

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ УГЛЕРОДА ($\delta^{13}\text{C}$) И АЗОТА ($\delta^{15}\text{N}$) ШЕРСТИ ГРЫЗУНОВ ВОЛОГДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2024

Ельцова Л.С.¹, Дурягина О.В.¹, Кузнецова Л.В.², Иванова Е.С.¹

¹Череповецкий государственный университет (г. Череповец, Вологодская область, Российская Федерация)

²Национальный парк «Русский Север» (г. Кириллов, Вологодская область, Российская Федерация)

Аннотация. Исследование посвящено анализу соотношения стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) в шерсти млекопитающих отряда Грызуны (обыкновенный бобр – *Castor fiber* Linnaeus, 1758; лесная мышь – *Apodemus uralensis* Pallas, 1811; водяная крыса – *Arvicola amphibius* Linnaeus, 1758; ондатра – *Ondatra zibethicus* Linnaeus, 1766; азиатский бурундук – *Eutamias sibiricus* (Laxmann, 1769); обыкновенная летяга – *Pteromys volans* Linnaeus, 1758; обыкновенная белка – *Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758) на территории Вологодской области. Изотопный состав углерода в шерсти исследованных животных варьирует от $-28,2\text{‰}$ до $-17,9\text{‰}$, азота – от $0,4\text{‰}$ до $10,6\text{‰}$. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в шерсти млекопитающих отряда Грызуны выше, а $\delta^{15}\text{N}$ ниже, чем в шерсти млекопитающих отряда Хищные, исследованных ранее на территории Вологодской области. Соотношение тяжелых изотопов углерода и азота в шерсти животных, отловленных в разных районах Вологодской области, статистически значимо не различается. Установлено, что шерсть гидробионтов менее обогащена тяжелым изотопом углерода и более обогащена тяжелым изотопом азота, чем шерсть наземных представителей отряда Грызуны. Шерсть всеядных грызунов более обогащена тяжелым изотопом азота, чем шерсть фитофагов. Выявлено перекрытие изотопных ниш у отдельных видов грызунов. Установлено статистически значимое снижение тяжелого изотопа углерода в шерсти ондатры на $2,7\text{‰}$ за 50 лет.

Ключевые слова: изотопная экология; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$; шерсть; грызуны; Вологодская область; трофический уровень; изотопные ниши; музейные коллекции; изотопный масс-спектрометр; *Castor fiber*; *Apodemus uralensis*; *Arvicola amphibius*; *Ondatra zibethicus*; *Eutamias sibiricus*; *Pteromys volans*; *Sciurus vulgaris*.

ISOTOPIC COMPOSITION OF CARBON ($\delta^{13}\text{C}$) AND NITROGEN ($\delta^{15}\text{N}$) IN THE HAIR OF THE ORDER RODENTIA OF THE VOLOGDA REGION

© 2024

Eltsova L.S.¹, Duryagina O.V.¹, Kuznetsova L.V.², Ivanova E.S.¹

¹Cherepovets State University (Cherepovets, Vologda Region, Russian Federation)

²Russian North National Park (Kirillov, Vologda Region, Russian Federation)

Abstract. The study is devoted to the analysis of the ratio of stable carbon isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) and stable nitrogen isotopes ($\delta^{15}\text{N}$) in the hair of mammals of the Rodentia order (Eurasian beaver – *Castor fiber* Linnaeus, 1758; field mouse – *Apodemus uralensis* Pallas, 1811; European water vole – *Arvicola amphibius* (Linnaeus, 1758); Muskrat – *Ondatra zibethicus* Linnaeus, 1766; Siberian chipmunk – *Eutamias sibiricus* (Laxmann, 1769); Siberian flying squirrel – *Pteromys volans* Linnaeus, 1758; Red squirrel – *Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758) in the Vologda Region. The isotopic composition of carbon in the hair of the studied animals varies from $-28,2\text{‰}$ to $-17,9\text{‰}$, nitrogen – from $0,4\text{‰}$ to $10,6\text{‰}$. The values of $\delta^{13}\text{C}$ in the hair of mammals of the Rodentia order are higher, and $\delta^{15}\text{N}$ is lower than in the hair of mammals of the Carnivora order, previously studied in the Vologda Region. The ratio of heavy carbon and nitrogen isotopes in the hair of animals captured in different regions of the Vologda Region does not differ significantly statistically. It has been established that the hair of aquatic organisms is less enriched in heavy carbon isotope and more enriched in heavy nitrogen isotope than the hair of terrestrial representatives of the Rodentia order. The hair of omnivores is more enriched in a heavy nitrogen isotope than the hair of herbivores. The overlap of isotopic niches in certain species of the Rodentia order has been revealed. A statistically significant decrease in the $\delta^{13}\text{C}$ content in Muskrat hair by $2,7\text{‰}$ over 50 years has been established.

