Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Лаборатория почвенной зоологии и общей энтомологии

Изменения значений $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ в комплексных тканях двух видов жужелиц при содержании на обогащенной ^{13}C и ^{15}N диете: 72-дневный эксперимент

А.А. Гончаров[1], К.В. Макаров[2], А.В. Маталин[2,3], А.И. Долгун[4], А.В. Тиунов[1]

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

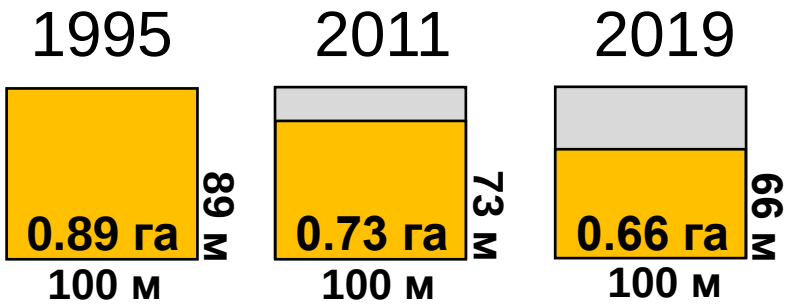
[2]Московский Педагогический Государственный Университет, Москва, Россия

[3]Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Россия

[4]Центр современных технологий и консалтинга, Москва, Россия

Актуальность

- В 1995 году на каждого жителя Земли приходилось **0.89 га** сельскохозяйственных угодий (5.11 млрд. га, 5.7 млрд. человек)*
- В 2011 году – **0.73 га** сельскохозяйственных угодий (5.09 млрд. га, 7.0 млрд. человек)*
- Наблюдаемый тренд делает все более затратным использование химических методов, способствуя развитию и применению биологических методов в сельском хозяйстве
- В наземных экосистемах круговорот органического углерода локализован неравномерно: около 95% органического углерода приурочено к детритным пищевым сетям, остальные 5% находятся в пастбищных сетях
- Манипулирование детритными пищевыми сетями может иметь высокое практическое значение: например, для повышения урожайности или для ускорения возобновления лесных посадок



*По данным FAO и worldbank.org

Цель и задачи

Цель

Изучить динамику значений $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ в комплексных тканях двух видов жужелиц при содержании на обогащенной ^{13}C и ^{15}N диете

Задачи

- Провести лабораторный эксперимент, в ходе которого кормить имаго жужелиц обогащенной ^{13}C и ^{15}N пищей
- Оценить изотопный состав в образцах комплексных тканей жужелиц, отобранных несколько раз в течение эксперимента
- С помощью экспоненциальной модели оценить ключевые параметры скорости обмена изотопов углерода и азота в комплексных тканях жужелиц

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Лабораторный эксперимент: дизайн

- Самцы и самки двух видов жужелиц (*Pterostichus oblongopunctatus* и *Platynus assimilis*) были собраны во второй половине октября в Подмосковье и зимовали в условиях лаборатории при T = +2…0°C.
- В январе они были разделены на две экспериментальных группы и пересажены в садки, где содержались в одинаковых условиях (LD – 16:8, T = +14…+15°C, постоянная обеспеченность водой).
- Одной группе предлагалось ad libitum мотыль или мотыль + семена мятлика лугового.
- Отбор образцов производили раз в 9 дней.

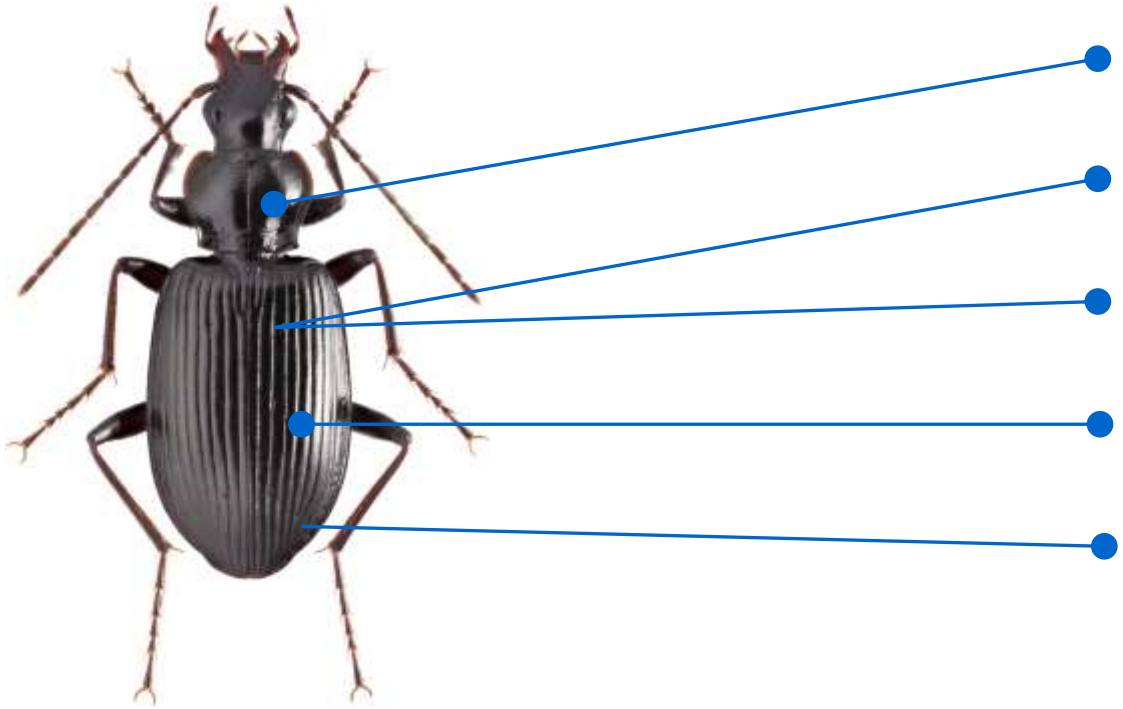
Pterostichus oblongopunctatus (Fabricius, 1787)

