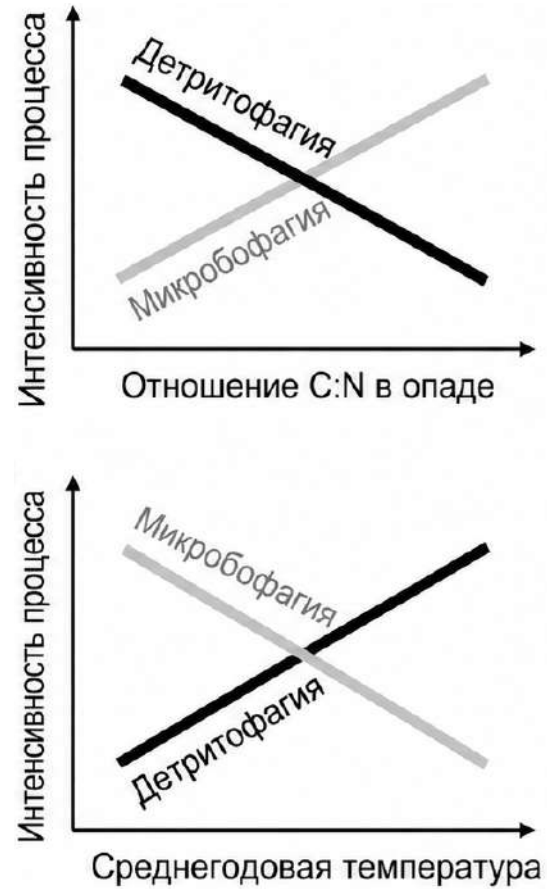


С увеличением отношения C:N в опаде интенсивность детритофагии уменьшается, а **микробофагии – возрастает**



С повышением среднегодовой температуры интенсивность детритофагии возрастает, а **микробофагии – снижается**

Гипотезы исследования

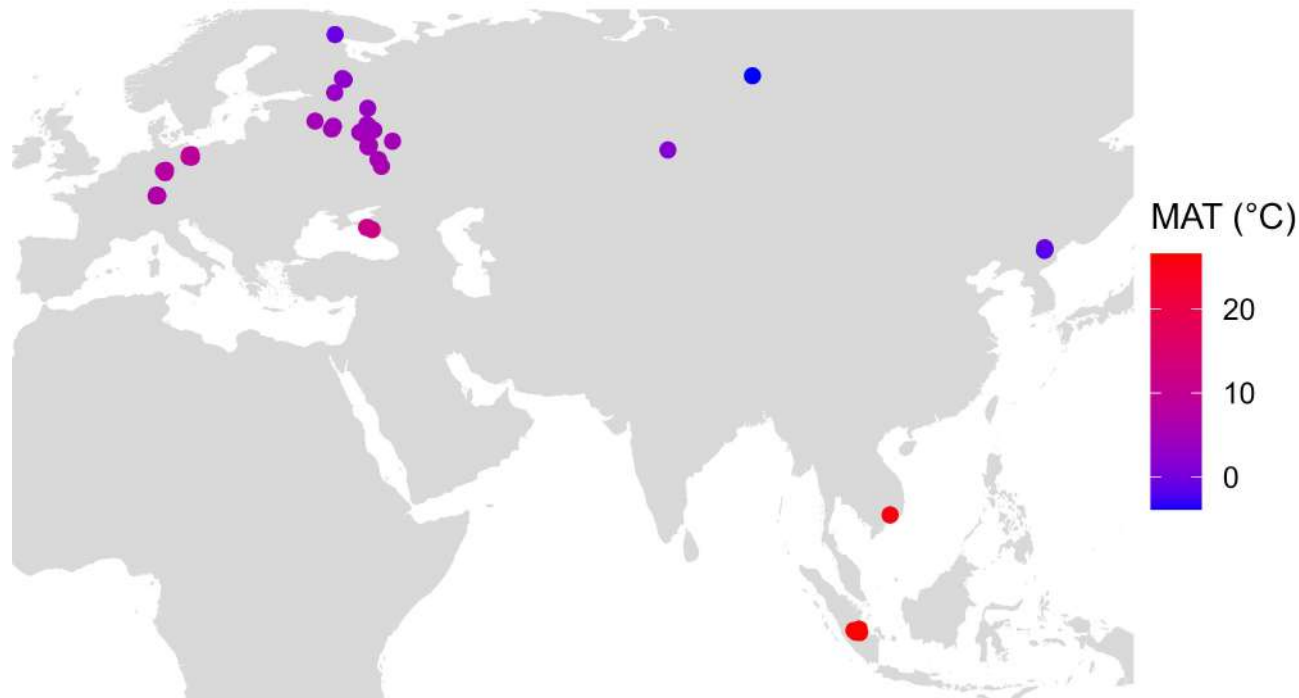


Объем данных. IsoDataBase

7408 измерений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ почвенных беспозвоночных

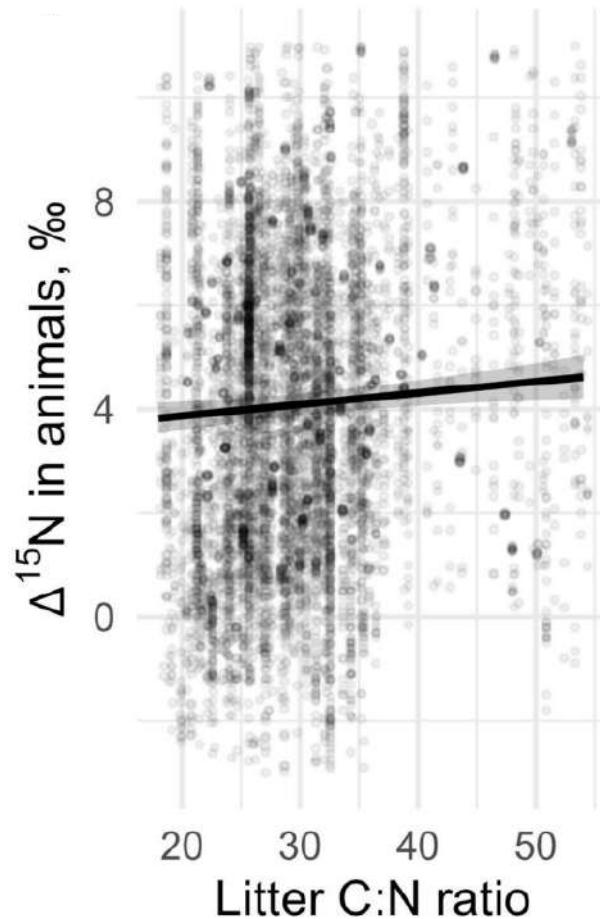
228 участка от бореальных до тропических лесов

17 крупных таксономических групп



	$\Delta^{13}\text{C}$, ‰		$\Delta^{15}\text{N}$, ‰		n
	Mean	SD	Mean	SD	
<i>Plant litter</i> (not calibrated)	-29.1	1.2	-3.0	2.2	351
Mesofauna decomposers					3924
Collembola	3.1	1.6	3.0	3.2	2577
Oribatida	3.8	1.5	2.3	2.9	1259
Symphyla	4.8	0.9	5.5	1.7	54
Psocoptera	3.2	1.4	2.8	2.6	27
Protura	3.6	1.2	0.9	3.3	7
Macrofauna decomposers					1320
Lumbricina	4.6	1.2	3.3	2.0	755
Isopoda	4.9	1.5	3.9	2.3	253
Diplopoda	4.6	1.3	2.3	2.1	205
Blattodea	3.8	1.7	1.9	1.9	76
Gastropoda	4.9	2.1	3.8	1.9	15
Crustacea	3.2	0.7	2.1	1.2	16
Mesofauna predators					527
Mesostigmata	5.1	1.4	6.6	2.0	463
Pseudoscorpiones	4.3	1.3	6.9	2.6	40
Diplura	5.5	1.0	8.9	2.6	24
Macrofauna predators					1637
Araneae	3.3	1.3	6.8	2.1	940
Chilopoda	4.1	1.3	6.1	1.4	688
Opiliones	4.1	1.5	5.7	1.4	9

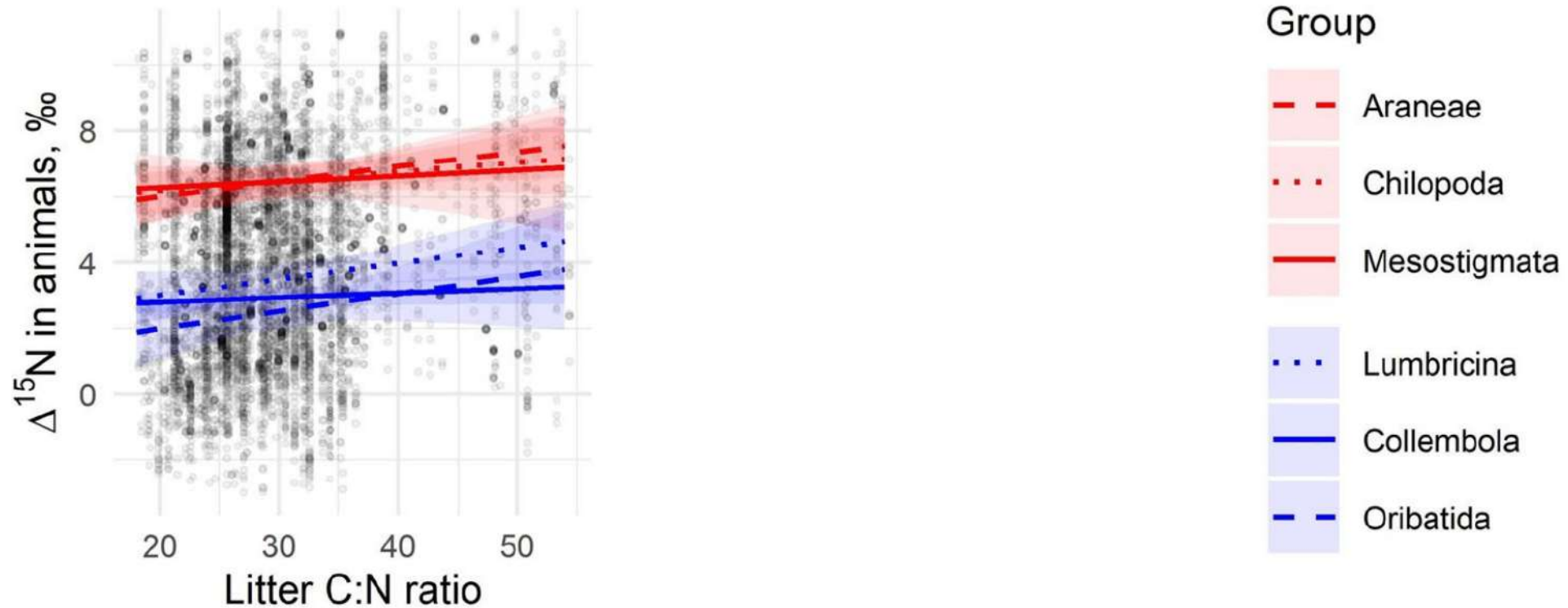
Результаты. Качество растительного опада



С увеличением отношения C:N в опаде, видимо, интенсивность **микробофагии возрастает**