Keywords: isotopic ecology; $\delta^{13}\text{C}$; $\delta^{15}\text{N}$; wool; rodents; Vologda Region; trophic level; isotope niches; museum collections; isotope mass spectrometer; *Castor fiber*; *Apodemus uralensis*; *Arvicola amphibius*; *Ondatra zibethicus*; *Eutamias sibiricus*; *Pteromys volans*; *Sciurus vulgaris*.

Введение

Соотношение стабильных изотопов углерода и азота является важным показателем в экологических исследованиях. Изотопный состав широко используется при изучении трофической экологии животных [1–4]. Изотопный состав отражает как трофический уровень, так и особенности спектра питания животного [5]. Разрешающая способность изотопного анализа существенно увеличивается при совместном использовании соотношения стабильных изотопов нескольких элементов [6–10].

Стабильные изотопы углерода отражают изотопный состав первичных продуцентов, лежащих в основе пищевой цепочки [11]. В процессе фотосинтеза происходит снижение содержания тяжелого изотопа углерода (^{13}C) в тканях растений по сравнению с атмосферным CO_2 . Разница в значениях $\delta^{13}\text{C}$ среди растений обеспечивает естественную систему маркеров для отслеживания рациона растительноядных животных [12].

Изотопный состав азота ($\delta^{15}\text{N}$) в тканях животных зависит от их положения в пищевой цепи [13]. В про-

цессе метаболизма более активно участвует легкий изотоп азота ^{14}N , и это приводит к относительному увеличению концентрации ^{15}N у животного по отношению к его пище. Таким образом, при потреблении пищи содержание тяжелого изотопа ^{15}N увеличивается в организмах, занимающих более высокие трофические уровни [3].

Анализ стабильных изотопов является инструментом в современных исследованиях экологических ниш [14; 15]. Значения $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в двумерном пространстве для разных видов в сообществе позволяют учитывать занятость изотопных ниш каждым видом, а также перекрытие между видами [16; 17].

Цель исследования: определение соотношения стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) в шерсти млекопитающих отряда Грызуны на территории Вологодской области.

Материалы и методы

Сбор материала проводили на территории Вологодской области с 2015 по 2021 гг. Образцы шерсти животных были получены от охотников на промысловые виды млекопитающих и из зоологических коллекций музеев природы Вологодской области. Были собраны образцы шерсти 7 видов млекопитающих отряда Rodentia: обыкновенный бобр – *Castor fiber* Linnaeus, 1758 ($n = 41$); лесная мышь – *Apodemus uralensis* Pallas, 1811 ($n = 6$); водяная крыса – *Arvicola amphibius* Linnaeus, 1758 ($n = 26$); ондатра – *Ondatra zibethicus* Linnaeus, 1766 ($n = 17$); азиатский бурундук – *Eutamias sibiricus* (Laxmann, 1769) ($n = 5$); обыкновенная летяга – *Pteromys volans* Linnaeus, 1758 ($n = 8$); обыкновенная белка – *Sciurus vulgaris* Linnaeus, 1758 ($n = 49$). Общий объем выборки составил 152 особи.

Подготовку проб для анализа проводили стандартным методом [18]. Небольшой клочок шерсти срезали с чучела или шкурки животного и помещали в бумажный конверт с этикеткой. Шерсть нарезали на фрагменты не более 1 мм: объем измельченного образца шерсти составлял 0,5–1 мл. Измельченные образцы дважды по 40 минут промывали в растворе хлороформ-метанола 2:1 с использованием ультразвуковой ванны и микроцентрифуги. Промытые образцы высушивали в лиофильной сушилке в течении 48 часов. Высушенные образцы шерсти массой 297–363 мг (330 ± 33 мг) помещали в стандартные оловянные капсулы в лабораторных условиях при температуре $22 \pm 1^\circ\text{C}$ и относительной влажности $30 \pm 5\%$ с использованием весов Mettler Toledo WXTS3DU balance (точность ± 1 мкг). Изотопный состав шерсти определяли в двукратной повторности на изотопном масс-спектрометре (IRMS) Thermo Fisher Delta V Advantage с элементным анализатором (Isolink Flash IRMS) в Региональном центре коллективного пользования Череповецкого государственного университета. Для калибровки использовали эталонные материалы USGS-40 и USGS-41. Изотопный состав азота и углерода выражали в тысячных долях отклонения от международного стандарта, δ (‰).

