

ВЕТЕРИНАРИЯ, ЗООТЕХНИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.31677/2072-6724-2024-70-1-185-195

УДК 636.4:577.118:546.48

УРОВЕНЬ КАДМИЯ В ПАРЕНХИМАТОЗНЫХ ОРГАНАХ СВИНЕЙ ПОРОДЫ ЛАНДРАС

О.А. Зайко, кандидат биологических наук**Т.В. Коновалова**, старший преподаватель**В.Л. Петухов**, доктор биологических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Ключевые слова: кадмий, печень, почки, селезенка, легкие, свиньи, ландрас.

Реферат. Представлены результаты оценки концентрации кадмия в печени, почках, легких и селезенке свиней породы ландрас. Исследования проведены на клинически здоровых животных 6 месяцев, выращенных в крупном свиноводческом предприятии Алтайского края. Условия содержания животных являлись стандартными, применялось типовое кормление в рамках мясного откорма. Уровень кадмия в паренхиматозных органах определялся с помощью атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой. Работу с данными выполняли, используя Microsoft Office Excel, язык программирования R, среду анализа данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). Установлена необходимость использования непараметрических критериев. Учитывая средние значения и медианы, сформирован возрастающий ранжированный ряд содержания кадмия в органах: легкие < селезенка < печень < почки, в числовом выражении, ориентируясь на первый статистический показатель: 1,0 : 1,1 : 2,1 : 36,0. Уровни кадмия, охарактеризованные медианой, в печени, почках, легких и селезенки составили соответственно 0,015; 0,220; 0,007 и 0,008 мг/кг. Наибольшей однородностью по концентрации тяжелого металла отличались легкие и селезенка. Максимальная изменчивость характерна для почек. На основании критерия Краскела-Уоллиса определено, что аккумуляция кадмия значимо различается в исследуемых органах ($H = 66,96$, $df = 3$, $p < 0,0001$). Парное сравнение продемонстрировало значимые отличия для пар «почки – печень» ($p < 0,0001$), «почки – селезенка» ($p < 0,0001$), «почки – легкие» ($p < 0,0001$), «печень – легкие» ($p < 0,001$). Кластерный анализ выявил три группы: «легкие – селезенка», и «печень – легкие, селезенка» и «почки», значимо отличающиеся уровнем накопления кадмия. Почки являются органом-мишенью для кадмия. Полученные данные могут использоваться в качестве мониторинговых и ориентировочных нормативных показателей содержания кадмия в печени, почках, легких и селезенке свиней ландрасской породы в условиях Западной Сибири и для характеристики интерьера животных.

CADMIUM LEVEL IN PARENCHYMATOUS ORGANS OF LANDRACE PIGS

O.A. Zayko, PhD in Biological Sciences**T.V. Konovalova**, Senior Lecturer**V.L. Petukhov**, Doctor of Biological Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Keywords: cadmium, liver, kidneys, spleen, lungs, pig, landrace.

Abstract. The results of assessing the concentration of cadmium in the liver, kidneys, lungs, and spleen of Landrace pigs are presented. The studies were conducted on clinically healthy 6-month-old animals raised in a sizeable pig-breeding enterprise in the Altai Territory. The conditions for keeping the animals were standard; standard feeding was used for meat fattening. The level of cadmium in parenchymal organs was determined using inductively coupled plasma atomic emission spectral analysis. Data processing was performed using Microsoft Office Excel, the R programming language, and the RStudio data analysis environment version 2022.07.2+576 (RStudio, PBC). The need to use nonparametric criteria has been established. Considering the average values and medians, the authors formed an increasingly ranked series of cadmium content in organs: lungs < spleen < liver < kidneys, in numerical terms, focusing on the first statistical indicator: 1: 1.1: 2.1: 36.0.

Химические элементы, в том числе токсичные, могут поступать в пищевую цепь человека как естественные компоненты окружающей среды или по причине антропогенной деятельности, например, широкого применения удобрений и пестицидов, сжигания ископаемого топлива, утилизации отходов, выбросов производственных предприятий [1]. Они способны биоаккумулироваться и биоусиливаться на уровне продуктов питания, достигая токсичных величин даже, казалось бы, при низких концентрациях [2].

Диета является наиболее важным источником воздействия некоторых минералов, не учитывая отдельные профессиональные риски, и периодическое обновление их содержания в продуктах питания представляет собой ключевой элемент для всесторонней оценки потребления и возможных связанных с этим рисков для здоровья [3].

Учитывая потенциал воздействия на элементы биосферы, кадмий относят к первому классу опасности, особо токсичным химическим элементам, вместе с мышьяком, ртутью, свинцом и некоторыми другими [4].

Существует значительная положительная связь между воздействием кадмия и возникновением заболеваний в человеческой популяции [5]. Считается, что негативным воздействием на здоровье обладают его уровни, ранее считавшиеся пороговыми значениями токсичности, также существует опасность хронического влияния. Кадмий ассоциирован с повышенным риском развития хронических болезней почек даже при низких уровнях поступления [6, 7]. Некоторыми возможными эффектами являются патологии со стороны желудочно-кишечного тракта, органов дыхания, анемия, гипертензия, сердечная недостаточность, сахарный диабет, болезнь итай-итай, остеопороз [8–12]. Основными органами-мишенями поражения рассматриваемого химического элемента являются почки, костная ткань и легкие [13, 14].