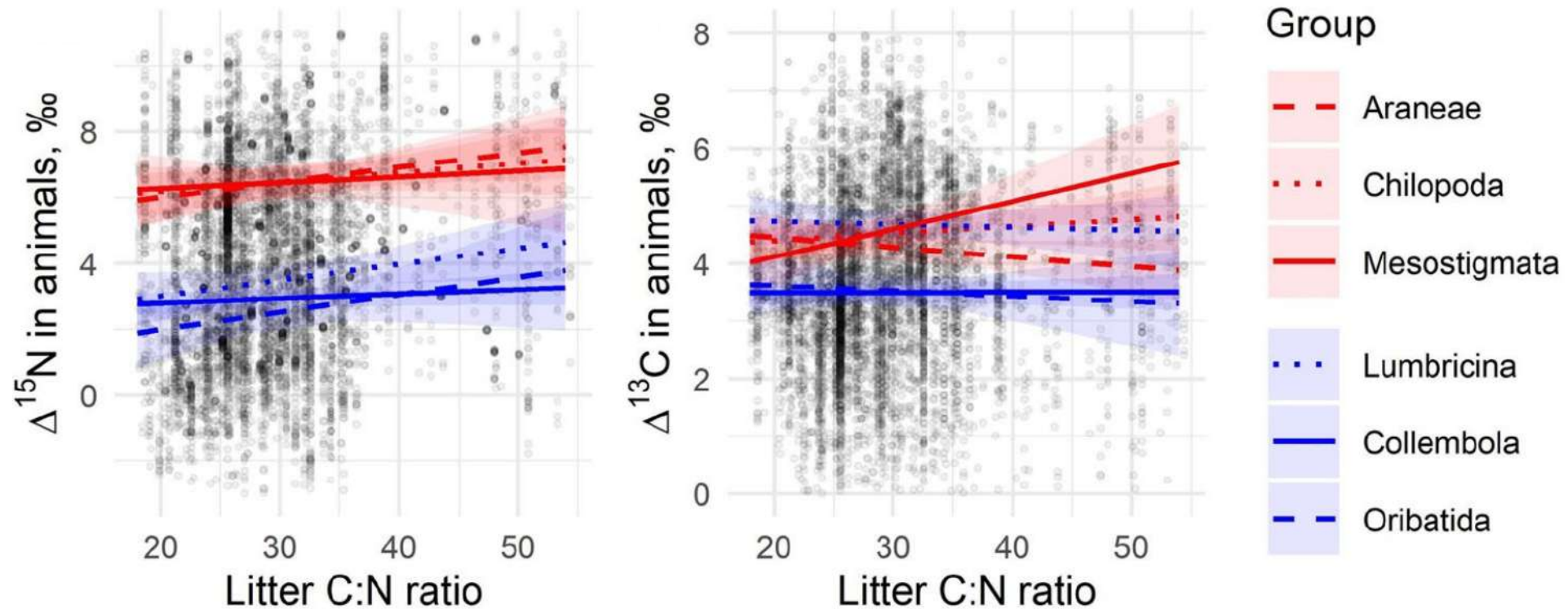
Влияние качества опада (отношение C:N в опаде) на изотопный состав азота почвенных животных (значение $\Delta^{15}\text{N}$). Каждая полупрозрачная точка представляет собой отдельное измерение. Линии линейной регрессии и 95%-ные доверительные интервалы показаны на основе оценок основной модели.

Результаты. Качество растительного опада



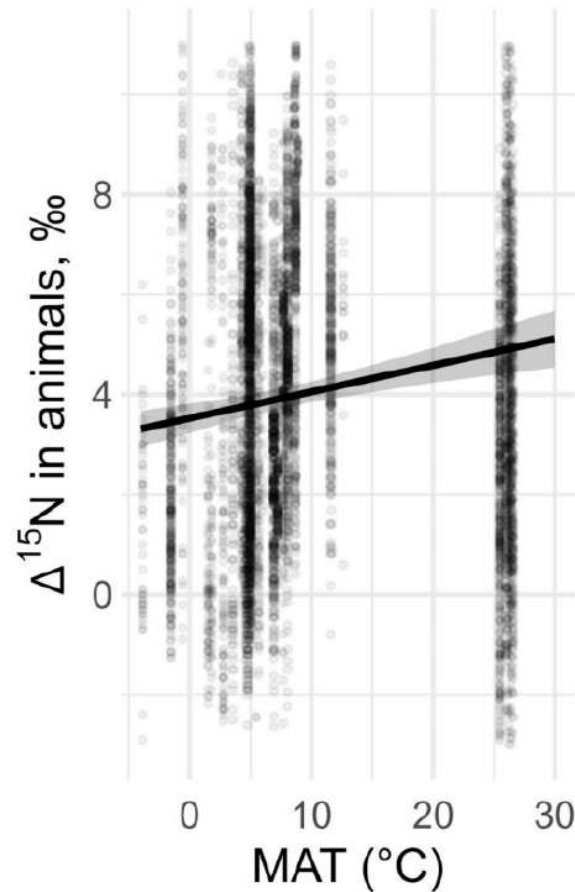
Влияние качества опада (отношение C:N в опаде) на изотопный состав азота ($\Delta^{15}\text{N}$, А) и углерода ($\Delta^{13}\text{C}$, В) почвенных животных в дополнительной модели с учетом таксономической принадлежности. Каждая полупрозрачная точка представляет собой отдельное измерение. Линии линейной регрессии и 95%-ные доверительные интервалы показаны на основе оценок дополнительной модели со смешанными эффектами, включающей таксономическую группу.

Результаты. Качество растительного опада



Влияние качества опада (отношение C:N в опаде) на изотопный состав азота ($\Delta^{15}\text{N}$, А) и углерода ($\Delta^{13}\text{C}$, В) почвенных животных в дополнительной модели с учетом таксономической принадлежности. Каждая полупрозрачная точка представляет собой отдельное измерение. Линии линейной регрессии и 95%-ные доверительные интервалы показаны на основе оценок дополнительной модели со смешанными эффектами, включающей таксономическую группу.

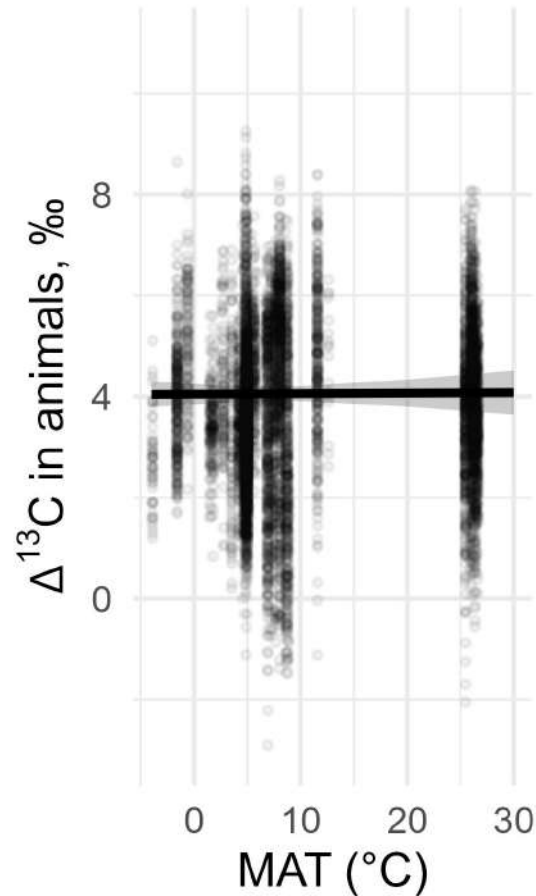
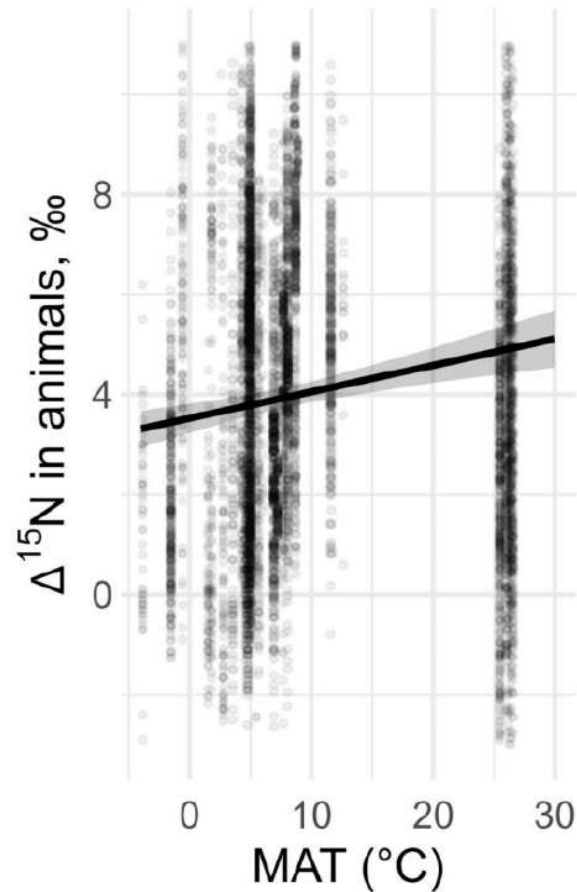
Результаты. Среднегодовая температура



С увеличением среднегодовой температуры, видимо, интенсивность **микробофагии возрастает**

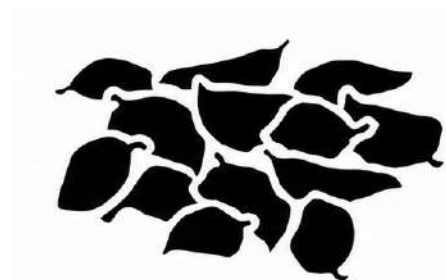
Влияние среднегодовой температуры (MAT, °C) на изотопный состав азота почвенных животных. Каждая полупрозрачная точка представляет собой отдельное измерение. Линии линейной регрессии и 95%-ные доверительные интервалы показаны на основе оценок основной модели.

Результаты. Среднегодовая температура

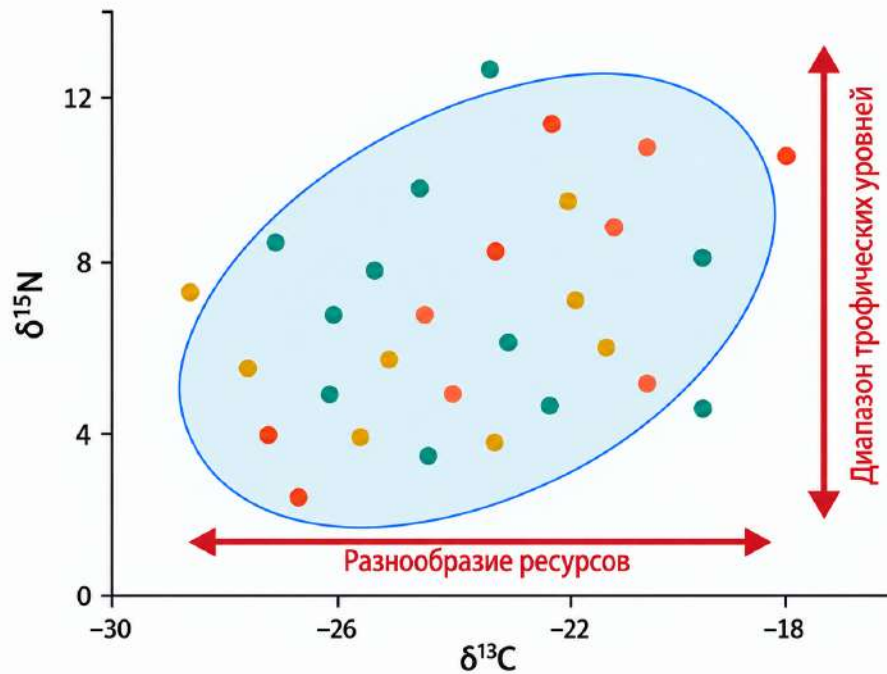


Влияние среднегодовой температуры (MAT, °C) на изотопный состав азота и углерода почвенных животных. Каждая полупрозрачная точка представляет собой отдельное измерение. Линии линейной регрессии и 95%-ные доверительные интервалы показаны на основе оценок основной модели.