Поправка на эффект Зюсса не была применена к набору данных. Результаты измерений представлены в виде среднего арифметического, медианы, минимальных и максимальных значений, нижнего и верхнего квартилей, стандартного отклонения и стандартной ошибки среднего. Статистический анализ результатов проводили с использованием программного обес-

печения Statistica 12 (версия 12 StatSoft USA 2013). Нормальность распределения данных в выборке оценивали с помощью критерия Шапиро–Уилка. Для анализа данных мы использовали: медианный критерий – критерий Краскела–Уоллиса и коэффициент ранговой корреляции Спирмена, при которых различия считались значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Соотношение стабильных изотопов углерода в шерсти исследованных видов грызунов Вологодской области в среднем составляет $-23,2 \pm 0,2\%$ и варьирует в пределах от $-28,2\%$ у обыкновенного бобра до $-17,9\%$ у обыкновенной белки (табл. 1, рис. 1). Полученные значения выше, чем у хищных животных (от $-27,9\%$ до $-20,1\%$), исследованных ранее на территории Вологодской области [19; 20]. Результаты показывают, что пищевые цепи исследованных грызунов построены на доминирующих в лесополосе исследуемой территории растениях с СЗ типом фотосинтеза, поскольку значения $\delta^{13}\text{C}$ у таких растений варьируют от -35% до -20% [21].

Соотношение стабильных изотопов азота в шерсти исследованных видов грызунов Вологодской области в среднем составляет $5,2 \pm 0,2\%$ и варьирует в пределах от $0,4\%$ у обыкновенной белки до $10,6\%$ у лесной мыши (табл. 1, рис. 2). Полученные значения ниже, чем у хищных животных (от $3,5\%$ до $15,3\%$), исследованных ранее на территории Вологодской области [19; 20].

Установлены статистически значимые различия $\delta^{13}\text{C}$ в шерсти разных видов грызунов: шерсть обыкновенной белки ($-19,7 \pm 0,2\%$) более обогащена тяжелым изотопом углерода по сравнению с шерстью обыкновенного бобра ($-26,1 \pm 0,2\%$), лесной мыши ($-24,9 \pm 0,4\%$), водяной крысы ($-24,5 \pm 0,2\%$) и ондатры ($-24,4 \pm 0,5\%$), а шерсть обыкновенной летяги ($-22,4 \pm 0,2\%$) более обогащена тяжелым изотопом углерода по сравнению с шерстью обыкновенного бобра ($-26,1 \pm 0,2\%$) (рис. 1). В ранее проведенном исследовании показано, что высокие значения $\delta^{13}\text{C}$ в шерсти обыкновенной белки по сравнению с другими лесными грызунами связано с потреблением обогащенных ^{13}C семян хвойных деревьев [4; 22].

Гидробионты, как правило, обеднены ^{13}C [23]. Значения $\delta^{13}\text{C}$ у бобра, водяной крысы и ондатры, которые ведут полуводный образ жизни и питаются прибрежными и водными растениями [24] близки к значениям, полученным в ранее проведенных исследованиях на территории Вологодской области для гидробионта выдры ($-25,0 \pm 0,7\%$) [19].

Установлены статистически значимые различия $\delta^{15}\text{N}$ в шерсти разных видов грызунов: шерсть лесной мыши ($7,4 \pm 0,9\%$) и ондатры ($6,6 \pm 0,4\%$) более обогащена тяжелым изотопом азота, по сравнению с шерстью азиатского бурундука ($3,3 \pm 0,5\%$), обыкновенной летяги ($3,3 \pm 0,3\%$) и белки ($4,6 \pm 0,3\%$), а шерсть водяной крысы ($5,8 \pm 0,3\%$) более обогащена тяжелым изотопом азота, по сравнению с шерстью обыкновенной летяги ($3,3 \pm 0,3\%$) (рис. 2). Лесная мышь имеет высокую трофическую позицию среди грызунов, поскольку часто поедает животные корма (преимущественно беспозвоночных) наряду с семенами и ягодами [25]. Гидробионты – ондатра, водяная крыса и обыкновенный бобр имеют высокие значения $\delta^{15}\text{N}$, так как объекты водных экосистем обогащены ^{15}N по сравнению с наземными [26].

Ткани потребителей обычно обогащаются тяжелыми изотопами азота по сравнению с их пищей. В среднем величина $\delta^{15}\text{N}$ увеличивается на 2,5–5‰ на один трофический уровень [8; 27]. Наше исследование показало, что животные внутри одного отряда характеризуются высокой вариабельностью $\delta^{15}\text{N}$ в шерсти, таким образом, млекопитающие отряда Грызуны могут занимать более одного трофического уровня.

Изотопный состав углерода и азота (изотопная ниша) млекопитающих определяется трофической нишей животных. Изотопные ниши бобра и белки не перекрываются изотопными нишами других исследованных видов, что является показателем того, что они эффективно разделяют трофические ниши и избегают конкуренции за ресурсы (рис. 3). Изотопные ниши лесной мыши, ондатры, водяной крысы перекрываются, так же как и изотопные ниши азиатского бурундука и обыкновенной летяги, что является показателем того, что формирование их трофических ниш происходило под влиянием сильной конкуренции (рис. 3).