Кадмий занимает седьмую позицию в соответствии с рейтингом Агентства по регистрации токсичных веществ и заболеваний, он классифицирован как канцероген первой группы для человека, способный вызвать рак легких, предстательной железы, почек, молочной железы, эндометрия и мочевого пузыря [15, 16]. Кроме того, кадмий является мутагенным элементом [17].

Наряду с объемным комплексом мер необходимо максимально предотвращать использование продуктов, содержащих кадмий, чтобы уменьшить его негативное воздействие на человека; пользуясь актуальной информацией [18], следует выявлять потенциально опасные территории и разрабатывать программы для существенного снижения случаев токсичности [19, 20]. Особенно остро это звучит на фоне потребности в переоценке пороговых значений токсичности кадмия [6]. Полезным в этом плане может стать исследование интерьера сельскохозяйственных животных в отношении химических элементов в рамках мониторинга, оценки состояния здоровья, неотъемлемо связанного с продуктивностью [21–24]. В этом отношении в Западной Сибири проводится комплексное изучение их генофонда и фенотипа, в том числе с поиском новых подходов к оценке химического статуса [25–30].

Целью представленной работы являлось установление содержания и изменчивости кадмия в таких паренхиматозных органах, как печень, почки, лёгкие и селезенка свиней породы ландрас.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование выполнено на группе свиней ландрасской породы, выращенных на крупном предприятии промышленного типа в Алтайском крае. На всех технологических этапах выращивания животные находились под контролем ветеринарных специалистов. Все животные подвергались плановым ветеринарным обработкам, были клинически здоровы на протяжении всего технологического цикла. Условия содержания соответствовали типовым для мясного откорма на основании ГОСТ 28839-2017. Кормление выполнялось стандартными, сбалансированными по питательной, минеральной и витаминной составляющей полнорационными комбикормами в зависимости от этапа выращивания. Проверка качества комбикормов на соответствие номенклатуре гарантированных и дополнительных показателей выполнялась на основании ГОСТ Р 51550-2000 и ГОСТ Р 51850-2001. Последний с 2020 г. заменен на ГОСТ 23462-2019. Для всех физиологических групп на одинаковом уровне нормируются уровни кадмия, свинца, ртути и мышьяка. Вода, используемая для поения животных, соответствовала второму классу.

В рамках комплексного экологического мониторинга дополнительно выполнялся элементный анализ воды, почвы и корма на территории свинокомплекса, отклонений от норм не зарегистрировано [31, 32].

Откорм свиней проводился до 100 кг, возраст перед убоем составлял 150–160 дней. Финишные этапы получения продуктов убоя соответствовали ГОСТ 31476-2012, действующей технологической инструкции к нему, техническим регламентам ТС 034/2013 и ТС 021/2011.

Отбор проб печени, почек, легких и селезенки свиней выполнялся после нутровки и оценки ветеринарным врачом, конфискаты отсутствовали. Число проб составило 106. Образцы массой около 100 г каждый упаковывались и хранились индивидуально в зип-лок пакетах в условиях морозильной камеры с температурным режимом от -18 до -24°C. Перед исследованием пробы размораживали. Уровень кадмия устанавливался методом атомно-эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой на оборудовании iCAP-PRO (Thermo Fisher Scientific) с индексом способа обзора плазмы Duo в Аналитическом центре коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН.

С полученными данными работали, используя ПО Microsoft Office Excel, среду анализа данных RStudio версии 2022.07.2+576 (RStudio, PBC) для языка программирования R. Устанавливались некоторые показатели описательной статистики: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, медиана, среднеквадратическое отклонение, первый и третий квартили, интерквартильный размах, максимальное и минимальное значение содержания кадмия, отношение крайних вариантов как частное от деления максимального значения на минимальное. Необходимо отметить, что по одной пробе печени и почек было исключено из расчетов из-за более низких значений в сравнении с пределом обнаружения, соответственно <0,001 и <0,002 мг/кг.

Характер распределения оценивался рядом критериев, включая такие, как Шапиро-Уилка и Андерсона-Дарлинга, гомогенность дисперсий – критерием Флигнера-Килина.

Различия в накоплении кадмия в зависимости от внутреннего органа характеризовались непараметрическим критерием Краскела-Уоллиса, попарные – тестом Данна с поправкой Холма. Для кластерного анализа использовался метод

Варда, метрикой расстояний было манхэттенское расстояние.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках обеспечения качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов, используемых человеком, необходим мониторинг уровня химических элементов в органах и тканях сельскохозяйственных животных, особенно это касается таких субпродуктов, как печень и почки, где они преимущественно накапливаются [22]. С целью оценки здоровья человека в некоторых случаях даже предлагается выполнять анализ его органов и тканей в отношении разного рода минералов [33]. Но все же предпочтение необходимо отдавать контролю на более ранних этапах пищевой цепи, уделяя особое внимание активно используемым продуктам питания и поиску новых, даже минимальных, подходов, которые способны внести вклад в уменьшение воздействия поллютантов на человека.

Оценка характера распределения уровня кадмия в паренхиматозных органах свиней породы ландрас, используя, в том числе, коэффициенты асимметрии и эксцесса, графики нормальной вероятности и некоторые другие, выявила необходимость использования непараметрических методов, хотя в тесте Шапиро-Уилка W-критерий для печени, почек, легких и селезенки, соответственно равнялся 0,95; 0,94; 0,98 и 0,96 при уровнях значимости больше 0,05. На основании критерия Андерсона-Дарлинга в случае со всеми органами распределение может считаться нормальным ($p > 0,05$). При этом дисперсии были негомогенными ($p < 0,05$).