Качество опада является важным фактором сдвига от детритофагии к микробофагии, тогда как климат оказывает дополнительное влияние посредством косвенных и специфических для конкретных систем механизмов

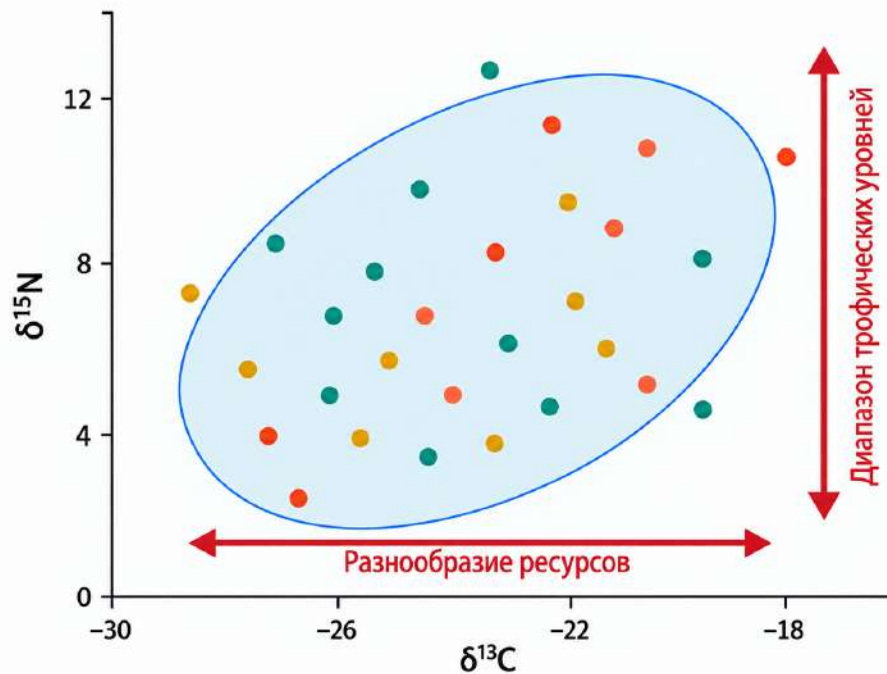


Трофическое разнообразие в пространстве $\delta^{13}\text{C}$ – $\delta^{15}\text{N}$

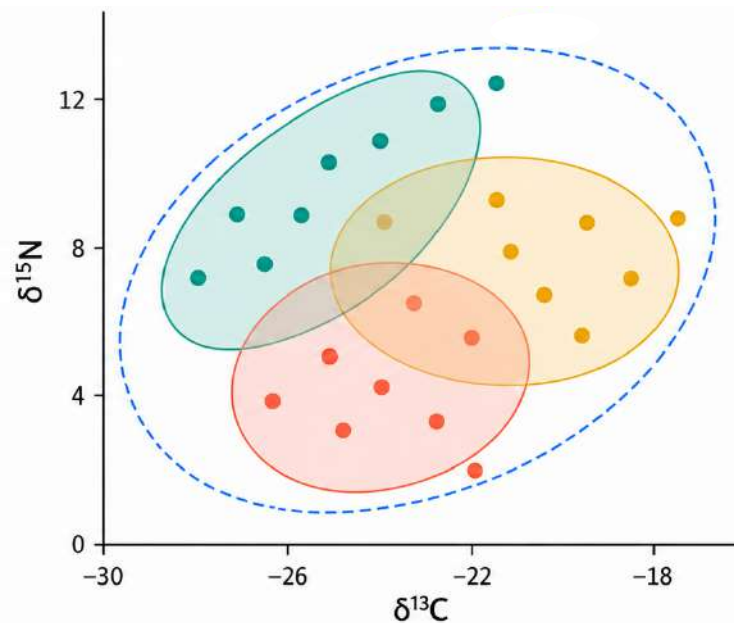


SEAc – площадь стандартного эллипса
(с поправкой на размер выборки)

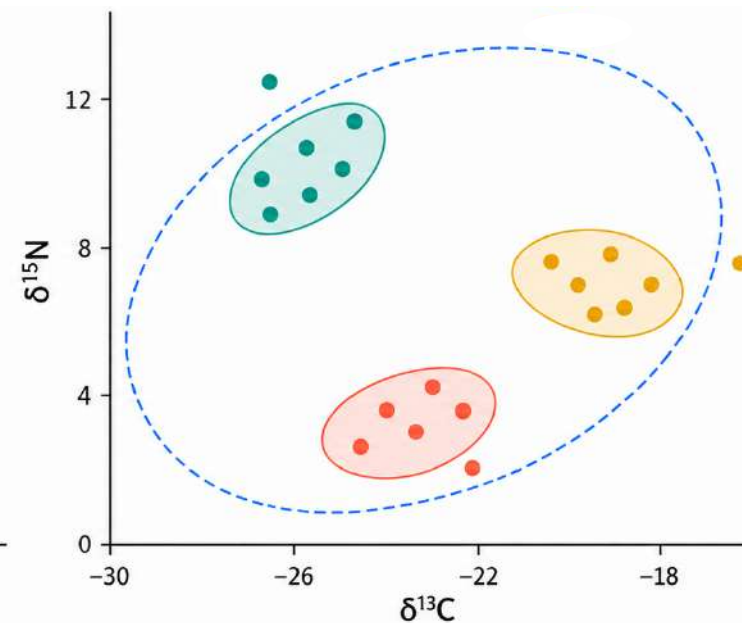
Трофическое разнообразие в пространстве $\delta^{13}\text{C}$ – $\delta^{15}\text{N}$



**Расширение ниш
внутри таксонов**



**Разделение ниш
между таксонами**



Объем данных. IsoDataBase

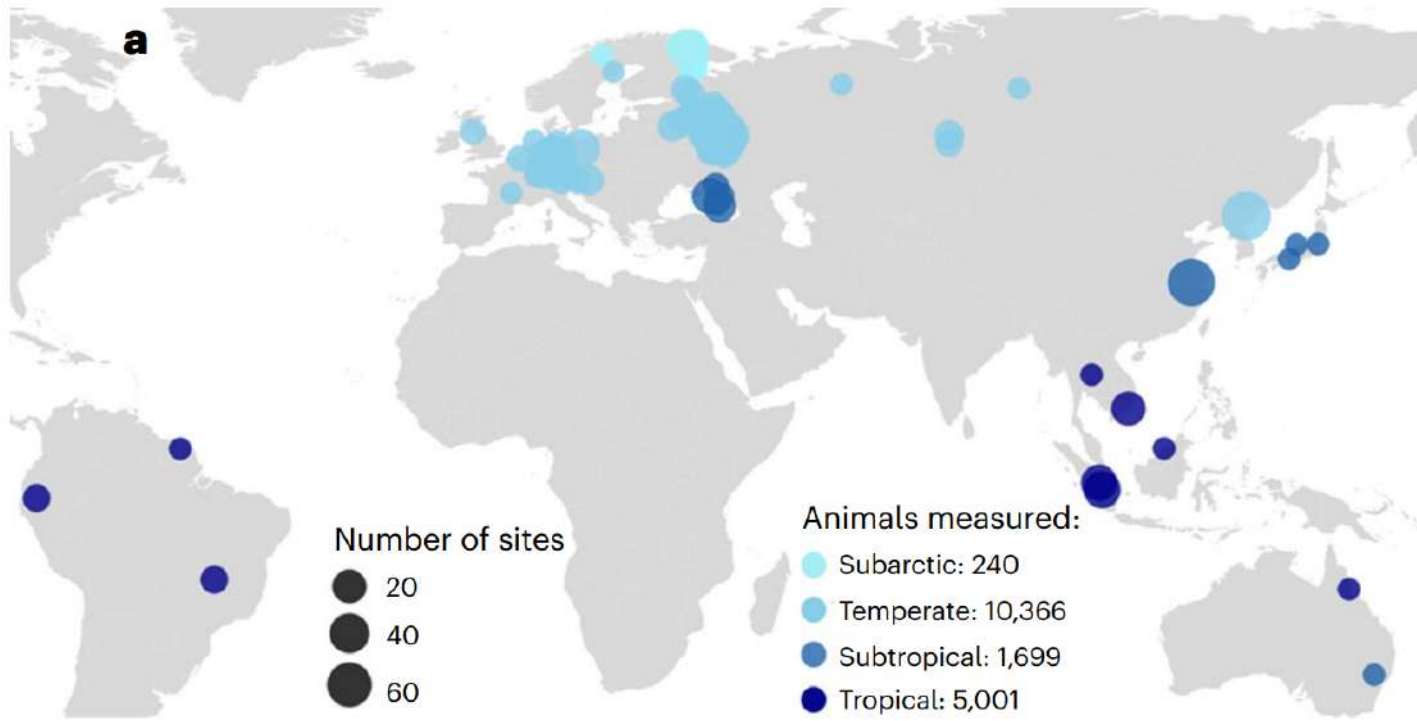
17 306 измерений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ почвенных беспозвоночных

456 участков в **19** странах

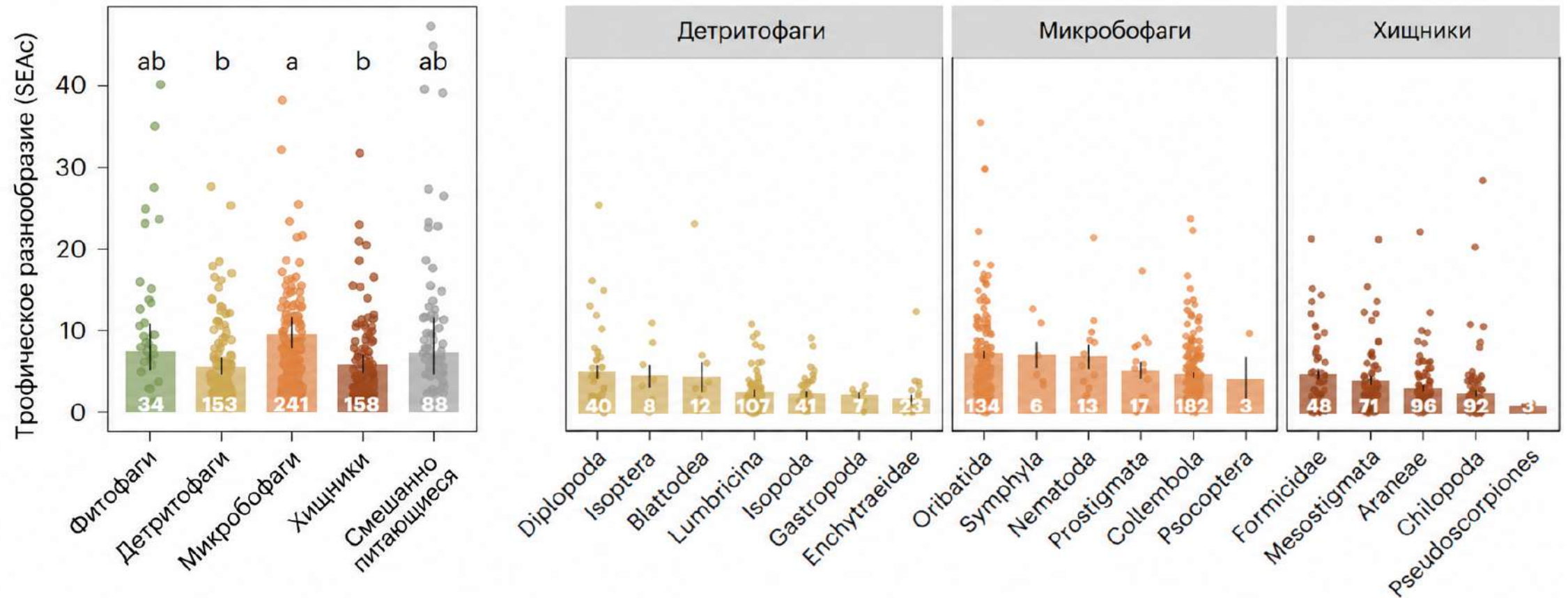
28 крупных таксономических групп

Основные функциональные группы:

- Фитофаги
- Детритофаги
- Микробофаги
- Хищники
- Группа со смешанным типом питания

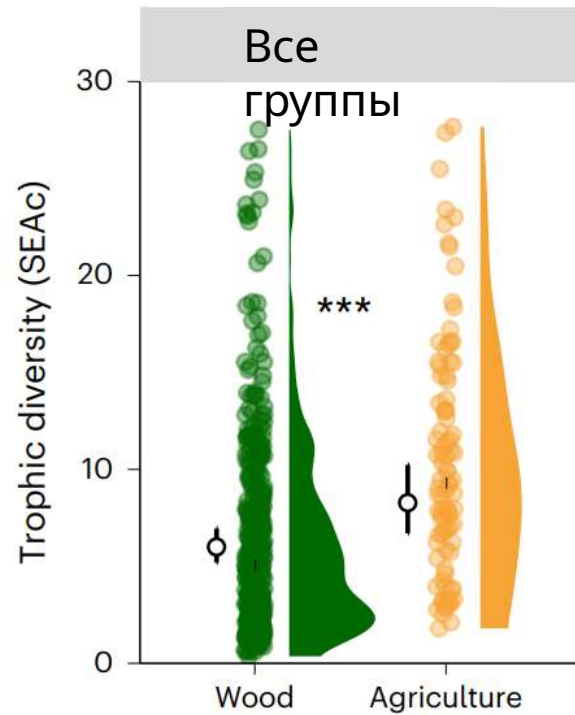


Трофическое разнообразие (SEAc) почвенных животных



Трофическое разнообразие представлено в виде оценённых моделью средних значений с 95%-ными доверительными интервалами (ДИ) и среднего $\pm$ стандартная ошибка; числа внутри столбцов обозначают количество независимых участков отбора проб, а разные буквы над столбцами – статистически значимые различия

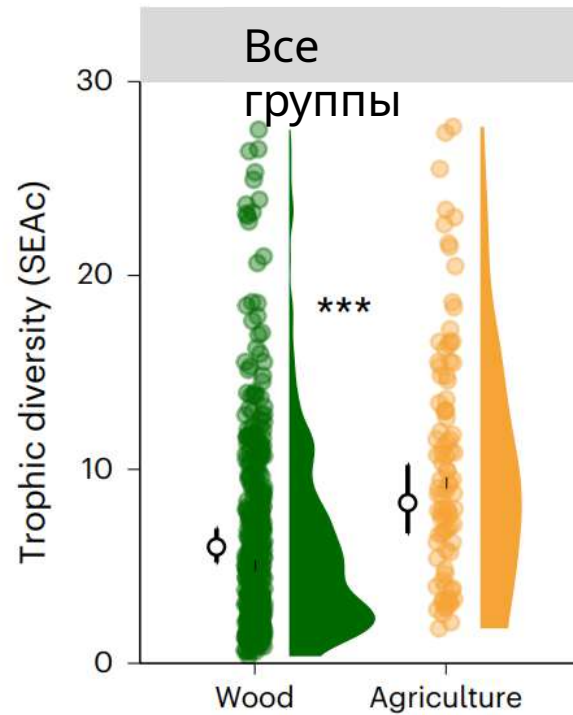
Трофическое разнообразие почвенных животных в зависимости от типа землепользования



Эффекты анализировали с использованием линейных смешанных моделей (LMM). (*) $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Трофическое разнообразие почвенных животных в зависимости от типа землепользования

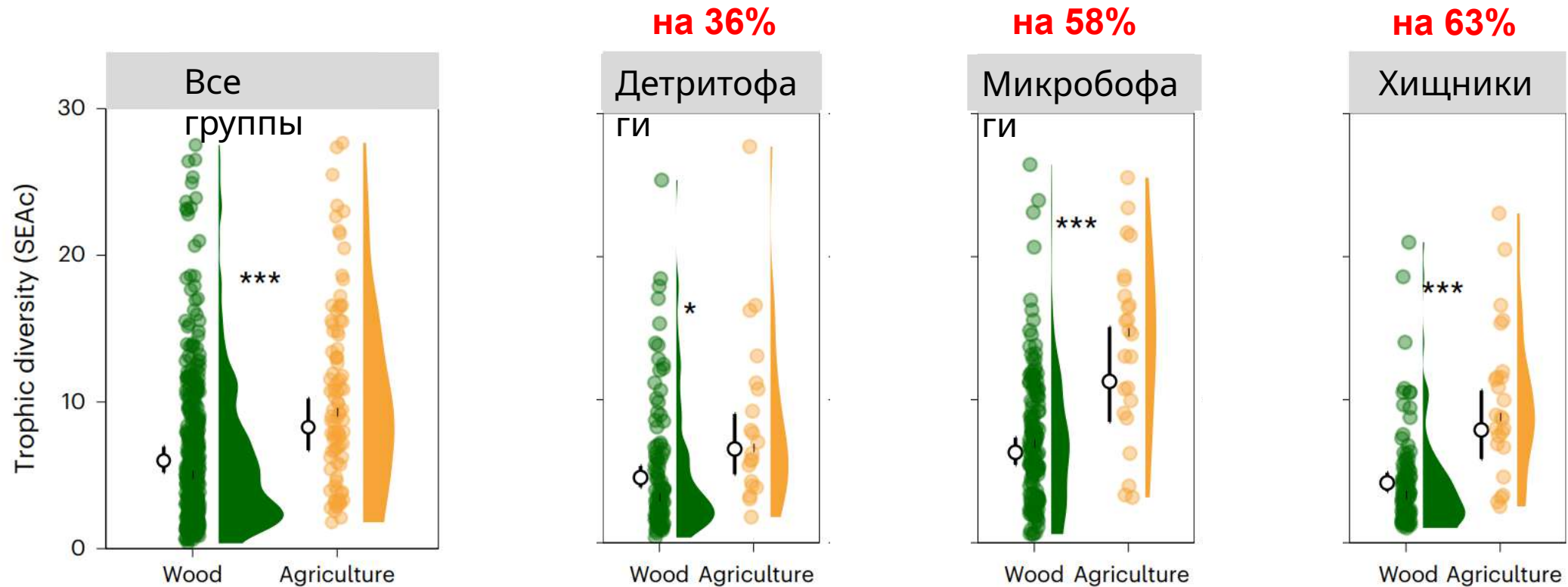
В среднем в сельскохозяйственных экосистемах **на 32% выше, чем в лесах**



Эффекты анализировали с использованием линейных смешанных моделей (LMM). (*) $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

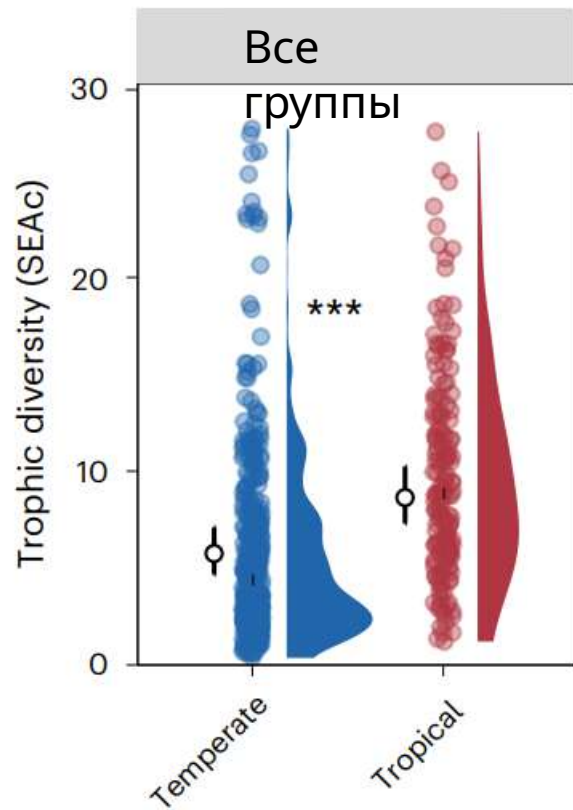
Трофическое разнообразие почвенных животных в зависимости от типа землепользования

В среднем в сельскохозяйственных экосистемах **на 32% выше, чем в лесах**



Эффекты анализировали с использованием линейных смешанных моделей (LMM). (*) $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

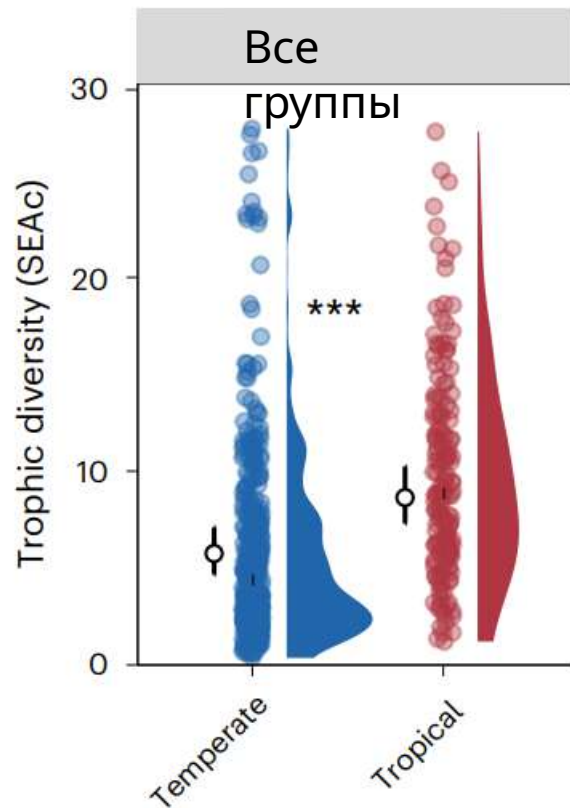
Трофическое разнообразие почвенных животных в зависимости от типа климата



Эффекты анализировали с использованием линейных смешанных моделей (LMM). (*) $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Трофическое разнообразие почвенных животных в зависимости от типа климата

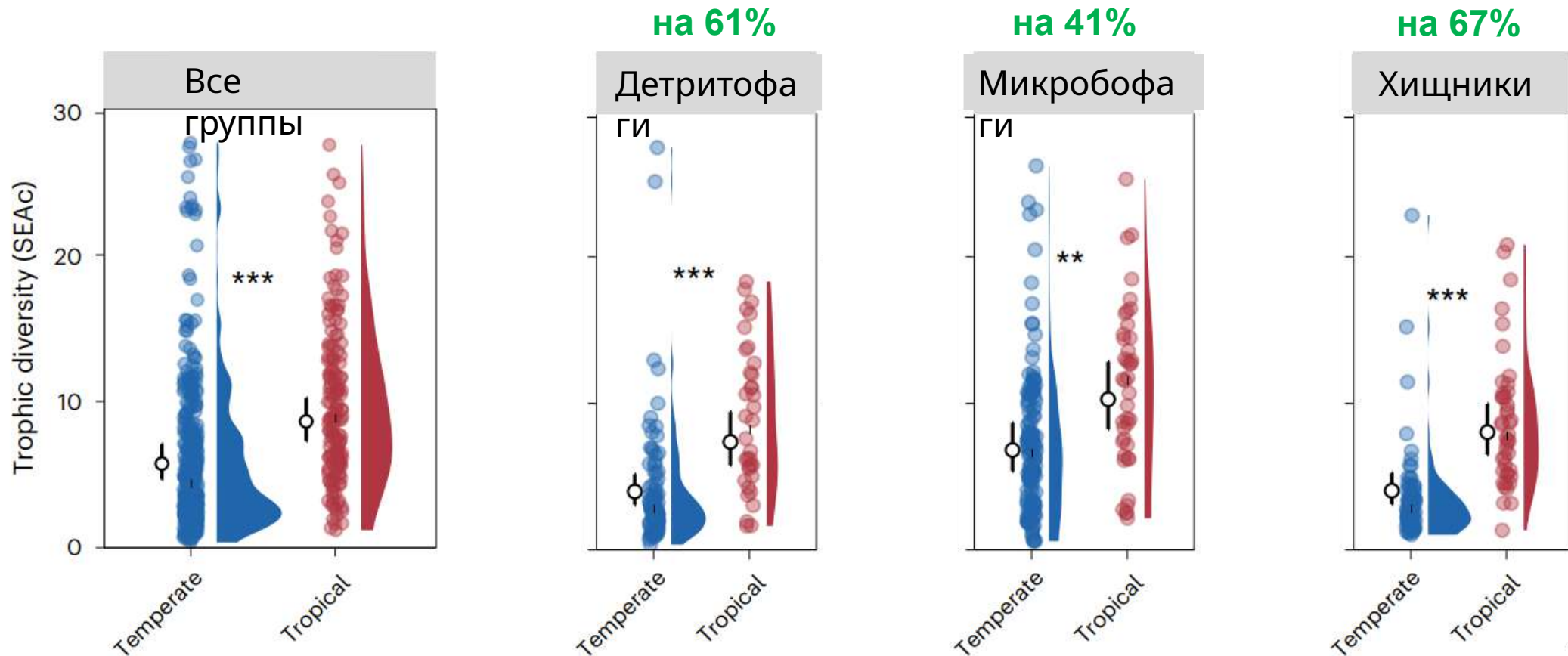
В среднем в тропических экосистемах **на 41% выше, чем в умеренных**