Platynus (s. str.) assimilis (Paykull, 1790)

Садки, в котором содержались жужелицы

Лабораторный эксперимент: снимаемые показатели

Пять видов комплексных тканей



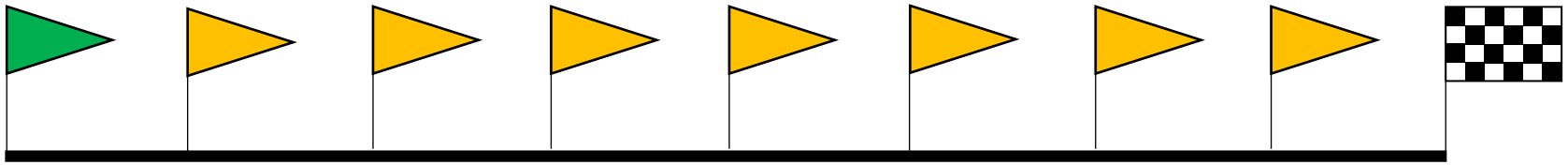
- Мышцы (из переднегруди)
- Жировое тело
- Гонады
- Надкрылья
- Содержимое прямой кишки (при наличии)

- В каждом образце комплексной ткани был изучен изотопный состав углерода и азота
- В рамках эксперимента проанализировано около 1200 образцов из 230 особей

