

Свинец в органах и тканях самок дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*, Linnaeus, 1758) на севере Красноярского края

© 2025. П. В. Кочкарёв¹, к. б. н., директор,

М. А. Перевозчикова², к. в. н., с. н. с.,

А. А. Сергеев², к. б. н., зам. директора по научной работе,

В. В. Ширяев², д. б. н., в. н. с.,

¹ФГБУ Государственный природный биосферный заповедник «Центральносибирский»,
663246, Россия, Красноярский край, Туруханский район, пос. Бор, ул. Грибная, д. 1а,

²Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства

и звероводства им. проф. Б.М. Житкова,

610000, Россия, г. Киров, ул. Преображенская, д. 79,

e-mail: shiryaev49@mail.ru

Свинец – опасный токсикант, повышенное содержание которого в окружающей среде может оказывать существенное влияние на здоровье, репродуктивный успех и выживаемость диких животных. В процессе исследований определены концентрации свинца в кормовых объектах, скелетных мышцах, печени, почках и молочных железах взрослых самок дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*, Linnaeus, 1758) на фоновых и загрязнённых территориях Красноярского края России в период выкармливания молодняка. Однофакторный дисперсионный анализ позволил выявить значимую зависимость ($p=0,00$) концентрации свинца в печени, почках и скелетных мышцах самок северного оленя от места добычи. Содержание свинца в организме северных оленей исследуемой территории сопоставимо с аналогичными показателями субарктических регионов Евразии и Северной Америки и достоверно ($p<0,05$) выше на загрязнённых полигонах во всех индикаторных органах и тканях, по сравнению с фоновыми участками. Пониженное содержание свинца в печени лактирующих самок по сравнению с нелактирующими на загрязнённых территориях может указывать на эндогенную передачу этого элемента потомству в период беременности и молочного вскармливания. Основным источником поступления свинца в организм оленей, вероятно, являются ивы и осоки, в частности *Salix lanata* и *Carex arctisibirica*, концентрирующие этот металл в надземной фитомассе и являющиеся важным кормом оленей в период активной вегетации. Мясо и внутренние органы половинки самок диких северных оленей, кормившихся в летне-осенний период на загрязнённых пастбищах, не пригодны в пищу человека. Представленные результаты вносят новый вклад в изучение воздействия загрязняющих веществ на наземную биоту субарктических регионов и подчёркивают потенциал совместного использования методов охотоведения и экотоксикологии для будущих усилий по биомониторингу, охране и управлению популяциями хозяйственно важных видов диких животных.

Ключевые слова: *Rangifer tarandus*, дикий северный олень, самки, свинец, лактация, молочная железа, печень, почки, мышцы, загрязнение.

Lead concentrations in organs and tissues of the wild reindeer (*Rangifer tarandus*, Linnaeus, 1758) in the north of Krasnoyarsk Region

© 2025. P. V. Kochkarev¹ ORCID: 0000-0001-5995-3963, M. A. Perevozchikova² ORCID: 0000-0003-3638-3712,

A. A. Sergeev² ORCID: 0000-0002-9461-5131, V. V. Shiryaev² ORCID: 0000-0002-4549-5727,

¹State Natural Biosphere Reserve “Central Siberian”,

1a, Gribnaya St., Bor village, Turukhanskiy district, Krasnoyarsk Region, Russia, 663246,

²Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute

of Game Management and Fur Farming,

79, Preobrazhenskaya St., Kirov, Russia, 610000,

e-mail: shiryaev49@mail.ru

Lead (Pb) is a hazardous toxicant. Elevated lead content in the environment can have a significantly affect health, reproductive success and survival of wild animals. The studies determined lead concentrations in forage plants, skeletal muscles, liver, kidneys and mammary glands of adult female wild reindeer (*Rangifer tarandus*, Linnaeus, 1758) in the background and contaminated areas of Russian Krasnoyarsk region during the feeding period of young animals. ANOVA-

tests revealed a significant relationship ($p=0.00$) of the territorial factor and lead concentration in the liver, kidneys and skeletal muscles of female reindeer. The lead content in the body of reindeer in the study area is comparable with similar data from the subarctic regions of Eurasia and North America and is significantly ($p<0.05$) higher in contaminated sites in all indicator organs and tissues, compared to background areas. The reduced liver lead content of lactating females compared to non-lactating females in contaminated areas may indicate endogenous Pb transfer to the offspring during pregnancy and lactation. The main source of lead intake by reindeer is probably willows and sedges, in particular *Salix lanata* and *Carex arctisibirica*, which concentrate this metal in the above-ground phytomass and are important forage for reindeer during the active vegetation period. The meat and internal organs of half of the wild reindeer females that fed at contaminated pastures in the summer–autumn period are not suitable for human consumption. The results make a new contribution to the study of pollutant effect on terrestrial biota in subarctic regions and highlight the potential for combined use of game management and ecotoxicology methods for future efforts in biomonitoring, conservation and management of economically important wild animal species.

Keywords: *Rangifer tarandus*, wild reindeer, females, lead, lactation, mammary gland, liver, kidneys, muscles, pollution.

Интенсивное промышленное развитие неизбежно приводит к росту химического загрязнения окружающей среды (ОС). Одним из наиболее опасных экотоксикантов, несомненно, является свинец (Pb). Этот широко распространённый загрязнитель ОС известен своими токсичными свойствами. Включаясь в пищевые цепи, свинец представляет серьёзную угрозу для здоровья человека и животных при его потреблении сверх допустимой нормы. Этот тяжёлый металл отличается от других экотоксикантов способностью к биоаккумуляции, нарушению обменных процессов, кроветворной функции, деятельности нервной системы, внутриутробного и ювенильного развития [1]. Несмотря на глобальное сокращение антропогенной эмиссии в результате ограничения использования свинца в промышленном производстве и запрета во многих странах этилированного бензина, свинцовый токсикоз продолжает представлять собой проблему для живых организмов. Дикие животные подвергаются воздействию свинца через корма и воду, главным образом в результате антропогенного загрязнения ОС. После попадания в организм ионы свинца аккумулируются в скелете и могут сохраняться здесь в связанной форме в течение длительного времени. В зависимости от дозы и характера воздействия Pb способен вызывать острую или хроническую интоксикацию. В случаях острого отравления проявляются характерные клинические признаки, потенциально приводящие к гибели животных. В случае с дикими животными мы гораздо чаще сталкиваемся с хроническими отравлениями, когда симптомы зачастую скрыты и проявляются лишь ухудшением общего состояния организма и снижением продуктивного потенциала. Повышенные уровни свинца в пищевых продуктах животного происхождения вызывают опасения в отношении общественного здравоохранения [2], а в условиях приполярных регионов особенно опасны для

коренного населения. Расположенные в северных широтах горнодобывающие и металлургические предприятия являются мощным источником свинца [3]. Накопление поллютантов в вечной мерзлоте и ледниках в совокупности с глобальным потеплением, которое происходит в Арктике в два-три раза быстрее, чем в других регионах, приводит к таянию её ледниковых покровов и вторичному загрязнению водных и прибрежных экосистем [4, 5].