Эффекты анализировали с использованием линейных смешанных моделей (LMM). (*) $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Трофическое разнообразие почвенных животных в зависимости от типа климата

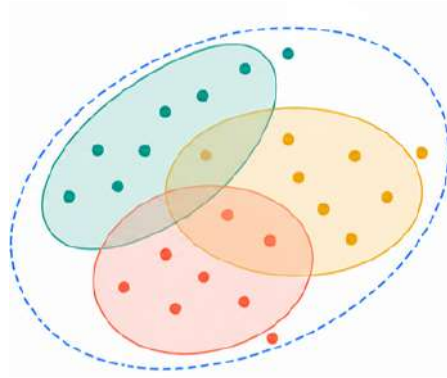
В среднем в тропических экосистемах **на 41% выше, чем в умеренных**



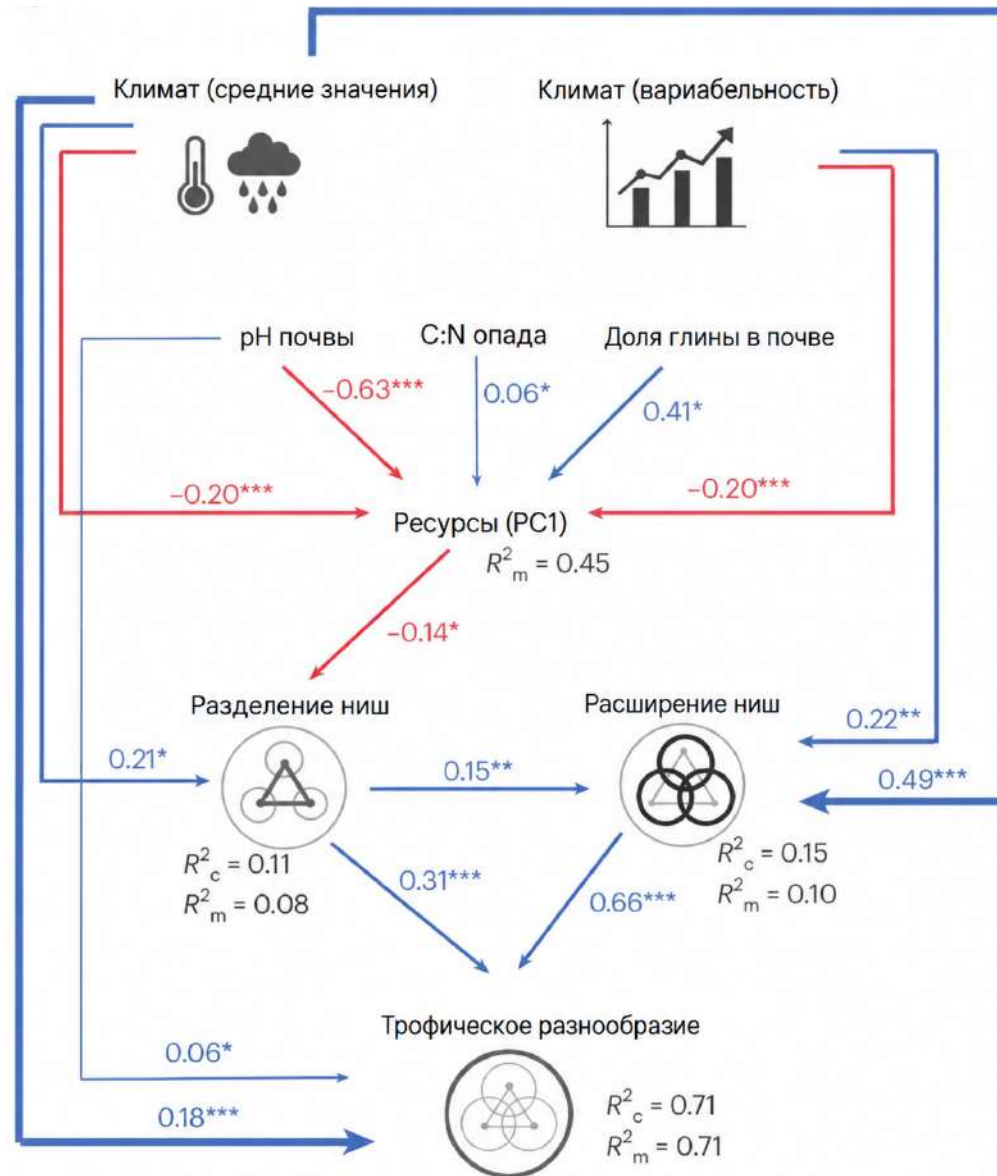
Эффекты анализировали с использованием линейных смешанных моделей (LMM). (*) $P < 0,1$; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$.

Трофическое разнообразие почвенных животных не обязательно изменяется параллельно таксономическому разнообразию.

В условиях сельскохозяйственного использования и тропического климата оно может возрасть, отражая перестройку способов использования и разделения трофических ресурсов

