

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2436>
<https://elibrary.ru/YORYWG>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях зайца-беляка (*Lepus timidus* L., 1758) на севере Красноярского края



П. В. Кочкарев¹, М. А. Кошурникова²,
А. А. Сергеев^{2,*}, В. В. Ширяев²

¹ Государственный природный биосферный заповедник «Центральносибирский», п. Бор, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства
имени профессора Б. М. Житкова, Киров, Россия

Поступила в редакцию: 16.02.2023

Принята после рецензирования: 13.04.2023

Принята к публикации: 02.05.2023

*А. А. Сергеев: metalbird@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-9461-5131>

П. В. Кочкарев: <https://orcid.org/0000-0001-5995-3963>

М. А. Кошурникова: <https://orcid.org/0000-0003-3638-3712>

В. В. Ширяев: <https://orcid.org/0000-0002-4549-5727>

© П. В. Кочкарев, М. А. Кошурникова, А. А. Сергеев,
В. В. Ширяев, 2023



Аннотация.

Сведения о следовых и токсичных концентрациях металлов в организме диких животных имеет большое значение для мониторинга химического загрязнения окружающей среды и оценки состояния здоровья и токсических рисков у животных и человека.

Методом атомно-абсорбционной спектроскопии определили концентрацию железа, меди, цинка, свинца и кадмия в скелетной мускулатуре, печени и почках зайцев-беляков (*Lepus timidus* L.) (n = 107), добытых в течение двух сезонов на фоновых и техногенно-загрязненных территориях Красноярского края.

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях зайцев-беляков на загрязненных полигонах оказалось достоверно выше, чем на фоновых территориях. В организме животных на загрязненных территориях достоверно высокое содержание свинца, кадмия и ртути, на фоновых участках больше биогенных элементов – меди, цинка и железа. Подобные отличия связаны с антагонизмом биогенных и токсичных металлов в организме. Выявленные корреляции между отдельными металлами в органах и тканях указывают на общие источники поступления микроэлементов в окружающую среду на исследуемой территории.

Уровни кадмия и свинца у зайцев-беляков на загрязненных участках не опасны для здоровья животных. Около 40 % проб печени и все пробы мышечной ткани зайцев, отловленных на загрязненном участке, оказались не пригодны в пищу по причине содержания опасных концентраций свинца и кадмия. Осуществление охоты на участках техногенного загрязнения может представлять токсическую опасность для аборигенных охотников и членов их семей.

Ключевые слова. *Lepus timidus*, заяц-беляк, охота, промысел, мясо дичи, загрязнение, экотоксикология, микроэлементы, тяжелые металлы, свинец, кадмий, ртуть

Финансирование. Работы выполнены в 2022 г. во Всероссийском научно-исследовательском институте охотничьего хозяйства и звероводства им. проф. Б. М. Житкова (ВНИИОЗ) в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.), утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р, составляющей основу Государственного задания института (тема «Совершенствование научных основ устойчивого использования, методов оценки, мониторинга и прогноза динамики биологических ресурсов охотничьего хозяйства» (№ FNWS-2022-0001)).

Для цитирования: Содержание тяжелых металлов в органах и тканях зайца-беляка (*Lepus timidus* L., 1758) на севере Красноярского края / П. В. Кочкарев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 217–230. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2436>

Trace Elements in the Meat and Internal Organs of the Mountain Hare (*Lepus timidus* L., 1758) in the North of the Krasnoyarsk Region



Pavel V. Kochkarev¹, Maria A. Koshurnikova²,
Alexey A. Sergeyev^{2,*}, Valery V. Shiryaev²

¹ State Natural Biosphere Reserve “Central Siberian”, village Bor, Russia

² Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Received: 16.02.2023

Revised: 13.04.2023

Accepted: 02.05.2023

*Alexey A. Sergeyev: metalbird@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-9461-5131>

Pavel V. Kochkarev: <https://orcid.org/0000-0001-5995-3963>

Maria A. Koshurnikova: <https://orcid.org/0000-0003-3638-3712>

Valery V. Shiryaev: <https://orcid.org/0000-0002-4549-5727>

© P.V. Kochkarev, M.A. Koshurnikova, A.A. Sergeyev,
V.V. Shiryaev, 2023



Abstract.

Relevant data on trace elements and toxic metals in game meat make it possible to monitor chemical pollution, as well as to detect risks to human and animal health.

The authors used atomic absorption spectrometry to study iron, copper, zinc, lead, and cadmium in the skeletal muscles, liver, and kidneys of mountain hares (*Lepus timidus* L.) (n = 107). The animals were caught during two seasons on reference sites and technogenic territories in the northern Krasnoyarsk Region.

The samples obtained from the hares that lived on the reference sites had a much lower content of toxic metals. The tissues that belonged to the hares from the polluted habitats contained more lead and cadmium while the samples from the reference sites demonstrated traces of such biogenic elements as copper, zinc, and iron. The differences may be associated with the antagonism of biogenic elements and toxic metals in the body. The correlations between various metals probably meant that they came from one and the same pollution source.

The levels of cadmium and lead in the samples from the technogenic areas were not hazardous to animal health. However, their meat and liver were unfit to eat. Therefore, hunting in the areas of technogenic pollution can pose a toxic hazard to indigenous hunters and their families.

Keywords. *Lepus timidus*, mountain hare, hunting, game meat, pollution, ecotoxicology, trace elements, heavy metals, lead, cadmium, mercury

Funding. The research was conducted on the premises of the Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming (VNIIOZ) as part of the State Task on Scientific Foundations for Sustainable Use, Assessment, Monitoring, and Forecasting Biological Resources of the Hunting Industry (No. FNWS-2022-0001), Fundamental Research Program through 2021–2030, Decree No. 3684-r of the Government of the Russian Federation, December 31, 2020.

For citation: Kochkarev PV, Koshurnikova MA, Sergeyev AA, Shiryaev VV. Trace Elements in the Meat and Internal Organs of the Mountain Hare (*Lepus timidus* L., 1758) in the North of the Krasnoyarsk Region. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):217–230. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2436>

Введение

Загрязнение окружающей среды токсичными металлами связано с развитием индустрии и сельского хозяйства. Выбросы металлов и антропогенных источников в атмосферу, воду и почву увеличили концентрацию свинца, кадмия, цинка и ртути, а также в меньшей степени меди и никеля в неорганических средах и биологических объектах [1–5].

Металлы необходимы для жизнедеятельности организмов. Однако отдельные элементы могут вызывать острые и хронические отравления [6, 7].

Тяжелые металлы, присутствующие в окружающей среде, имеют тенденцию накапливаться в организме животных, мигрируя по пищевым цепям. Биоаккумуляция токсичных металлов вызывает ряд патологических состояний, тем самым создавая

серьезную опасность для здоровья людей и животных. С точки зрения потенциально неблагоприятных последствий для здоровья кадмий, свинец и ртуть входят в число элементов, вызывающих наибольшую озабоченность.

Повышенный уровень содержания свинца можно обнаружить вблизи оживленных автомагистралей, теплоэлектростанций и металлургических предприятий. Охотничьи свинецсодержащие боеприпасы также загрязняют окружающую среду. Источниками свинца могут быть корма, почва, вода или воздух. Период его полураспада в окружающей среде, особенно в почве, очень велик. В организме теплокровных после поглощения свинец откладывается в печени и костях, где сохраняется длительное время. Избыточное накопление свинца вызывает нарушение кроветворной функции, поражение центральной нервной системы и особую форму отравления – пловизм (сатурнизм человека).