Добыча и переработка полезных ископаемых активно развиваются в субарктических регионах, сопровождаясь увеличением атмосферного переноса загрязняющих веществ [6]. Это развитие может негативно повлиять как на популяции диких северных оленей (*Rangifer tarandus* Linnaeus, 1758) (ДСО), численность которых неуклонно сокращается, так и на их одомашненную форму, являющуюся основой натурального хозяйства коренных народов Севера. Индуцированные человеком изменения количественных и качественных параметров кормовых ресурсов (в том числе за счёт их химического загрязнения), происходящие на фоне глобального потепления, угрожают устойчивости популяций ДСО [7]. Известно, что ДСО избегают источников беспокойства, вблизи которых вынуждены увеличивать активность, что негативно сказывается на энергетическом балансе животных. При этом самки и телята являются наиболее уязвимой частью популяции, особенно в период отёла и молочного вскармливания [8]. Воздействие тяжёлых металлов на эту группу животных может также индуцировать гибель молодняка на ранних стадиях онтогенеза, поэтому сравнительная оценка и мониторинг такого воздействия на импактных и фоновых территориях особенно важны. Вместе с тем, оценке доли популяции, подвергающейся токсическому воздействию, и влияния этого воздействия на годовой энергетический баланс, выживаемость и продуктивность северных оленей и других охотничьих животных уделялось

мало внимания, что связано, главным образом, с дороговизной, сложностью и трудоёмкостью исследований.

Целью данного исследования было определение концентраций свинца в органах и тканях самок дикого северного оленя на севере Красноярского края в период выкармливания молодняка.

Объекты и методы исследований

На основе полученных параметров проведена оценка загрязнения ОС и потенциального воздействия свинца как на популяцию ДСО, так и на здоровье человека-потребителя. Отбор биоматериала от ДСО осуществляли на фоновых участках (район р. Тарей (Палатка) (73°32'15,90" с. ш., 91°04'95,71" в. д.), n=57) и предположительно загрязнённых отходами горнодобывающей и металлургической промышленности территориях Красноярского края РФ (район р. Пясины (Мыс Песцовый) (72°04'27,03" с. ш., 90°11'20,13" в. д.), n=58) в период с августа по сентябрь в 2005–2010 гг. Животные добывались по лицензиям на научный отстрел и охотниками из числа коренных малочисленных народов Севера (КМНС). В качестве материала для исследования использованы: печень, почки, мышцы крестца, молочная железа лактирующих (n=60) и нелактирующих (n=55) взрослых самок (4+) дикого северного оленя *R. tarandus*. Взрослые самки обеспечивают воспроизводственный потенциал популяции, поскольку доля их в общей численности поголовья оленей преобладает. Кроме того, молочное вскармливание позволяет нивелировать неблагоприятные условия среды в сезон появления молодняка. Возраст животных определяли по срезам резцов по общепринятой методике [9]. Отбор материала от охотников проводили инспекторы Федеральной службы Россельхознадзора по Красноярскому краю совместно с ветеринарными инспекторами Управления ветеринарии. Все образцы бирковали и упаковывали в герметичные пластиковые пакеты. Для определения возраста брали нижнюю челюсть добытых животных, которую также упаковывали в пластиковый пакет. Пакеты с образцами хранили в ледниках при температуре -18 °С. Вертолетом или гидросамолетом образцы перевозили в термосах-контейнерах до г. Дудинка, далее в термопакетах до г. Красноярска.

Для оценки состава кормовых объектов ДСО было обследовано содержимое желудков добытых животных (n=140). У свежедобытых ДСО изучали содержимое рубца. Первонач-

ально определяли глазомерно пропорции содержания тех или иных кормовых растений (осоки, кустарнички, ягоды, лишайники, ветошь травянистая и т.д.). Затем на лабораторных весах определяли процентное соотношение различных групп кормов (доля от общей массы содержимого в процентах). В спорных случаях видовую принадлежность растений определяли методом кутикулярного анализа.

С целью установления уровня накопления свинца в основных растительных кормах на пастбищах Таймыра нами в 2005 и в 2007 гг. выделены пробные участки площадью по 0,5 га (95 шт.) по трансектам на различном удалении и направлении от горнометаллургических комбинатов. На каждом участке заложено по 10 пробных площадок (S=0,25 м²) с учётом микрорельефа. Площадки пропорционально размещались на равнинной тундре и в пойме ручьёв и рек. Для анализа на содержание свинца были отобраны пробы потребляемых частей основных кормовых растений: *Salix lanata*, *S. polaris*, *Carex arctisibirica*, *C. concolor*, *C. arctisibirica*, *Eriophorum polystachion*, *E. scheuchzeri*, *E. russeolum*, *Pedicularis dasyantha*.

Пробы сортировали по видам растений, готовили усреднённые пробы для токсикологического анализа (n=148). Таким образом, мы получали с каждой пробной площадки усреднённые пробы по каждому растительному кормовому объекту. Из-за недостатка площадок мы увеличили их количество в сезоны 2008–2019 гг. до 295 шт. Кроме того, учитывая разнообразие потребления растительными животными частей кустарников и кустарничков, подобный сбор растительных материалов проведён с мая по ноябрь. Пробы собирали в бумажные (крафт) пакеты. Для определения влажности проб растения упаковывали в герметичные пластиковые пакеты и хранили в холодильнике при температуре -3°–0 °С.

Следует отметить, что экспериментальные данные остаются актуальными, поскольку, в соответствии с Государственным докладом «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2024 году» Министерства экологии и рационального природопользования Красноярского края, за этот период уровень техногенной нагрузки сохранялся. Собранные сведения пригодны для сравнительных оценок при проведении экологического мониторинга на территориях исследований в ближайшей и отдалённой перспективе.

Концентрацию свинца в биопробах определяли на атомно-абсорбционных спектрофотометрах Sollars (TJA Solution, США) и Varian

Таблица 1 / Table 1

Концентрации свинца (мг/кг н.в.) в органах и тканях самок дикого северного оленя на севере Красноярского края / Lead concentrations (mg/kg w.w.) in organs and tissues of female wild reindeer in the north of the Krasnoyarsk Region

Территории Area	Показатель Indicator	Печень Liver	Почки Kidneys	Молочная железа Mammary Glands	Мышцы Muscles
Лактирующие самки / Lactating females					
Фоновые территории в районе р. Тарей (Палатка) (n=29) Background areas in the Tareya (Palatka) River area (n=29)	min-max	0,01–0,07	0,01–0,08	0,01–0,05	0,01–0,03
	M	0,04	0,04	0,02	0,01
	Me	0,03 ^{A, E, G}	0,03 ^{A, G, H}	0,01 ^{A, E, G}	0,01 ^{A, B, F, H}
	SD	0,01	0,02	0,01	0,01
	25–75%	0,03–0,05	0,02–0,06	0,01–0,03	0,01–0,02
Загрязнённые территории пастбища в районе р. Пясины (Мыс Песцовый) (n=31) Contaminated pasture areas in the Pyasina River area (Мыс Pestsovyu) (n=31)	min-max	0,11–0,90	0,18–0,75	0,14–0,80	0,14–0,68
	M	0,56	0,38	0,41	0,39
	Me	0,48 ^{A, D, E, F}	0,45 ^{A, D}	0,50 ^{A, E}	0,45 ^{A, C, F}
	SD	0,23	0,18	0,24	0,22
	25–75%	0,36–0,77	0,21–0,51	0,17–0,60	0,16–0,60
Нелактирующие самки / Non-lactating females					
Фоновые территории в районе р. Тарей (Палатка) (n=28) Background areas in the Tareya (Palatka) River area (n=28)	min-max	0,01–0,06	0,01–0,36		0,02–0,07
	M	0,04	0,14		0,04
	Me	0,04 ^A	0,04 ^A	–	0,03 ^{A, B}
	SD	0,01	0,14		0,01
	25–75%	0,03–0,05	0,03–0,28		0,03–0,05
Загрязнённые территории пастбища в районе р. Пясины (Мыс Песцовый) (n=27) Contaminated pasture areas in the Pyasina River area (Мыс Pestsovyu) (n=27)	min-max	0,21–0,93	0,28–0,58	–	0,22–0,86
	M	0,62	0,41		0,56
	Me	0,58 ^{A, D}	0,41 ^{A, D, H}		0,51 ^{A, C, H}
	SD	0,22	0,07		0,22
	25–75%	0,44–0,84	0,36–0,45		0,37–0,78