Лабораторный эксперимент: отбор образцов

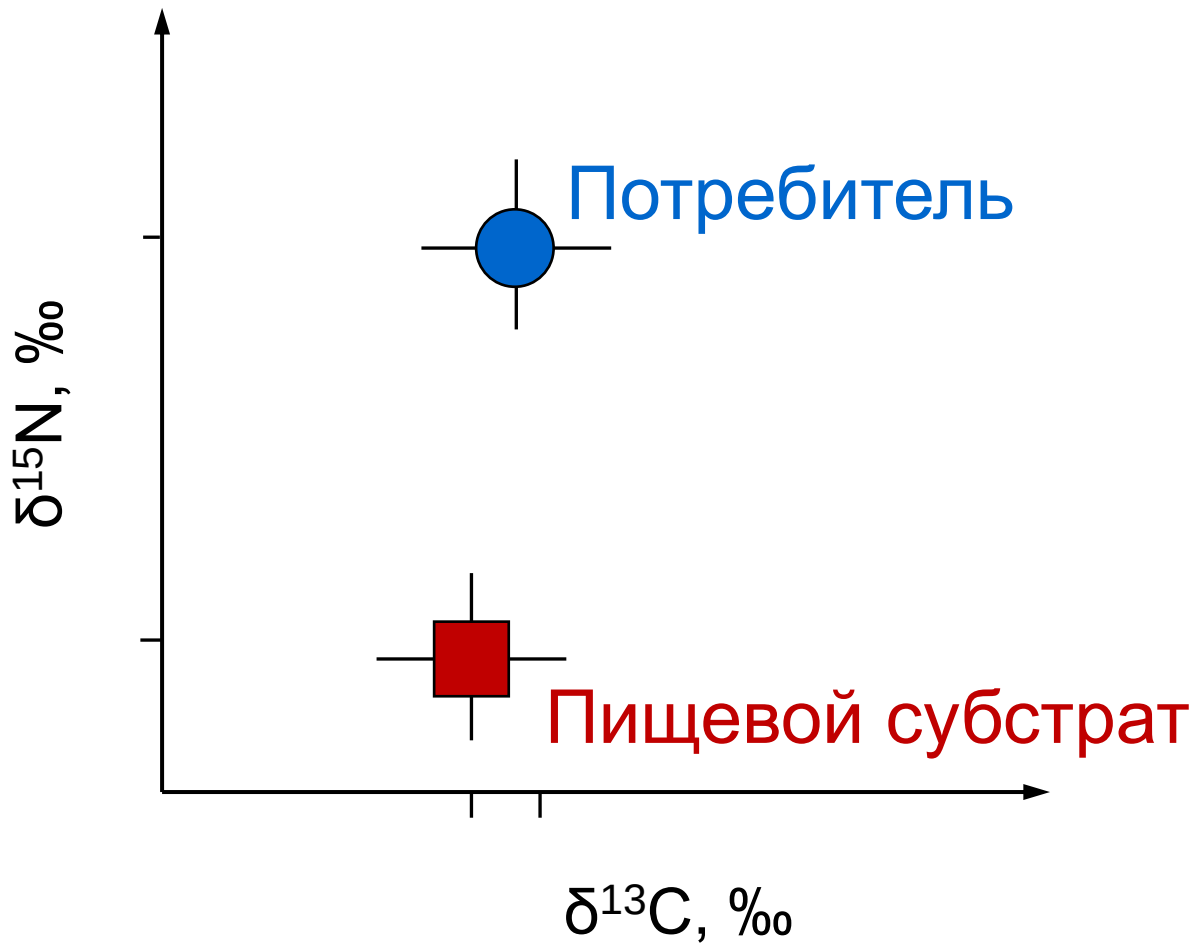
Начало эксперимента

Конец эксперимента



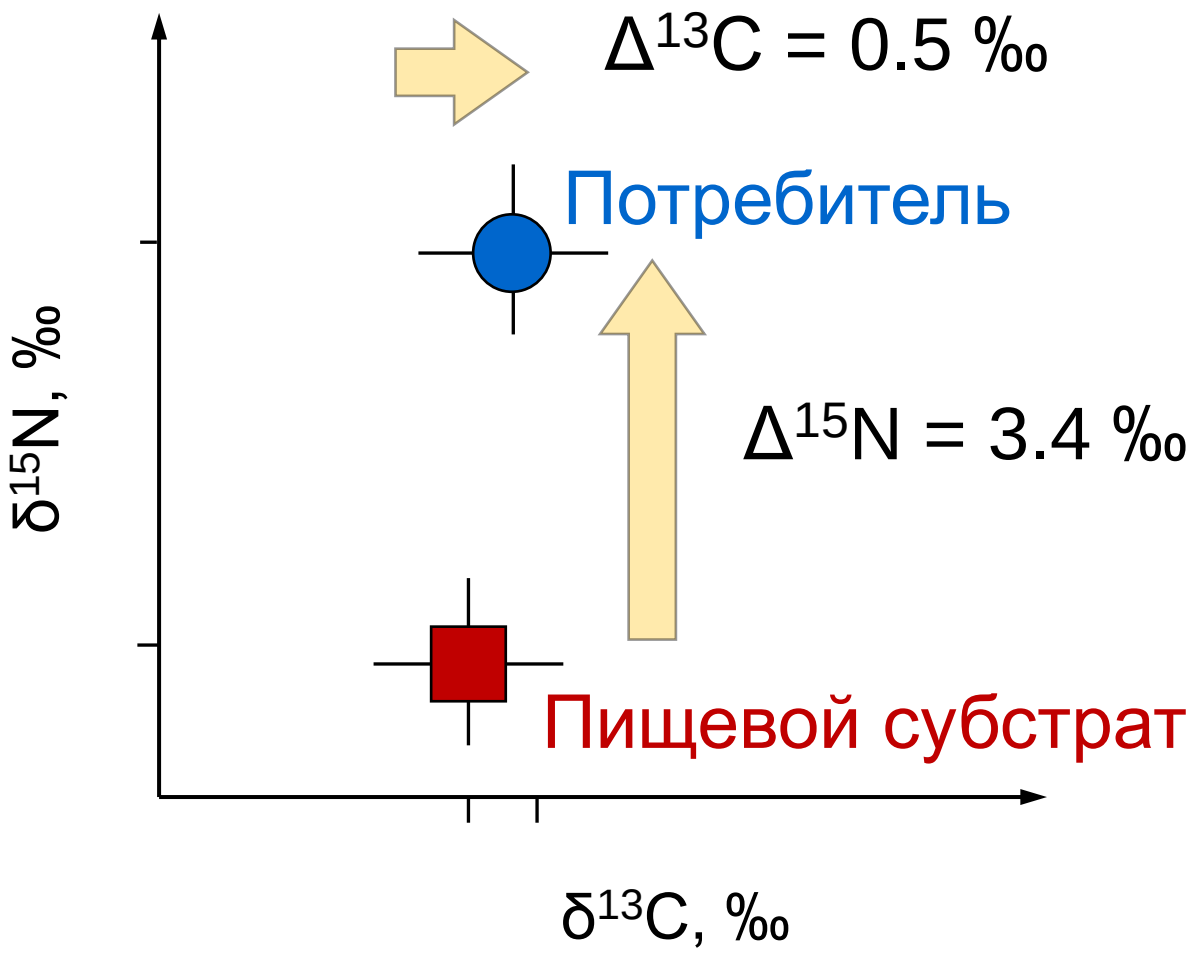
Срок отбора, дни			0	9	18	27	36	45	54	63	72
Диета	**Вид**	**Пол**	**Количество отобранных особей**								
Мотыль + Семена мятлика	*Pterostichus oblongopunctatus*	m	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Platynus assimilis	m	5	5	5	5	5	5			
	Pterostichus oblongopunctatus	f	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Platynus assimilis	f	5	5	5	5	5	5			
Мотыль	*Pterostichus oblongopunctatus*	m	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Pterostichus oblongopunctatus	f	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Фракционирование стабильных изотопов C и N



- При движении вверх по пищевой цепи происходит фракционирование (накопление) тяжелых изотопов углерода и азота
- Этот процесс приводит к увеличению содержания атомов ^{13}C ($\delta^{13}C$) и ^{15}N ($\delta^{15}N$) в потребителе по сравнению с пищевым субстратом.

Фракционирование стабильных изотопов C и N



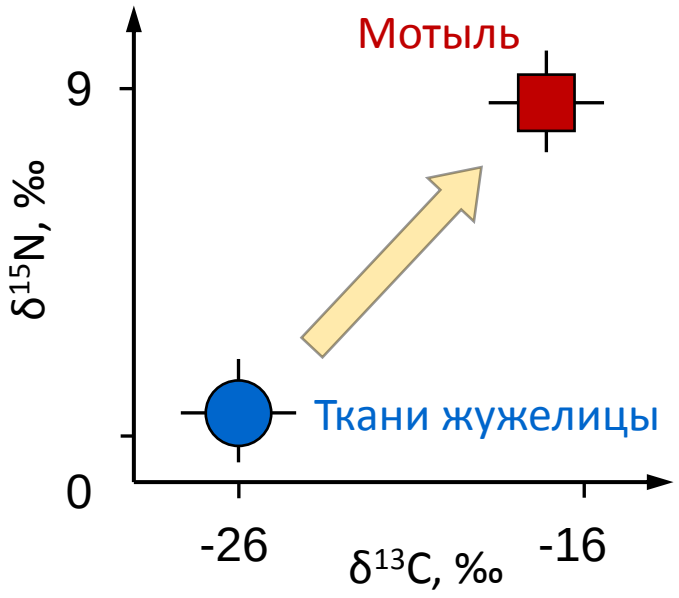
- Разница между величинами $\delta^{13}C$ и $\delta^{15}N$ в потребителе и пищевом субстрате называется трофическим обогащением и обозначается, соответственно, $\Delta^{13}C$ и $\Delta^{15}N$.
- Характерные величины $\Delta^{13}C$ обычно находятся в пределах 0 – 1 ‰, $\Delta^{15}N$ – 3 – 4 ‰.
- В доступной литературе мы не нашли экспериментов, посвященных оценке трофического фракционирования жужелиц в контролируемых условиях.

