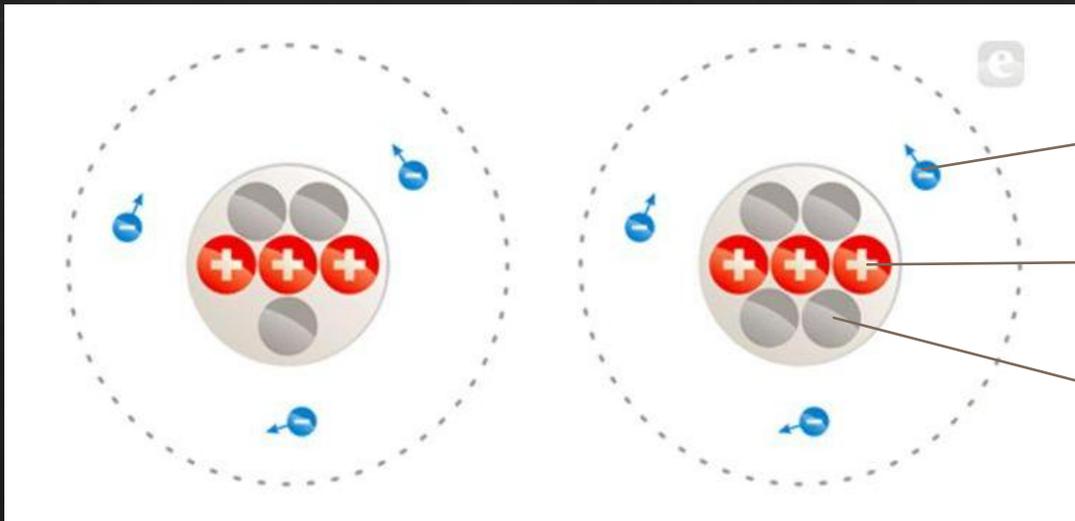


Метод стабильных изотопов.  
Сфера применения метода, задачи, которые  
можно решать с помощью этого метода.  
Анализ трофических цепей. Примеры.

Работа студентки 4 курса  
кафедры зоологии беспозвоночных  
группы 402  
Дегтяревой Елены

# Метод стабильных изотопов

Метод основывается на сравнении химических и биологических свойств тяжелых и легких изотопов. Различия небольшие, но достаточные для использования данного метода в исследованиях.



электроны

протоны

нейтроны

Легкий изотоп  ${}^3\text{Li}$

Тяжелый изотоп  ${}^4\text{Li}$

# Метод стабильных изотопов

Компоненты экосистемы различаются по изотопному составу. Основные элементы, соотношение изотопов которых чаще всего используется в биологических, палеонтологических и других исследованиях это углерод (C), азот (N), кислород (O), водород (H) и сера (S).

	Стабильные изотопы	Относительное обилие (ат. %)	Диапазон в биосфере	Стандарты
Углерод	<sup>12</sup> C	98.982	~60 ‰	V-PDB
	<sup>13</sup> C	1.018		
Азот	<sup>14</sup> N	99.63	~40 ‰	N <sub>2</sub> -атм.
	<sup>15</sup> N	0.366		
Водород	<sup>1</sup> H	99.987	>600 ‰	V-SMOW
	<sup>2</sup> H (D)	0.0156		
Кислород	<sup>16</sup> O	99.759	~100 ‰	V-SMOW, V-PDB
	<sup>17</sup> O	0.037		
	<sup>18</sup> O	0.204		
Сера	<sup>32</sup> S	95.693	~100 ‰	CDT
	<sup>34</sup> S	4.307		

Таблица соотношения легких и тяжелых изотопов важных для экосистем элементов в атмосфере и биосфере. Используемые для разных элементов стандарты.

Таблица из презентации д.б.н. Тиунова А.В.

# Метод стабильных изотопов

Как расшифровываются аббревиатуры используемых стандартов?

V-PDB – Vienna Pee Dee Belemnite. Оригинальный стандарт (PDB) был создан на основе морских окаменелостей мелового периода *Belemnitella americana* формации Pee Dee в Южной Каролине. Впоследствии на его основе в МАГАТЭ произвели V-PDB, не отличающийся по своим свойствам от PDB.

V-SMOW – Vienna Standart Mean Ocean Water. Был создан на основе дистиллированной океанической воды, собранной из разных частей света.

CDT – Canion Diablo Troilite. За основу этого стандарта был взят изотопный состав осколков метеорита, найденных в каньоне Дьявола в Аризоне.

# Метод стабильных изотопов

Как разделяются изотопы?

Для разделения изотопов используют метод изотопной спектрометрии (валовой анализ)



Схема механики изотопной спектрометрии из презентации д.б.н. Тиунова А. В.