В табл. 1 показаны уровни аккумуляции кадмия в исследованных внутренних органах свиней породы ландрас, где резко выделяются почки по рассматриваемому признаку, превосходя в 10 раз и более другие анализируемые структуры организма. Можно сформировать числовой относительный ранжированный ряд, в котором за единицу взята наименьшая концентрация кадмия в легких: 1 : 1,1 : 2,1 : 36,0, что соответствует следующему: легкие < селезенка < печень < почки. Аналогичным образом выглядит ранжированный ряд в отношении очередности органов, если учитывать медиану.

Содержание кадмия в органах свиней породы ландрас, мг/кг
Cadmium content in the organs of Landrace pigs, mg/kg

Органы	n	$\bar{x} \pm S_x$	Me	lim	Отношение крайних вариант
Печень	27	0,0150 ± 0,0020	0,015	0,001–0,039	1 : 39
Почки	24	0,2520 ± 0,0170	0,220	0,100–0,440	1 : 4,4
Селезенка	23	0,0080 ± 0,0003	0,008	0,005–0,011	1 : 2,2
Легкие	30	0,0070 ± 0,0003	0,007	0,003–0,011	1 : 3,7

Примечание. $\bar{x} \pm S_x$ – средняя арифметическая и ошибка средней; Me – медиана; Lim – максимальное и минимальное значение.

Note. $\pm S\bar{x}$ – arithmetic mean and mean error; Me – median; Lim – maximum and minimum value.

Для печени зарегистрировано наибольшее соотношение крайних вариант, что связано с наличием одного выброса, продемонстрированного на рис. 1, влияющего на различия в накоплении

кадмия. Остальные паренхиматозные органы по данной характеристике достаточно близки друг к другу.

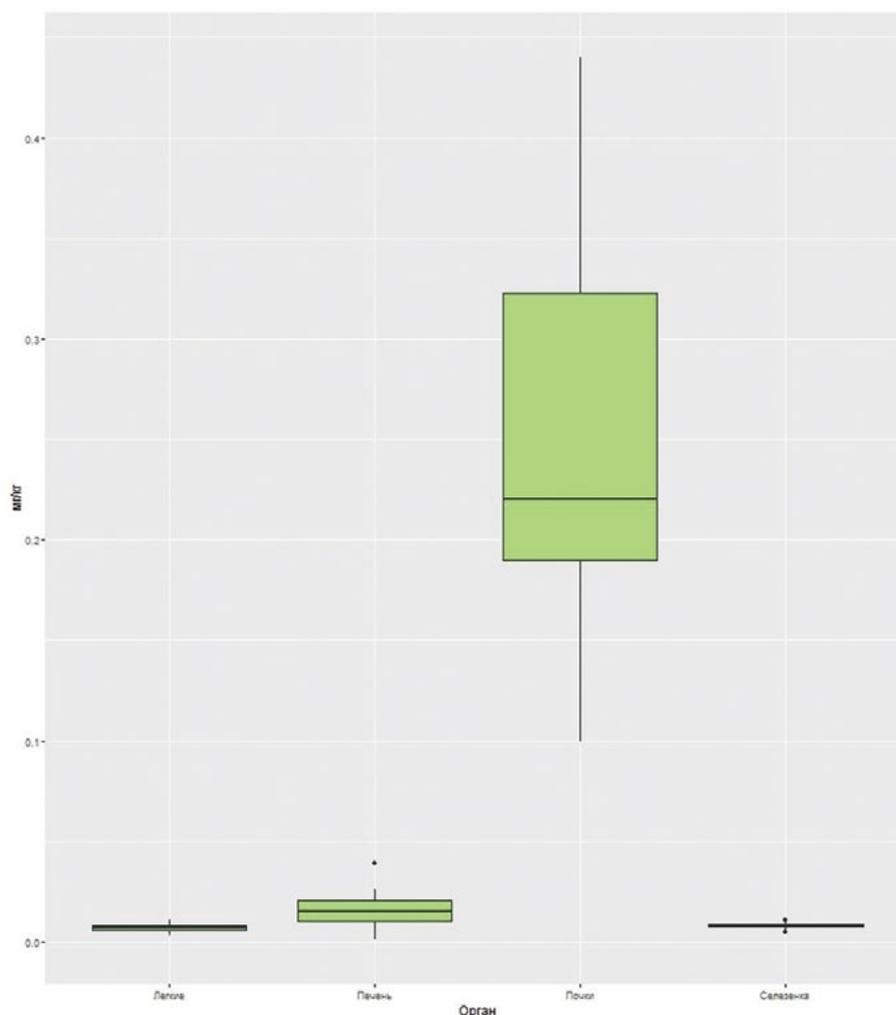


Рис. 1. Размах изменчивости уровня кадмия в органах свиней породы ландрас
The range of variability of cadmium levels in the organs of Landrace pigs

На рис. 1 представлен размах изменчивости количества кадмия в исследованных паренхи-

матозных органах. Наиболее однородными по концентрации поллютанта являются легкие и

селезенка. Зарегистрированы к вышесказанному еще два выброса в случае аккумуляции тяжелого металла в селезенке.

Характеризуя некоторые показатели изменчивости рассматриваемого признака, необходимо отметить, что наименьшие интерквар-

тильные размахи характерны для селезенки и легких, эти же органы отличаются меньшим накоплением кадмия (табл. 2). Наибольшей изменчивостью отличается аккумуляция химического элемента в почках.