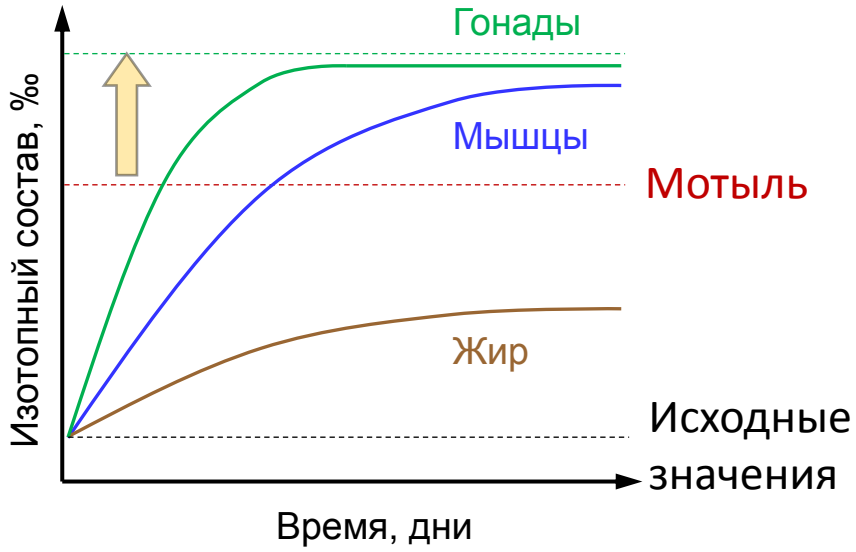
Гипотезы

1. Мы ожидали, что в ходе эксперимента у обоих видов жужелиц в большинстве протестированных видах комплексных тканей произойдет накопление изотопов ^{13}C и ^{15}N.

2. Скорость накопления тяжелых изотопов будет наибольшей у гонад и мышц. Жировое тело будет медленнее всех накапливать тяжелые изотопы.

3. Фракционирование для значений $\delta^{13}C$ будут примерно 0‰ для всех видов комплексных тканей. Значения фракционирования для $\delta^{15}N$ будут 3 – 4‰ для мышц, 1 – 2‰ для жирового тела и 4 – 5 ‰ для гонад.





Моделирование

$$\delta^{n}X_{(t)} = \delta^{n}X_{(\infty)} - (\delta^{n}X_{(\infty)} - \delta^{n}X_{(0)}) * exp(-\tau^{-1}*t)$$

$\delta^{n}X_{(t)}$ изотопный состав ткани в момент времени t

$\delta^{n}X_{(\infty)}$ – асимптотическое (равновесное) значение содержания изотопа в ткани

$\delta^{n}X_{(0)}$ – исходный изотопный состав ткани

Экспоненциальный член, описывающий динамику изотопа в системе, состоящей из одного компартмента

Моделирование

$$\delta^{n}X_{(t)} = \delta^{n}X_{(\infty)} - (\delta^{n}X_{(\infty)} - \delta^{n}X_{(0)}) * exp(-\tau^{-1}*t)$$

$\delta^{n}X_{(t)}$ изотопный состав ткани в момент времени t

$\delta^{n}X_{(\infty)}$ – асимптотическое (равновесное) значение содержания изотопа в ткани

$\delta^{n}X_{(0)}$ – исходный изотопный состав ткани

Экспоненциальный член, описывающий динамику изотопа в системе, состоящей из одного компартмента

Модель описывает ситуацию, когда все изотопы в ткани обмениваются с одинаковой скоростью

Моделирование

Обменивающаяся изотопами часть

Неизменная часть

$$\delta^{n}X_{(t)} = \boxed{[\delta^{n}X_{(\infty)} - (\delta^{n}X_{(\infty)} - \delta^{n}X_{(0)}) * exp(-\tau^{-1}*t)]}*\beta + (1-\beta)*\boxed{\delta^{n}X_{(0)}}$$

$\delta^{n}X_{(t)}$ изотопный состав ткани в момент времени t

$\delta^{n}X_{(\infty)}$ – асимптотическое (равновесное) значение содержания изотопа в ткани

$\delta^{n}X_{(0)}$ – исходный изотопный состав ткани

β – доля активно обменивающейся части комплексной ткани

Экспоненциальный член, описывающий динамику изотопа в системе, состоящей из одного компартмента

Моделирование

Система с одним компартментом

$$\delta^n X_{(t)} = [\delta^n X_{(\infty)} - (\delta^n X_{(\infty)} - \delta^n X_{(0)}) * exp(-\tau^{-1}*t)]*\beta + (1-\beta)*\delta^n X_{(0)}$$

Система с двумя компартментами

$$\delta^n X_{(t)} = [\delta^n X_{(\infty)} - (\delta^n X_{(\infty)} - \delta^n X_{(0)}) * (P*exp(-\tau_1^{-1}*t) + (1-P)*exp(-\tau_2^{-1}*t))]*\beta + (1-\beta)*\delta^n X_{(0)}$$

Система с тремя компартментами

$$\delta^n X_{(t)} = [\delta^n X_{(\infty)} - (\delta^n X_{(\infty)} - \delta^n X_{(0)}) * (P_1*exp(-\tau_1^{-1}*t) + P_2*exp(-\tau_2^{-1}*t) + (1-P_1-P_2)*exp(-\tau_3^{-1}*t))]*\beta + (1-\beta)*\delta^n X_{(0)}$$

$\delta^n X_{(t)}$ изотопный состав ткани в момент времени t

$\delta^n X_{(\infty)}$ – асимптотическое (равновесное) значение содержания изотопа в ткани