Примечание: различия между группами статистически значимы при $p < 0,05$: A – между фоновыми и загрязнёнными территориями; B – между фоновыми территориями; C – между загрязнёнными территориями; D – между печенью и почками; E – между печенью и молочной железой; F – между печенью и мышцами; G – между почками и молочной железой; H – между почками и мышцами; прочерк означает, что молочная железа не отбиралась.

Note: the differences are statistically significant ($p < 0,05$): A – between background and contaminated areas; B – between background areas; C – between contaminated areas; D – between the liver and kidneys; E – between the liver and mammary gland; F – between the liver and muscles; G – between the kidneys and mammary gland; H – between the kidneys and muscles; a dash means that the mammary gland was not collected.

(Agilent Technologies, США) в испытательной лаборатории Красноярского референтного центра УФС «Россельхознадзора» по Красноярскому краю.

Оценку опасности загрязнения свинцом продуктов оленеводства проводили на основе «Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требований к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) от 28 мая 2010 г. № 299», в соответствии с которыми предельно допустимый уровень (ПДУ) свинца в мясо-дичной и прочей продукции промысловых и диких животных, используемой для потребления человеком, составляет (в пересчёте на натуральную влажность (н.в.)): для мяса 0,5 мг/кг н.в., для печени – 0,6 мг/кг н.в., для почек – 1 мг/кг н.в. Посколь-

ку вымя относится к I категории субпродуктов, предельно допустимый уровень свинца в молочных железах принят 0,5 мг/кг н.в.

Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения MS Excel (Office 2019) и Statgraphics (19-X64) общепринятыми методами [10]. Для описания выборок определяли минимальные и максимальные концентрации, среднее значение (M), стандартное отклонение (SD), медиану (Me), 25% и 75% процентиля. Для сравнения достоверности различий показателей применяли критерий (U) Манн-Уитни и (H) критерий Краскела-Уоллиса. Взаимосвязь между параметрами оценивали посредством метода ранговой корреляции Спирмена. Для оценки влияния территориального фактора на

концентрацию свинца в органах и тканях ДСО применяли однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Влияние фактора считалось достоверно значимым при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Показатели концентрации свинца в тканях и внутренних органах самок дикого северного оленя на фоновых и загрязнённых территориях Красноярского края представлены в таблице 1.

У лактирующих самок ДСО наибольшие медианные значения концентрации свинца на загрязнённых территориях установлены в молочной железе (0,50 мг/кг н.в.), затем в печени (0,48 мг/кг н.в.), почках и мышцах крестца (0,45 мг/кг н.в.). У нелактирующих самок самая

высокая концентрация свинца отмечена в тканях печени (0,58 мг/кг н.в.), промежуточные уровни в мышцах крестца (0,51 мг/кг н.в.) и самые низкие уровни в образцах почек (0,41 мг/кг н.в.). Пониженное содержание свинца в печени лактирующих самок на загрязнённых территориях может указывать на эндогенную передачу этого элемента потомству в период беременности и молочного вскармливания.

Все исследованные органы и ткани, отобранные на загрязнённых территориях, содержали достоверно ($p < 0,05$) более высокую концентрацию свинца, чем образцы с фоновых территорий.

Расчёт коэффициентов ранговой корреляции Спирмена продемонстрировал существенную статистическую взаимосвязь содержания

Таблица 2 / Table 2

Корреляционные связи концентраций свинца в органах и тканях лактирующих (Л) и нелактирующих (Н) самок дикого северного оленя на фоновых (Ф) и загрязнённых (З) территориях Красноярского края / Correlations of Pb concentrations in organs and tissues of lactating (L) and non-lactating (N) female wild reindeer in background (F) and contaminated (C) areas of the Krasnoyarsk Region

Пары признаков / Pairs of features	r	p
Ф Л печень – З Л печень / F L liver – C L liver	0,54	<0,01
Ф Л печень – Ф Н печень / F L liver – F N liver	-0,42	0,02
Ф Л печень – Ф Л почки / F L liver – F L kidneys	0,55	<0,01
Ф Л печень – Ф Л молочная железа / F L liver – F L mammary gland	0,73	<0,01
Ф Л печень – Ф Л мышцы / F L liver – F L muscles	0,63	<0,01
З Л печень – З Н печень / C L liver – C N liver	0,39	0,04
З Л печень – З Л почки / C L liver – C L kidneys	0,67	<0,01
З Л печень – З Л молочная железа / C L liver – C L mammary gland	0,72	<0,01
З Л печень – Ф Л мышцы / C L liver – F L muscles	0,52	<0,01
З Л печень – З Л мышцы / C L liver – C L muscles	0,71	<0,01
Ф Н печень – З Н печень / F N liver – C N liver	-0,67	<0,01
Ф Н печень – Ф Н почки / F N liver – F N kidneys	-0,64	<0,01
Ф Н печень – Ф Н мышцы / F N liver – F N muscles	-0,44	0,02
З Н печень – З Н мышцы / C N liver – C N muscles	0,93	<0,01
Ф Л почки – З Л почки / F L kidneys – C L kidneys	0,61	<0,01
Ф Л почки – Ф Н почки / F L kidneys – F N kidneys	0,73	<0,01
Ф Л почки – Ф Л молочная железа / F L kidneys – F L mammary gland	0,79	<0,01
Ф Л почки – Ф Л мышцы / F L kidneys – F L muscles	0,74	<0,01
З Л почки – З Н почки / Z L kidneys – C N kidneys	-0,70	<0,01
З Л почки – З Л молочная железа / C L kidneys – C L mammary gland	0,69	<0,01
З Л почки – З Л мышцы / C L kidneys – C L muscles	0,62	<0,01
Ф Н почки – Ф Н мышцы / F N kidneys – F N muscles	0,73	<0,01
З Н почки – З Л мышцы / C N kidneys – C L muscles	-0,47	0,02
Ф Л молочная железа – З Л молочная железа / F L mammary gland – C L mammary gland	0,69	<0,01
Ф Л молочная железа – Ф Л мышцы / F L mammary gland – F L muscles	0,73	<0,01
З Л молочная железа – З Л мышцы / C L mammary gland iron – C L muscles	0,79	<0,01
Ф Л мышцы – З Л мышцы / F L muscles – C L muscles	0,76	<0,01
Ф Л мышцы – Ф Н мышцы / F L muscles – F N muscles	0,69	<0,01
З Л мышцы – З Н мышцы / C L muscles – C N muscles	0,41	0,04
Ф Н мышцы – З Н мышцы / F N muscles – C N muscles	0,73	<0,01

Таблица 3 / Table 3

Показатели содержания свинца в органах и тканях северных оленей различных субарктических регионов / Lead concentration in organs and tissues of reindeer in different subarctic regions