Таблица 2

Показатели изменчивости кадмия в органах свиней породы ландрас
Indicators of cadmium variability in the organs of Landrace pigs

Органы	n	σ	Q1	Q3	IQR
Печень	27	0,009	0,010	0,020	0,010
Почки	24	0,085	0,190	0,330	0,140
Селезенка	23	0,001	0,008	0,009	0,001
Легкие	30	0,002	0,006	0,008	0,002

Примечание. σ – среднее квадратическое отклонение; Q1 – 1-й квартиль; Q3 – 3-й квартиль; IQR – интерквартильный размах.

Note. σ – standard deviation; Q1 – 1st quartile; Q3 – 3rd quartile; IQR – interquartile ranges.

Непараметрический дисперсионный анализ на основании критерия Краскела-Уоллиса показал, что аккумуляция кадмия значимо различается в представленных паренхиматозных органах свиней породы ландрас ($H = 66,96$, $df = 3$, $p <$

$0,0001$). Попарное сравнение представлено в табл. 3. Значимые отличия присущи для почек и всех остальных органов, а также для группы органов «печень – легкие».

Таблица 3

Попарное сравнение уровня кадмия в органах свиней породы ландрас
Pairwise comparison of cadmium levels in organs of Landrace pigs

Органы	Легкие	Печень	Почки
Печень	-3,44 <0,001*	-	-
Почки	-7,76 <0,0001*	-4,32 <0,0001*	-
Селезенка	-1,16 0,1234	2,08 0,0371	6,18 <0,0001*

* P в значимом парном сравнении.

* P in significant pairwise comparison.

На основе кластерного анализа выделены группы паренхиматозных органов, отличающиеся схожестью аккумуляции кадмия (рис. 2). На дендрограмме выделяются три кластера. Первый представлен легкими и селезенкой, второй объединяет предыдущий и печень, и

значительно обособляется третий кластер, в который входят только почки. Существуют данные о том, что по рассматриваемому показателю почки кемеровской породы свиней также представляли собой отдельный кластер, но в исследование не была включена печень [34].

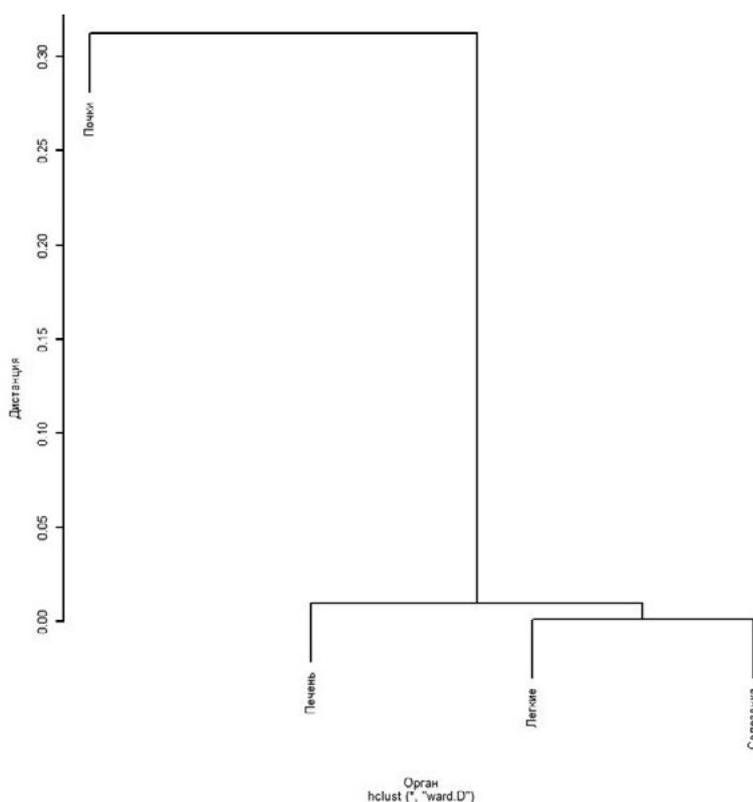


Рис. 2. Кластеризация органов в соответствии с содержанием кадмия
Clustering of organs according to cadmium content

Уровень кадмия регламентируется в мясе, мясопродуктах, птице, яйцах и продуктах их переработки согласно ТР ТС 034/2013 и ТР ТС 021/2011 [35, 36]. В соответствии с этими техническими регламентами уровень кадмия в субпродуктах убойных животных не должен превышать 0,3 мг/кг. В нашем случае к этой категории можно отнести печень, селезенку и легкие. Пороговая концентрация не превышена, для печени медиана содержания кадмия в 20 раз ниже, верхние лимиты также не выходят за указанный предел. Почки, в соответствии с указанными нормативными документами, выделяются в отдельную группу, для них ограничивающий предел составляет не более 1 мг/кг. Аккумуляция кадмия в почках свиней породы ландрас в 4,5 раза ниже этого значения, а верхний лимит – в 2,3 раза.

Подобные ограничения в ЕС, действующие на данный момент, составляют 0,5 мг/кг для

печени и 1 мг/кг для почек крупного рогатого скота, овец, свиней, домашней птицы и лошадей [37].

Чаще всего в литературе встречаются данные о содержании кадмия в таких паренхиматозных органах, как печень и почки, которые являются наиболее ценными субпродуктами. Исследования, выполненные на аборигенных свиньях в Македонии в возрасте 350 дней и с живой массой около 90 кг, показали, что у 35% животных концентрация кадмия в почках составила 0,09 мг/кг, что в 2,8 раза меньше полученных нами значений, и у 65% животных она была ниже 0,02 мг/кг. Во всех случаях аккумуляция в печени была менее 0,02 мг/кг, что согласуется с полученными нами данными [38]. Уровень кадмия в печени свиней в возрасте 8 месяцев, выращенных в Боснии и Герцеговине, составил 0,09 мг/кг, что выше в 6,0 раза установленных нами значений [39].