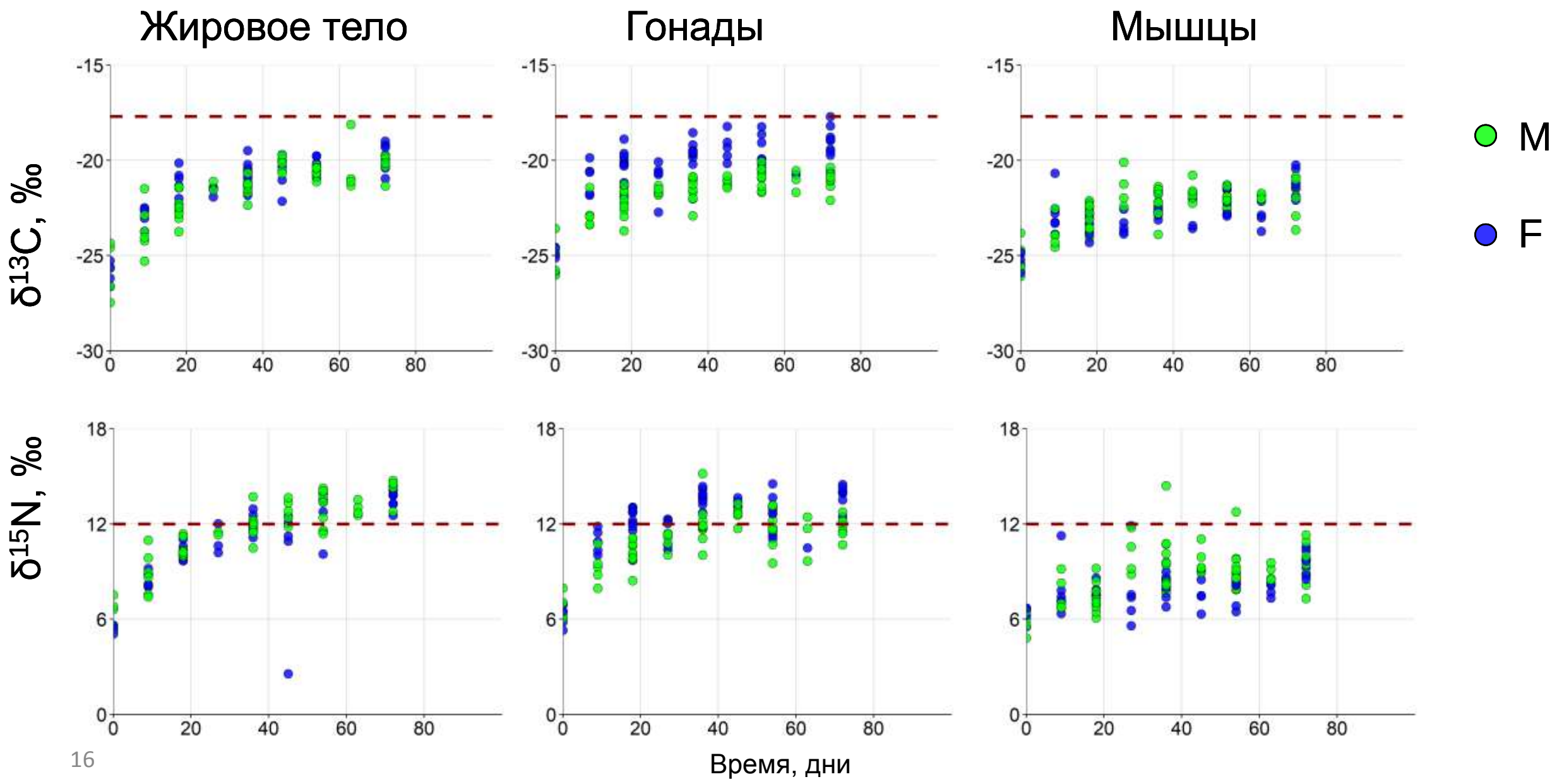
$\delta^n X_{(0)}$ – исходный изотопный состав ткани