# Метод стабильных изотопов

## IRMS

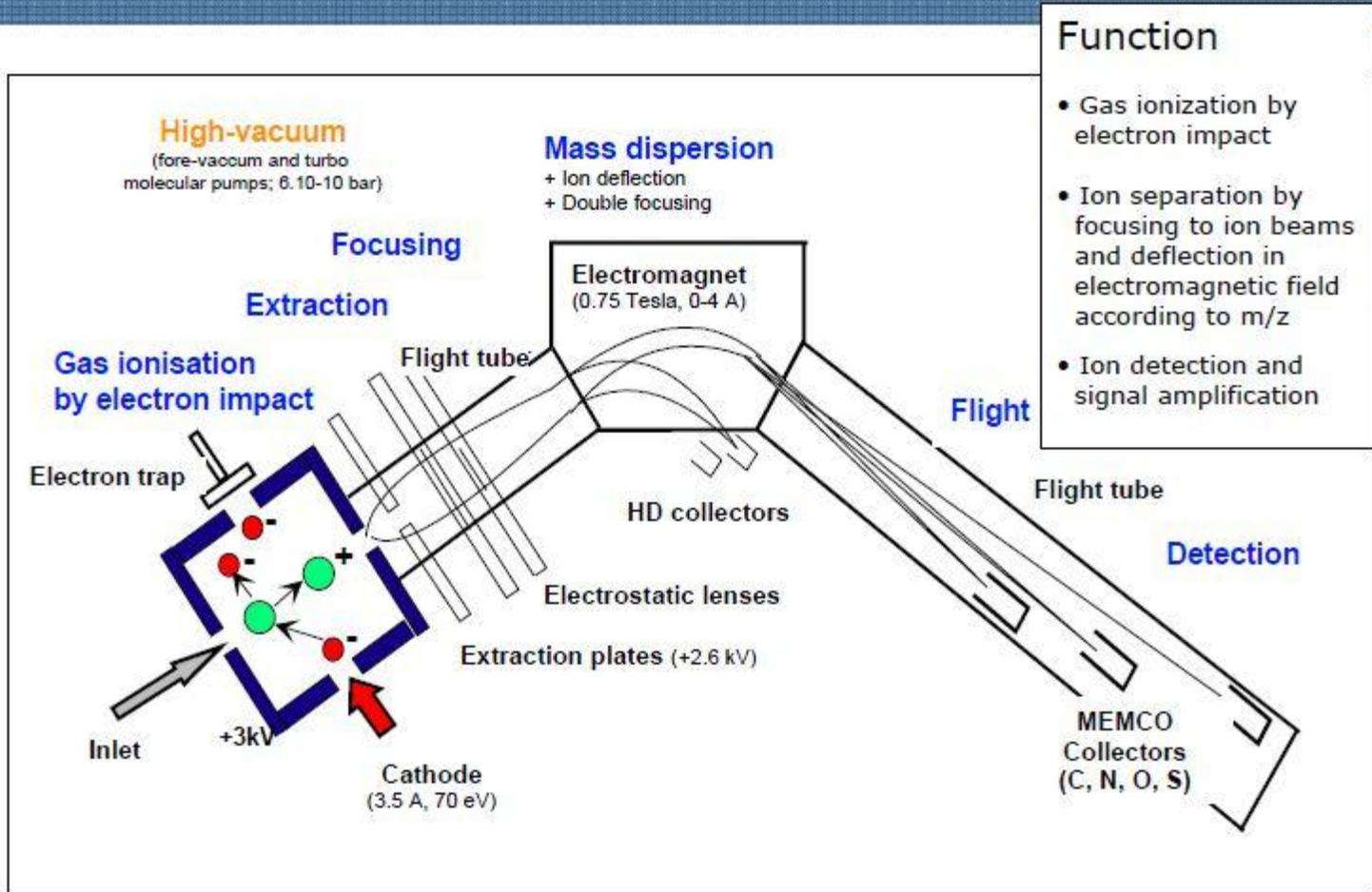


Схема работы масс-спектрометра  
ИЗОТОПНЫХ ОТНОШЕНИЙ.

# Метод стабильных изотопов

- Концентрацию стабильных изотопов принято выражать в тысячных долях отклонения от международного стандарта:

$$\delta^{15}\text{N} = [(R_{\text{проба}} - R_{\text{стандарт}}) / R_{\text{стандарт}}] * 1000 (\text{‰})$$

R – отношение обилия тяжелого изотопа к легкому (здесь  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ )

$\delta$  (‰) – дельта - «Изотопная подпись» элемента.

1 ‰ это очень мало (для  $^{15}\text{N}$  ~ 0.0004 ат.‰).

Точность измерения при помощи continuous-flow Isotope Ratio Mass Spectrometry обычно в пределах 0.1-0.5 ‰.

Размер пробы порядка 0.5-1 мг (сухой вес)

Слайд из лекции д.б.н.  
Тиунова А.В.

# Сфера применения метода

- Геохимия биогенных (а также рудных и нефтеносных) элементов
- Исследования океана и атмосферы, глобальных циклов воды и углерода
- Физиология животных и растений; молекулярная биология
- Почвоведение, динамика ОВ почвы, баланс С и N
- Биогеоценология, экосистемная экология
- Палеоэкология, реконструкция климатических условий прошлого
- Археология, палеонтология

# Сфера применения метода

Возможные способы применения метода в разного рода исследованиях:

- Изотопная метка используется как маркер потоков, источников и стоков вещества и энергии
- Изотопная метка является маркером миграций и перемещений как живых организмов, так и загрязнений
- Изотопный состав, как и его изменения, – это индикатор направления и интенсивности биогеохимических, физиологических (и «экологических») процессов
- Кроме того изотопный анализ является способом получить новые сведения об известных и неизвестных ранее процессах

# Анализ трофических цепей

Применяя метод стабильных изотопов стоит учитывать несколько экологических правил:

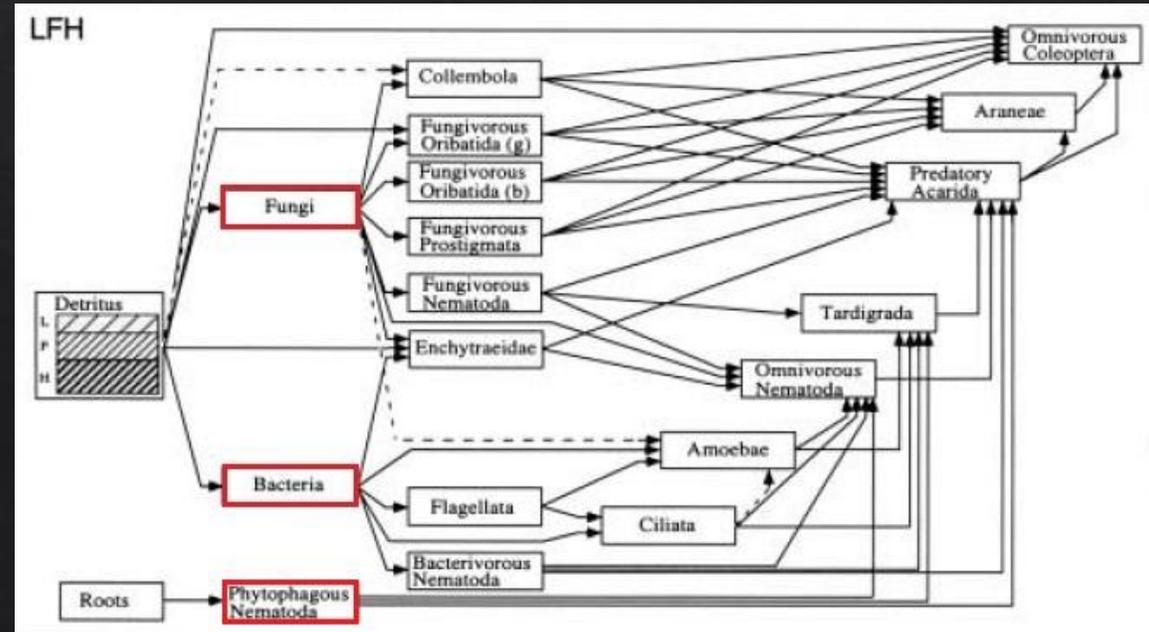
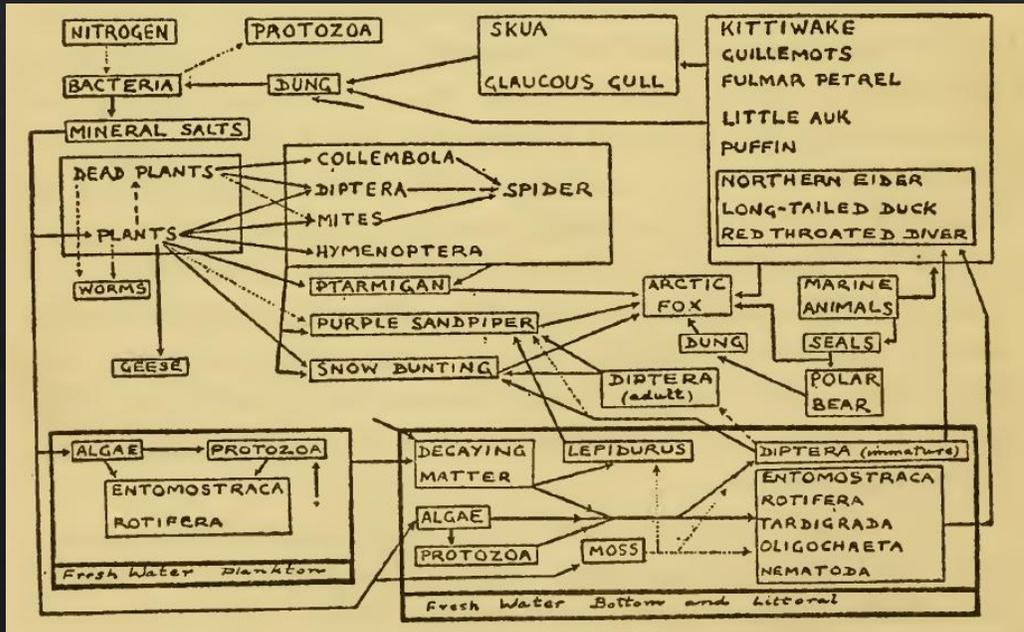
1. Изотопный состав закрытой системы не меняется
2. Физические, химические и биологические процессы сопровождаются «фракционированием» изотопов
3. Изотопный состав консумента соответствует, но не идентичен, изотопному составу его пищи



# Анализ трофических цепей

Пищевые цепи являются частью сложных пищевых сетей. С помощью изотопного анализа возможно составить модели таких пищевых сетей, проследив за изотопным составом организмов на всех ее этапах.