Кадмий – тяжелый металл, который можно обнаружить в повышенных концентрациях вблизи предприятий тяжелой и горнодобывающей промышленности. Кадмий и свинец в виде примесей содержатся в удобрениях, моторных маслах и топливе, что может быть причиной увеличения количества этих тяжелых металлов в сельскохозяйственных почвах. Местами депонирования кадмия являются почки и печень, по некоторым данным кости. Период выведения кадмия из организма велик, поэтому токсикант накапливается с возрастом. Аккумулируясь в организме в значительных количествах, кадмий вызывает острое поражение почек, деминерализацию костей и пневмофиброз. Примером хронического кадмизма является вспышка болезни итай-итай, отмеченная у населения Японии в 1950 г.

Все живые организмы постоянно подвергаются воздействию поллютантов. Дикие животные, имеющие неограниченную свободу передвижения, обитают в местах, загрязненных токсичными металлами [8]. В этой связи они представляют особую ценность в качестве экотоксикологических биоиндикаторов [9, 10].

Химическое загрязнение диких животных исследуется уже более полувека [11, 12]. Для большинства регионов России и бывшего СССР данные по загрязненности токсичными металлами продукции охотничьего хозяйства отсутствуют, хотя они необходимы для мониторинга качества окружающей среды, оценки степени негативного воздействия химических факторов на популяции хозяйственно важных видов животных, обеспечения продовольственной безопасности страны и совершенствования санитарно-гигиенических норм и правил. Зайцы являются удобным биоиндикатором загрязнения среды и важным промысловым объектом, но экотоксикологические исследования зайцеобразных весьма ограничены, а зайца-беляка – единичны [11,

15–18]. В этой связи любые сведения о химическом составе органов и тканей зайцеобразных любого региона мира представляют научный интерес и новизну.

Целью данного исследования являлось определение концентрации различных токсических и биогенных элементов в органах и тканях зайцев-беляков (*Lepus timidus* L.) на севере Красноярского края, где предполагается различный уровень промышленного загрязнения.

Объекты и методы исследования

В качестве материала для исследования использовали внутренние органы (скелетная мускулатура, печень и почки) взрослых зайцев-беляков (*Lepus timidus* L.). Отбор биоматериала от самок зайца-беляка производился в период с 20 мая по 20 июня, от самцов зайца-беляка – с апреля по июнь. Экспериментальные данные получены в период с 2011 по 2014 гг., но остаются актуальными, поскольку, по информации Министерства экологии и рационального природопользования Красноярского края, за этот период характер и уровень техногенной нагрузки существенно не изменялся. Кроме того, собранные сведения могут быть использованы для сравнительных выводов при проведении экологического мониторинга территорий исследований в ближайшей и отдаленной перспективе.

Материал для исследований собран на территории Красноярского края РФ: предположительно загрязненных в результате деятельности горнодобывающих и металлургических предприятий участках в районе среднего течения р. Агапа (71°638611 с.ш., 87°881650 в.д.) и на фоновых территориях в окрестностях п. Хета, п. Кресты (р. Хатанга) и п. Катарык (р. Хета) (71°319090 с.ш., 99°312443 в.д.).

Добычу зайцев-беляков осуществляли петлями местные охотники из числа коренных и малочисленных народов Севера. Отловленные животные метились биркой, надетой на шею (бирки заранее изготавливались и передавались охотникам). Тушки замораживали в леднике при температуре –18 °С, а затем упаковывали в отдельные новые пакеты из пищевого пластика. Раз в десять дней их перевозили вертолетом или гидросамолетом в г. Дудинка, где в ветеринарной лаборатории одним из авторов, а также ветеринарными специалистами Федеральной службы Россельхознадзора по Красноярскому краю производились все необходимые промеры и взвешивания. Здесь тушки вскрывали и отбирали пробы органов и тканей для микроэлементного анализа. Материал упаковывали в пищевой полиэтилен и доставляли в лабораторию для дальнейшей камеральной обработки.

Анализ на содержание химических элементов провели в химической лаборатории Референтного центра Управления Федеральной службы

Россельхознадзора по Красноярскому краю (г. Красноярск) на атомно-абсорбционных спектрофотометрах Sollar (TJA Solution, США) и Varian (Agilent Technologies, США). У каждой особи определяли концентрацию биогенных элементов (меди, железа и цинка) и тяжелых металлов (свинца и кадмия) в мышцах, печени и почках. Концентрацию элементов определяли в пересчете на натуральную влажность. Содержание влаги составило: мышечная ткань 69–73 %, почки 74–78 %, печень 70–73 %.

Статистический анализ проводился с использованием программного обеспечения MS Excel (Office 2019) и Statgraphics (19-X64) общепринятыми методами [19]. Для описания выборок определяли среднее значение (M), ошибку среднего (m), стандартное отклонение ($\pm$ SD), медиану (Med), 25 и 75 % процентиля. Поскольку распределение части выборки отличалось от нормального, помимо стандартных методов вариационной статистики, применялся непараметрический анализ: для сравнения достоверности различий использовали критерии Манна-Уитни (U) и Краскела-Уоллиса (H).

Взаимосвязь между параметрами оценивалась методом ранговой корреляции Спирмена. Влияние фактора считалось достоверно значимым при $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Показатели концентрации свинца, кадмия, меди, цинка и железа в печени, почках и мышечной ткани самок и самцов зайца-беляка (*Lepus timidus* L.) на фоновых и загрязненных территориях представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Установлено, что на загрязненных территориях концентрация свинца у самок в мышцах составила $0,16 \pm 0,03$ мг/кг н.в., в печени – $0,75 \pm 0,16$ мг/кг н.в., в почках – $0,41 \pm 0,10$ мг/кг н.в. Это достоверно выше в 5,33 раз ($p = 0,00$), 18,75 раз ($p = 0,00$) и 20,5 раз ($p = 0,00$) соответственно по сравнению с фоновыми территориями.

Выявлены корреляционные связи между отдельными металлами применительно как к/по содержанию элементов на одной территории, но разным органам и тканям (табл. 3), так и к территориям с разным уровнем загрязнения (табл. 4).

Таблица 1. Микроэлементный состав органов и тканей самок зайца-беляка, мг/кг н.в. фоновых и загрязненных территорий Красноярского края

Table 1. Trace elements in organs and tissues of female hares, mg/kg w.w. from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

Элемент	Среднее значение (M)	Ошибка среднего (m)	Стандартное отклонение ($\pm$ SD)	Медиана (Med)	min	max
Фоновая территория						
Скелетная мускулатура (n = 19)						
Fe	69,13	4,52	19,18	75,00	32,00	96,00
Cu	8,76	0,48	2,06	8,60	5,50	12,00
Zn	16,00	0,80	3,39	16,00	10,00	23,00
Pb	0,03	0,00	0,01	0,03	0,02	0,06
Cd	0,03	0,00	0,02	0,02	0,01	0,12
Печень (n = 19)						
Fe	133,36	5,63	23,92	134,00	92,00	168,00
Cu	29,84	2,39	10,17	28,00	12,00	47,00
Zn	38,10	2,48	10,54	37,00	24,00	57,00
Pb	0,04	0,00	0,01	0,04	0,02	0,07
Cd	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,06
Почки (n = 19)						
Fe	52,94	1,30	5,55	52,00	45,00	62,00
Cu	10,47	0,33	1,42	11,00	8,00	13,00
Zn	33,94	2,38	10,13	32,00	18,00	51,00
Pb	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01	0,04
Cd	0,04	0,00	0,01	0,05	0,03	0,06
Загрязненная территория						
Скелетная мускулатура (n = 22)						
Fe	55,27	2,27	10,42	57,00	36,00	75,00
Cu	6,43	0,44	2,03	6,50	2,00	10,50
Zn	30,36	3,50	16,08	29,50	10,00	55,00
Pb	0,16	0,00	0,03	0,15	0,12	0,23
Cd	0,35	0,10	0,46	0,14	0,08	1,80