А. Chalabis-Mazurek с соавторами установили на свиньях породы польский ландрас с живой массой около 30 кг, получавших стандартный рацион, что концентрация кадмия в почках и печени была практически на одинаковом уровне и составляла соответственно 0,038 и 0,043 мг/кг [40]. Что касается свиней кемеровской и скороспелой мясной породы СМ-1, выращенных в Западной Сибири в схожих с нашими условиях содержания и кормления до возраста около 6 месяцев, то у первой породы концентрация тяжелого металла составила 0,15 мг/кг [34], а у второй – 0,37 мг/кг [25], что может указывать на межпородные различия и возможность селекции на устойчивость к накоплению поллютанта.

Необходимо отметить, что для человека значим аэрозольный путь поступления кадмия в организм с преимущественным накоплением химического элемента в легких, что обусловлено широким распространением курения [41], предположительно, концентрация в этом органе у животных в большей степени отражает фоновое содержание во вдыхаемом воздухе, являясь относительно низкой.

Необходимо отметить значимую разрозненность данных, что требует систематизации и разработки четкого регламента для проведения

будущих исследований с целью мониторинга, снижения воздействия тяжелых металлов на человека, контроля здоровья животных.

ВЫВОДЫ

1. Выполнена оценка фенотипа клинически здоровых свиней породы ландрас по содержанию кадмия в паренхиматозных органах. Медианы составили 0,252 мг/кг в почках, 0,015 – в печени, 0,008 – в селезенке и 0,007 мг/кг в легких, что может быть использовано для характеристики интерьера свиней породы ландрас, выращенных в Западной Сибири.

2. Установлены отличия в содержании кадмия между паренхиматозными органами ($H = 66,96$, $df = 3$, $p < 0,0001$) и в парах: «почки – печень» ($p < 0,0001$), «почки – селезенка» ($p < 0,0001$), «почки – легкие» ($p < 0,0001$), «печень – легкие» ($p < 0,001$), что свидетельствует о выборочной аккумуляции кадмия в почках как преимущественном органе его накопления в организме свиней.

3. Определены три главных кластера, подтверждающих сходство органов по способности накапливать кадмий: «легкие – селезенка», «печень – легкие, селезенка» и «почки».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gall J.E., Boyd R.S., Rajakaruna N. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review // Environmental Monitoring and Assessment. – 2015. – Vol. 187. – P. 1–21.
2. Heavy metals in ryegrass species versus metal concentrations in atmospheric particulate measured in an industrial area of Southern Italy / R. Caggiano, M. D’Emilio, M. Macchiato, M. Ragosta // Environmental Monitoring and Assessment. – 2005. – Vol. 102. – P. 67–84.
3. Total diet study: for a closer-to-real estimate of dietary exposure to chemical substances / C.I. Kim, J. Lee, S. Kwon, H.J. Yoon // Toxicological Research. – 2015. – Vol. 31. – P. 227–240.
4. Панин М.С. Экология почв. – Алматы: Паритет, 2008. – 528 с.
5. Cadmium in human diseases: It’s more than just a mere metal / G. Fatima, A.M. Raza, N. Hadi [et al.] // Indian Journal of Clinical Biochemistry. – 2019. – Vol. 34. – P. 371–378.
6. Satarug S. Dietary cadmium intake and its effects on kidneys // Toxics. – 2018. – Vol. 6, N 1. – 15.
7. Plasma cadmium is associated with increased risk of long-term kidney graft failure / C.G. Sotomayor, D. Groothof, J.J. Vodegel [et al.] // Kidney International. – 2021. – Vol. 99, N 5. – P. 1213–1224.
8. The modifying effect of kidney function on the association of cadmium exposure with blood pressure and cardiovascular mortality: NHANES 1999-2010 / Y. Gao, X. Zhu, M.J. Shrubsole [et al.] // Toxicology and Applied Pharmacology. – 2018. – Vol. 353. – P. 15–22.
9. Association among sources exposure of cadmium in the Adult non-smoking general population of Tehran / M. Ghoochani, M.H. Dehghani, N. Rastkari [et al.] // Biological Trace Element Research. – 2018. – Vol. 191. – P. 27–33.
10. Cadmium and atherosclerosis: A review of toxicological mechanisms and a meta-analysis of epidemiologic studies / A.A. Tinkov, A.V. Skalny, M.G. Skalnaya [et al.] // Environmental Research. – 2018. – Vol. 162. – P. 240–260.