Регион Region	Ед. измерения Units	Печень Liver	Почки Kidneys	Мышцы Muscles	Шерсть Hair	Лёгкие Lungs	Жир Fat	Источник Source
Таймыр, РФ Taimyr, Russia	мг/кг mg/kg	0,22±0,13– 1,00±0,17	0,08±0,01– 0,50±0,33	0,01±0,00– 0,26±0,33	0,08±0,05– 2,49±0,70	–	–	[11]
Долгано-Ненецкий район, Таймыр, РФ Dolgano-Nenetsky district, Taimyr, Russia	мг/кг mg/kg	0,70	0,40	–	–	0,27	–	[12]
Республика Саха (Якутия), РФ Republic of Sakha (Yakutia), Russia	мг/кг mg/kg	–	–	<0,05–0,15	–	–	–	[13]
Нижнеколымский район, Якутия, РФ Nizhnekolymsky district, Yakutia, Russia	мкг/100 г mcg/100 g	–	–	19,33	–	–	–	[14]
ЯНАО, РФ / Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Russia	мг/кг mg/kg	0,29±0,01	1,2±0,10	–	–	1,30± 0,10	–	[15]
Анактувук-Пасс, Аляска / Anaktuvuk Pass, Alaska	ppm	0,19±0,06	0,06±0,03	0,03±0,03	–	–	–	[16]
Чариот, Аляска Chariot, Alaska		1,42±0,60	0,77±0,49	0,78±0,54	–	–	–	
Ред-Дог-Майн, Аляска / Red Dog Mine, Alaska		1,65±0,60	10,00± 33,40	0,05±0,03	–	–	–	
Север Квебека, Канада / Northern Quebec, Canada	мкг/г mcg/g	0,95	0,26	0,05	–	–	–	[17]
Гренландия Greenland	мг/г с.в. mg/g d.w.	0,097–3,31	–	–	–	–	–	[18]
Гренландия Greenland	мкг/г с.в. mcg/g d.w.	самцы males 0,75±0,30 самки females 0,91±0,20	–	самцы males 0,62±0,10 самки females 4,04±8,1	–	–	самцы males 0,9±0,5 самки females 121,56±193	[19]
Финмарк, Нурланд Северная Норвегия Finnmark, Nordland Northern Norway	нг/г н.в. ng/g w.w.	272,00	–	7,90	–	–	28,60	[20]
Шпицберген, Норвегия Svalbard Norway	мкг/г н.в. mcg/g w.w.	1,3±0,1	0,80±2,0	–	–	–	–	[21]
Шпицберген, Норвегия Svalbard Norway	мкг/г с.в. mcg/g d.w.	0,28±0,18	0,17±0,13	0,029± 0,0249	0,084± 0,0935	–	–	[22]

Примечание: с.в. – сухое вещество; прочерк означает отсутствие данных.
Note: d.w. – dry matter; dash indicates no data.

свинца в органах и тканях северных оленей, определяемую, вероятно, общими источниками поступления загрязнителя и его перераспределением в организме (табл. 2).

Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA-test) позволил определить значимое ($p < 0,01$) влияние фактора территории на концентрацию свинца в печени у лактирующих (% влияния 72,56) и нелактирующих самок (% влияния 78,66); в почках у лактирующих (% влияния 67,06) и нелактирующих самок (% влияния 59,24); в молочных железах у лактирующих самок (% влияния 58,21); в мышцах крестца у лактирующих (% влияния 58,85) и нелактирующих самок (% влияния 74,46).

Содержание свинца в органах и тканях ДСО на севере Красноярского края сопоставимо с аналогичными показателями субарктических регионов мира и существенно ниже, чем в Норвегии (табл. 3).

Сведения о микроэлементном составе организма северного оленя весьма ограничены. Максимальные концентрации свинца отмечены в печени ДСО в Норвегии [20], трёх местностях Аляски [16], на зимних пастбищах Западного ($1,00 \pm 0,17$ мг/кг) и Восточного Таймыра ($0,80 \pm 0,11$ мг/кг) [11]. Концентрации свинца в печени оленей Шпицбергена варьировали в пределах $0,08$ – $0,84$ мкг/г с.в. и отражали различия в составе кормов в различных частях архипелага [21]. Снижение концентрации свинца в органах оленей Шпицбергена за последние десятилетия свидетельствуют о постепенном уменьшении воздействия Pb на ОС [22].

В то же время у диких и домашних северных оленей в Ред-Дог-Майн (Аляска) и на территории ЯНАО РФ наибольшее содержание свинца зафиксировано в почках и лёгких ($1,30 \pm 0,10$ мг/кг) [15, 16]. На территории Якутии наибольшее количество микроэлементов содержалось в мясе важенок, а в связи с загрязнением ОС отмечается опасное содержание и других тяжёлых металлов [14]. Очень высокие концентрации свинца фиксировались в пробах жира ($121,56 \pm 193$ мкг/г с.в. у самок) [19], а также в пантах ($5,01$ мг/кг) [12], однако эти ткани не использовались в большинстве других исследований. Содержание свинца в органах и тканях ДСО на севере Красноярского края находилось в пределах средних значений для других субарктических регионов и было существенно ниже, чем на загрязнённых территориях Норвегии и Канады.

Особый интерес представляют данные по содержанию свинца в молочных желе-

зах. Даже при низких уровнях воздействия свинец вызывает широкий спектр неблагоприятных репродуктивных последствий, включая нарушение половых функций самцов, задержки внутриутробного развития, резорбцию и гибель эмбрионов и др. [22–26]. Загрязнение организма диких животных свинцом и нарушения их репродуктивных показателей отмечены и на севере Красноярского края [27–32].

Несмотря на проведение ряда исследований, о вредном воздействии свинца на молочную железу и механизмах этого воздействия сообщалось мало. Показано, что избыточное поступление свинца способствует апоптозу и воспалению в ткани молочной железы мышей и эпителиальных клетках молочной железы коров [33]. Хроническое свинцовое отравление может быть причиной критического снижения содержания белка в грудном молоке, существенно ухудшая его пищевую ценность [34].

Изменение микроэлементного состава молока животных и человека в результате загрязнения ОС рассматривается как очень важная проблема, ставшая предметом совместного исследовательского проекта Международного агентства по атомной энергии и Всемирной организации здравоохранения ещё в начале 80-х годов XX века [35]. Показано, что ряд токсичных веществ могут передаваться от матери к потомству трансплацентарно и через грудное молоко, а высокие уровни некоторых токсикантов, в частности свинца, в молоке и молочных железах отражают загрязнение ОС [36, 37]. На ранних стадиях онтогенеза животные особенно уязвимы к воздействию свинца, поскольку их механизмы детоксикации ещё не полностью развиты, а органы находятся в стадии формирования [1]. Воздействие свинца на организм матери определяет задержку нервно-психического развития у потомства [38, 39]. Присутствие свинца в молоке вызывает изменения в структуре иммунной системы, а также её функции, нарушая гомеостаз, вызывают стимуляцию или подавление иммуномодулирующих компонентов и могут косвенно влиять на нервную, репродуктивную, дыхательную и эндокринную системы [40, 41].

Организм воспринимает свинец как заменитель кальция и переносит его в мягкие ткани и кости. Не случайно более высокая концентрация свинца свойственна молодым животным по сравнению со старшими группами во всех органах и тканях. Кроме того, уровень абсорбции свинца из кишечника

также выше у молодых животных, которым требуется больше минералов для быстрого роста, особенно кальция [42].