Продолжение Таблицы 1

Элемент	Среднее значение (M)	Ошибка среднего (m)	Стандартное отклонение ($\pm$ SD)	Медиана (Med)	min	max
Печень (n = 22)						
Fe	139,22	12,03	55,15	115,50	91,00	280,00
Cu	22,00	0,93	4,27	23,00	12,00	26,50
Zn	57,18	5,83	26,75	55,50	12,00	112,00
Pb	0,75	0,03	0,16	0,72	0,52	1,20
Cd	0,35	0,02	0,10	0,35	0,16	0,55
Почки (n = 22)						
Fe	89,18	8,44	38,68	78,00	36,00	187,00
Cu	15,15	1,44	6,60	11,75	8,00	26,00
Zn	16,79	1,44	6,60	14,05	9,40	29,00
Pb	0,41	0,02	0,10	0,40	0,27	0,65
Cd	0,61	0,02	0,11	0,57	0,41	0,87

Таблица 2. Микроэлементный состав мышечной ткани самцов зайца-беляка, мг/кг н.в. фоновых и загрязненных территорий Красноярского края

Table 2. Trace elements in organs and tissues of male hares, mg/kg w.w. from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

Элемент	Среднее значение (M)	Ошибка среднего (m)	Стандартное отклонение ($\pm$ SD)	Медиана (Med)	min	max
Фоновая территория (n = 32)						
Fe	59,90	1,21	6,74	59,50	48,00	71,00
Cu	12,14	0,44	2,46	12,00	11,00	14,00
Pb	0,02	0,00	0,00	0,03	0,02	0,04
Cd	0,03	0,00	0,00	0,04	0,02	0,05
Загрязненная территория (n = 34)						
Fe	148,23	10,23	58,78	146,50	102,00	458,00
Cu	23,97	0,30	1,73	24,00	19,00	27,00
Pb	0,73	0,01	0,09	0,75	0,35	0,87
Cd	0,45	0,01	0,07	0,46	0,25	0,61

Таблица 3. Статистически значимые корреляционные связи ($p < 0,05$) концентрации микроэлементов в органах и тканях самок зайца-беляка Красноярского краяTable 3. Statistically significant correlations ($p < 0.05$) of trace metals in organs and tissues of female hares

Пары	Корреляция	p
Pb фон мышцы – Pb фон печень	0,49	0,03
Pb загрязненная мышцы – Pb фон печень	–0,54	0,02
Pb загрязненная мышцы – Pb загрязненная печень	0,58	0,00
Pb фон печень – Pb фон почки	0,81	0,00
Pb загрязненная печень – Pb загрязненная почки	0,73	0,00
Cd фон мышцы – Cd загрязненная мышцы	0,55	0,01
Cd фон мышцы – Cd фон печень	0,55	0,01
Cd загрязненная мышцы – Cd загрязненная печень	0,68	0,00
Cd загрязненная мышцы – Cd фон почки	–0,46	0,04
Cd загрязненная мышцы – Cd загрязненная почки	0,49	0,02
Cd загрязненная печень – Cd загрязненная почки	0,54	0,01
Cu фон мышцы – Cu фон печень	0,55	0,01
Cu фон мышцы – Cu фон почки	0,55	0,01
Cu фон печень – Cu фон почки	0,62	0,00
Fe фон мышцы – Fe фон печень	0,95	0,00
Fe фон мышцы – Fe фон почки	0,74	0,00
Fe фон печень – Fe фон почки	0,77	0,00
Zn загрязненная мышцы – Zn загрязненная печень	0,46	0,03
Zn фон печень – Zn фон почки	0,72	0,00

Таблица 4. Статистически значимые корреляционные связи ($p < 0,05$) концентрации микроэлементов в органах и тканях самок зайца-беляка на фоновых и загрязненных территориях Красноярского краяTable 4. Statistically significant correlations ($p < 0.05$) of trace metals in organs and tissues of female hares from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

Пары	Загрязненная территория		Фоновая территория	
	Корреляция	p	Корреляция	p
Cd печень – Zn печень	0,50	0,01	–	–
Cd печень – Zn почки	0,50	0,01	–	–
Cd почки – Zn печень	0,50	0,01	–	–
Cd почки – Zn почки	0,50	0,01	–	–
Cd мышцы – Pb печень	0,50	0,02	–0,51	0,02
Cd мышцы – Pb почки	0,50	0,02	–0,51	0,02
Cd мышцы – Pb мышцы	0,43	0,04	–	–
Pb печень – Zn печень	–	–	–0,73	0,00
Pb печень – Zn почки	–	–	–0,73	0,00
Pb почки – Zn печень	–	–	–0,73	0,00
Pb почки – Zn почки	–	–	–0,73	0,00
Cu печень – Zn печень	0,43	0,04	0,76	0,00
Cu печень – Zn почки	0,43	0,04	0,76	0,00
Cu печень – Pb печень	–	–	–0,61	0,00
Cu печень – Pb почки	–	–	–0,61	0,00
Cu почки – Zn печень	0,43	0,04	0,76	0,00
Cu почки – Zn почки	0,43	0,04	0,97	0,00
Cu почки – Pb печень	–	–	–0,61	0,00
Cu почки – Pb почки	–	–	–0,61	0,00
Fe печень – Zn печень	0,45	0,03	–	–
Fe печень – Zn почки	0,45	0,03	–	–
Fe почки – Zn печень	0,45	0,03	–	–
Fe почки – Zn почки	0,45	0,03	–	–
Fe печень – Pb мышцы	–	–	0,50	0,03
Fe почки – Pb мышцы	–	–	0,60	0,01
Fe мышцы – Pb печень	–	–	0,52	0,02
Fe мышцы – Pb почки	–	–	0,52	0,02
Fe мышцы – Pb мышцы	–	–	0,51	0,02

Анализ корреляционных связей концентрации свинца во внутренних органах зайца-беляка установил тесную положительную связь между его концентрацией в печени и почках как на фоновых территориях ($r = 0,81$, $p = 0,00$), так и на загрязненных ($r = 0,73$, $p = 0,00$); среднюю положительную корреляцию между концентрацией свинца в мышцах и печени на фоновых ($r = 0,49$, $p = 0,03$) и загрязненных территориях ($r = 0,58$, $p = 0,00$); среднюю отрицательную связь между концентрацией свинца в печени на фоновых территориях и в мышцах на загрязненных ($r = -0,54$, $p = 0,02$).

На загрязненных территориях в организме самок зайца-беляка концентрация кадмия в мышцах составила $0,35 \pm 0,46$ мг/кг н.в., в печени – $0,35 \pm 0,10$ мг/кг н.в., в почках – $0,61 \pm 0,11$ мг/кг н.в. Это достоверно выше в 11,66 раз ($p = 0,00$), 17,5 раз ($p = 0,00$) и 15,25 раз ($p = 0,00$) соответственно по сравнению с фоновыми территориями.

Анализ корреляционных связей концентрации кадмия во внутренних органах установил положительную связь между его концентрацией в мышцах и печени на загрязненных ($r = 0,68$, $p = 0,00$) и фоновых территориях ($r = 0,55$, $p = 0,01$); среднюю положительную связь на загрязненных территориях между концентрацией в печени и почках ($r = 0,54$, $p = 0,01$), а также мышцах и почках ($r = 0,49$, $p = 0,02$). Выявлена средняя отрицательная связь между концентрацией кадмия в мышцах на загрязненных территориях и в почках на фоновых ($r = -0,46$, $p = 0,04$).