11. *Cadmium* exposure alters steroid receptors and proinflammatory cytokine levels in endothelial cells in vitro: a potential mechanism of endocrine disruptor atherogenic effect / S. Fittipaldi, V.M. Bimonte, A. Soricelli [et al.] // *Journal of Endocrinological Investigation*. – 2019. – Vol. 42. – P. 727–739.
12. *Inhibition* of mitochondrial fatty acid oxidation contributes to development of nonalcoholic fatty liver disease induced by environmental cadmium exposure / X. He, J. Gao, H. Hou [et al.] // *Environmental Science & Technology*. – 2019. – Vol. 53, N 23. – P. 13992–14000.
13. *Cadmium: from toxicity to essentiality* / A. Sigel, H. Sigel, R.K.O. Sigel (eds.). – Dordrecht: Springer, 2013. – Vol. 11. – 588 p.
14. Yang H., Shu Y. Cadmium transporters in the kidney and cadmium-induced nephrotoxicity // *International journal of molecular sciences*. – 2015. – Vol. 16, N 1. – P. 1484–1494.
15. *IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Beryllium, cadmium, mercury, and exposures in the glass manufacturing industry*. N 58. Lyon (FR): International Agency for Research on Cancer. – 1993 [Electronic resource]. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499765/>. (date of the application: 26.01.2024).
16. *Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain on a request from the European Commission on cadmium in food* / J. Alexander, D. Benford, A. Cockburn [et al.] // *The EFSA Journal*. – 2009. – Vol. 980. – P. 1–139.
17. *Cellular mechanisms of cadmium-induced toxicity: a review* / A. Rani, A. Kumar, A. Lal, M. Pant // *International Journal of Environmental Health Research*. – 2014. – Vol. 24, N 4. – P. 378–399.
18. *Cadmium toxicity and tolerance in plants* / M. Hasanuzzaman, M.N.V. Prasad, M. Fujita (eds.). – London: Academic Press, 2019. – 619 p.
19. *Cadmium exposure in the population: from health risks to strategies of prevention* / T.S. Nawrot, J.A. Staessen, H.A. Roels [et al.] // *Biometals*. – 2010. – Vol. 23. – P. 769–782.
20. *Cadmium toxicity and treatment: an update* / M.R. Rahimzadeh, M.R. Rahimzadeh, S. Kazemi, A.A. Moghadamnia // *Caspian journal of internal medicine*. – 2017. – Vol. 8, N 3. – P. 135–145.
21. *Heavy metals in pig muscles* / O.A. Zaiko, V.L. Petukhov, T.V. Konovalova [et al.] // *17th International Conference of Heavy Metals in the Environment: Proceeding of Abstract*. – Guiyang, China: University of Guiyang, 2014. – P. 76.
22. *Potential toxic metal accumulation in soil, forage and blood plasma of buffaloes sampled from Jhang, Pakistan* / Z.I. Khan, I. Ugulu, S. Umar [et al.] // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. – 2018. – Vol. 101, N 2. – P. 235–242.
23. *The content of toxic elements in hair of dairy cows as an indicator of productivity and elemental status of animals* / S. Miroshnikov, O. Zavyalov, A. Frolov [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019. – Vol. 26, N 18. – P. 18554–18564.
24. *Manganese content in muscles of sons of different Holstein bulls reared in Western Siberia* / K.N. Narozhnykh, O.I. Sebezko, T.V. Konovalova [et al.] // *Trace Elements and Electrolytes*. – 2021. – Vol. 38, N 3. – P. 149.
25. *Зайко О.А. Изменчивость и корреляция химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: дис. ... канд. биол. наук.* – Новосибирск, 2014. – 183 с.
26. *Патент на изобретение RU 2591825 С1. Способ определения содержания кадмия в печени крупного рогатого скота* / Короткевич О.С., Нарожных К.Н., Коновалова Т.В. [и др.]. – Заявка № 2015116391/15 от 29.04.2015; Оpubл. 20.07.2016.
27. *Патент на изобретение RU 2602915 С1. Способ определения концентрации свинца в легких крупного рогатого скота* / Коновалова Т.В., Короткевич О.С., Нарожных К.Н. [и др.]. – Заявка № № 2015130994/15 от 24.07.2015; Оpubл. 20.11.2016.
28. *Стрижкова М.В. Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: дис. ... канд. биол. наук.* – Новосибирск, 2018. – 126 с.
29. *Нарожных К.Н. Изменчивость, корреляции и уровень тяжелых металлов в органах и тканях герефордского скота в условиях Западной Сибири: дис. ... канд. биол. наук.* – Новосибирск, 2019. – 163 с.
30. *Correlation of the iron level in the bristles of Kemerovo pigs with macro- and essential microelements* / A.V. Nazarenko, O.A. Zaiko, O.S. Korotkevich [et al.] // *Bio web of conferences: International Scientific*

- and Practical Conference “Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture” (FSRAABA 2021). – Tyumen: EDP Sciences, 2021. – 06032.
31. *Direct* determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes / T.V. Skiba, A.R. Tsygankova, N.S. Borisova [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, N 6. – P. 958–964.
 32. Сысо А.И. Тяжёлые металлы в окружающей среде как угроза растениям, животным и человеку // *Агрехимия в XXI веке: материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти академика РАН В.Г. Минеева*. – М., 2018. – С. 30–33.
 33. *Characterization* of the toxicological impact of heavy metals on human health in conjunction with modern analytical methods / D.C. Filipoiu, S.G. Bungau, L. Endres [et al.] // *Toxics*. – 2022. – Vol. 10, N 12. – P. 716.
 34. *Закономерности* аккумуляции кадмия в органах и щетине свиней кемеровской породы / А.В. Назаренко, О.А. Зайко, Т.В. Коновалова [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2023. – № 1(66). – С. 140–149.
 35. *Технический* регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011 [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: сайт. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/n/iarcmono58/pdf/>. (дата обращения: 26.01.2024).
 36. *Технический* регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» ТС 034/2013 [Электронный ресурс] // Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс»: сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050564?ysclid=lrujs06e8751107777§ion=text>. (дата обращения: 26.01.2024).
 37. *European Commission*. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006 // *Official Journal of the European Union*. – 2023. – Vol. 119. – P. 103–157.
 38. *Heavy metal* accumulation in animal tissues and internal organs of pigs correlated with feed habits / S. Leontopoulos, N. Gougoulis, D. Kantas [et al.] // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2015. – Vol. 21, N 3. – P. 699–703.
 39. *Determination* of heavy metals in liver and skeletal muscles of pigs and calves: experience from Bosnia and Herzegovina / E. Haskovic, T. Muhic-Sarac, M. Lukic [et al.] // *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. – 2021. – Vol. 27, N 3. – P. 593–599.
 40. *The concentration* of selected heavy metals in muscles, liver and kidneys of pigs fed standard diets and diets containing 60% of new rye varieties / A. Chalabis-Mazurek, J.L. Valverde Piedra, S. Muszynski [et al.] // *Animals*. – 2021. – Vol. 11, N 5. – P. 1377.
 41. *Cadmium* toxicity and health effects – A Brief Summary / A.E. Charkiewicz, W.J. Omeljaniuk, K. Nowak [et al.] // *Molecules*. – 2023. – Vol. 28, N 18. – 6620.