У млекопитающих более 90% всего свинца в организме накапливается в костях и зубах, сохраняясь там до 10–30 лет [43]. В периоды пищевого стресса, такие как беременность и лактация, свинец, аккумулированный в костях и мягких тканях, может снова поступать в кровь [44]. Повышенная потребность в кальции во время развития скелета плода, а также в период лактации приводит к усилению обмена кальция во время беременности и лактации у матери. В результате свинец высвобождается из костей в кровь и молоко, оказывая негативное воздействие на потомство [45, 46]. Транспорт свинца в процессе лактации на фоне сатурнизма представляет

опасность и для матерей, вызывая патологии беременности, дисфункцию скелета и пр. [47]. Таким образом, прижизненные запасы свинца в материнском скелете являются эндогенным источником этого токсиканта, подвергая риску развивающийся плод через пуповинную кровь и, после рождения, через грудное молоко.

Высокое содержание свинца в молоке зафиксировано у домашних и диких животных, в частности, в молоке лосих на Аляске содержалось в среднем до 390 мкг/кг [35]. Данные о содержании свинца в молоке и молочных железах северных оленей в доступной нам научной литературе отсутствуют.

В крови 20 лактирующих самок диких бурых медведей в Скандинавии концентрация свинца значительно превышала установленные пороговые концентрации для людей

Таблица 4 / Table 4

Соотношение (%) основных кормовых растений в желудках диких северных оленей на различных территориях / The ratio (%) of main forage plants in the stomachs of wild reindeer

Кормовые растения Forage plants	Доля (%) от общего содержимого в желудке Proportion (%) of total stomach contents					
	Территория, периоды пробоотбора (месяц, год), количество проб (n) / Territory, sampling period (month, year), number of samples (n)					
	р. Агапа thr Agara River 07–08.2010 n=23	р. Пура, нижнее течение of the Pura River 08–09.2006 n=31	р. Пясина, среднее течение middle stream of the Pyasina River 08–09.2007 n=12	р. Тарей, устье the Tareya River mouth 08–09.2005 n=21	р. Хета (Волочанка) the Kheta (Volochanka) River 08–10.2009 n=16	Хантайское озеро Khantaysko- ye lake 09–11. 2010 n=37
<i>Poa alpigena</i> , <i>P. arctica</i>	33–42	43–45	38	41	25	18
<i>Carex aquatilis</i> , <i>C. arctisibirica</i>	28–31	28–33	36	38	27	22
<i>Dryas</i>	5–7	1–3	2	2	–	–
Сyperaceae	9–12	2–5	4	3	12	10
<i>Betula nana</i> , <i>Salix polaris</i>	6–9	4–7	2	4	14	18
<i>Alnaster Fruticosa</i>	1–3	–	1–2	1–3	–	–
<i>Cetraria Islandica</i>	–	–	1	–	4–6	3–8
<i>Equisetum</i>	1–4	1	–	1	2–5	–
Разнотравье, ветошь Herbs, rags	17–19	18–22	16–18	10–18	11–21	12–21
Ветки, почки кустарников Shrubs wigs & buds	–	3–5	–	–	5–8	17–21

Примечание: здесь и в таблице 6 прочерк означает отсутствие данных
Note: here and Table 6 a dash indicates no data.

Таблица 5 / Table 5

Содержание свинца в растениях, являющихся основными кормовыми объектами дикого северного оленя на летних пастбищах (р. Пура, р. Агапа) / Lead content in the main forage plants of wild reindeer on summer pastures (the Pura River, the Agapa River)

Вид, группа видов Species, group of species	n	Содержание свинца, мг/кг с.в. Lead concentration, mg/kg d.w.
<i>Salix lanata</i>	18	9,2±1,2
<i>Carex arctisibirica</i> , <i>C. concolor</i> , <i>Eriophorum polystachion</i> , <i>E. scheuchzeri</i> , <i>E. russeolum</i> , <i>Pedicularis dasyantha</i>	45	12,0±1,6
<i>Salix polaris</i>	34	7,6±0,6
<i>Carex arctisibirica</i>	51	10,4±1,2

и была выше, чем у молодых, не кормящих самок. Концентрация свинца в крови детёнышей, находящихся на попечении матери, коррелировала с концентрацией свинца в крови их матери, которая, в свою очередь, коррелировала с концентрацией свинца в молоке [48]. В Хорватии у сеголетков бурого медведя (возраст < 1 года) наблюдалась более высокая концентрация свинца в мягких тканях по сравнению с особями в возрасте 1+, что, по мнению авторов, указывает на перенос свинца во время беременности и лактации [49, 50].

У самок ДСО, добытых в конце зимы в Гренландии, содержание свинца в печени было значительно меньше, если они были беременны, что указывает на плацентарную передачу этого элемента [51]. По этим причинам у животных, обитающих на загрязнённых свинцом территориях, может проявляться повышенное токсическое воздействие на молодняк, негативно влияющее на их рост и развитие.

Пол, возраст и время года могут влиять на концентрацию тяжёлых металлов в организме оленей из-за различий сезонного рациона, связанных с доступностью кормов, особенностями пищевого поведения, определяемых более крупными размерами тела самцов и более высокими энергетическими потребностями самок во время беременности и лактации [19]. Важнейшим источником поступления свинца в организм оленей являются кормовые растения. Типичный зимний рацион ДСО в большинстве регионов состоит в основном из лишайников, которые, как правило, содержат больше загрязнителей, чем компоненты летнего рациона из травянистых растений и кустарников [52–54]. Питание оленей на севере Красноярского края также имеет выраженный сезонный характер с преобладанием высших растений в летне-осенний период. Лишайники появляются в рационе диких оленей Таймыра только в снежный период года, составляя от 15 до 20%. В содержимом рубцов лишайники,

вегетативные части и ветوشь растений представлены в пропорции, близкой к таковой на пастбище (табл. 4).

Содержание свинца в отдельных видах и группах видов растений, являющихся основными кормовыми объектами летних пастбищ (р. Пура, р. Агапа) дикого северного оленя, представлены в таблице 5.

Из-за низкой биодоступности свинец не биомагнифицируется с повышением трофических уровней, а самые высокие его концентрации обычно обнаруживаются в почвах и наземной растительности по сравнению с консументами [55]. Воздействие Pb зависит от геохимических особенностей территории и близости к точечным источникам Pb-эмиссии, что приводит к значительным межвидовым и внутривидовым колебаниям концентраций Pb [22, 42, 56]. На севере Красноярского края основным источником поступления свинца в организм оленей, вероятно, являются осоки и ивы, концентрирующие этот металл в наземной фитомассе, и являющиеся важным кормом оленей в весенне-летний период.

Мясо и субпродукты ДСО служат основой питания аборигенного населения северных регионов. Увеличение коммерциализации мяса ДСО, его широкая реализация на продовольственном рынке обостряют проблему загрязнения поллютантами продукции оленеводства, представляя несомненный научный и практический интерес.

Содержание свинца в мясе и внутренних органах ДСО, добытых на фоновых участках, не превышало пределов гигиенической безопасности, однако в пробах примерно половины животных загрязнённых территорий содержание свинца было выше предельно допустимого уровня (ПДУ) (табл.6).