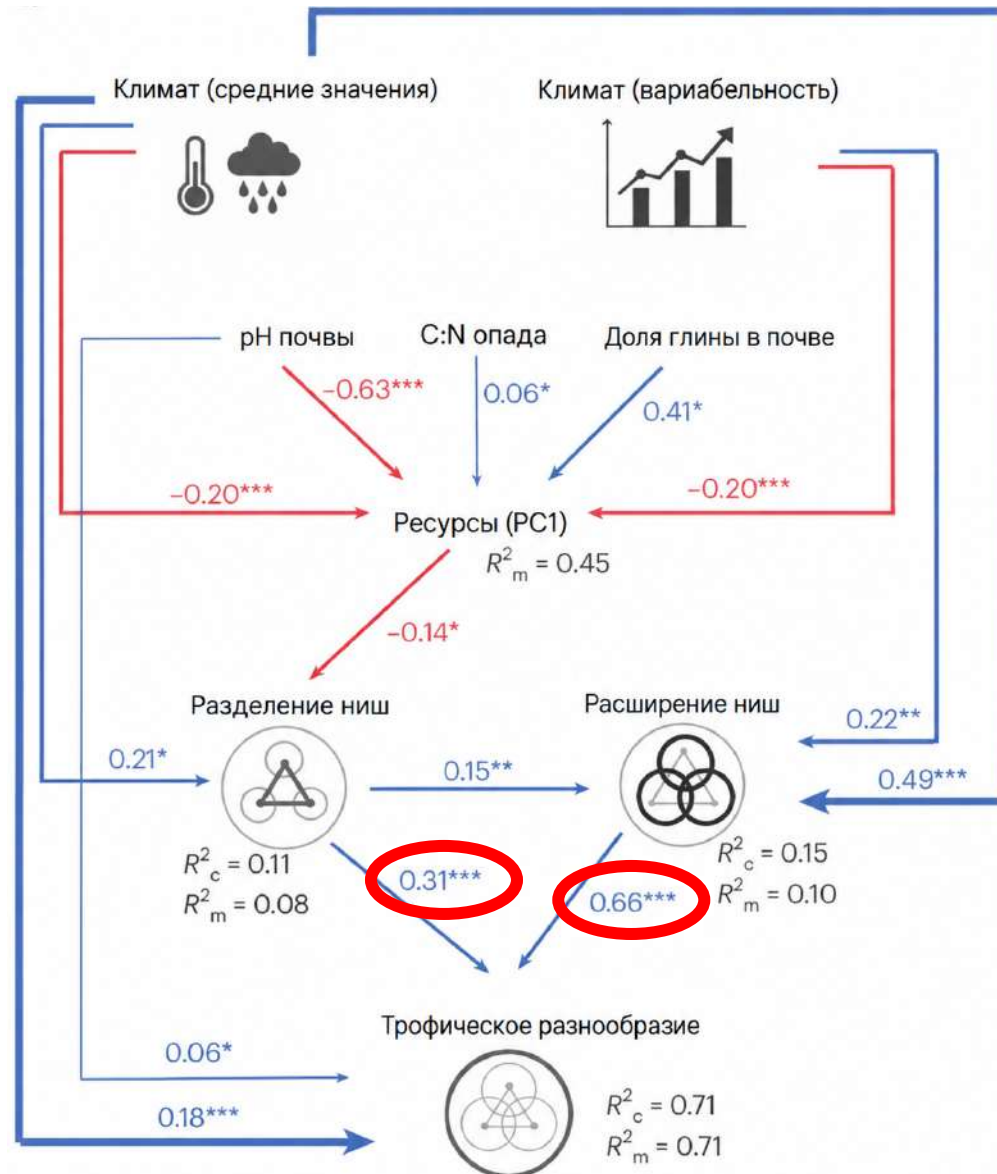


Механизмы влияния среды на трофическое разнообразие



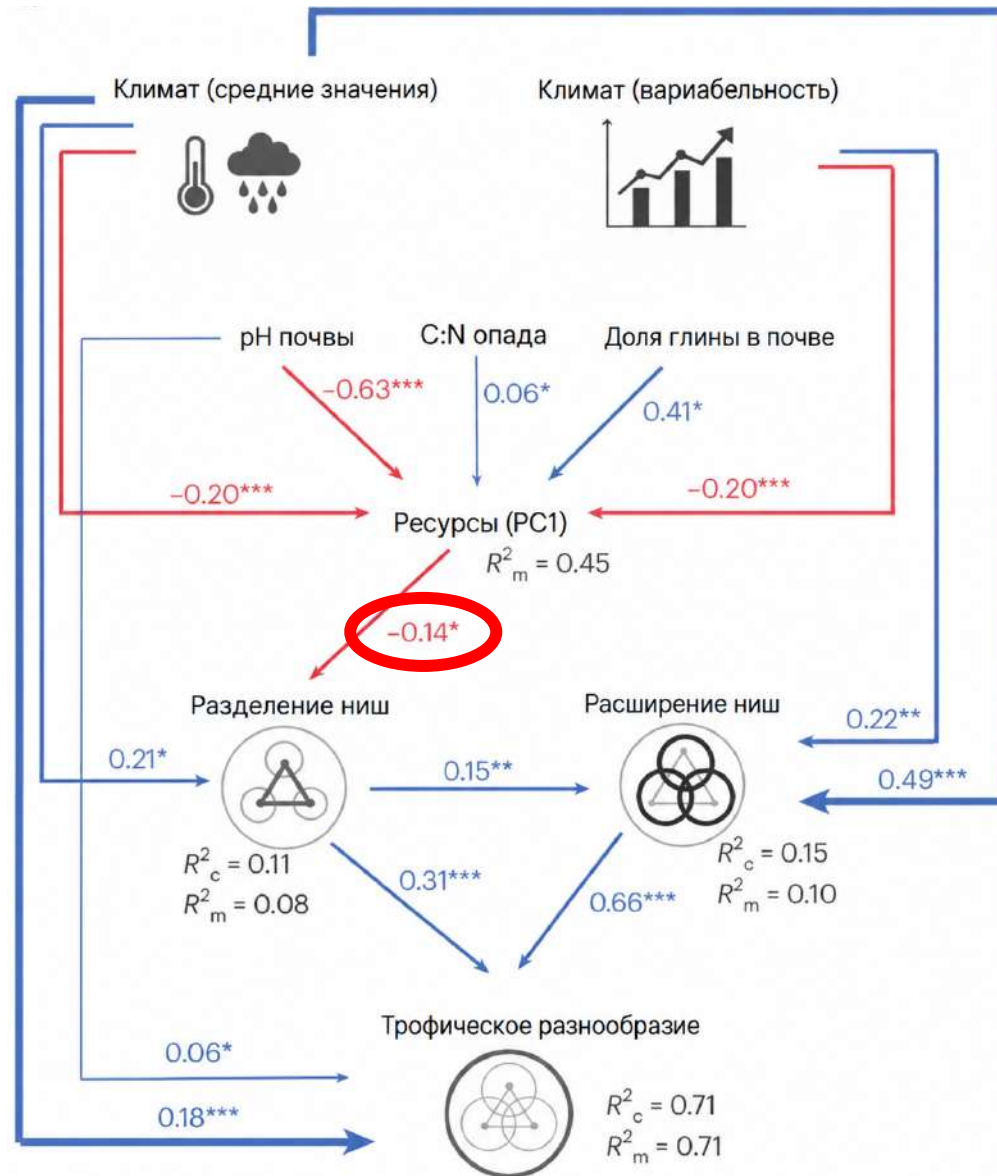
Пути влияния факторов среды на трофическое разнообразие через разделение и расширение ниш (piecewise SEM). Синие и красные стрелки показывают положительные и отрицательные связи; числа — стандартизированные коэффициенты. Показаны только значимые связи: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. Climate (mean): MAT + MAP. Climate (variation): сезонность температуры и осадков. Resources: органический углерод + подземная биомасса + первичная продукция

Механизмы влияния среды на трофическое разнообразие



Пути влияния факторов среды на трофическое разнообразие через разделение и расширение ниш (piecewise SEM). Синие и красные стрелки показывают положительные и отрицательные связи; числа — стандартизированные коэффициенты. Показаны только значимые связи: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. Climate (mean): MAT + MAP. Climate (variation): сезонность температуры и осадков. Resources: органический углерод + подземная биомасса + первичная продукция

Механизмы влияния среды на трофическое разнообразие

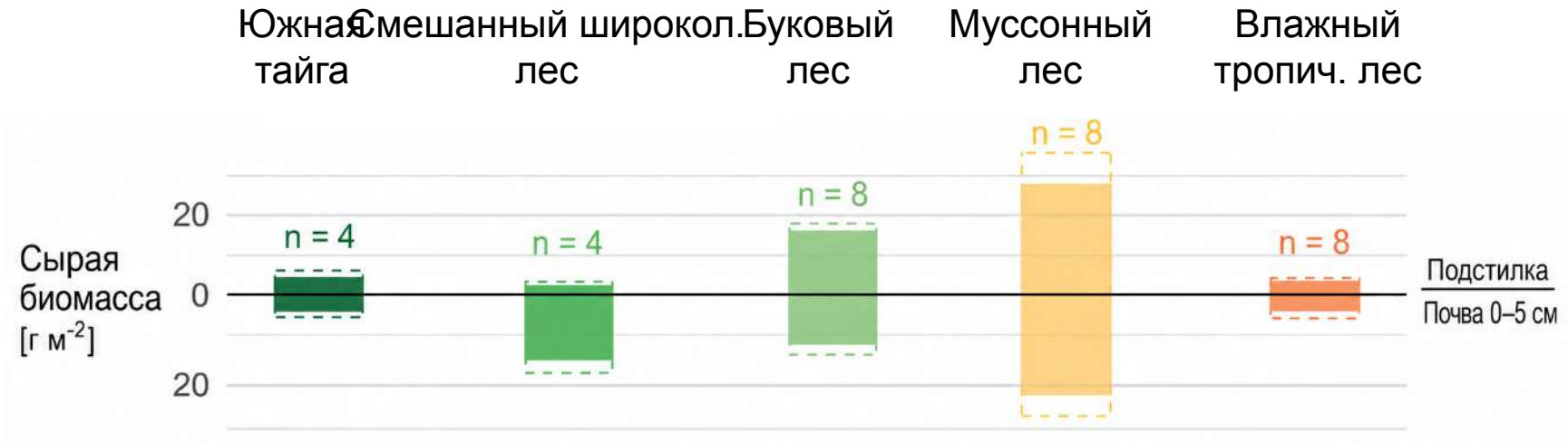


Пути влияния факторов среды на трофическое разнообразие через разделение и расширение ниш (piecewise SEM). Синие и красные стрелки показывают положительные и отрицательные связи; числа — стандартизированные коэффициенты. Показаны только значимые связи: *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001. Climate (mean): MAT + MAP. Climate (variation): сезонность температуры и осадков. Resources: органический углерод + подземная биомасса + первичная продукция

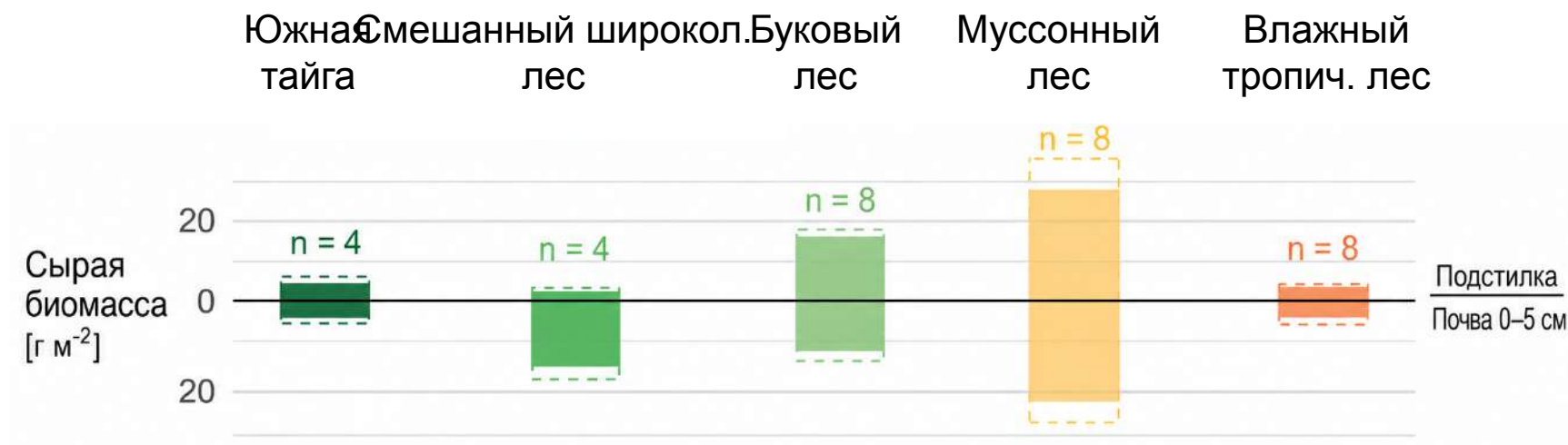
Условия среды изменяют не только среднее направление питания почвенных животных, но и разнообразие реализуемых ими трофических ниш