На примере обыкновенного бобра установлено, что соотношение тяжелых изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) в шерсти животных отловленных в разных районах Вологодской области (Череповецкий район: $n = 12$, Кирилловский район: $n = 24$) статистически значимо не различаются ($p > 0,005$).

Таблица 1 – Соотношение стабильных изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ в шерсти грызунов Вологодской области

	N	Mean	Median	Min	Max	Q25	Q75	SD	SE
$\delta^{13}\text{C}$	152	-23,2	-23,9	-28,2	-17,9	-25,6	-20,5	2,9	0,2
$\delta^{15}\text{N}$	152	5,2	4,9	0,4	10,6	3,8	6,2	2,0	0,2

Примечание. *N* – количество образцов, *Mean* – среднее значение, *Median* – медиана, *Min* – минимальное значение в выборке, *Max* – максимальное значение в выборке, *Q25%* – нижний квартиль, *Q75%* – верхний квартиль, *SD* – стандартное отклонение, *SE* – стандартная ошибка среднего.

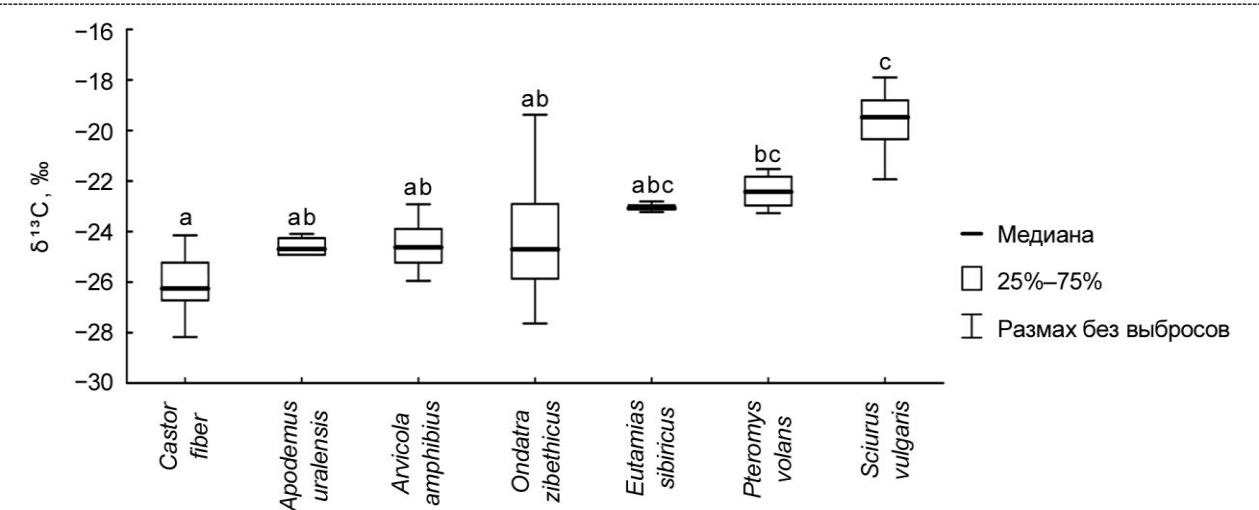


Рисунок 1 – Соотношение стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) в шерсти млекопитающих отряда Грызуны.
Примечание здесь и далее: *a, b, c* – различные буквенные индексы, указывающие на наличие различий между видами (критерий Краскела–Уоллиса: $p \leq 0,05$)

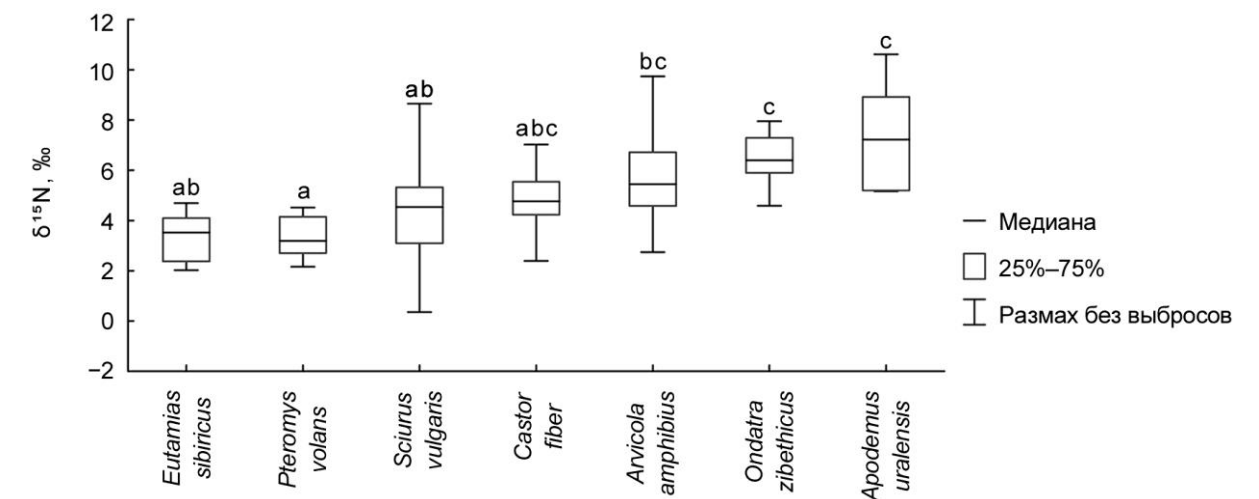


Рисунок 2 – Соотношение стабильных изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$) в шерсти млекопитающих отряда Грызуны