β – доля активно обменивающейся части комплексной ткани

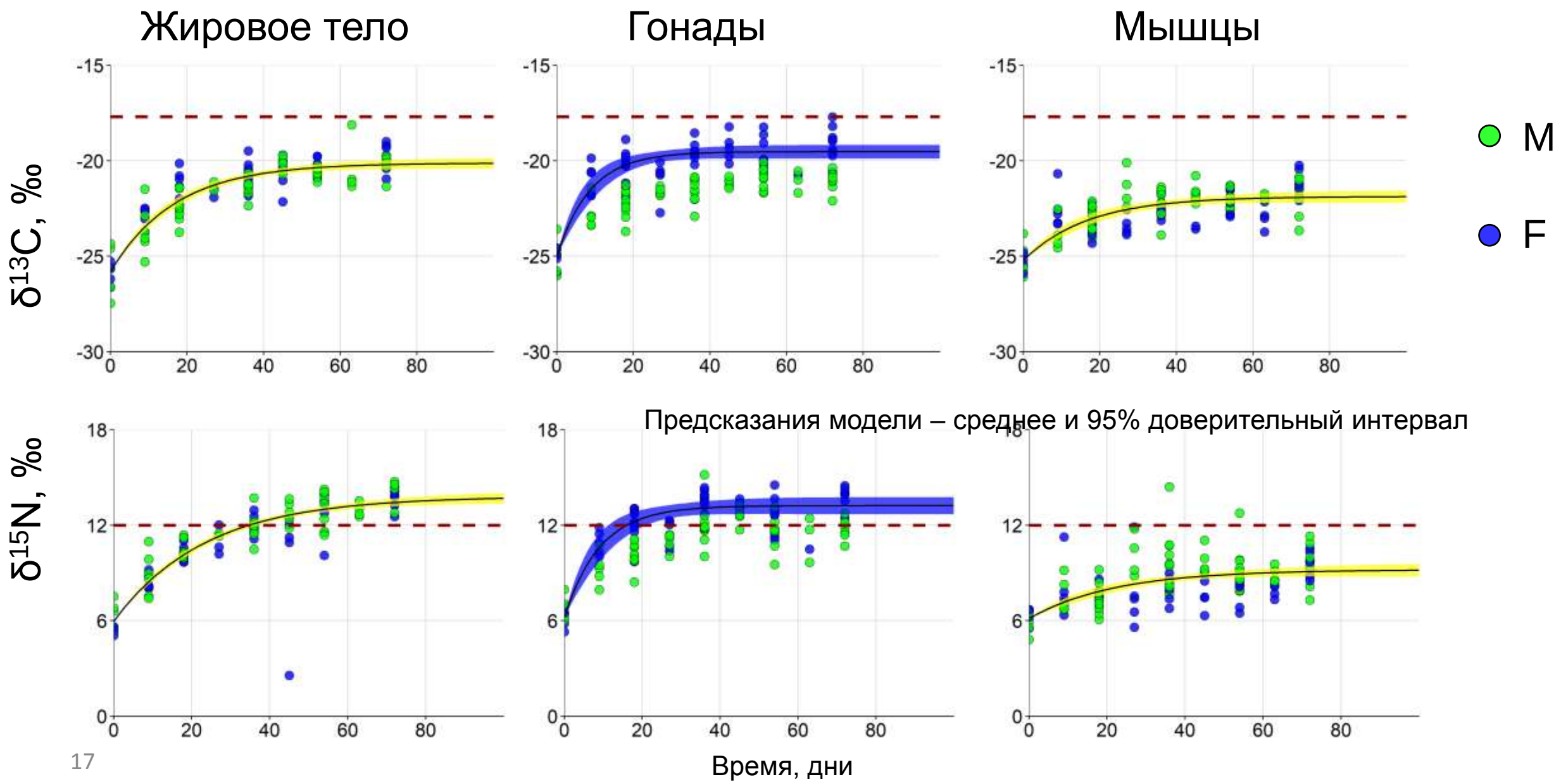
Экспоненциальный член, описывающий динамику изотопа в системе, состоящей из одного, двух или трех компартментов

РЕЗУЛЬТАТЫ

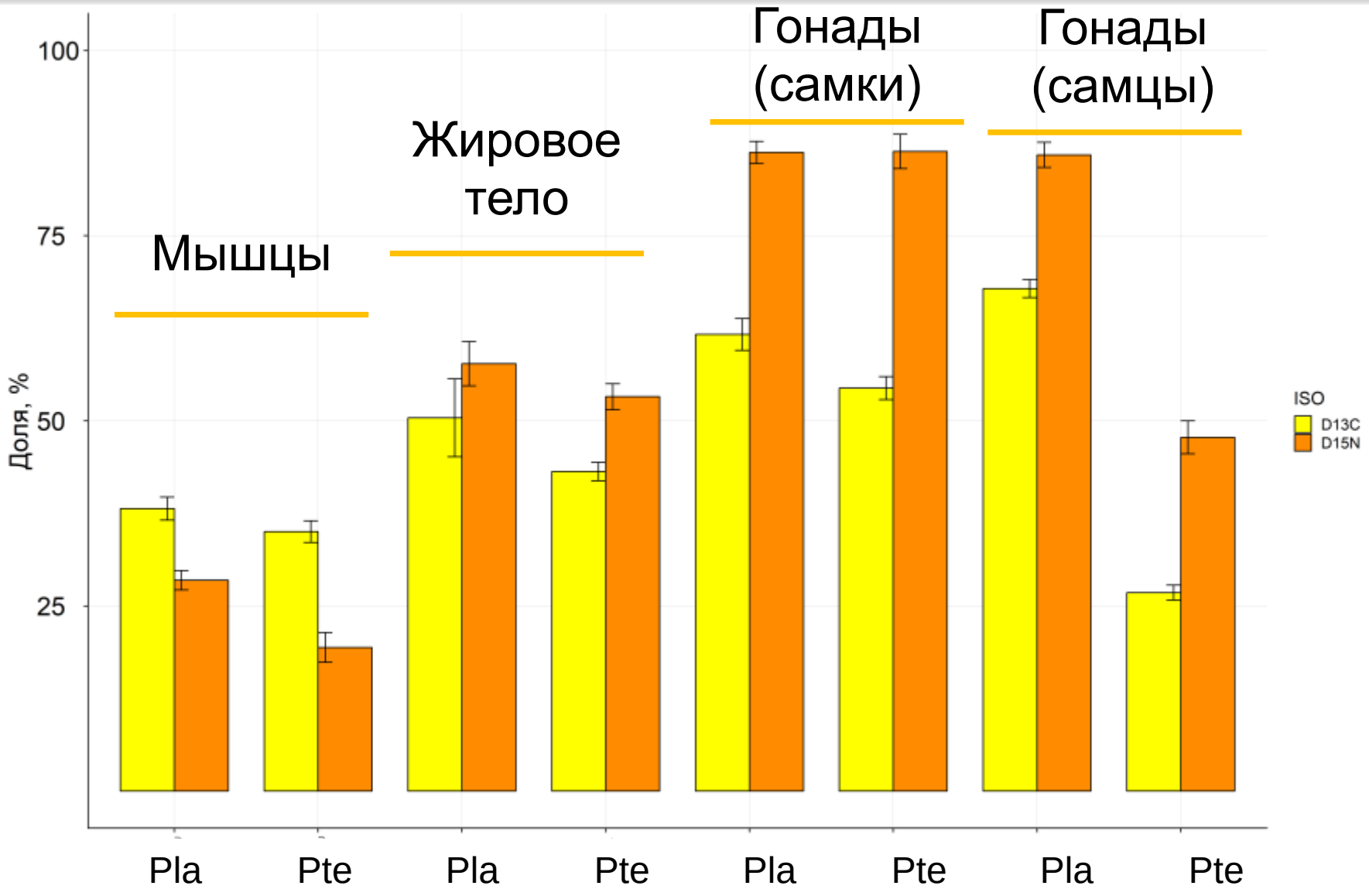
Динамика изотопного состава в тканях *P. oblongopunctatus*