Биомасса и потоки энергии



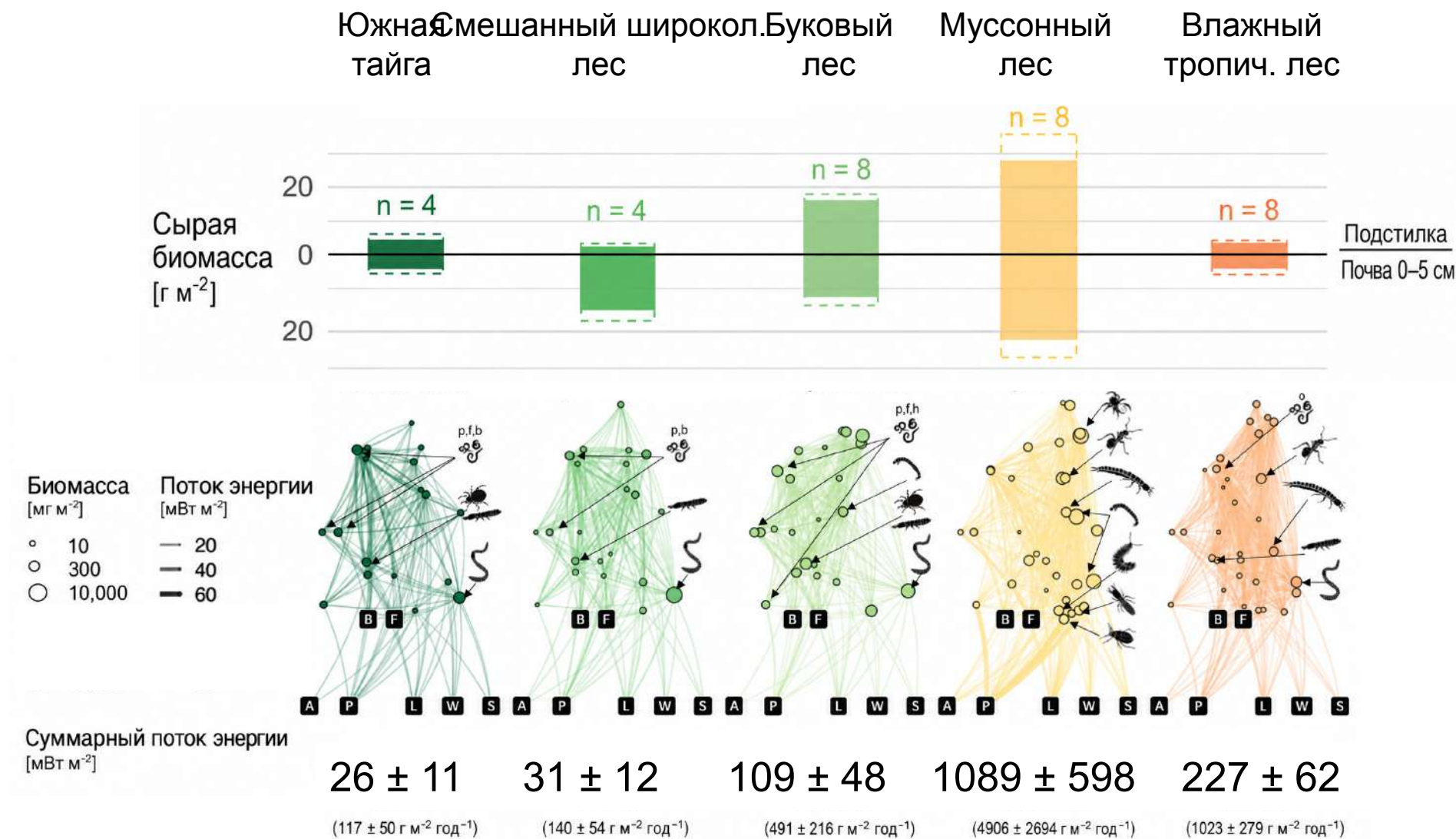
Биомасса и потоки энергии



+

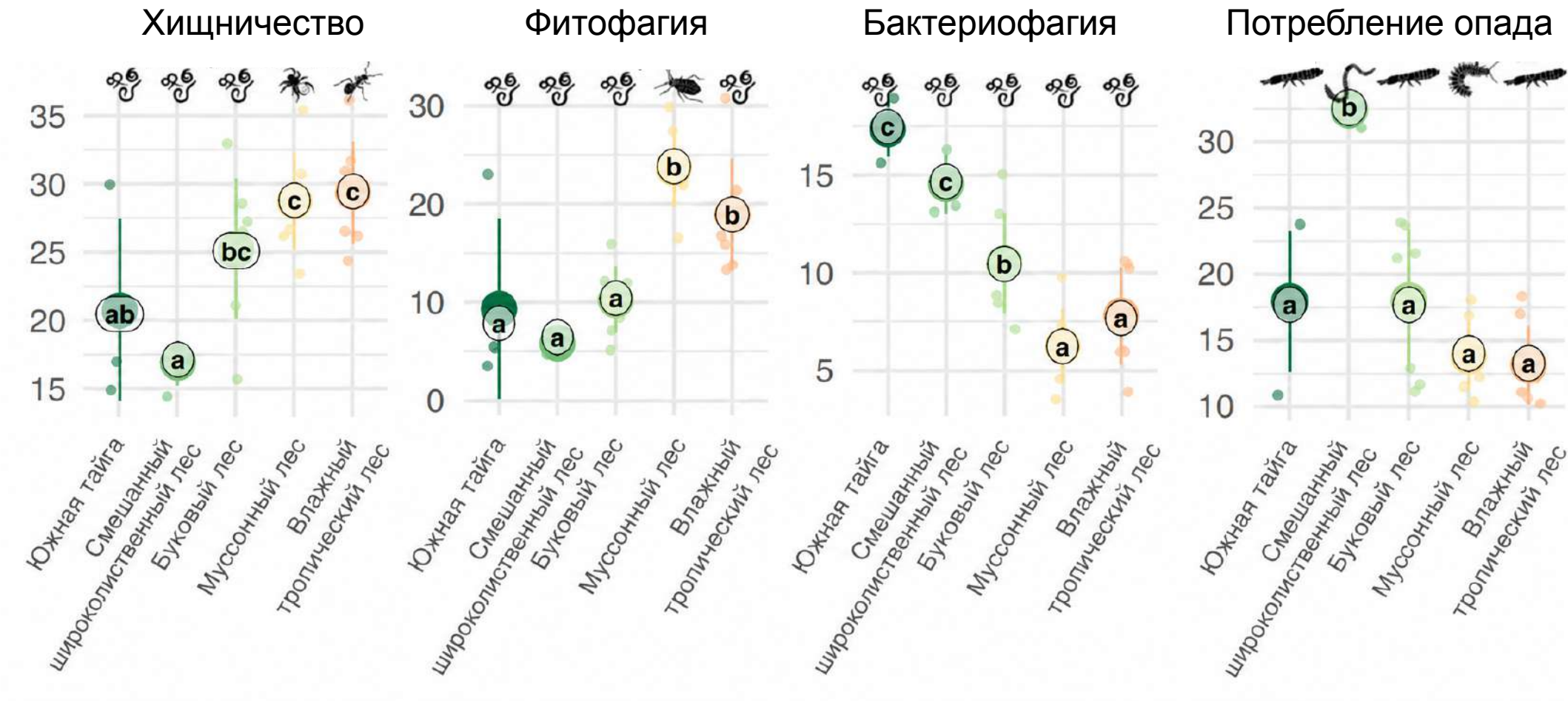
численность, размеры тела, трофические характеристики (в том числе изотопные данные), температура, метаболические потребности, эффективность усвоения пищи, ...

Биомасса и потоки энергии



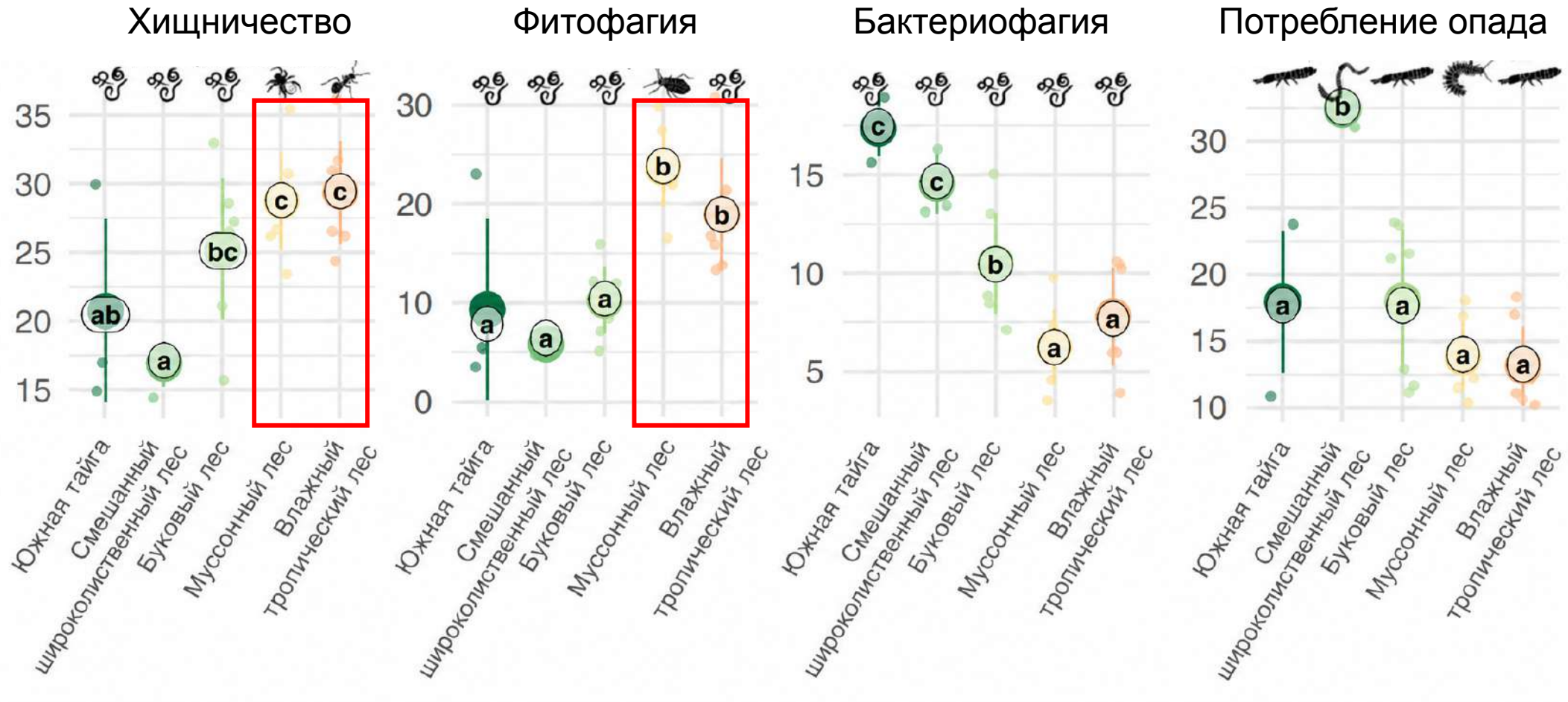
Распределение энергии между трофическими функциями

Доля суммарного потока энергии, %



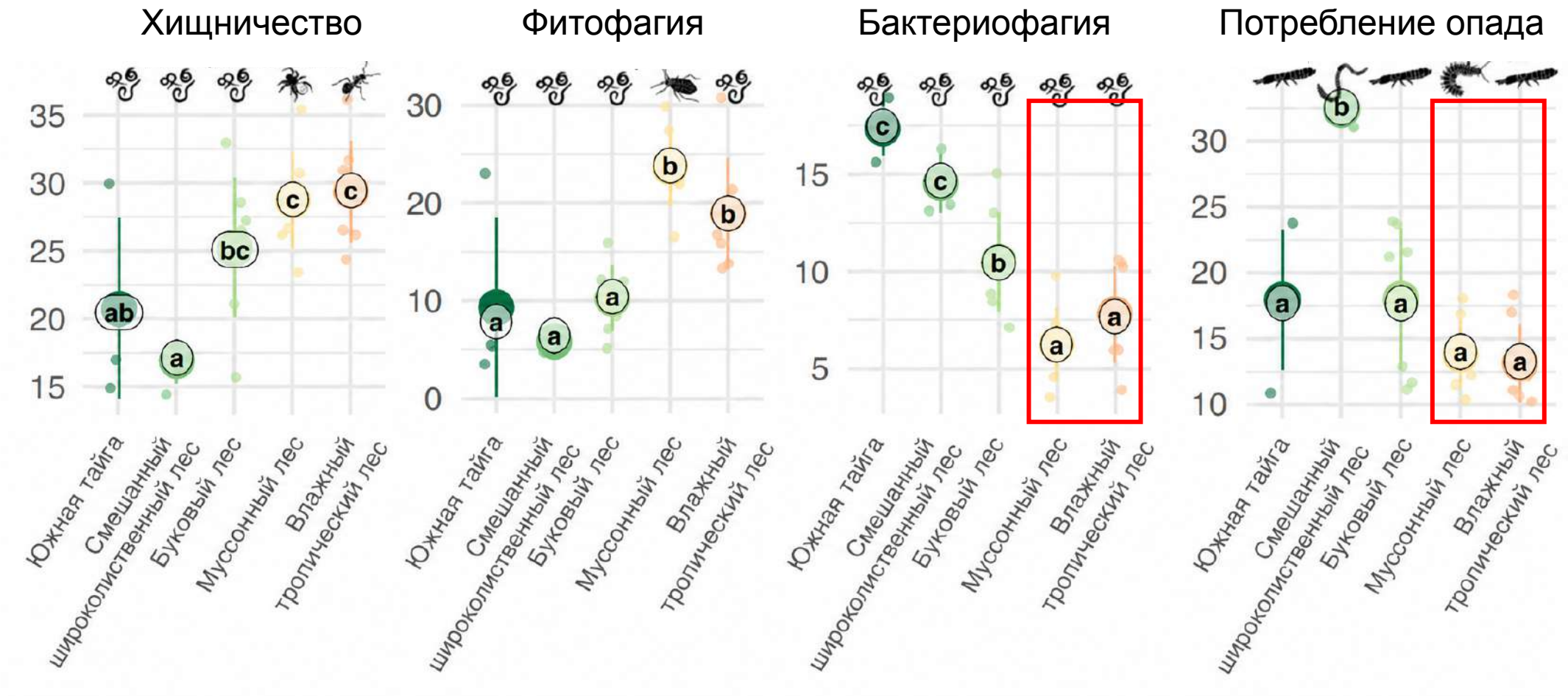
Распределение энергии между трофическими функциями