Анализ изменения изотопного состава ($\delta^{13}\text{C}$) шерсти грызунов с течением времени был проведен на примере ондатры, поскольку выборка представлена достаточным количеством образцов, собранных за период более 50 лет. Обнаружена отрицательная значимая корреляция между $\delta^{13}\text{C}$ и датой отлова ондатры ($p = 0,00$) (рис. 4). Соотношение стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) в шерсти ондатры статистически значительно снизилось с 1958 ($-24,9\text{‰}$) по 2016 ($-27,6\text{‰}$) годы на $2,7\text{‰}$ (рис. 4). Отмечено, что антропогенные

выбросы углерода за последние столетия постепенно обогатили атмосферу легким изотопом углерода (^{12}C). Это связано со сжиганием природных углеводородов, которые обеднены ^{13}C и, таким образом, придают атмосфере более легкую углеродную подпись [28]. Проявление данного эффекта на биологических объектах свидетельствует об увеличении углеродного следа от хозяйственной деятельности человека на территории Вологодской области с по 1958 по 2016 годы.

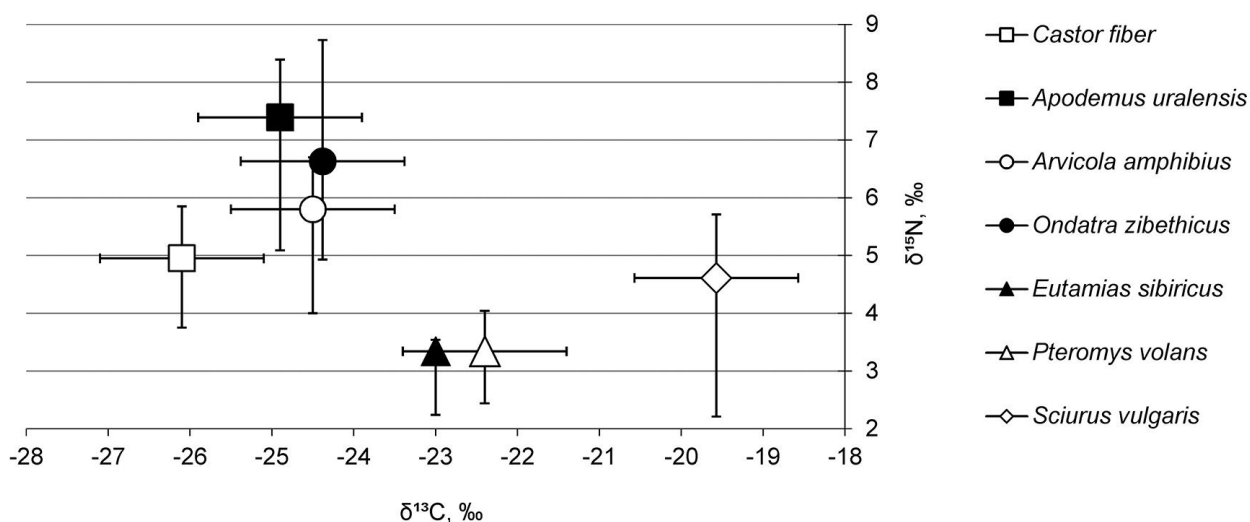


Рисунок 3 – Соотношение стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) в шерсти представителей отряда Грызуны

