

DOI: 10.31677/2072-6724-2023-66-1-140-149
УДК 636.61:636.2

ЗАКОНОМЕРНОСТИ АККУМУЛЯЦИИ КАДМИЯ В ОРГАНАХ И ЩЕТИНЕ СВИНЕЙ КЕМЕРОВСКОЙ ПОРОДЫ

А.В. Назаренко, старший научный сотрудник
О.А. Зайко, кандидат биологических наук, доцент
Т.В. Коновалова, старший научный сотрудник
О.С. Короткевич, доктор биологических наук, профессор
О.И. Себежко, кандидат биологических наук, доцент
В.Л. Петухов, доктор биологических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: andrey2221100@mail.ru

Ключевые слова: аккумуляция, кадмий, токсичность, органы, щетина, кемеровская порода, свиньи, физиологическое состояние.

Реферат. Изучен средний уровень содержания и изменчивости кадмия в щетине, почках и селезенке свиней кемеровской породы. Исследования проведены на свиномкомплексе в Кузбассе. Пробы органов у свиней были взяты непосредственно после убоя и проанализированы на базе аналитического центра коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (АЦКП ИГМ СО РАН) методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной и электротермической атомизацией на спектрометре SOLAAR M6 (США) согласно ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. Нормальным распределением характеризовался уровень кадмия в щетине ($W = 0,94$, $p > 0,05$) и почках ($W = 0,92$, $p > 0,05$). В зоне разведения кемеровской породы исследовано содержание тяжелых металлов в почве, воде и кормах, которое не превышало ПДК. Средние показатели по содержанию кадмия в почках и селезенке укладывались в стандартные интервалы, установленные для свиней. Уровень кадмия в селезенке и щетине характеризовался меньшим межквартильным размахом по отношению к почкам. Полученные данные по концентрации кадмия в органах и щетине свиней кемеровской породы могут быть использованы для прижизненной оценки интерьера животных.

REGULARITIES OF CADMIUM ACCUMULATION IN ORGANS AND BRISTLE OF KEMEROVO BREED PIGS

A.V. Nazarenko, Senior Researcher
O.A. Zaiko, PhD in Biological Sciences, Associate Professor
T.V. Konovalova, Senior Researcher
O.S. Korotkevich, Doctor of Biological Sciences, Professor
O.I. Sebezko, PhD in Biological Sciences, Associate Professor
V.L. Petukhov, Doctor of Biological Sciences, Professor

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: andrey2221100@mail.ru

Keywords: accumulation, cadmium, toxicity, organs, bristles, Kemerovo breed, pigs, physiological state.

Abstract. The results of the atomic absorption analysis of the elemental status of pigs of Kemerovo breed are presented. The studies were carried out in pig farm in Kuzbass. Organ samples from pigs were taken immediately after slaughter and analyzed at the Analytical Center for Collective Use of the Sobolev Institute of Geology and Mineralogy (ACCU Sobolev IGM SB RAS) by atomic absorption spectrometry with flame and electrothermal atomization using SOLAAR M6 spectrometer (USA) according to State Standard 26929-94 "Raw food and food products. Cadmium levels in bristles ($W=0.94$, $p>0.05$) and kidneys ($W=0.92$, $p>0.05$) were characterized by normal distribution. In the breeding zone of the Kemerovo breed, the content of heavy metals in soil, water and feed was studied, which did not exceed the MPC. The mean cadmium levels in the kidneys and spleen were within the standard intervals established for pigs. Cadmium levels in the spleen and bristle were characterized by a smaller interquartile range relative to the kidneys. The obtained data on the concentration of cadmium in the organs and bristles of pigs of the Kemerovo breed can be used for the intravital assessment of the interior of animals.

Импортозамещение ввозимой животноводческой продукции из недружественных России стран по политическим и экономическим причинам является одной из главных задач нашего государства для обеспечения внутреннего и внешнего суверенитета. В связи с этим фокус научного и агропромышленного сектора должен быть направлен и в сторону микроэлементного статуса животных для получения в дальнейшем экологически чистой и безопасной сельскохозяйственной продукции с целью обеспечения нации необходимыми продуктами питания [1].

В Западной Сибири ведутся комплексные исследования генофонда и фенофонда пород, выведенных в данном регионе и важных для сельского хозяйства [2–5]. Наряду с этим проводится мониторинг воды, почвы, кормов, растений на концентрацию тяжелых металлов в этих биосубстратах в качестве меры повышения эффективного производства продукции животноводства [6, 7].

Кадмий относится к токсичным химическим элементам, содержащимся в окружающей среде в виде различного рода соединений, часть из которых обладает особенной реактивностью и избирательным влиянием на органы и ткани, а также длительным периодом накопления и выведения из организма [8]. Промышленность и интенсификация сельскохозяйственного производства влияют на распространение загрязнения территорий, в частности кормовых культур и водных источников, находящихся на них, что в дальнейшем приводит к накоплению микроэлемента в мясных продуктах. Помимо этого, существуют естественные природные географические регионы, а также районы с фоновыми значениями кадмия в почве, превышающими аналогичные в других областях [9].