В районах развитого оленеводства нашей страны потребность КМНС в мясе на 75–90% и более удовлетворяется за счёт оленины [13, 57]. Спортивные охотники также потребляют мясо ДСО на регулярной основе. Накопление

токсичных веществ в тканях и органах животных делает их мясо непригодным для употребления в пищу [16]. Таким образом, жители северных территорий Красноярского края, особенно аборигенные оленеводы, охотники и члены их семей подвергаются существенному риску воздействия свинца и, вероятно, других тяжёлых металлов. Учитывая миграционный образ жизни ДСО и сезонные особенности их питания, рекомендуем резидентам заполярья с осторожностью употреблять в пищу оленину и субпродукты, особенно если животные длительное время обитали на загрязнённых пастбищах.

Заключение

Результаты исследования наглядно демонстрируют, что дикие северные олени, обитающие на севере Красноярского края, подвергаются воздействию свинца, а их органы и ткани могут быть использованы для мониторинга загрязнения этим токсичным элементом наземных экосистем. Содержание свинца в организме ДСО исследуемой территории сопоставимо с аналогичными показателями субарктических регионов Евразии и Северной Америки и значимо ($p < 0,05$) выше на загрязнённых полигонах во всех индикаторных органах и тканях, по сравнению с фоновыми участками. Однофакторный дисперсионный анализ позволил выявить достоверную

связь ($p = 0,00$) влияния фактора территории на концентрацию свинца в печени, почках и скелетных мышцах самок северного оленя. У не участвующих в размножении самок концентрация свинца в тканях печени выше, чем в мышцах и почках. У лактирующих самок на загрязнённых территориях медианные значения концентрации свинца увеличиваются в ряду: скелетная мускулатура – печень – почки – молочная железа. Пониженное содержание свинца в печени лактирующих самок на загрязнённых территориях может указывать на эндогенную передачу этого элемента потомству в период беременности и молочного вскармливания. Токсическое воздействие свинца и его передача от самок к потомству в период молочного вскармливания представляют серьёзную опасность для популяции ДСО на севере Красноярского края. Пространственная кластеризация может по-разному влиять на характеристики жизненного цикла ДСО и связана со степенью загрязнения летних пастбищ свинцом и другими экотоксикантами. Основным источником поступления свинца в организм оленей, вероятно, являются ивы и осоки, в частности *S. lanata* и *C. arctisibirica*, концентрирующие этот металл в надземной фитомассе и являющиеся важным кормом оленей в период активной вегетации. Мясо и внутренние органы половины самок диких северных оленей, кормившихся в летне-осенний период на загрязнённых пастбищах,

Таблица 6 / Table 6

Количество (n) и доля (%) проб с содержанием свинца выше предельно допустимого уровня (ПДУ) у самок диких северных оленей на загрязнённой территории Красноярского края / The number (n) and proportion (%) of samples with lead content above the maximum permissible level (MPL) in female wild reindeer in the contaminated area of Krasnoyarsk Region

Органы, ткани Organs, tissues	ПДУ, мг/кг н.в. MPL mg/kg w.w.	Лактирующие самки Lactating females		Нелактирующие самки Non-lactating females		Все самки All females	
		> ПДУ > MPL	<ПДУ <MPL	> ПДУ > MPL	<ПДУ <MPL	> ПДУ > MPL	<ПДУ <MPL
Печень Liver	0,6	n=14 45,00%	n=17 55,00%	n=12 44,44%	n=15 55,54%	n=26 44,83%	n=32 55,17%
Почки Kidneys	1,0	n=0 0,00%	n=31 100,00%	n=0 0,00%	n=27 100,00%	n=0 0,00%	n=58 100,00%
Молочная железа Mammary gland	0,6	n=16 51,61%	n=15 48,39%	–	–	n=16 51,61%	n=15 48,39%
Мышцы Muscles	0,5	n=15 48,39%	n=16 51,61%	n=14 53,85%	n=12 46,15%	n=29 50,88%	n=28 49,12%

не пригодны в пищу человека. Оценка последствий химического загрязнения для изучаемой группировки северных оленей потребует изучения кумулятивных эффектов в годовом, популяционном и региональном масштабах и представляется предметом дальнейших исследований.

Работа выполнена на базе ФГБУГНБЗ «Центральносибирский» и ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б.М. Житкова» в рамках Государственного задания по Программе ФНИ государственных академий наук на 2021–2024 гг. (код темы FNWS-2024-0001).

References

1. Sani A.H., Amanabo M. Lead: A concise review of its toxicity, mechanism and health effect // GSC Biol. Pharm. Sci. 2021. V. 15. No. 1. P. 55–62. doi: 10.30574/gscbps.2021.15.1.0096
2. Afzal A., Mahreen N. Emerging insights into the impacts of heavy metals exposure on health, reproductive and productive performance of livestock // Front. Pharmacol. 2024. V. 15. Article No. 1375137. doi: 10.3389/fphar.2024.1375137
3. Jasiak I., Wiklund J.A., Leclerc E., Telford J.V., Couture R.M., Venkiteswaran J.J., Hall R.I., Wolfe B.B. Evaluating spatiotemporal patterns of arsenic, antimony, and lead deposition from legacy gold mine emissions using lake sediment records // Appl. Geochem. 2021. V. 134. Article No. 105053. doi: 10.1016/j.apgeochem.2021.105053
4. McGovern M., Borgå K., Heimstad E., Ruus A., Christensen G., Evenset A. Small Arctic rivers transport legacy contaminants from thawing catchments to coastal areas in Kongsfjorden, Svalbard // Environ. Pollut. 2022. V. 304. Article No. 119191. doi: 10.1016/j.envpol.2022.119191
5. Hermanson M.H., Isaksson E., Hann R., Ruggirello R.M., Teixeira C., Muir D.C.G. Historic atmospheric organochlorine pesticide and halogenated industrial compound inputs to glacier ice cores in Antarctica and the Arctic // ACS Earth Space Chem. 2020. No. 4. P. 2096–2104. doi: 10.1021/acsearthspacechem.1c00211
6. Hansen M.D., Nøst T.H., Heimstad E.S., Evenset A., Dudarev A.A., Rautio A., Myllynen P., Dushkina E.V., Jagodic M., Christensen G.N., Anda E.E., Brustad M., Sandanger T.M. The impact of a nickel-copper smelter on concentrations of toxic elements in local wild food from the Norwegian, Finnish, and Russian border regions // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2017. V. 14. No. 7. Article No. 694. doi: 10.3390/ijerph14070694
7. Clark-Wolf T.J., St. John J., Rajesh C.A., Hebblewhite M. Caribou and reindeer population cycles are driven by top-down and bottom-up mechanisms across space and time // Ecol. Evol. 2025. V. 15. No. 5. Article No. e71348. doi: 10.1002/ece3.71348
8. Wolfe S.A., Griffith B., Gray Woife C.A. Response of reindeer and caribou to human activities // Polar Res. 2000. V. 19. No. 1. P. 63–73. doi: 10.3402/polar.v19i1.6531
9. Klevezal G.A., Kleinenberg S.E. Determination of the mammals age by the layered structures of teeth and bone. Moskva: Nauka, 1967. 144 p. (in Russian).
10. Ivanter E.V., Korosov A.V. Elementary biometrics. Petrozavodsk: PetrSU Publishing House, 2005. 104 p. (in Russian).
11. Kochkarev P.V., Mikhailov V.V. Complex analysis of heavy metal content in bodies and tissues of wild reindeer (*Rangifer tarandus* L. 1758) // Bulletin of KrasSAU. 2016. No. 8. P. 21–27 (in Russian).
12. Okuneva S.V., Khizhnyak S.V., Khanipova V.A. Analysis of the accumulation of heavy metals in different organs of the reindeer // Scientific and practical aspects of agro-industrial complex development.: materialy natsionalnoy nauchnoy konferentsii. Pt. 1. Krasnoyarsk: KrasSAU, 2021. P. 53–56 (in Russian).
13. Sidorov M.N., Tomashevskaya E.P., Dyachkovskaya M.N. Veterinary and sanitary examination of domestic reindeer meat of the tundra zone // Vestnik ASAU. 2022. V. 2. No. 6. P. 1–10 (in Russian).
14. Robbek N.S., Alekseev E.D., Rummyantseva T.D. The content of trace elements and heavy metals in the meat of reindeers of Chukchi breed (Khargin) // Head of Animal Breeding. 2019. No. 7. P. 60–65 (in Russian).
15. Bobkova N.G., Sidorova K.A. The influence of environmental conditions of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug on the body of reindeer // Agro-food policy in Russia. 2013. V. 3. No. 15. P. 97–100 (in Russian).
16. O'Hara T.M., George J.C., Blake J., Burek K., Carroll G., Dau J., Bennett L., McCoy C.P., Gerard P., Woshner V. Investigation of heavy metals in a large mortality event in caribou of northern Alaska // Arctic. 2003. V. 56. No. 2. P. 125–135. doi: 10.14430/arctic608
17. Robillard S., Beauchamp G., Paillard G., Bélanger D. Levels of cadmium, lead, mercury and ¹³⁷caesium in caribou (*Rangifer tarandus*) tissues from Northern Québec // Arctic. 2002. V. 55. No. 1. P. 1–9. doi: 10.14430/arctic686
18. Aastrup P., Riget F., Dietz R., Asmund G. Lead, zinc, cadmium, mercury, selenium and copper in Greenland caribou and reindeer (*Rangifer tarandus*) // Sci. Total Environ. 2000. V. 245. No. 1–3. P. 149–159. doi: 10.1016/S0048-9697(99)00440-4
19. Ribeiro D.M., Raundrup K., Mourato M.P., Almeida A.M. The effect of species and sex on the element content of muskox (*Ovibos moschatus*) and Caribou (*Rangifer tarandus groenlandicus*) tissues // Biol. Trace Elem. Res. 2023. V. 201. No. 10. P. 4718–4725. doi: 10.1007/s12011-023-03562-x
20. Hassan A.A., Rylander C., Brustad M., Sandanger T.M. Level of selected toxic elements in meat, liver, tallow and