На загрязненных территориях отмечено достоверное снижение концентрации меди в мышцах ($6,43 \pm 2,03$ мг/кг н.в.) и в печени ($22,00 \pm 4,27$ мг/кг н.в.), что в 1,36 раз ($p = 0,00$) и 1,35 раз ($p = 0,03$) соответственно ниже по сравнению с фоновыми территориями. В почках на загрязненных территориях концентрация меди составила

15,15 ± 6,60 мг/кг н.в., что выше в 1,44 раз ($p = 0,03$), чем на фоновых территориях.

Анализ корреляционных связей концентрации меди во внутренних органах установил тесную положительную связь между ее концентрацией на фоновых территориях в печени и почках ($r = 0,62$, $p = 0,00$), а также среднюю в мышцах и печени ($r = 0,55$, $p = 0,01$) и в мышцах и почках ($r = 0,55$, $p = 0,01$).

Концентрация железа на загрязненных территориях в мышцах самок составила $55,27 \pm 10,42$ мг/кг н.в., что ниже в 1,19 раз ($p = 0,01$), чем на фоновых территориях; в почках – $89,18 \pm 38,68$ мг/кг н.в., что выше в 1,68 раз ($p = 0,00$), чем на фоновых территориях.

Анализ корреляционных связей концентрации железа во внутренних органах установил тесную положительную связь между его концентрацией на фоновых территориях в печени и почках ($r = 0,77$, $p = 0,00$), мышцах и печени ($r = 0,95$, $p = 0,00$), а также мышцах и почках ($r = 0,74$, $p = 0,00$).

На загрязненных территориях достоверно установлена более высокая концентрация цинка в мышцах самок ($30,36 \pm 16,08$ мг/кг н.в.) и печени ($57,18 \pm 26,75$ мг/кг н.в.), что выше в 1,89 раз ($p = 0,01$) и 1,50 раз ($p = 0,00$) соответственно по сравнению с фоновыми территориями. В почках концентрация цинка на загрязненных территориях составила $16,79 \pm 6,60$ ($p = 0,00$), что ниже в 2,02 раза, чем на фоновых территориях.

Установлена тесная положительная корреляционная связь между концентрацией цинка в печени и почках ($r = 0,72$, $p = 0,00$) на фоновых территориях и средняя положительная корреляционная связь в мышцах и печени ($r = 0,46$, $p = 0,03$) на загрязненных территориях.

Концентрация ртути в мышцах, печени и почках на загрязненных территориях варьировалась в пределах 0,01–0,025 мг/кг н.в. и была достоверно выше аналогичных показателей для фоновых территорий.

Кроме того, на фоновых территориях установлена тесная отрицательная корреляционная связь между концентрациями меди и свинца в печени ($r = -0,61$, $p = 0,00$), меди в печени и свинца в почках ($r = -0,61$, $p = 0,00$), меди в почках и свинца в печени ($r = -0,61$, $p = 0,00$), меди и свинца в почках ($r = -0,61$, $p = 0,00$), свинца и цинка в печени ($r = -0,73$, $p = 0,00$), свинца в печени и цинка в почках ($r = -0,73$, $p = 0,00$), свинца в почках и цинка в печени ($r = -0,73$, $p = 0,00$), свинца и цинка в почках ($r = -0,73$, $p = 0,00$). Отмечена средняя положительная корреляционная связь между концентрациями железа в печени и свинца в мышцах ($r = 0,50$, $p = 0,03$), железа в почках и свинца в мышцах ($r = 0,60$, $p = 0,03$), а также железа в мышцах и свинца в пече-

ни ($r = 0,52$, $p = 0,02$), в почках ($r = 0,52$, $p = 0,02$) и мышцах ($r = 0,51$, $p = 0,02$).

На загрязненных территориях установлена средняя корреляционная связь между содержанием в печени кадмия и цинка ($r = 0,50$, $p = 0,01$), кадмия в печени и цинка в почках ($r = 0,50$, $p = 0,01$), кадмия в почках и цинка в печени ($r = 0,50$, $p = 0,01$), кадмия и цинка в почках ($r = 0,50$, $p = 0,01$), кадмия и свинца в мышцах ($r = 0,50$, $p = 0,02$), железа и цинка в печени ($r = 0,45$, $p = 0,03$), железа в печени и цинка в почках ($r = 0,45$, $p = 0,03$), железа в почках и цинка в печени ($r = 0,45$, $p = 0,03$), а также железа и цинка в почках ($r = 0,45$, $p = 0,03$).

Как на фоновых, так и на загрязненных территориях установлена корреляционная связь между кадмием в мышцах и свинцом в печени ($r = -0,51$, $p = 0,02$ и $r = 0,50$, $p = 0,02$ соответственно), между кадмием в мышцах и свинцом в почках ($r = -0,51$, $p = 0,02$ и $r = 0,50$, $p = 0,02$ соответственно), между медью и цинком в печени ($r = 0,76$, $p = 0,00$ и $r = 0,43$, $p = 0,04$ соответственно), между медью в печени и цинком в почках ($r = 0,76$, $p = 0,00$ и $r = 0,43$, $p = 0,04$ соответственно), между медью в почках и цинком в печени ($r = 0,76$, $p = 0,00$ и $r = 0,43$, $p = 0,04$ соответственно) и между медью и цинком в почках ($r = 0,97$, $p = 0,00$ и $r = 0,43$, $p = 0,04$ соответственно).

Установлено, что на загрязненных территориях концентрация свинца в мышцах зайца-беляка составила $0,73 \pm 0,09$ мг/кг н.в., кадмия – $0,45 \pm 0,07$ мг/кг н.в., меди – $23,97 \pm 1,73$ мг/кг н.в., железа – $148,23 \pm 58,78$ мг/кг н.в., что в 36,5, 15,0, 1,97 и 2,47 раз соответственно достоверно ($p = 0,00$) выше по сравнению с фоновыми территориями.

Масса тела самцов на фоновых ($n = 31$) и загрязненных ($n = 33$) территориях достоверно не различалась и составляла в среднем 4840 и 4832 г соответственно. Однако вариабельность показателей на фоновых территориях была меньше.

Анализ корреляционных связей концентраций тяжелых металлов в мышцах самцов зайца-беляка

Таблица 5. Статистически значимые корреляционные связи ($p < 0,05$) концентрации микроэлементов в органах и тканях самцов зайца-беляка Красноярского края

Table 5. Statistically significant correlations ($p < 0.05$) of trace elements in organs and tissues of male hares in the Krasnoyarsk Region

Пары	Корреляция	p
Cd загрязненная – Fe загрязненная	-0,40	0,01
Cd загрязненная – Pb фон	-0,49	0,00
Cd фон – Fe загрязненная	0,43	0,01
Cd фон – Fe фон	-0,50	0,00
Fe загрязненная – Fe фон	-0,65	0,00

установил среднюю отрицательную корреляционную связь между концентрациями кадмия и железа на загрязненных территориях ($r = -0,40$, $p = 0,01$) и между концентрациями кадмия и железа на фоновых территориях ($r = -0,50$, $p = 0,00$), а также положительную корреляционную связь между концентрациями кадмия на фоновых территориях и железа на загрязненных ($r = 0,43$, $p = 0,01$). Установлена отрицательная корреляционная связь между концентрациями кадмия на загрязненных территориях и свинца на фоновых ($r = -0,49$, $p = 0,00$), между концентрациями железа на загрязненных и фоновых территориях ($r = -0,65$, $p = 0,00$), а также между концентрациями железа на загрязненных территориях и массой животных на фоновых ($r = -0,60$, $p = 0,00$) и между концентрациями железа и массой тела на фоновых территориях ($r = 0,53$, $p = 0,00$).

Некоторые тяжелые металлы являются естественными компонентами окружающей среды, но в последние десятилетия индустриальное развитие ответственно за широкую диффузию этих веществ и, как следствие, химическое загрязнение воды, почвы и атмосферы. Многие микроэлементы накапливаются в почвах и кормовых растениях, а при поедании животными этих растений переходят на высшие уровни трофической пирамиды.