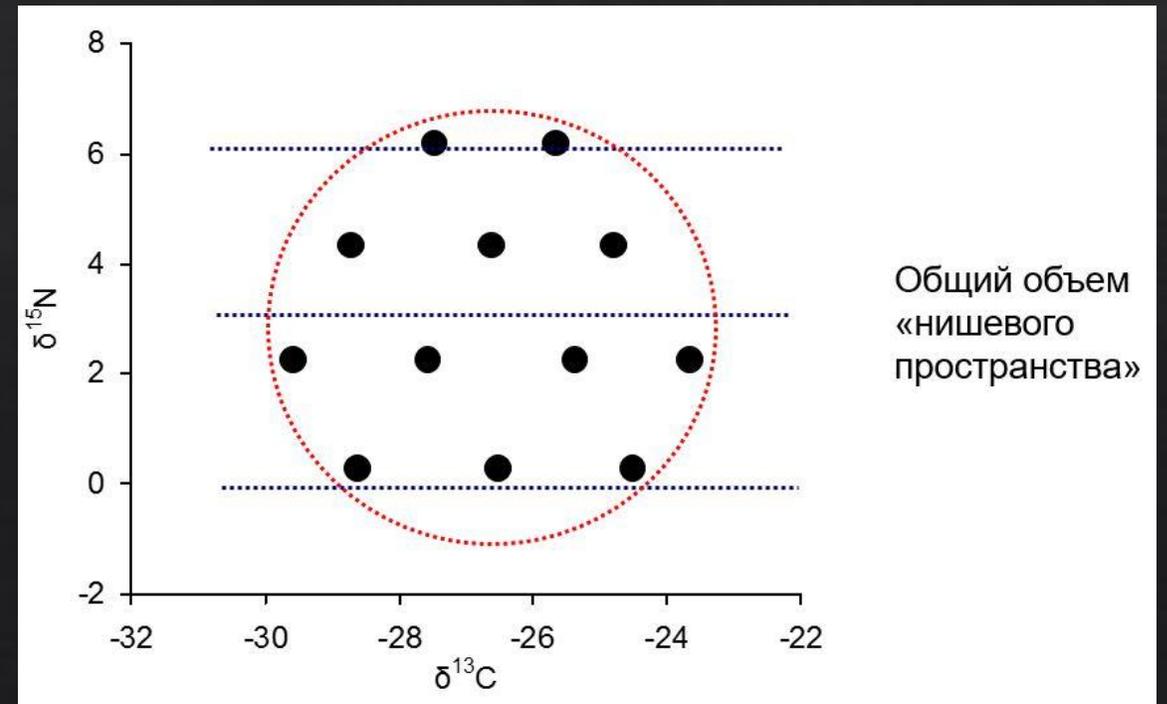
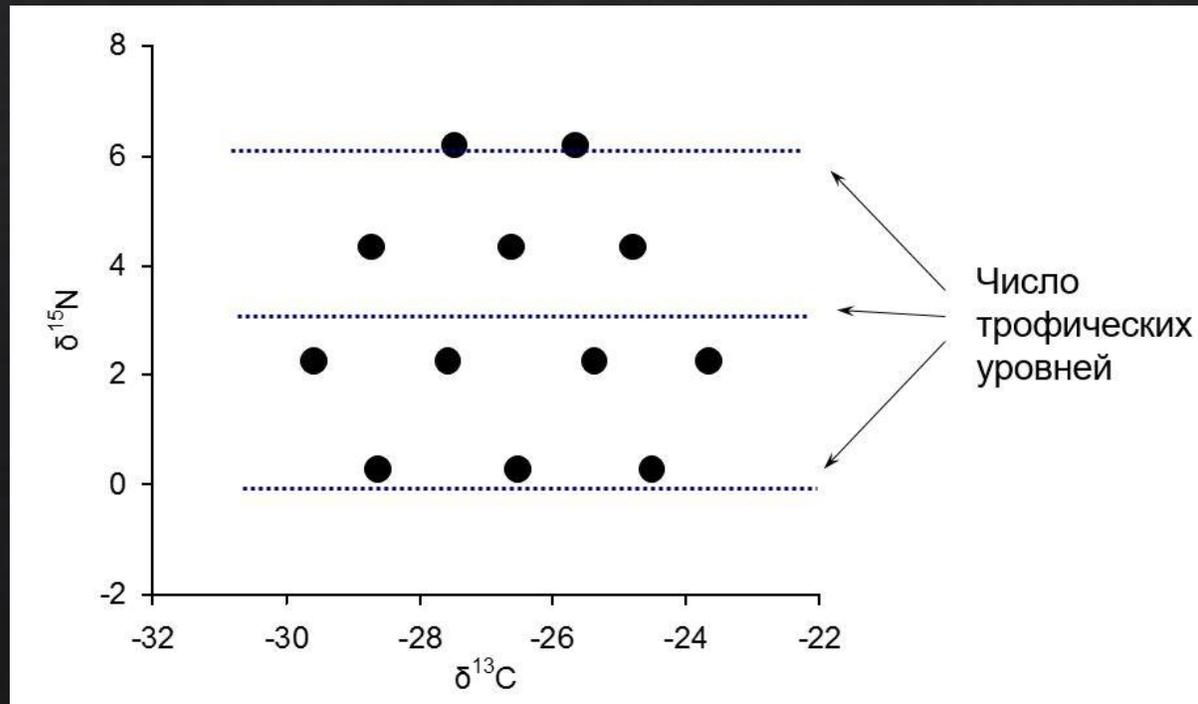
Теория пищевых сетей рассматривает потоки вещества и энергии + регуляторные механизмы. Трофические сети включают растения и микроорганизмы как обязательный компонент.