REFERENCES

1. Gall J.E., Boyd R.S., Rajakaruna N., Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2015, Vol. 187, pp. 1–21.
2. Caggiano R., D’Emilio M., Macchiato M., Ragosta M., Heavy metals in ryegrass species versus metal concentrations in atmospheric particulate measured in an industrial area of Southern Italy, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, Vol. 102, pp. 67–84.
3. Kim C.I., Lee J., Kwon S., Yoon H.J., Total diet study: for a closer-to-real estimate of dietary exposure to chemical substances, *Toxicological Research*, 2015, Vol. 31, pp. 227–240.
4. Panin M.S., *Ekologiya pochv* (Soil ecology), Almaty: Raritet, 2008, 528 p.
5. Fatima G., Raza A.M., Hadi N. [et al.], Cadmium in human diseases: It’s more than just a mere metal, *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 2019, Vol. 34, pp. 371–378.
6. Satarug S., Dietary cadmium intake and its effects on kidneys, *Toxics*, 2018, Vol. 6, No. 1, pp. 15.
7. Sotomayor C.G., Groothof D., Vodegel J.J. [et al.], Plasma cadmium is associated with increased risk of long-term kidney graft failure, *Kidney International*, 2021, Vol. 99, No. 5, pp. 1213–1224.

8. Gao Y., Zhu X., Shrubsole M.J. [et al.], The modifying effect of kidney function on the association of cadmium exposure with blood pressure and cardiovascular mortality: NHANES 1999-2010, *Toxicology and Applied Pharmacology*, 2018, Vol. 353, pp. 15–22.
9. Ghoochani M., Dehghani M.H., Rastkari N. [et al.], Association among sources exposure of cadmium in the Adult non-smoking general population of Tehran, *Biological Trace Element Research*, 2018, Vol. 191, pp. 27–33.
10. Tinkov A.A., Skalny A.V., Skal'naya M.G. [et al.], Cadmium and atherosclerosis: A review of toxicological mechanisms and a meta-analysis of epidemiologic studies, *Environmental Research*, 2018, Vol. 162, pp. 240–260.
11. Fittipaldi S., Bimonte V.M., Soricelli A. [et al.], Cadmium exposure alters steroid receptors and proinflammatory cytokine levels in endothelial cells in vitro: a potential mechanism of endocrine disruptor atherogenic effect, *Journal of Endocrinological Investigation*, 2019, Vol. 42, pp. 727–739.
12. He X., Gao J., Hou H. [et al.], Inhibition of mitochondrial fatty acid oxidation contributes to development of nonalcoholic fatty liver disease induced by environmental cadmium exposure, *Environmental Science & Technology*, 2019, Vol. 53, No. 23, pp. 13992–14000.
13. Sigel A., Sigel H., Sigel R.K.O. (eds.), *Cadmium: from toxicity to essentiality*, Dordrecht: Springer, 2013, Vol. 11, 588 p.
14. Yang H., Shu Y., Cadmium transporters in the kidney and cadmium-induced nephrotoxicity, *International journal of molecular sciences*, 2015, Vol. 16, No. 1, pp. 1484–1494.
15. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Beryllium, cadmium, mercury, and exposures in the glass manufacturing industry. N 58. Lyon (FR): *International Agency for Research on Cancer*, 1993 [Electronic resource]. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK499765/>. (date of the application: 26.01.2024).
16. Alexander J., Benford D., Cockburn A. [et al.], Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain on a request from the European Commission on cadmium in food, *The EFSA Journal*, 2009, Vol. 980, pp. 1–139.
17. Rani A., Kumar A., Lal A., Pant M., Cellular mechanisms of cadmium-induced toxicity: a review, *International Journal of Environmental Health Research*, 2014, Vol. 24, No. 4, pp. 378–399.
18. Hasanuzzaman M., Prasad M.N.V., Fujita M. (eds.), *Cadmium toxicity and tolerance in plants*, London: Academic Press, 2019, 619 p.
19. Nawrot T.S., Staessen J.A., Roels H.A. [et al.], Cadmium exposure in the population: from health risks to strategies of prevention, *Biometals*, 2010, Vol. 23, pp. 769–782.
20. Rahimzadeh M.R., Rahimzadeh M.R., Kazemi S., Moghadamnia A.A., Cadmium toxicity and treatment: an update, *Caspian journal of internal medicine*, 2017, Vol. 8, No. 3, pp. 135–145.
21. Zaiko O.A., Petukhov V.L., Konovalova T.V. [et al.], Heavy metals in pig muscles, *17th International Conference of Heavy Metals in the Environment: Proceeding of Abstract*, Guiyang, China: University of Guiyang, 2014, pp. 76.
22. Khan Z.I., Ugulu I., Umar S. [et al.], Potential toxic metal accumulation in soil, forage and blood plasma of buffaloes sampled from Jhang, Pakistan, *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2018, Vol. 101, No. 2, pp. 235–242.
23. Miroshnikov S., Zavyalov O., Frolov A. [et al.], The content of toxic elements in hair of dairy cows as an indicator of productivity and elemental status of animals, *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, Vol. 26, No. 18, pp. 18554–18564.
24. Narozhnykh K.N., Sebezko O.I., Konovalova T.V. [et al.], Manganese content in muscles of sons of different Holstein bulls reared in Western Siberia, *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, Vol. 38, No. 3, pp. 149.
25. Zajko O.A., *Izmenchivost` i korrelyacii ximicheskix e`lementov v organax i tkanyax svinej skorospeloj myasnoj porody` SM-1* (Variability and correlations of chemical elements in organs and tissues of pigs of early maturing meat breed SM-1), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2014, 183 p.
26. Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V. [i dr.], *Patent na izobretenie* RU 2591825 C1, Spособ opredeleniya sodержaniya kadmiya v pecheni krupnogo rogatogo skota, Zayavka № 2015116391/15 ot 29.04.2015; Opubl. 20.07.2016. (In Russ.)

27. Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N. [i dr.], *Patent na izobretenie* RU 2602915 C1, *Sposob opredeleniya kontsentratsii svintsya v legkikh krupnogo rogatogo skota*, Zayavka № 2015130994/15 ot 24.07.2015; Opubl. 20.11.2016. (In Russ.)
28. Strizhkova M.V., *Soderzhanie, izmenchivost' i korrelyatsiya makroelementov v organakh i tkanyakh krupnogo rogatogo skota cherno-pestroi porody* (Content, variability and correlation of macronutrients in organs and tissues of Black-and-white cattle), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2018, 126 p.
29. Narozhny`x K.N., *Izmenchivost`, korrelyatsiya i uroven` tyazhely`x metallov v organax i tkanyax gerefordskogo skota v usloviyax Zapadnoj Sibiri* (Variability, correlation and level of heavy metals in organs and tissues of Hereford cattle in the conditions of Western Siberia), Candidate's thesis, Novosibirsk, 2019, 163 p.
30. Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Korotkevich O.S. [et al.], Correlation of the iron level in the bristles of Kemerovo pigs with macro- and essential microelements, *Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference "Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture"* (FSRAABA 2021). – Tyumen: EDP Sciences, 2021, 06032.
31. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S. [et al.], Direct determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 6, pp. 958–964.
32. Syso A.I., *Agrokimiya v XXI veke* (Agrochemistry in the XXI century), Proceedings of the All-Russian Scientific Conference with international participation dedicated to the memory of Academician of the Russian Academy of Sciences V.G. Mineev, Moscow, 2018, pp. 30–33. (In Russ.)
33. Filipoiu D.C., Bungau S.G., Endres L. [et al.], Characterization of the toxicological impact of heavy metals on human health in conjunction with modern analytical methods, *Toxics*, 2022, Vol. 10, No. 12, pp. 716.
34. Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Konovalova T.V. [i dr.], *Zakonomernosti akkumulyatsii kadmiya v organakh i shchetine svinei kemerovskoi porody*, *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*, 2023, No. 1 (66), pp. 140–149. (In Russ.)
35. Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «*O bezopasnosti pishchevoi produkcii*» TR TS 021/2011: *sait elektronnyi fond normativno-tekhnicheskoi i normativno-pravovoi informatsii Konsortsiuma «Kodeks»*. – 2024 [Elektronnyi resurs]. Data obnovleniya: 25.11.2022. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/n/iarcmono58/pdf/>. (data obrashcheniya: 26.01.2024). (In Russ.)
36. Tekhnicheskii reglament Tamozhennogo soyuza «*O bezopasnosti myasa i myasnoi produkcii*» TS 034/2013: *sait elektronnyi fond normativno-tekhnicheskoi i normativno-pravovoi informatsii Konsortsiuma «Kodeks»*. – 2024 [Elektronnyi resurs]. Data obnovleniya: 11.10.2013. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050564?ysclid=lrujs06e8751107777§ion=text>. (data obrashcheniya: 26.01.2024). (In Russ.)
37. European Commission. Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006, *Official Journal of the European Union*, 2023, Vol. 119, pp. 103–157.
38. Leontopoulos S., Gougoulas N., Kantas D. [et al.], Heavy metal accumulation in animal tissues and internal organs of pigs correlated with feed habits, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2015, Vol. 21, No. 3, pp. 699–703.
39. Haskovic E., Muhic-Sarac T., Lukic M. [et al.], Determination of heavy metals in liver and skeletal muscles of pigs and calves: experience from Bosnia and Herzegovina, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2021, Vol. 27, No. 3, pp. 593–599.
40. Chalabis-Mazurek A., Valverde Piedra J. L., Muszynski S. [et al.], The concentration of selected heavy metals in muscles, liver and kidneys of pigs fed standard diets and diets containing 60% of new rye varieties, *Animals*, 2021, Vol. 11, No. 5, 1377.
41. Charkiewicz A.E., Omeljaniuk W.J., Nowak K. [et al.], Cadmium toxicity and health effects – A Brief Summary, *Molecules*, 2023, Vol. 28, No. 18, 6620.