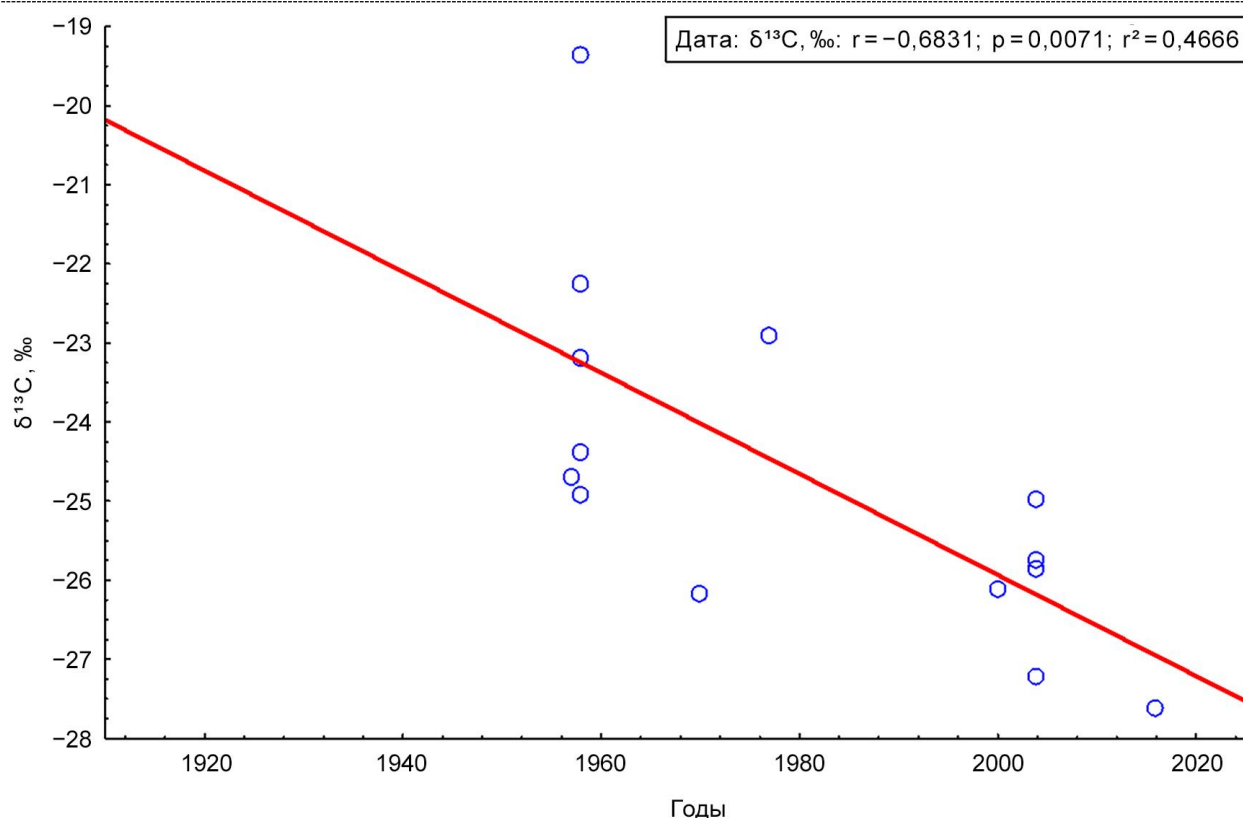


Рисунок 4 – Корреляция между $\delta^{13}\text{C}$ в шерсти ондатры и датой отбора проб

Выводы

1. Соотношение стабильных изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) в шерсти представителей отряда Грызуны в Вологодской области варьирует в широких пределах: от $-26,1 \pm 0,2\%$ в шерсти обыкновенного бобра до $-19,7 \pm 0,2\%$ в шерсти обыкновенной белки. Соотношение стабильных изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$) в шерсти представителей отряда Грызуны в Вологодской области варьирует от $3,3 \pm 0,3\%$ в шерсти обыкновенной лютяги и азиатского бурундука до $7,4 \pm 0,9\%$ в шерсти лесной мыши.

2. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в шерсти млекопитающих отряда Грызуны выше, а $\delta^{15}\text{N}$ ниже, чем в шерсти млекопитающих отряда Хищные, исследованных ранее на той же территории.

3. Шерсть гидробионтов (обыкновенного бобра, водяной крысы и ондатры) менее обогащена тяжелым изотопом углерода и более обогащена тяжелым изотопом азота, чем шерсть наземных представителей отряда Грызуны (обыкновенной белки, обыкновенной лютяги и азиатского бурундука).

4. Среди наземных представителей у грызунов со значительной долей животной пищи в рационе (лесной мыши, белки) шерсть более обогащена тяжелым изотопом азота, по сравнению с шерстью преимущественных фитофагов (азиатского бурундука и обыкновенной лютяги).

5. Перекрывание изотопных ниш у грызунов указывает на конкуренцию за пищевые ресурсы. Отсутствие перекрывания изотопных ниш указывает на эффективное разделение трофических ниш и избегание конкуренции.

6. Соотношения стабильных изотопов углерода и азота в шерсти бобра, отловленного в районах Вологодской области, различающихся геоморфологическими и природно-климатическими параметрами, статистически значимо не различаются.

7. Выявлено статистически значимое снижение содержания $\delta^{13}\text{C}$ в шерсти ондатры за 50 лет (с 1958 по 2016 гг.) на 2,7‰, что является следствием внесения легкого ^{12}C в экосистемы в результате антропогенной деятельности.