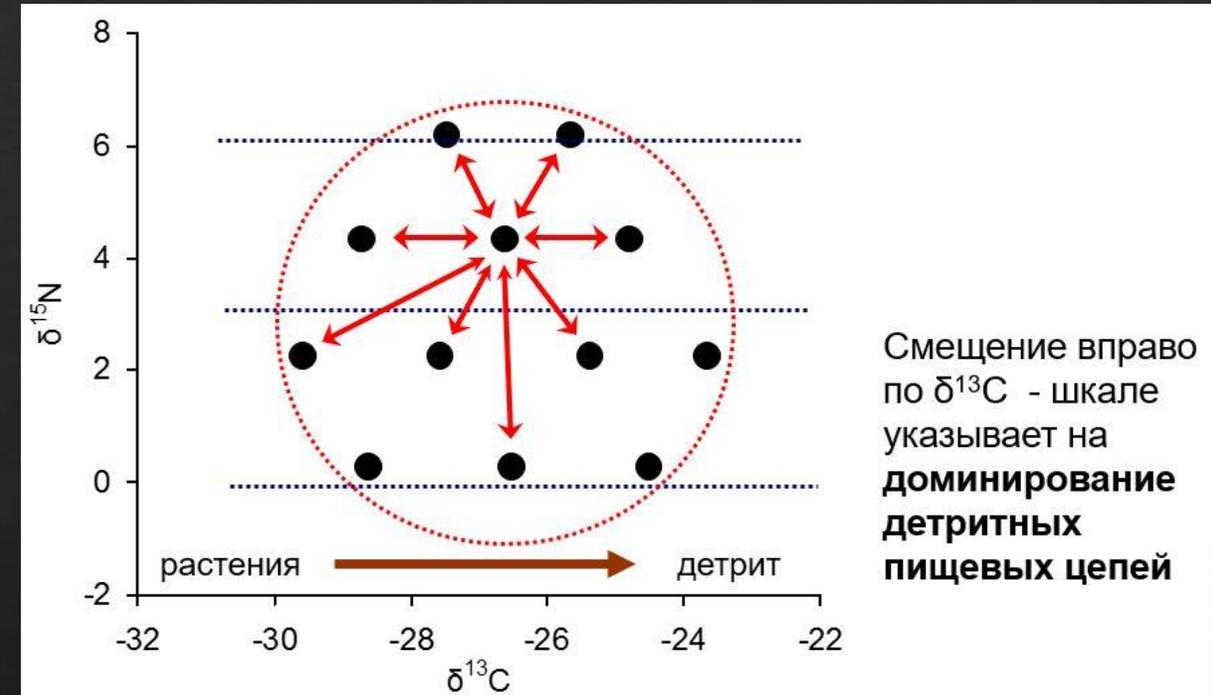
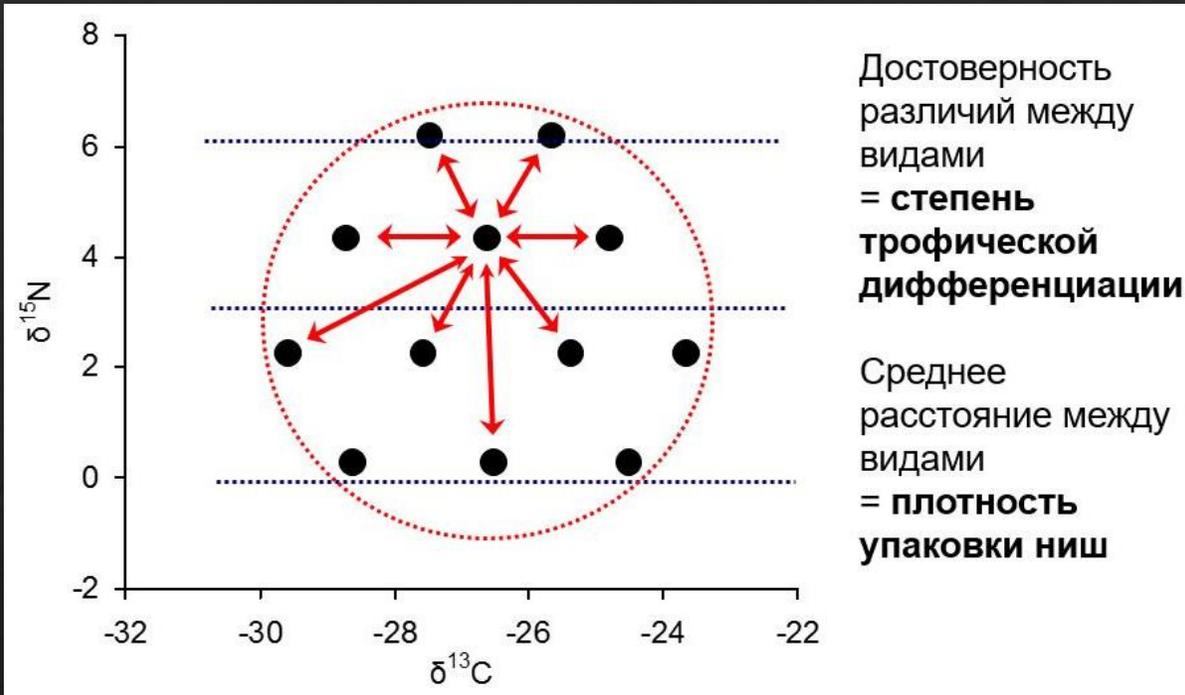
Модели пищевых сетей С. Elton (1927) и Berg et. al. (2001). Материалы взяты из лекции д.б.н. Тиунова А.В.

# Анализ трофических цепей

На основе анализа изотопного состава группы организмов можно составить распределение этих организмов по «трофическим нишам». Изотопный анализ дает возможность дать формальную оценку ряда ключевых структурных параметров трофической сети.