Железо, медь и цинк – жизненно необходимые элементы, недостаток которых приводит к нарушению биологических функций. Тем не менее присутствующие в избытке эссенциальные металлы могут стать токсичными [20]. Физиологическая роль кадмия и свинца неизвестна, но в больших дозах они смертельно токсичны.

Исследовали печень и почки зайца-беляка, т. к. именно в этих органах часто накапливаются самые высокие концентрации тяжелых металлов, а также скелетную мускулатуру, которая чаще всего употребляется в пищу, как уже описано в научной литературе [21].

По нашим данным, содержание свинца и кадмия в печени и почках зайцев-беляков на загрязненных территориях выше, чем на участках, рассматриваемых в качестве фоновых. Разница возникает из-за эмиссии тяжелых металлов крупными горнодобывающими и металлургическими предприятиями, чему способствует направление господствующих ветров. Выбросы предприятий ГМК «Норильский никель», расположенных в городах Кайеркан и Норильск, распространяются в северном и северо-западном направлениях, особенно быстро это происходит во время зимних метелей. Скапливаясь в понижениях рельефа, загрязненные снежные массы определяют повышенное поступление микроэлементов в кустарники и травянистые растения. Именно эти участки служат кормовыми биотопами зайца-беляка.

Микроэлементный состав тканей зайца-беляка на территории исследований соответствует аналогичным показателям тканей зайцеобразных различных регионов мира (табл. 6). Содержание меди и железа в печени и почках примерно соответствовало аналогичным показателям зайцеобразных арктических регионов (*Lepus arcticus* и *Lepus timidus*), а уровни цинка были в 2–4 раза ниже, чем у зайцев с техногенно-загрязненных территорий Северной Европы и Канады [15, 16].

Несмотря на то что железо, медь и цинк являются эссенциальными элементами, попадая в окружающую среду с промышленными выбросами, они могут накапливаться в избыточных количествах, вызывая отравления [31]. Для лабораторных и сельскохозяйственных животных показана возможность антагонистического взаимодействия некоторых биогенных элементов и токсикантов [32–35]. Выявленные на территории Красноярского края различия в содержании железа, меди и цинка на фоновых и загрязненных территориях могут быть связаны с антагонизмом биогенных элементов и токсичных металлов в организме.

В печени зверьков на загрязненной территории Красноярского края среднее содержание свинца составило $0,75 \pm 0,16$ мг/кг н.в. Средняя концентрация свинца в пробах печени зайца-русака (*Lepus europaeus*) из Воеводины (Сербия) несколько выше – $0,84$ мг/кг н.в. [28]. Исследователи из Польши обнаружили свинец в образцах заячьей печени в диапазоне $0,30$ – $3,63$ мг/кг н.в., почках – в пределах $0,22$ – $6,30$ мг/кг н.в. Наибольшее количество свинца выявлено в печени ($1,24 \pm 0,59$ мг/кг н.в.) и почках зайцев из окрестностей Кракова, где сконцентрирована тяжелая промышленность [25]. Концентрация свинца в образцах с загрязненных территорий Красноярского края ниже, по сравнению с пробами печени капского зайца (*Lepus capensis*) из Пакистана, и примерно втрое ниже, чем в почках и печени зайцев-русаков из Турции [22, 24]. Концентрация свинца схожа с показателями зайцев-беляков Норвегии, Финляндии и Кировской области России и в 3–4 раза выше, чем у иберийских зайцев (*Lepus granatensis*) непромышленных регионов Испании и зайцев-русаков из Словакии [15–18, 20, 27, 30]. Содержание свинца в органах и тканях зайцев-беляков фонового полигона Красноярского края аналогично показателям, полученным для зайцеобразных из незагрязненных регионов [20, 27].

По нашим данным, самые высокие концентрации кадмия зафиксированы в почках зайцев-беляков. Аналогичная картина наблюдалась у других видов [30, 36–39]. Значения содержания кадмия в печени и почках зайцев-беляков на фоновых территориях Красноярского края ниже описанных для зайцеобразных неиндустриальных регионов Европы, т. к. данный тяжелый металл попадает в окружающую

щую среду в результате промышленных выбросов и деятельности аграрного комплекса.

На загрязненных территориях Красноярского края среднее содержание кадмия составило $0,35 \pm 0,10$ мг/кг н.в. в печени и $0,61 \pm 0,11$ мг/кг н.в. в почках. Это ниже аналогичных показателей промышленных и горнодобывающих районов Канады, Польши, Турции и Сербии и сопоставимо с уровнем кадмия в организме зайцеобразных неиндустриальных территорий [23–29].

Предполагается, что повреждение почек млекопитающих происходит при концентрации кадмия 80–200 мг/кг н.в. [40]. В нашем исследовании опасные концентрации кадмия в почках зайцев-беляков не выявлены.

Таким образом, содержание свинца и кадмия в организме зайцев-беляков с фоновых участков Красноярского края оказалось не высоким, по сравнению с данными по зайцеобразным из других стран, а на полигонах, где предполагается антропогенная контаминация, не превосходило показатели загрязненных территорий других регионов.

Уровни железа, цинка, меди, ртути, кадмия и свинца в организме зайцев-беляков на территории Красноярского края не представляют риска для здоровья этих животных.

«Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю)» от 28 мая 2010 г. № 299 разработаны в целях реализации положений Соглашения таможенного союза России, Белоруссии и Казахстана. Они устанавливают гигиенические показатели и нормативы безопасности товаров на таможенной границе и всей территории стран-членов таможенного союза и обязательны для соблюдения органами власти, юридическими и физическими лицами. Единые санитарные требования впервые в отечественной практике регулируют качество мясо-дичной и прочей продукции промысловых и диких животных: в мясной продукции, используемой для потребления человеком, предельно допустимый уровень свинца составляет для мяса 0,5 мг/кг н.в., для печени – 0,6 мг/кг н.в., для почек – 1 мг/кг н.в.; кадмия для мяса – 0,05 мг/кг н.в.,

Таблица 6. Содержание тяжелых металлов и биогенных элементов (M, lim, n) в тканях зайцеобразных различных регионов мира

Table 6. Trace and biogenic elements (M, lim, n) in tissues of lagomorphs from different regions of the world

Вид зайцеобразных	Регион	Скелетная мускулатура	Печень	Почки	Список литературы
Железо					
<i>Lepus capensis</i>	Пакистан	59,57 (34,70–86,40)* n = 21	133,10 (96,80–212,50)* n = 21	83,50 (3,60–159,70)* n = 21	[22]
<i>Lepus timidus</i>	Россия	28,73 (19,80–58,10)* n = 6	205,70 (17,43–611,19)* n = 40	134,40 (3,10–284,65)* n = 37	[18]
Медь					
<i>Lepus arcticus</i>	Канада	10,11 (7,64–13,80)*	14,58 (11,60–17,42)*	13,90 (13,03–14,69)*	[23]
<i>Lepus capensis</i>	Пакистан	3,45 (1,50–7,60)* n = 21	3,95 (2,00–6,10)* n = 21	3,33 (1,00–5,20)* n = 21	[22]
<i>Lepus europaeus</i>	Турция	0,63** n = 15	2,34** n = 15	1,91** n = 15	[24]
<i>Lepus granatensis</i>	Испания	–	2,94–3,08 (0,45–6,01)** n = 65	2,42–2,72 (0,91–3,83)** n = 65	[20]
<i>Lepus timidus</i>	Норвегия	–	9,60–18,30* n = 31	14,30–18,90* n = 31	[16]
<i>Lepus timidus</i>	Россия	2,60 (1,21–4,21)* n = 6	20,95 (3,15–90,2)* n = 40	13,33 (3,21–30,41)* n = 37	[18]
Цинк					
<i>Lepus arcticus</i>	Канада	70,8 (43,2–105,6)*	116,90 (87,90–170,50)*	170,70 (141,80–265,30)*	[23]
<i>Lepus europaeus</i>	Турция	20,35** n = 15	40,51** n = 15	32,65** n = 15	[24]
<i>Lepus granatensis</i>	Испания	–	23,32–25,02 (10,49–51,72)** n = 65	18,52–21,82 (8,01–26,89)** n = 65	[20]
<i>Lepus timidus</i>	Норвегия	–	77,00–115,00* n = 31	92,00–132,00* n = 31	[16]
<i>Lepus timidus</i>	Россия	43,88 (28,80–79,10)* n = 6	94,15 (20,44–201,51)* n = 40	70,83 (18,11–165,12)* n = 37	[18]