- bone marrow of young semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.) from Northern Norway // Int. J. Circumpolar Health. 2012. V. 71. Article No. 18187. doi: 10.3402/ijch.v71i0.18187
21. Borch-Iohnsen B., Nilssen K.J., Norheim G. Influence of season and diet on liver and kidney content of essential elements and heavy metals in Svalbard reindeer // Biol. Trace Elem. Res. 1996. V. 51. No. 3. P. 235–247. doi: 10.1007/BF02784078
22. Andersson Stavridis M., Pollestad B.M., Veiberg V., Mikkelsen Ø., Ciesielski T.M., Jenssen B.M. Toxic metals and other elements in Svalbard reindeer: Establishing baselines and assessing non-invasive sampling for bio-monitoring // Sci. Total Environ. 2025. V. 961. Article No. 178226. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.178226
23. León O.L.L., Pacheco J.M.S. Effects of lead on reproductive health // Lead Chemistry / Ed. P. Chooto. Intech Open, 2020. 116 p. doi: 10.5772/intechopen.91992
24. Cheng L., Zhang B., Huo W., Cao Z., Liu W., Liao J., Xia W., Xu S., Li Y. Fetal exposure to lead during pregnancy and the risk of preterm and early-term deliveries // Int. J. Hyg. Environ. Health. 2017. V. 220. No. 6. P. 984–989. doi: 10.1016/j.ijheh.2017.05.006
25. Soomro M.H., Baiz N., Huel G., Yazbeck C., Botton J., Heude B., Bornehag C.G., Annesi-Maesano I., EDEN mother-child cohort study group. Exposure to heavy metals during pregnancy related to gestational diabetes mellitus in diabetes-free mothers // Sci. Total Environ. 2019. V. 656. P. 870–876. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.11.422
26. Disha S.S., Goyal M., Kumar P.K., Ghosh R., Sharma P. Association of raised blood lead levels in pregnant women with preeclampsia: A study at tertiary centre // Taiwan. J. Obstet. Gynecol. 2019. V. 58. No. 1. P. 60–63. doi: 10.1016/j.tjog.2018.11.011
27. Skogland T., Baskin L.M., Espelien I.S., Strand U. Content of heavy and radioactive metals in the body of reindeer from different populations // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 1997. No. 6. P. 19–24 (in Russian).
28. Ermolov Yu.V., Lebedeva M.A., Bondar M.G., Kolpashchikov L.A., Cherevko A.S., Smolentsev N.B. Accumulation of chemical elements in the biochemical food chain of the Northern Norilsk Plateau // Geokhimiya. 2020. V. 65. No. 5. P. 499–510 (in Russian). doi: 10.31857/S0016752520040032
29. Kireeva A.V., Kolenchukova O.A., Peretiak O.V., Savchenko A.P., Temerova V.L., Emelyanov V.I. Morphological assessment of organs and tissues of small mammals living in the industrial area of Norilsk // Contemporary Problems of Ecology. 2023. V. 30. No. 3. P. 330–342 (in Russian). doi: 10.15372/SEJ20230310
30. Kochkarev P.V., Koshurnikova M.A., Sergeev A.A., Shiryayev V.V. 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. V. 53. No. 2. P. 217–230 (in Russian). doi: 10.21603/2074-9444-2023-2-2436
31. Kochkarev P.V., Perevozchikova M.A., Sergeev A.A., Shiryayev V.V., Piminov V.N. Toxic and biogenic elements in the organs and tissues of the willow ptarmigan (*Lagopus lagopus* L., 1758) in the north of the Krasnoyarsk Region (review) // Theoretical and Applied Ecology. 2024. No. 3. P. 54–63 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2024-3-054-063
32. Kochkarev P.V., Perevozchikova M.A., Sergeev A.A., Shiryayev V.V., Piminov V.N. Length of the willow ptarmigan (*Lagopus lagopus*) cecum in the Northern Krasnoyarsk Region // Theoretical and Applied Ecology. 2025. No. 1. P. 62–72 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2024-4-062-072
33. Chen Z., Lu Q., Cao X., Wang K., Wang Y., Wu Y., Yang Z. Lead exposure promotes the inflammation via the circRNA-05280/miR-146a/IRAK1 axis in mammary gland // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2022. V. 247. Article No. 114204. doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.114204
34. Wati L.R., Sargowo D., Nurseta T., Zuhriyah L. The role of protein intake on the total milk protein in lead-exposed lactating mothers // Nutrients. 2023. V. 15. No. 11. Article No. 2584. doi: 10.3390/nu15112584
35. Iyengar G.V. Elemental composition of human and animal milk. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1982. 186 p.
36. Motas M., Jim nez S., Oliva, J., Cámara M.Á., Pérez-Cárceles M.D. Heavy metals and trace elements in human breast milk from industrial/mining and agricultural zones of Southeastern Spain // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2021. V. 18. No. 17. Article No. 9289. doi: 10.3390/ijerph18179289
37. Shahzad S., Ashraf K., Ehsan N., Sultan K., Abbasi A., Tabassum S., Muzamil A., Rebouh N.Y., Zaman Q.U. Assessment of hazardous trace metals and associated health risk as affected by feed intake in buffalo milk // Sci. Rep. 2025. V. 15. No. 1. Article No. 9841. doi: 10.1038/s41598-025-92256-6
38. Thomason M.E., Hect J.L., Rauh V.A., Trentacosta C., Wheelock M.D., Eggebrecht A.T., Espinoza-Heredia C., Burt S.A. Prenatal lead exposure impacts cross-hemispheric and long-range connectivity in the human fetal brain // Neuroimage. 2019. V. 191. P. 186–192. doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.02.017
39. Ramírez Ortega D., González Esquivel D.F., Blanco Ayala T., Pineda B., Gómez Manzo S., Marcial Quino J., Carrillo Mora P., Pérez de la Cruz V. Cognitive impairment induced by lead exposure during lifespan: mechanisms of lead neurotoxicity // Toxics. 2021. V. 9. No. 2. Article No. 23. doi: 10.3390/toxics9020023
40. Pajewska-Szmyt M., Sinkiewicz-Darol E., Gadzała-Kopciuch R. The impact of environmental pollution on the quality of mother's milk // Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 2019. V. 26. No. 8. P. 7405–7427. doi: 10.1007/s11356-019-04141-1
41. Bhasin T., Lamture Y., Kumar M., Dhamecha R. Unveiling the health ramifications of lead poisoning: a