# Анализ трофических цепей

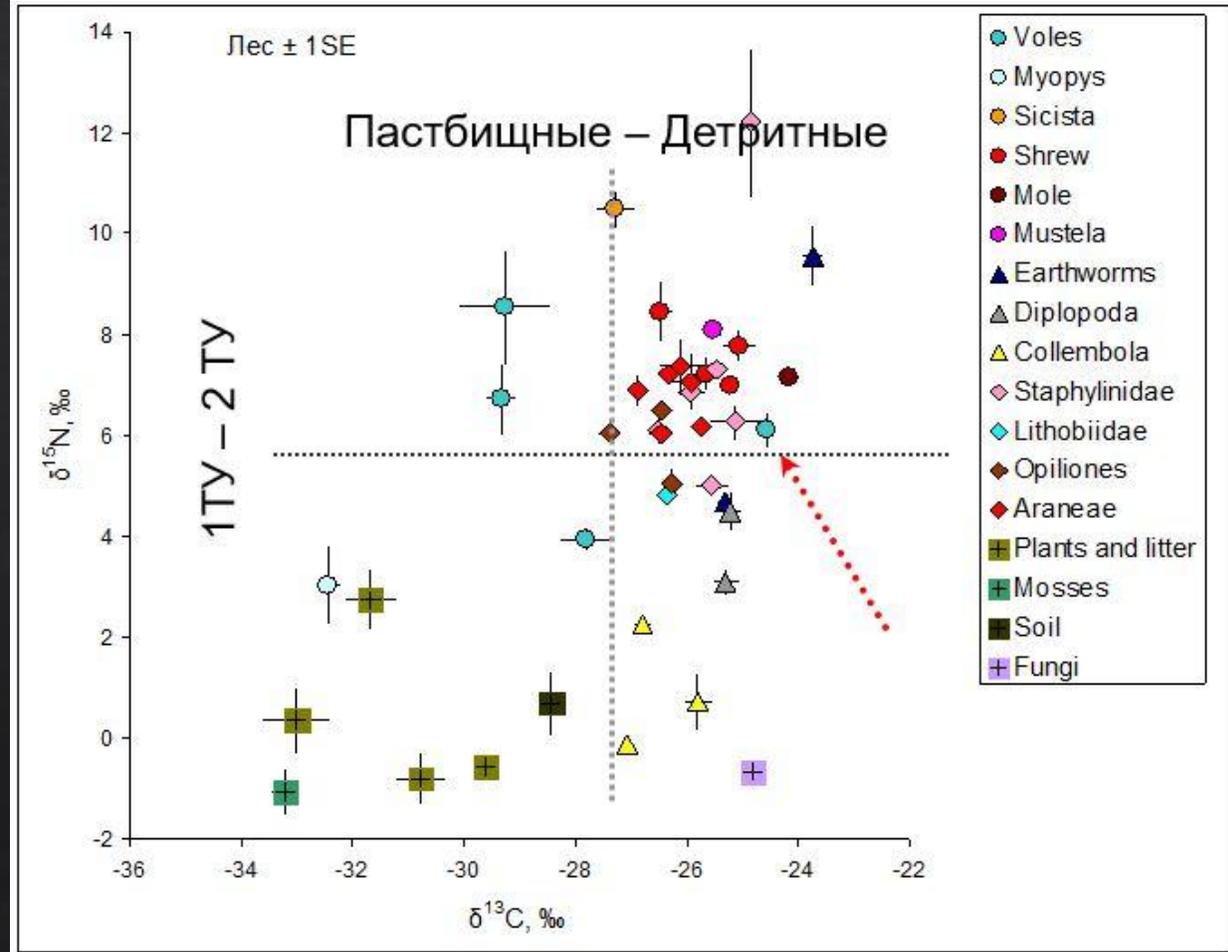
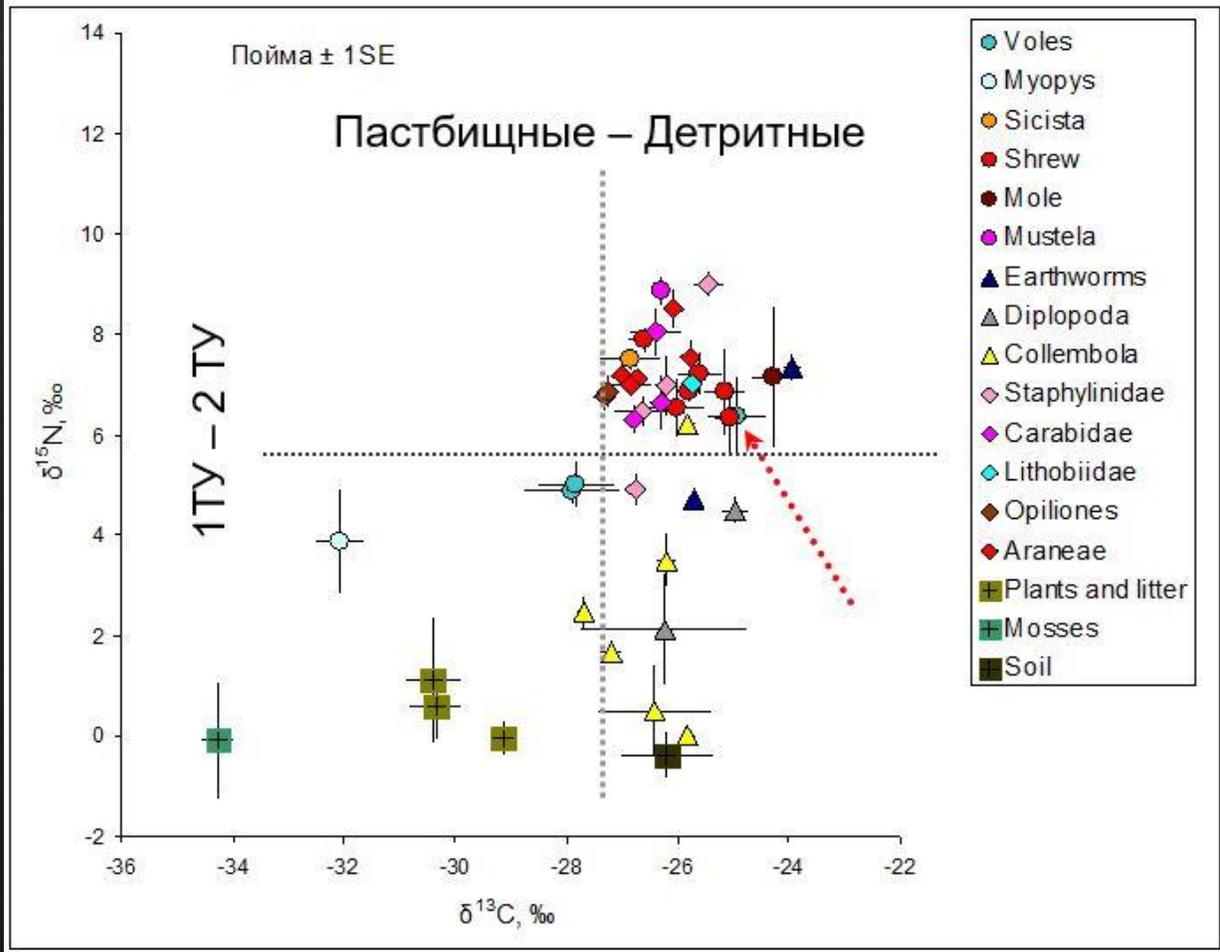


Закономерности распределения видов по трофическим нишам. Материалы взяты из лекции д.б.н. Тиунова А. В.