Продолжение Таблицы 6

Вид зайцеобразных	Регион	Скелетная мускулатура	Печень	Почки	Список литературы
Свинец					
<i>Lepus arcticus</i>	Канада	0,01 (0,00–0,01)*	0,20 (0,00–0,36)*	0,22 (0,12–0,41)*	[23]
<i>Lepus capensis</i>	Пакистан	25,61 (0,30–139,00)* n = 21	28,67 (1,00–116,40)* n = 21	19,68 (6,30–28,20)* n = 21	[22]
<i>Lepus europaeus</i>	Польша	–	1,24 (0,30–3,63)** n = 164	1,20 (0,22–6,3)** n = 163	[25]
<i>Lepus europaeus</i>	Турция	7,83** n = 15	2,19** n = 15	1,23** n = 15	[24]
<i>Lepus europaeus</i>	Польша	0,04–0,38** n = 60	0,33–3,53** n = 60	0,22–3,22** n = 60	[26]
<i>Lepus europaeus</i>	Словакия	–	0,22 (0,01–1,20)* n = 74	0,12 (0,01–0,72)* n = 74	[27]
<i>Lepus europaeus</i>	Сербия	–	0,88 (0,06–3,70)** n = 196	–	[28]
<i>Lepus granatensis</i>	Испания	–	0,08–0,23 (0–0,23)** n = 65	0,06–0,10 (0,03–0,26)** n = 65	[20]
<i>Lepus timidus</i>	Финляндия	0–1,76** n = 12	0,10–1,18** n = 12	–	[15]
<i>Lepus timidus</i>	Норвегия	–	0,15–164,00* n = 31	0,15–0,67* n = 31	[16]
<i>Lepus timidus</i>	Россия	0,87 (0,48–1,48)* n = 6	2,12 (0,32–3,90)* n = 40	2,04 (0,12–5,7)* n = 37	[18]
Кадмий					
<i>Lepus arcticus</i>	Канада	0,08 (0,03–0,20)*	4,58 (1,68–10,90)*	106,60 (55,20–219,90)*	[23]
<i>Lepus capensis</i>	Пакистан	1,27 (0,10–3,40)* n = 21	1,50 (0,20–3,20)* n = 21	1,53 (0,20–3,50)* n = 21	[22]
<i>Lepus europaeus</i>	Польша	–	1,65 (0,13–6,98)** n = 164	14,70 (0,96–83,36)** n = 163	[25]
<i>Lepus europaeus</i>	Турция	1,19** n = 15	0,83** n = 15	4,49** n = 15	[24]
<i>Lepus europaeus</i>	Польша	0,04–0,28** n = 60	0,08–3,19** n = 60	1,50–49,12** n = 60	[26]
<i>Lepus europaeus</i>	Словакия	–	0,16 (0–1,00)* n = 74	1,57 (0–4,72)* n = 74	[27]
<i>Lepus europaeus</i>	Сербия	–	0,24 (0–1,41)** n = 196	–	[28]
<i>Lepus europaeus</i>	Сербия	–	0,05–0,20 (0,01–0,41)** n = 63	0,39–2,37 (0,06–5,36)** n = 63	[29]
<i>Lepus granatensis</i>	Испания	–	0,05–0,12 (0,01–0,26)** n = 65	0,35–0,76 (0,02–2,16)** n = 65	[20]
<i>Lepus timidus</i>	Финляндия	0,01–0,54** n = 12	0,08–0,52** n = 12	–	[15]
<i>Lepus timidus</i>	Норвегия	–	0,53–5,00* n = 31	1,90–99,00* n = 31	[16]
<i>Lepus timidus</i>	Россия	0,11 (0,08–0,20)* n = 6	0,65 (0–2,00)* n = 40	0,92 (0,12–11,1)* n = 37	[18]
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Словакия	–	0,14 (0,01–0,33)* n = 20	0,46 (0,23–0,84)* n = 20	[30]

*мг/кг с.в.; **мг/кг н.в. *mg/kg d.w.; **mg/kg w.w.

для печени – 0,3 мг/кг н.в., для почек – 1 мг/кг н.в.; показатели для ртути составляют 0,03, 0,1 и 0,2 мг/кг н.в. соответственно.

На фоновом участке Красноярского края превышений допустимого уровня содержания свинца

в органах и тканях зайцев-беляков не выявлено. В то же время на полигоне, где предполагается техногенное загрязнение, 37 % проб скелетной мускулатуры и 43 % проб печени содержали опасные концентрации этого металла (рис. 1). Превышение предельно