Список литературы:

1. McCutchan J.H., Lewis W.M., Kendall C., McGrath C.C. Variation in trophic shift for stable isotope ratios of carbon, nitrogen, and sulfur // *Oikos*. 2003. Vol. 102, iss. 2. P. 378–390. DOI: 10.1034/j.1600-0706.2003.12098.x.
2. Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях // *Известия Российской академии наук. Серия биологическая*. 2007. № 4. С. 475–489.
3. Del Rio C.M., Wolf N., Carleton S.A., Gannes L.Z. Isotopic ecology ten years after a call for more laboratory experiments // *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*. 2009. Vol. 84, iss. 1. P. 91–111. DOI: 10.1111/j.1469-185x.2008.00064.x.
4. Karmanova T.N., Feoktistova N.Y., Tiunov A.V. High $\delta^{13}\text{C}$ values in red squirrels *Sciurus vulgaris* explained by a reliance on conifer seeds // *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2023. Vol. 59, iss. 2. P. 180–191. DOI: 10.1080/10256016.2023.2179045.
5. Scheu S., Folger M. Single and mixed diets in Collembola: effects on reproduction and stable isotope fractionation // *Functional Ecology*. 2004. Vol. 18, iss. 1. P. 94–102. DOI: 10.1046/j.0269-8463.2004.00807.x.

6. Neilson R., Boag B., Smith M. Earthworm $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ analyses suggest that putative functional classifications of earthworms are site-specific and may also indicate habitat diversity // *Soil Biology and Biochemistry*. 2000. Vol. 32, iss. 8–9. P. 1053–1061. DOI: 10.1016/S0038-0717(00)00013-4.

7. McNabb D.M., Halaj J., Wise D.H. Inferring trophic positions of generalist predators and their linkage to the detrital food web in agroecosystems: a stable isotope analysis // *Pedobiologia*. 2001. Vol. 45, iss. 4. P. 289–297. DOI: 10.1078/0031-4056-00087.

8. Post D.M. Using stable isotopes to estimate trophic position: models, methods, and assumptions // *Ecology*. 2002. Vol. 83, iss. 3. P. 703–718. DOI: 10.1890/0012-9658(2002)083[0703:usitet]2.0.co;2.

9. Bluthgen N., Gebauer G., Fiedler K. Disentangling a rainforest food web using stable isotopes: dietary diversity in a species-rich ant community // *Oecologia*. 2003. Vol. 137, iss. 3. P. 426–435. DOI: 10.1007/s00442-003-1347-8.

10. Halaj J., Peck R.W., Niwa C.G. Trophic structure of a macroarthropod litter food web in managed coniferous forest stands: a stable isotope analysis with $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ // *Pedobiologia*. 2005. Vol. 49, iss. 2. P. 109–118. DOI: 10.1016/j.pedobi.2004.09.002.

11. Koch P.L. Isotopic study of the biology of modern and fossil vertebrates // *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Second edition / eds. R. Michener, K. Lajtha. 2007. P. 99–154. DOI: 10.1002/9780470691854.ch5.

12. Ben-David M., Flaherty E.A. Stable isotopes in mammalian research: a beginner's guide // *Journal of Mammalogy*. 2012. Vol. 93, iss. 2. P. 312–328. DOI: 10.1644/11-mamm-s-166.1.

13. Shipley O.N., Matich P. Studying animal niches using bulk stable isotope ratios: an updated synthesis // *Oecologia*. 2020. Vol. 193, iss. 1. P. 27–51. DOI: 10.1007/s00442-020-04654-4.

14. Rosengren E., Magnell O. Ungulate niche partitioning and behavioural plasticity of aurochs in Early Holocene southern Scandinavia revealed by stable isotope analysis of bone collagen // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2024. Vol. 648, iss. 4. DOI: 10.1016/j.palaeo.2024.112257.

15. Newsome S.D., Del Rio C.M., Bearhop S., Phillips D.L. A niche for isotopic ecology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2007. Vol. 5, iss. 8. P. 429–436. DOI: 10.1890/060150.1.

16. Li Y., Shipley B., Price J.N., Dantas V.L., Tamme R., et al. Habitat filtering determines the functional niche occupancy of plant communities worldwide // *Journal of Ecology*. 2018. Vol. 106, iss. 3. P. 1001–1009. DOI: 10.1111/1365-2745.12802.

17. Warsen S.A., Frair J.L., Teece M.A. Isotopic investigation of niche partitioning among native carnivores and the non-native coyote (*Canis latrans*) // *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2014. Vol. 50, iss. 3. P. 414–424. DOI: 10.1080/10256016.2014.897946.

18. O'Connell T.C., Hedges R.E.M., Healey M.A., Simpson A.H.R.W. Isotopic comparison of hair, nail and bone: modern analyses // *Journal of Archaeological Science*. 2001. Vol. 28, iss. 11. P. 1247–1255. DOI: 10.1006/jasc.2001.0698.