# Анализ трофических цепей

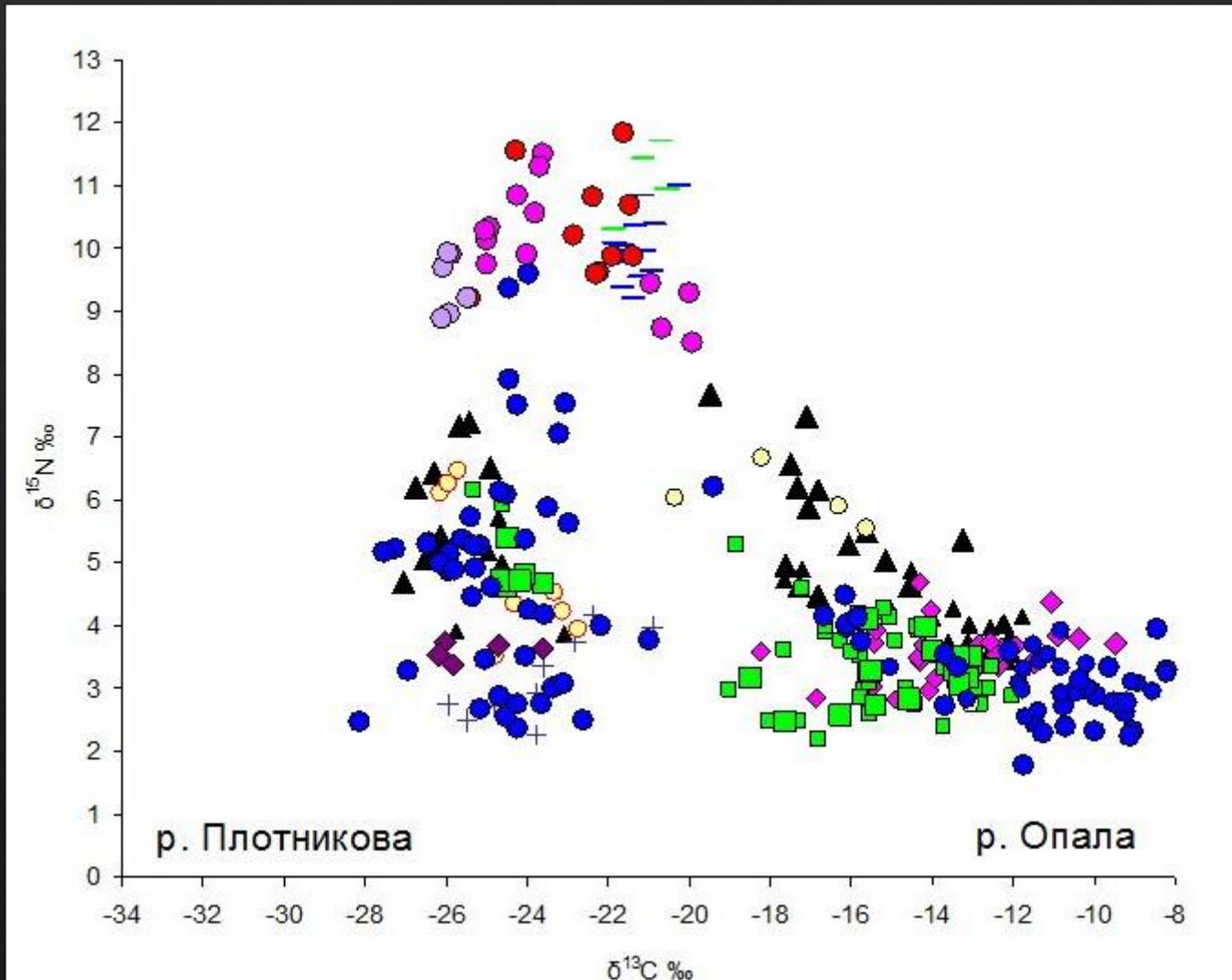
- Установлены закономерности формирования изотопного состава живых организмов
- Для ряда модельных групп установлены тонкие различия трофической специализации видов и надвидовых таксонов
- Разработаны подходы к оценке мощности разных потоков энергии в трофических сетях
- Установлена связь между разнообразием сообщества и структурными параметрами трофических сетей; выявлены механизмы формирования трофических ниш в гипер-разнообразных сообществах
- Существенный прорыв в способах объективного описания структуры пищевых сетей
- Выявлены доселе неизвестные регуляторные связи между экологией и филогенезом.

# Примеры распределения организмов по трофическим нишам



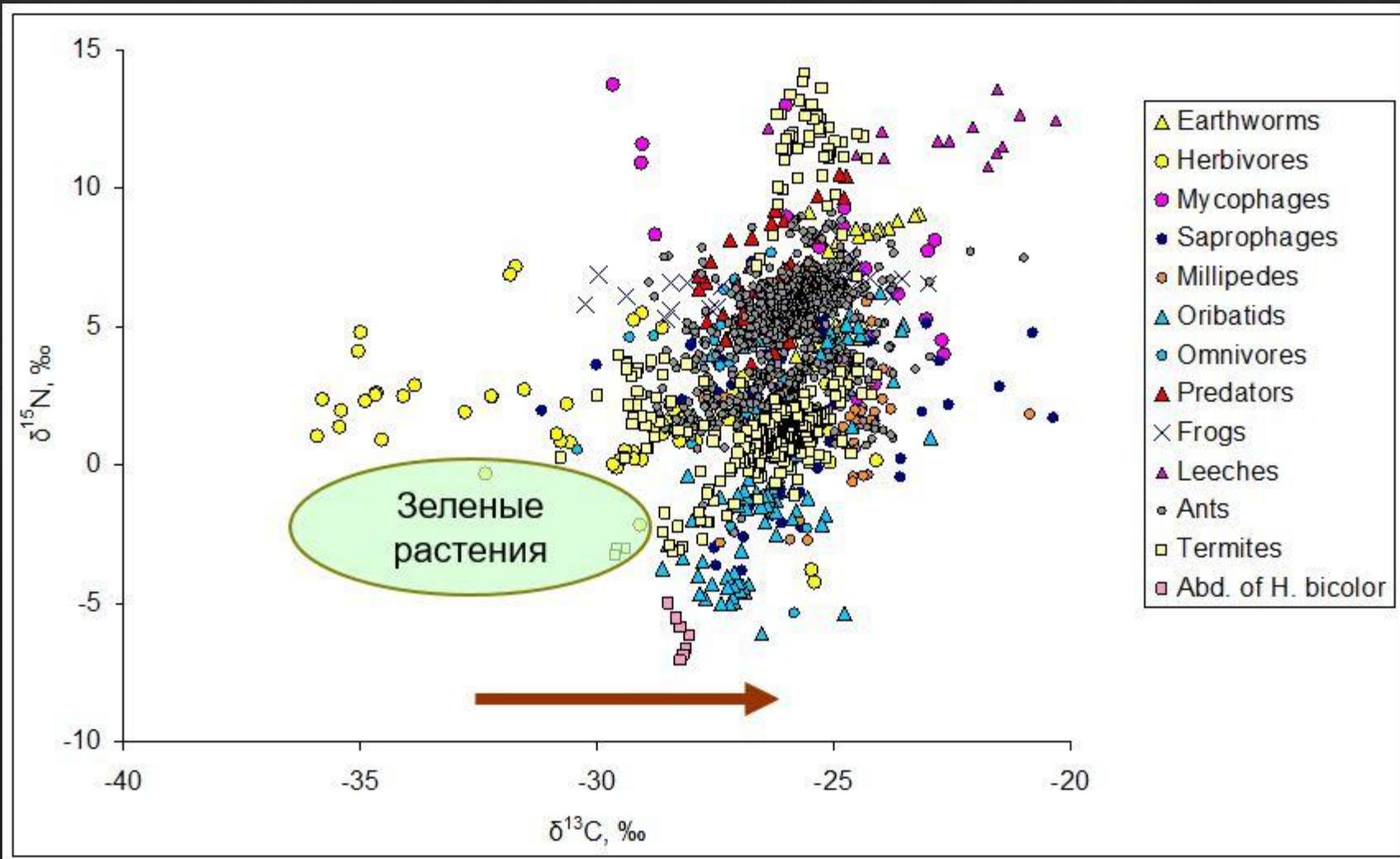
Изотопный состав мелких млекопитающих и почвенных беспозвоночных поймы и леса. Материалы из лекции д.б.н. Тиунова А.В.