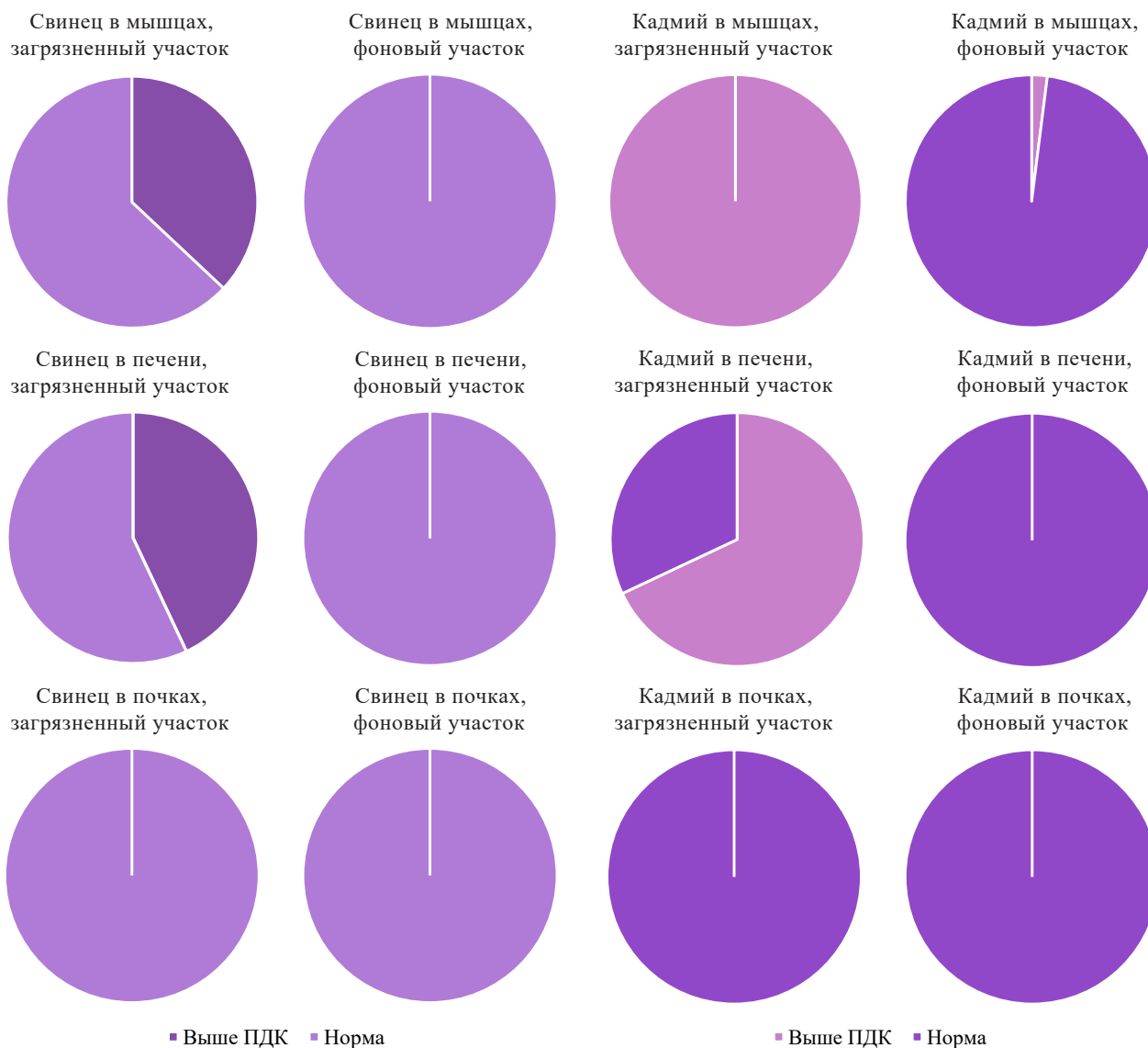


Рисунок 1. Доля проб органов и тканей зайцев-беляков фоновых и загрязненных территорий Красноярского края, содержащих повышенные уровни свинца

Figure 1. Proportion of lead-contaminated organs and tissues of mountain hares from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

Рисунок 2. Доля проб органов и тканей зайцев-беляков с территории Красноярского края, содержащих повышенные уровни кадмия

Figure 2. Proportion of cadmium-contaminated organs and tissues of mountain hares from reference sites and technogenic areas of the Krasnoyarsk Region

допустимого уровня составляло не более чем в два раза. Аномально высоких концентраций свинца, отмечаемых в организме диких животных во многих промышленно развитых странах, выявлено не было.

Все пробы скелетной мускулатуры зайцев загрязненного участка содержали опасные концентрации кадмия (рис. 2). Среднее содержание кадмия в мышцах превышало допустимый уровень в 17 раз, а в отдельных пробах – в 20–30 раз. На фоновом участке превышение предельно допустимого уровня отмечено только в одной пробе мышечной ткани. На загрязненном полигоне 68 % проб печени

содержали концентрации кадмия, превышающие предельно допустимый уровень, но аномально высоких концентраций здесь не выявлено.

Концентрация ртути ни в одном из замеров не превысила предельно допустимый уровень для мяса и субпродуктов.

Таким образом, значительная часть проб печени и все пробы мяса зайцев-беляков с участков, где предполагалось техногенное воздействие, оказались непригодны в пищу по причине загрязнения свинцом и кадмием. Осуществление охоты на этих участках может представлять токсическую опасность

для коренных и малочисленных народов севера, проживающих на этих территориях, и членов их семей.

Выводы

На севере Красноярского края выявлены достоверные различия концентраций биогенных и токсичных элементов в печени, почках и мышцах зайцев-беляков на фоновых территориях и участках, где предполагается промышленное загрязнение. В организме зайцев на загрязненных территориях выше содержание тяжелых металлов – свинца, кадмия и ртути, а на фоновых участках больше биогенных элементов – меди, цинка и железа. Подобные отличия могут быть связаны с антагонизмом биогенных элементов и токсичных металлов в организме.

Выявленные корреляции между отдельными металлами в органах и тканях могут указывать на общие источники поступления поллютантов в окружающую среду на исследуемой территории.

Уровни железа, цинка, меди, кадмия, ртути и свинца в организме зайцев-беляков на территории Красноярского края не представляют риска для здоровья этих животных.

Около 40 % проб печени и все пробы мышечной ткани зайцев, отловленных на загрязненном участке, оказались не пригодны в пищу по причине содержания опасных концентраций свинца и кадмия. Концентрация ртути ни в одном из замеров не превысила предельно допустимый уровень для мяса и субпродуктов. Осуществление охоты на участках техногенного загрязнения может представлять токсическую опасность для представителей коренных и малочисленных народов севера, проживающих на этих территориях, и членов их семей. В связи с этим представляется необходимым изучение гигиенических параметров мясо-дичной продукции дру-

гих значимых для аборигенов видов, в первую очередь дикого северного оленя, белой куропатки и водоплавающих птиц.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за достоверность информации и уникальность разработок.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Зайцы-беляки добывались охотниками из числа КМНС А. Н. Бету, Н. Н. Поротовым и З. И. Веселовской. В обработке биологического материала и лабораторных работах принимали участие сотрудники «Референтного центра» Управления ФС «Россельхознадзора» по Красноярскому краю. Авторы выражают всем участникам работ искреннюю благодарность.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to indigenous hunters A.N. Betu, N.N. Porotov, and Z.I. Veselovskaya, as well as the team of the Reference Center of the Krasnoyarsk Federal Rosselkhoz nadzor Service, who helped to process the biological material.

References/Список литературы

1. Bremmer I. Topics in environmental health. Research and Reviews: Journal of Veterinary Sciences. 1979;2(1):2016–2020.
2. Celechovská O, Malota L, Zima S. Entry of heavy metals into food chains: A 20-year comparison study in Northern Moravia (Czech Republic). Acta Veterinaria Brno. 2008;77:645–652. <https://doi.org/10.2754/avb200877040645>
3. Dvornikov MG, Domskiy IA, Shiryaev VV, Sergeev AA. Ecology, conservation, and use of game resources in the North-East of Europe. Kirov: VESI; 2021. 291 p. (In Russ.). [Экология, сохранение и использование ресурсов промысловых млекопитающих на Северо-Востоке Европы / М. Г. Дворников [и др.]. Киров: ВЕСИ, 2021. 291 с.].
4. Kaledin AP, Stepanova MV. Bioaccumulation of trace elements in vegetables grown in various anthropogenic conditions. Foods and Raw Materials. 2023;11(1):10–16. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-551>
5. Bat L, Arici E, Öztekin A, Şahin Fa. Farmed Turkish salmon: Toxic metals and health threat. Foods and Raw Materials. 2021;9(2):317–323. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-317-323>
6. Bires J, Maracek I, Bartko P, Biresova M, Weisssova T. Accumulation of trace elements in sheep and the effects upon qualitative and quantitative ovarian changes. Veterinary and Human Toxicology. 1995;37(4):349–356.
7. Rous P, Jelinek P. The effect of increased soil contamination with heavy metals on their content in some rabbits tissues. Czech Journal of Animal Science. 2000;45(7):319–324.