Доля суммарного потока энергии, %



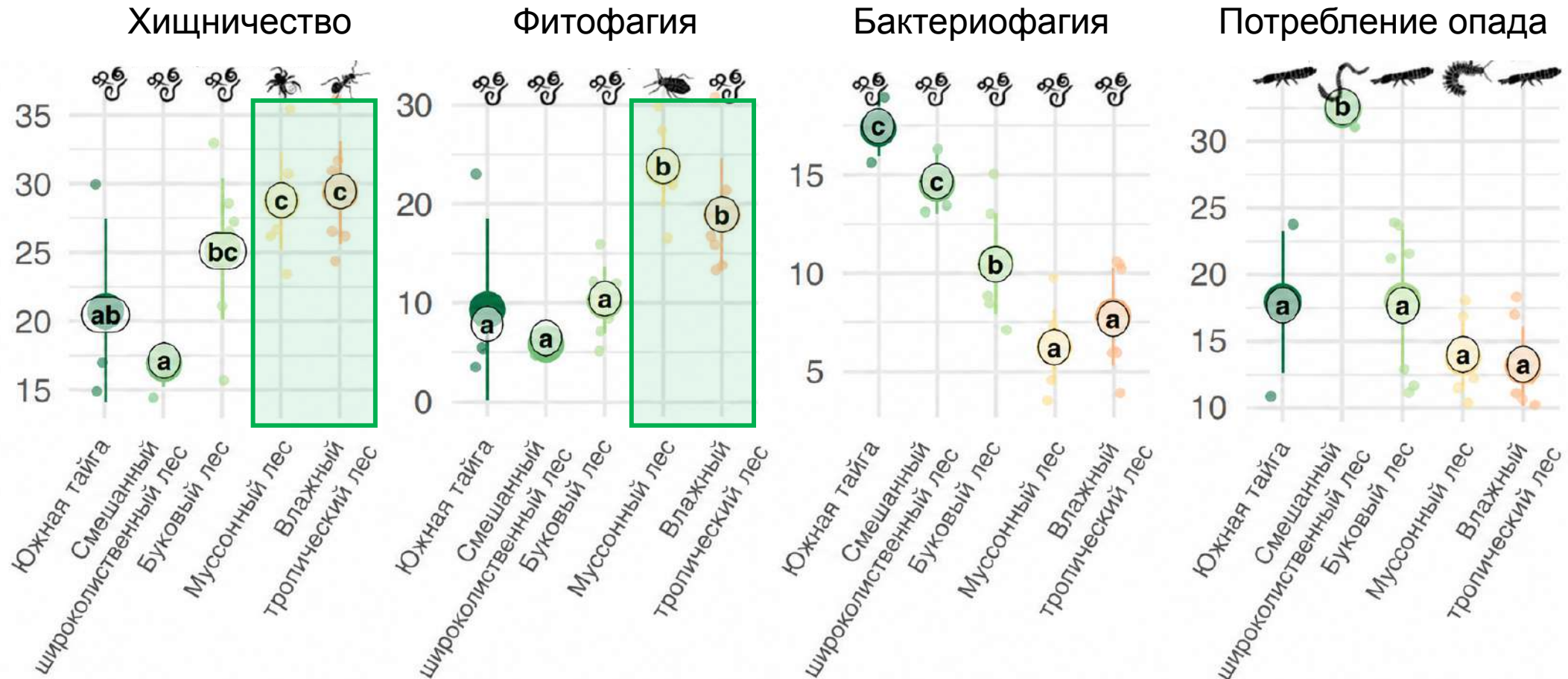
Распределение энергии между трофическими функциями

Доля суммарного потока энергии, %



Распределение энергии между трофическими функциями

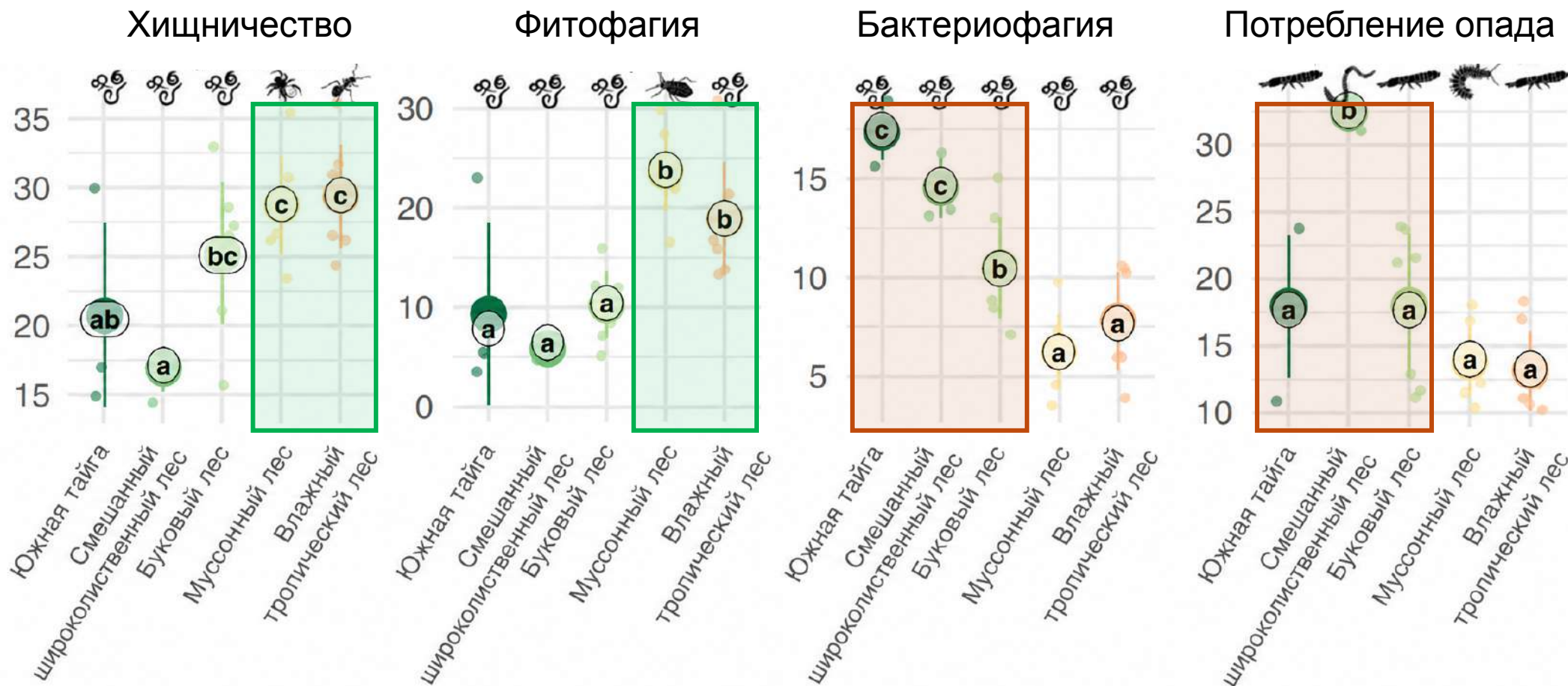
Доля суммарного потока энергии, %



«зеленое» функциональное состояние тропических лесов

Распределение энергии между трофическими функциями

Доля суммарного потока энергии, %



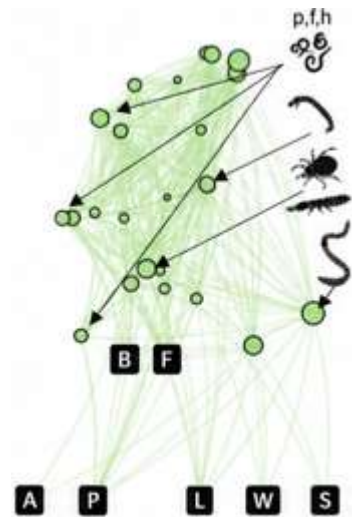
«зеленое» функциональное состояние тропических лесов



«коричневое» функциональное состояние умеренных лесов

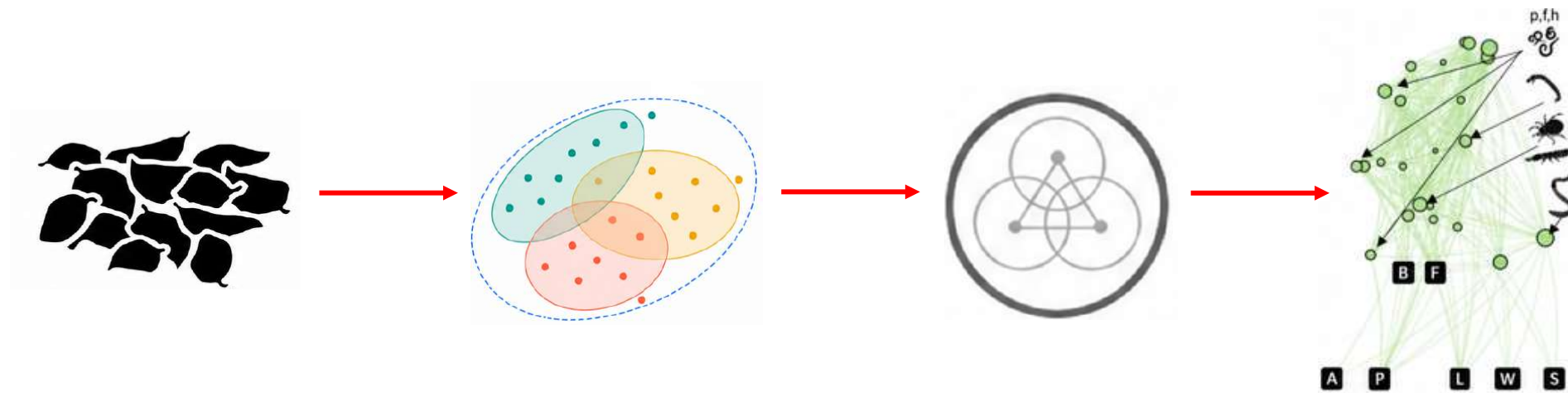
Биомасса почвенных животных сама по себе не отражает интенсивность потока энергии через сообщество.

На уровне пищевой сети различаются и интенсивность передачи энергии, и её распределение между трофическими каналами.



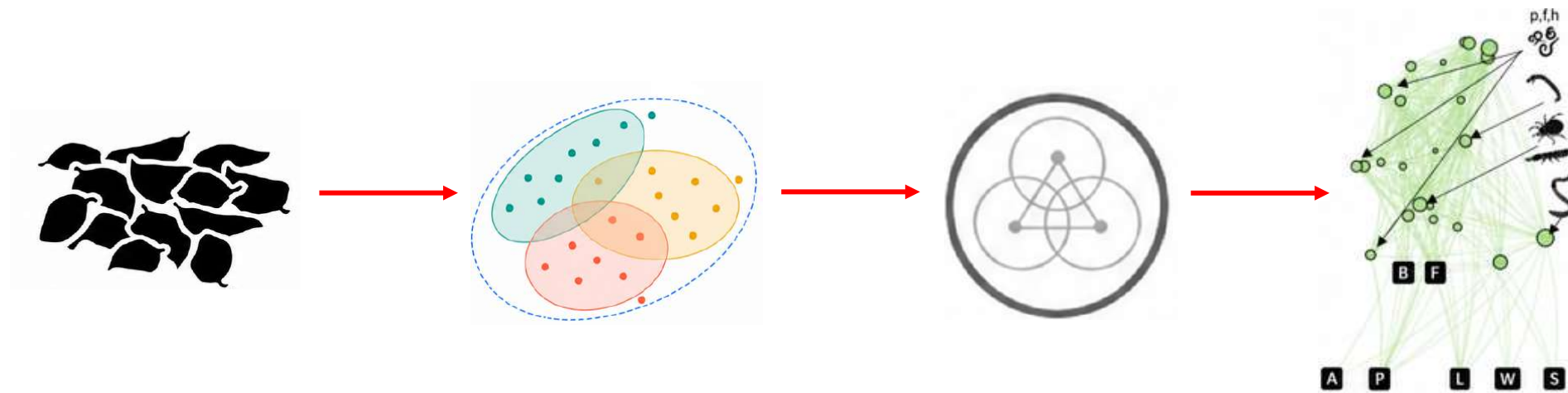
Таким образом,

В разных условиях среды различаются пути поступления ресурсов к почвенным животным, ширина и разделение их трофических ниш, интенсивность и распределение потоков энергии, которые также необходимо учитывать для понимания функционирования почвенных пищевых сетей.



Таким образом,

В разных условиях среды различаются пути поступления ресурсов к почвенным животным, ширина и разделение их трофических ниш, интенсивность и распределение потоков энергии, которые также необходимо учитывать для понимания функционирования почвенных пищевых сетей.



Спасибо за внимание