narrative review // *Cureus*. 2023. V. 15. No. 10. Article No. e46727. doi: 10.7759/cureus.46727

42. Srebočan E., Janicki Z., Crnić A.P., Tomljanović K., Sebečić M., Konjević D. Cadmium, lead and mercury concentrations in selected red deer (*Cervus elaphus* L.) tissues from north-eastern Croatia // *J. Environ. Sci. Health A Tox. Hazard. Subst. Environ. Eng.* 2012. V. 47. No. 13. P. 2101–2108. doi: 10.1080/10934529.2012.695994

43. Andreani G., Cannavacciuolo A., Menotta S., Spallucci V., Fedrizzi G., Carpenè E., Isani G. Environmental exposure to non-essential trace elements in two bat species from urbanised (*Tadarida teniotis*) and open land (*Miniopterus schreibersii*) areas in Italy // *Environ. Pollut.* 2019. V. 254. Pt. B. Article No. 113034. doi: 10.1016/j.envpol.2019.113034

44. Silbergeld E.K. Lead in bone: implications for toxicology during pregnancy and lactation // *Environ. Health Perspect.* 1991. V. 91. P. 63–70. doi: 10.1289/ehp.919163

45. Ettinger A.S., Roy A., Amarasiriwardena C.J., Smith D., Lupoli N., Mercado-García A., Lamadrid-Figueroa H., Tellez-Rojo M.M., Hu H., Hernández-Avila M. Maternal blood, plasma, and breast milk lead: lactational transfer and contribution to infant exposure // *Environ. Health Perspect.* 2014. V. 122. P. 87–92. doi: 10.1289/ehp.1307187

46. Obeng-Gyasi E. Lead exposure and oxidative stress – A life course approach in US adults // *Toxics*. 2018. V. 6. No. 3. Article No. 42. doi: 10.3390/toxics6030042

47. Chao H.H., Guo C.H., Huang C.B., Chen P.C., Li H.C., Hsiung D.Y., Chou Y.K. Arsenic, cadmium, lead, and aluminium concentrations in human milk at early stages of lactation // *Pediatr. Neonatol.* 2014. V. 55. No. 2. P. 127–134. doi: 10.1016/j.pedneo.2013.08.005

48. Fuchs B., Thiel A., Zedrosser A., Brown L., Hydeskov H.B., Rodushkin I., Evans A.L., Boesen A.H., Græslis A.R., Kindberg J., Arnemo J.M. High concentrations of lead (Pb) in blood and milk of free-ranging brown bears (*Ursus arctos*) in Scandinavia // *Environ. Pollut.* 2021. V. 287. Article No. 117595. doi: 10.1016/j.envpol.2021.117595

49. Lazarus M., Sekovanić A., Orcet T., Reljić S., Jurasović J., Huber Đ. Sexual maturity and life stage influences toxic metal accumulation in Croatian brown bears // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 2018. V. 74. P. 339–348. doi: 10.1007/s00244-017-0487-5

50. Lazarus M., Orcet T., Sergiel A., Vranković L., Marijić V.F., Rašić D., Reljić S., Aladrović J., Zwiłczak-Kozica T., Zięba F., Jurasović J., Erk M., Maślak R., Selva N., Huber Đ. Metal(loid) exposure assessment and biomarker responses in captive and free-ranging European brown bear (*Ursus arctos*) // *Environ. Res.* 2020. V. 183. Article No. 109166. doi: 10.1016/j.envres.2020.109166

51. Gamberg M., Cuyler C., Wang X. Contaminants in two West Greenland caribou populations // *Sci. Total Environ.* 2016. V. 554–555. P. 329–336. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.154

52. Elsakov V.V., Novakovskiy A.B., Polikarpova N.V. Spatial differences in the accumulation of elements by the lichen *Cladonia rangiferina* L. in the Pasvik Nature Reserve // *Transactions of the KarRC RAS.* 2018. No. 5. P. 3–14 (in Russian). doi: 10.17076/eco641

53. Tyupkina G.I., Okuneva S.V., Korniyenko I.P., Beletskiy S.L. Biochemical structure of lichens – forages of reindeers in the Arctic territory // *Innovative technologies for the production and storage of material assets for state needs.* 2019. No. 12. P. 223–232 (in Russian).

54. Gamberg M., Pratte I., Brammer J., Cuyler C., Elkin B., Gurney K., Kutz S., Larter N.C., Muir D., Wang X., Provencher J.F. Renal trace elements in barren-ground caribou subpopulations: Temporal trends and differing effects of sex, age and season // *Sci. Total Environ.* 2020. V. 724. Article No. 138305. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138305

55. Stalwick J.A., Ratelle M., Gurney K.E.B., Drysdale M., Lazarescu C., Comte J., Laird B., Skinner K. Sources of exposure to lead in Arctic and subarctic regions: a scoping review // *Int. J. Circumpolar Health.* 2023. V. 82. No. 1. Article No. 2208810. doi: 10.1080/22423982.2023.2208810

56. Menshakova M., Huber M., Gainanova R., Survovets V., Moiseeva N., Nizikova A., Mashinets M. Content of heavy metals in the lichens of winter reindeer pastures of the Timan and Bolshezemelskaya Tundras // *Agriculture.* 2022. V. 12. No. 10. Article No. 1560. doi: 10.3390/agriculture12101560

57. Makarov D.A., Komarov A.A., Ovcharenko V.V., Nebera E.A., Kozhushkevich A.I., Kalantaenko A.M., Afanasieva E.L., Demidova S.V. dioxin and heavy metals contamination of reindeer offal from Russian Far North regions // *Agricultural Biology.* 2018. V. 53. No. 2. P. 364–373 (in Russian). doi: 10.15389/agrobiology.2018.2.364rus