Динамика изотопного состава в тканях *P. oblongopunctatus*

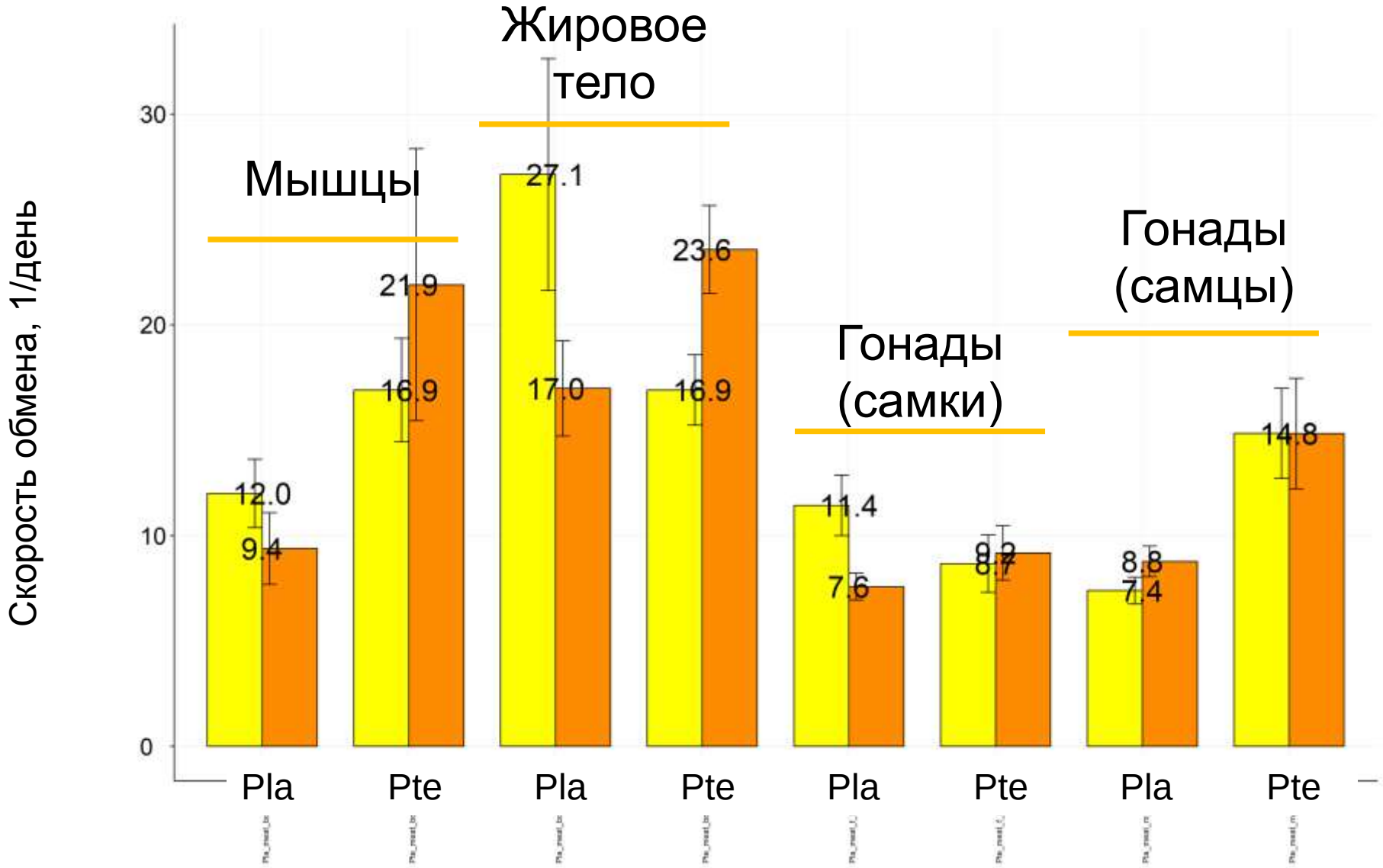


Доля обменивающегося изотопами компонента в составе комплексной ткани



Среднее и ст. ош

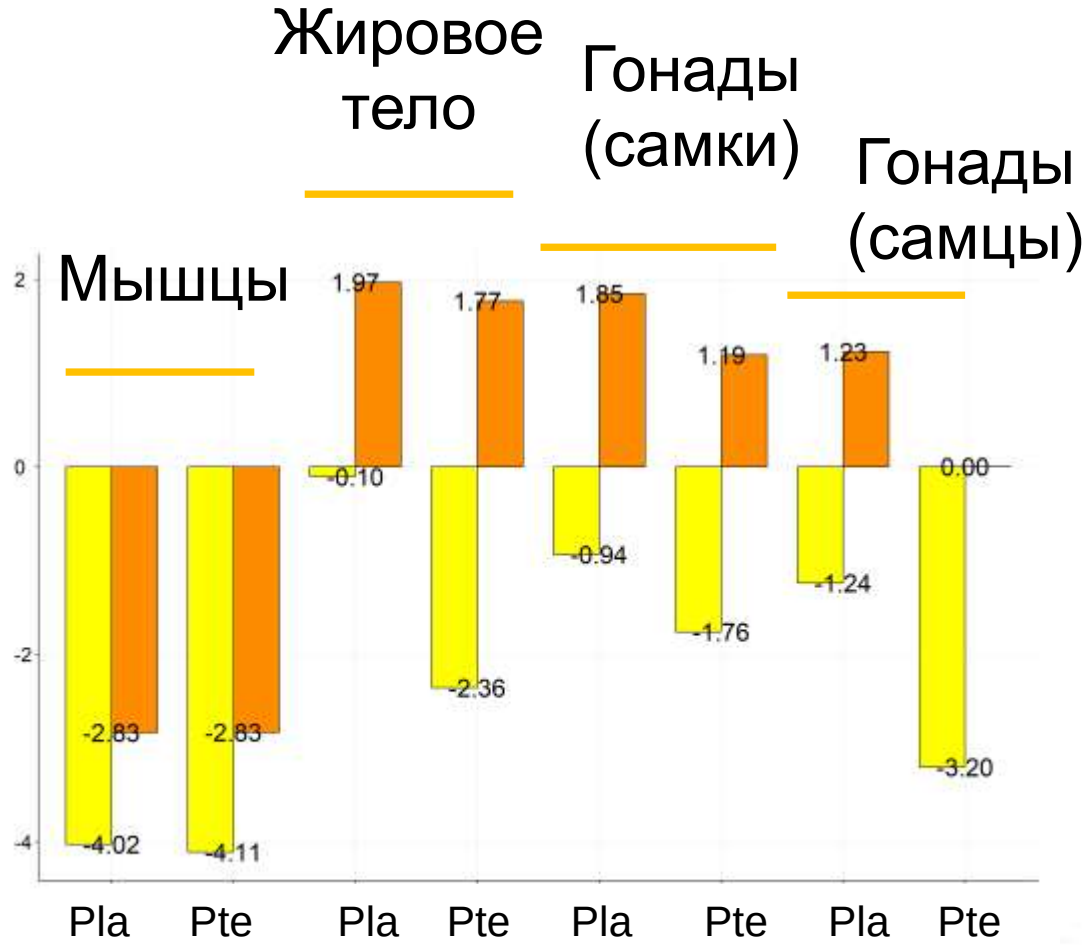
Скорость обмена в исследованных комплексных тканях



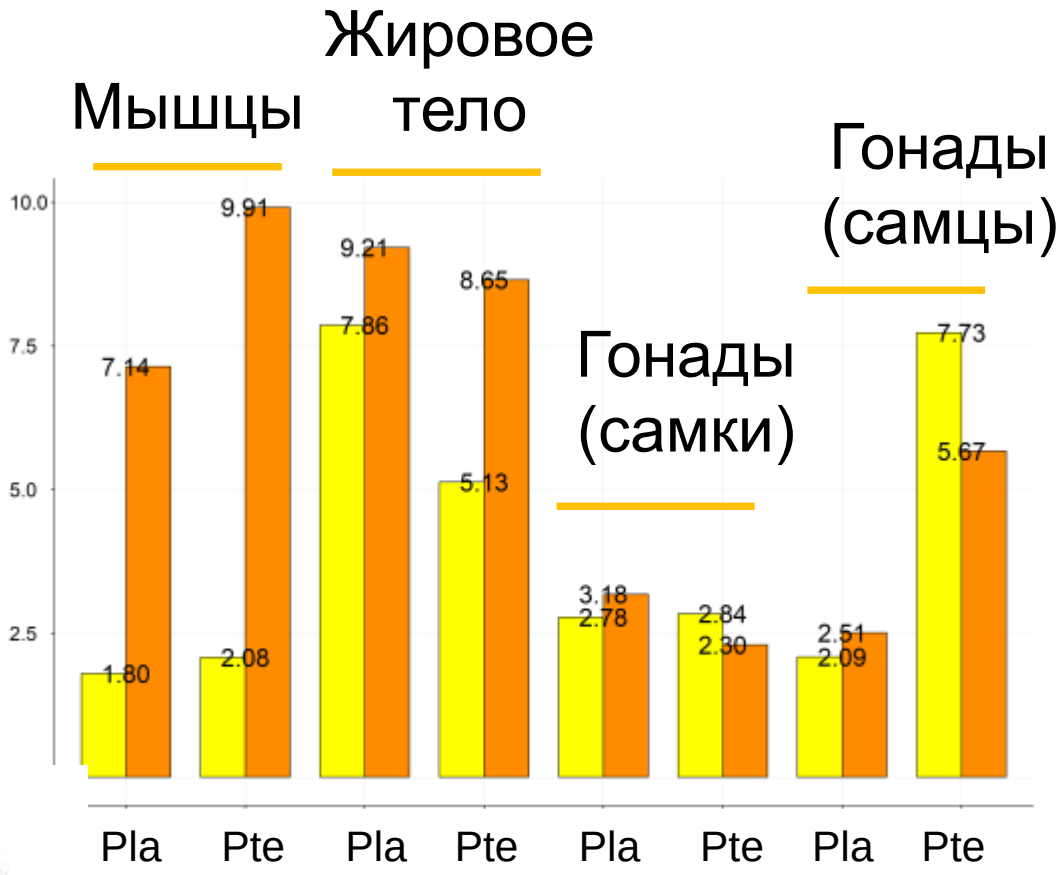
Среднее и ст. ош

Трофическое обогащение в исследованных тканях

Общее трофическое обогащение в комплексной ткани, ‰



Трофическое обогащение в обменивающемся компоненте комплексной ткани, ‰



ISO
D13C
D15N

Заключение

1. В ходе 72-дневного эксперимента изотопный состав в исследованных тканях жужелиц значительно изменился и стал близок к изотопному составу пищевого субстрата.
2. Доля активного обменивающегося изотопами компонента была наибольшей в гонадах (более 85%) и наименьшей – в мышцах (менее 40%).
3. Скорость обмена была наименьшей в жировом теле и наибольшей в гонадах у самок.
4. Трофическое обогащение значений $\delta^{15}N$ в мышцах оказалось значительно ниже ожидаемых. Возможно, это связано со большой долей не обменивающегося изотопами компонента у исследованных видов.

Спасибо за внимание