19. Eltsova L., Ivanova E., Komov V., Mizgireva I., Kopylov D., Kuznetsova L., Barinova M., Platonova E., Rumiantsseva O., Savkova I., Poddubnaya N. Isotope signatures of Carnivorans hair in the North-West of Russia: the role of diet, behavior and metabolism // *European Journal of Wildlife Research*. 2024. Vol. 70, iss. 5. DOI: 10.1007/s10344-024-01851-x.

20. Ельцова Л.С., Иванова Е.С., Комов В.Т., Мизгирева И.Ю., Кузнецова Л.В., Барина М.С., Савкова И.С., Платонова Е.В. Изотопная подпись хищных млекопитающих Северо-Запада России // *Эволюционные и экологи-*

ческие аспекты изучения живой материи: мат-лы II все-рос. науч. конф. с междунар. участием (Череповец, 26–27 октября 2023 г.) / отв. ред. В.В. Петрова. Череповец; Вологда: Сад-огород, 2023. С. 57–61.

21. Marshall J.D., Brooks J.R., Lajtha K. Sources of variation in the stable isotopic composition of plants // *Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science*. Second edition / eds. R. Michener, K. Lajtha. 2007. P. 22–60. DOI: 10.1002/9780470691854.ch2.

22. Громов И.М., Ербаева М.А. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Зайцеобразные и грызуны. СПб., 1995. 522 с.

23. Fan R., Morozumi T., Maximov T.C., Sugimoto A. Effect of floods on the $\delta^{13}\text{C}$ values in plant leaves: a study of willows in Northeastern Siberia // *PeerJ*. 2018. DOI: 10.7717/peerj.5374.

24. Коновалов А.Ф. Млекопитающие Вологодской области (справочник-определитель): учеб. пособие. Вологда: ВГПУ; Русь, 2005. 160 с.

25. Виноградов Б.С., Громов И.М. Грызуны фауны СССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1952. 298 с.

26. Cloern J.E., Canuel E.A., Harris D. Stable carbon and nitrogen isotope composition of aquatic and terrestrial plants of the San Francisco Bay estuarine system // *Limnology and Oceanography*. 2002. Vol. 47, iss. 3. P. 713–729. DOI: 10.4319/lo.2002.47.3.0713.

27. Bocherens H., Drucker D. Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems // *International Journal of Osteoarchaeology*. 2003. Vol. 13, iss. 1–2. P. 46–53. DOI: 10.1002/oa.662.

28. Keeling R.F., Graven H.D., Welp L.R., Resplandy L., Bi J., Piper S.C., Sun Y., Bollenbacher A., Meijer H.A.J. Atmospheric evidence for a global secular increase in carbon isotopic discrimination of land photosynthesis // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2017. Vol. 114, iss. 39. P. 10361–10366. DOI: 10.1073/pnas.1619240114.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
Ельцова Любовь Сергеевна , научный сотрудник кафедры биологии; Череповецкий государственный университет (г. Череповец, Вологодская область, Российская Федерация). E-mail: lskhabarova@chsu.ru.	Eltsova Liubov Sergeevna , researcher of Biology Department; Cherepovets State University (Cherepovets, Vologda Region, Russian Federation). E-mail: lskhabarova@chsu.ru.
Дурягина Ольга Васильевна , студент факультета биологии и здоровья человека; Череповецкий государственный университет (г. Череповец, Вологодская область, Российская Федерация). E-mail: ovduriagina@chsu.ru.	Duryagina Olga Vasilyevna , student of Faculty of Biology and Human Health; Cherepovets State University (Cherepovets, Vologda Region, Russian Federation). E-mail: ovduriagina@chsu.ru.
Кузнецова Людмила Викторовна , начальник отдела организации природопользования и науки; Национальный парк «Русский Север» (г. Кириллов, Вологодская область, Российская Федерация). E-mail: priroda.russever@mail.ru.	Kuznetsova Liudmila Victorovna , head of Environmental Management and Science Department; Russian North National Park (Kirillov, Vologda Region, Russian Federation). E-mail: priroda.russever@mail.ru.
Иванова Елена Сергеевна , кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель эколого-аналитической лаборатории кафедры биологии; Череповецкий государственный университет (г. Череповец, Вологодская область, Российская Федерация). E-mail: stepinaelena@yandex.ru.	Ivanova Elena Sergeevna , candidate of biological sciences, leading researcher, head of Ecological and Analytical Laboratory of Biology Department; Cherepovets State University (Cherepovets, Vologda Region, Russian Federation). E-mail: stepinaelena@yandex.ru.

Для цитирования:

Ельцова Л.С., Дурягина О.В., Кузнецова Л.В., Иванова Е.С. Изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) и азота ($\delta^{15}\text{N}$) шерсти грызунов Вологодской области // Самарский научный вестник. 2024. Т. 13, № 4. С. 20–25. DOI: 10.55355/snv2024134103.