8. Toman R, Massány P. Cadmium in selected organs of fallow-deer (*Dama dama*), sheep (*Ovis aries*), Brown hare (*Lepus europaeus*) and Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) in Slovakia. Journal of Environmental Science and Health. Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology. 1996;31(5):1043–1051. <https://doi.org/10.1080/10934529609376406>
9. Saveljev A, Sergeyev A, Grebnev I, Chirkov S, Sotnikov V. The hunting resources of a green belt of a big city in the East of Europe: number, sanitary parameters, and possibilities of sustainable harvest. Beiträge zur Jagd – und Wildforschung. 2013;38:69–80.
10. Tataruch F. Roe deer antlers as biomonitors for lead contamination. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 1995;55:332–337. <https://doi.org/10.1007/BF00206669>
11. Rattner BA, Shore RF. Ecotoxicology of wild mammals (Ecological and environmental toxicology series). Wiley; 2001. 752 p.
12. Sergeyev A, Safonov V. Investigations on the ecotoxicology of game animals in Russia. Proceedings of XXVIIth Congress of the International Union of Game Biologists; 2005; Hannover. Hamburg: Verlag Hamburg; 2005. p. 470–471.
13. Baikov B, Krynski A, Stoyanov M, Ivanova M, Guguva M, Topalski E, et al. Heavy metals in hare organs as bioindicators for environment pollution. Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences. 1994;47:93–96.
14. Safonov VG, Yegoshina TL, Sergeyev AA, Saveljev AP, Skumatov DV, Orlov PP, et al. Methodological aspects and opportunities for practical use of bioindication of biological objects. Modern Problems of Bioindication and Biomonitoring: Proceedings of the XI International Symposium on Bioindicators; 2001; Syktyvkar. Syktyvkar: FRC Komi SC UB RAS; 2001. p. 367–375. (In Russ.). [Методологические аспекты и возможности практического использования биоиндикации биологических объектов / В. Г. Сафонов [и др.] // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга: Тезисы докладов XI Международного симпозиума по биоиндикаторам. Сыктывкар, 2001. С. 367–375.].
15. Pulliainen E, Lajunen LHJ, Itamies J, Anttila R. Lead and Cadmium in the liver and muscles of the mountain hare (*Lepus timidus*) in Northern Finland. Annales Zoologici Fennici. 1984;21(2):149–152.
16. Kålås JA, Ringsby TH, Lierhagen S. Metals and selenium in wild animals from Norwegian areas close to Russian nickel smelters. Environmental Monitoring and Assessment. 1995;36:251–270. <https://doi.org/10.1007/BF00547905>
17. Venäläinen E-R, Niemi A, Hirvi T. Heavy metals in tissues of hares in Finland, 1980–82 and 1992–93. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 1996;56:251–258. <https://doi.org/10.1007/s001289900038>
18. Zarubin BE, Ekonomov AV, Kolesnikov VV, Shevnina MS, Sergeev AA. The resources of mountain hare in the Kirov region and their use. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2021;60(4):87–102. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/1999-6837-2021-4-87-102>
19. Ivanter EhV, Korosov AV. Biology of chemical elements. Petrozavodsk: PetrGU; 2010. 104 p. (In Russ.). [Ивантер Э. В., Коросов А. В. Элементарная биометрия. Петрозаводск: ПетрГУ. 2010. 104 с.].
20. Fidalgo L, de La Cruz B, Goicoa A, Espino L. Accumulation of zinc, copper, cadmium and lead in liver and kidney of the iberian hare (*Lepus granatensis*) from Spain. Research and Reviews. Journal of Veterinary Sciences. 2016;2(1):15–20.
21. Potthast K. Residues in meat and meat products. Fleischwirtsch. 1993;73:432–434.
22. Ahmed MS, Azam MA, Ahmed KS, Ali H. Accumulation of some heavy metals in selected tissues of cape hare, *Lepus capensis* from Pakistan. Pakistan Journal of Wildlife Archives. 2016;7(2):11–20.
23. Pedersen S, Lierhagen S. Erratum to “Heavy metal accumulation in arctic hares (*Lepus arcticus*) in Nunavut, Canada”. Science of the Total Environment. 2006;370(2–3):588. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.08.025>
24. Demirbaş Y, Erduran N. Concentration of selected heavy metals in brown hare (*Lepus europaeus*) and wild boar (*Sus scrofa*) from Central Turkey. Balkan Journal of Wildlife Research. 2017;4(2):26–33. <https://doi.org/10.15679/bjwr.v4i2.54>
25. Wajdzik M. Contents of cadmium and lead in liver, kidneys and blood of the European hare (*Lepus europaeus* Pallas 1778) in Malopolska. Journal Acta Scientiarum Polonorum Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria. 2006;5(2): 135–146.
26. Halecki W, Gąsiorek M, Wajdzik M, Pająk M, Kulak D. Population parameters including breeding season of the european brown hare (*Lepus europaeus*) exposed to cadmium and lead pollution. Fresenius Environmental Bulletin. 2017;26(4):2998–3004.
27. Massányi P, Tataruch F, Slameka J, Toman R, Jurík R. Accumulation of lead, cadmium, and mercury in liver and kidney of the brown hare (*Lepus europaeus*) in relation to the season, age, and sex in the West Slovakian Lowland. Journal of Environmental Science and Health, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering. 2003;38(7):1299–1309. <https://doi.org/10.1081/ese-120021127>
28. Beuković D, Vukadinović M, Krstović S, Polovinski-Horvatović M, Jajić I, Popović Z, et al. The European hare (*Lepus europaeus*) as a biomonitor of lead (Pb) and cadmium (Cd) occurrence in the agro biotope of Vojvodina, Serbia. Animals. 2022;12(10). <https://doi.org/10.3390/ani12101249>
29. Petrović Z, Teodorović V, Djurić S, Milićević D, Vranić D, Lukić M. Cadmium and mercury accumulation in European hare (*Lepus europaeus*): Age-dependent relationships in renal and hepatic tissue. Environmental Science and Pollution Research. 2014;21(24):14058–14068. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3290-0>

30. Kramárová M, Massányi P, Slamecka J, Tataruch F, Jancová A, Gasparik J, *et al.* Distribution of cadmium and lead in liver and kidney of some wild animals in Slovakia. *Journal of Environmental Science and Health. Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering.* 2005;40(3):593–600. <https://doi.org/10.1081/ESE-200046605>
31. Oberlis D, Kharland B, Skal'nyy A. *Biology of macro- and microelements in humans and animals.* St. Petersburg: Nauka; 2008. 542 p. (In Russ.). [Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. СПб.: Наука, 2008. 542 с.].
32. Timofeeva SN, Kadikov IR, Khaybullin RR. The effect of zinc on weight gain, biochemical parameters and the content of metals in organs of rats exposed to cadmium chloride. *Vestnik of Mari State University. Chapter: Agriculture. Economics.* 2020;6(1):59–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-1-59-65>
33. Potapova SN. The effect of magnesium and zinc on rats treated with cadmium. *Veterinarian.* 2021;(1):44–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-1-44-50>
34. Ma W. Effect of soil pollution with metallic lead pellets on lead bioaccumulation and organ/body weight alterations in small mammals. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology.* 1989;18:617–622. <https://doi.org/10.1007/BF01055030>
35. Sergeev AA, Shiryaev VV, Dvornikov MG, Tetera VA. Lead poisoning of wild animals and prospects for the use of non-toxic hunting ammunition in Russia. *Far Eastern Agrarian Bulletin.* 2020;53(1):71–83. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-11010>
36. Kottferová J, Korénedová B. Distribution of Cd and Pb in the tissues and organs of free-living animals in the territory of Slovakia. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 1998;60:171–176. <https://doi.org/10.1007/s001289900607>
37. Ehykhler V. *Poisons in our diet.* Moscow: Mir; 1985. 214 p. (In Russ.). [Эйхлер В. Яды в нашей пище. М.: Мир. 1985, 214 с.].
38. Alonso ML, Benedito JL, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Shore RF. Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia. NW Spain. *Science of the Total Environment.* 2000;10:246(2–3):237–248. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00461-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00461-1)
39. Miranda M, Alonso ML, Castillo C, Hernández J, Benedito JL. Effect of sex on arsenic, cadmium, lead, copper and zinc accumulation in calves. *Veterinary and Human Toxicology.* 2000;42(5):265–268.
40. Shore RF, Douben PET. The ecotoxicological significance of cadmium intake and residues in terrestrial small mammals. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 1994;29(1):101–112. [https://doi.org/10.1016/0147-6513\(94\)90035-3](https://doi.org/10.1016/0147-6513(94)90035-3)