# Примеры распределения организмов по трофическим нишам



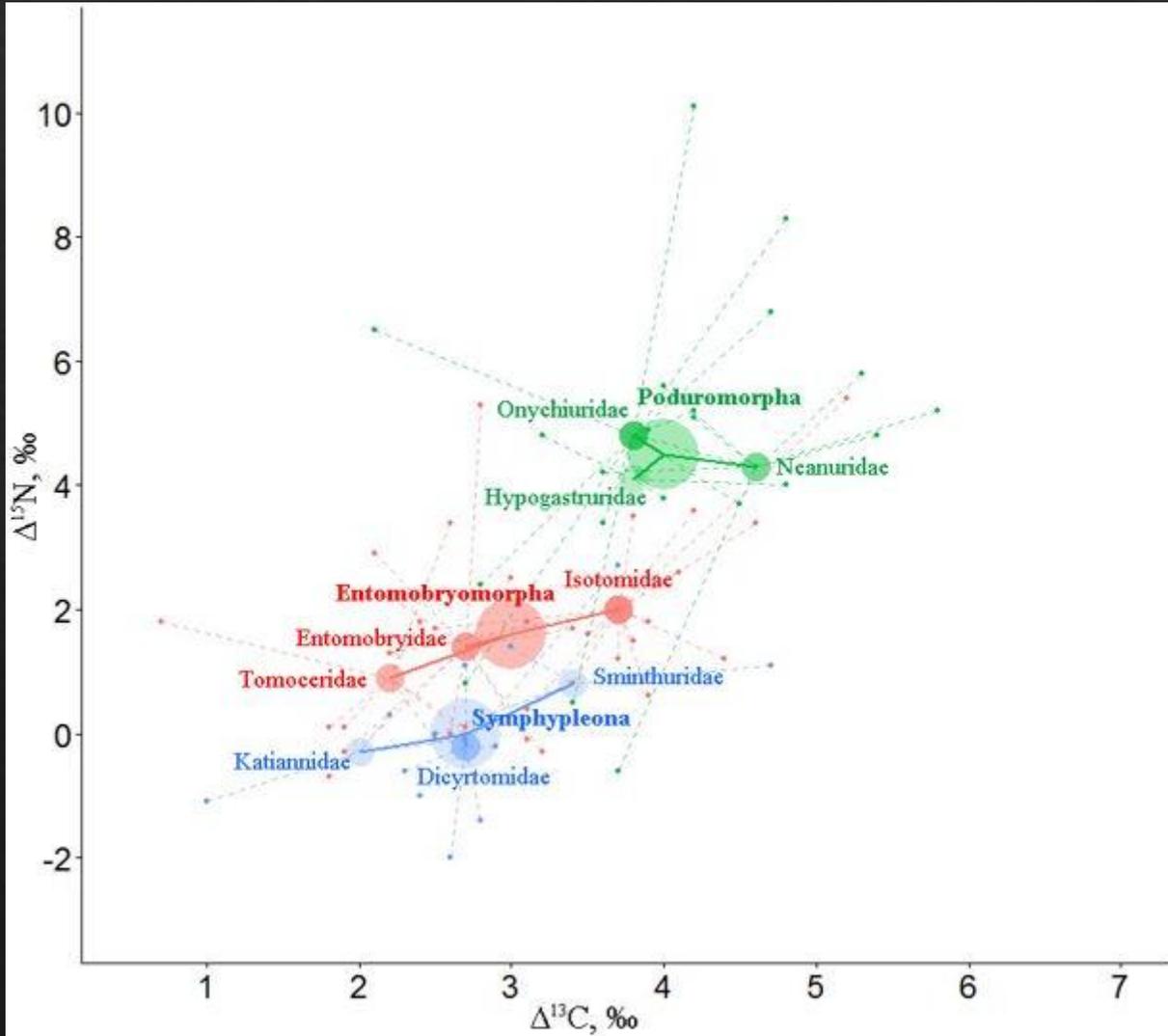
Изотопный состав беспозвоночных в двух соседних реках Юго-Западной Камчатки. Материал взят из лекции д.б.н. Тиунова А.В.

# Примеры распределения организмов по трофическим нишам



Детритная пищевая сеть в тропическом южном лесу. Полулистопадный лес, Южный Вьетнам. Материал взят из лекции д.б.н. Тиунова А.В.

# Примеры распределения организмов по трофическим нишам



Филогенетический консерватизм трофических ниш коллембол  
(Potapov et al., in preparation)

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**