Большинство животных в постнатальный период имеют низкие концентрации микроэлемента в органах и тканях. С возрастом он аккумулируется в основном в печени и почках. Биологическая доступность, всасывание и токсичность тяжелого металла зависят от ряда факторов, таких как питание, сбалансированность рационов по макро- и микроэлементному составу, многоплодность, физиологическое состояние и отсутствие заболеваний. Следует отметить высокую способность кадмия проникать через клеточные мембраны и связываться с высокомолекулярными аффинными лигандами. Основной путь для попадания в организм – алиментарный [10]. Антагонизм микроэлементов между собой также существенно влияет на поглощение

и всасывание кадмия. Например, кадмий по отношению к цинку проявляет антагонистическое отношение, и при увеличении концентрации одного понижается уровень другого, и наоборот. Кроме того, данный микроэлемент сложно взаимосвязан с железом [11], статус которого в желудочно-кишечном тракте напрямую влияет на всасывание первого, поскольку оба имеют сходные пути абсорбции из кишечника [12, 13]. Сходными механизмами обусловлена и проницаемость кадмия через различные биомембраны, например, через кальциевые каналы [14]. В почках животных этот химический элемент способен индуцировать металлотioneин (МТ) аппарата Гольджи, который способен связывать тяжелые металлы с ярко выраженными ксенобиотическими свойствами [15]. При этом в кровяном русле и эритроцитах он находится в связанном состоянии с металлотioneином, образуя комплекс $Cd-MT$, который фильтруется в почечных тельцах и реабсорбируется в проксимальных канальцах, где разрушается. Высокие концентрации кадмия при высвобождении приводят к необратимому повреждению канальцевых клеток. Особенно выражен данный процесс при перегрузке микроэлементом. Высокий уровень кадмия приводит к нарушению белкового обмена, в связи с чем происходит потеря протеинов с мочой [16]. Скорость выведения химического элемента с мочой ниже, чем скорость поглощения и всасывания, что подчеркивает главную роль детоксикации ксенобиотика при избыточных концентрациях и говорит о целесообразности корректировки микроэлементного статуса животных наряду с общим наращиванием компенсаторных механизмов гомеостаза макро- и микроэлементного состава.

Цель работы – определить закономерности в накоплении кадмия в органах и щетине свиней кемеровской породы Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследованы щетина, почки и селезенка от 26 свиней кемеровской породы в возрасте 6–7 месяцев на свинокомплексе. Пробы органов были отобраны непосредственно после убоя животных.

В Кузбассе проводится постоянный мониторинг воды, почвы, кормов, органов и тканей сельскохозяйственных животных. Показано, что в районах, в которых разводились иссле-

дуемые породы, содержание макро- и микро-элементов не превышало ПДК [17].

Изучение элементного состава паренхиматозных органов проводилось на базе аналитического центра коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (АЦКП ИГМ СО РАН) методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной и электротермической атомизацией на спектрометре SOLAAR M6 (США) согласно ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов [18].

Для анализа брали навеску пробы массой 10 г, измельчали до монодисперсного состояния посредством механической автоматической мельницы ИКА A11 basic (Германия) и помещали в кварцевую чашу. Затем чашу с получившейся субстанцией ставили в сушильный шкаф на 10 мин, температура которого доведена до 150 °С, для удаления избытка влаги. После этого мясную навеску пробы еще раз взвешивали и отбирали в кварцевую чашу 1 г. Ставили чашу в муфельную печь, разогретую до 250 °С. Для получения золы пробу обугливали в электропечи в течение 10–15 мин при температуре 450 °С. После этого пробу вынимали и охлаждали до комнатной температуры, затем растворяли содержимое в 1 мл HNO₃ марки ОСЧ. Впоследствии ставили пробу в сушильный шкаф при температуре 140 °С для выпаривания кислоты. Получившийся остаток переносили в мерную колбу на 50 мл, разбавляли 25 мл дистиллированной воды и затем проводили анализ.

При анализе исходных данных использовали описательную статистику. Все показатели проверялись на нормальность распределения при помощи метода Шапиро-Уилка (W). По каждому параметру вычисляли среднюю арифметическую ($\bar{x}$), ошибку средней ($\pm SE$), σ – среднее квадратическое отклонение, Q_1 и Q_3 – первый и третий квартили, IQR – межквартильный размах, lim – минимальное и мак-

симальное значение признака. Межквартильный размах (IQR) вычисляли как разность между третьим и первым квартилями.

Для ненормально распределенных признаков использовали метод, разработанный для небольших ($15 < n < 70$) выборок независимо от характера распределения [19]:

$$\bar{x} \approx \frac{a+2m+b}{4} + \frac{a-2m+b}{4n},$$

$$\sigma^2 \approx \frac{1}{n-1} \left(a^2 + m^2 + b^2 + \left(\frac{n-3}{2} \right) \frac{(a+m)^2 + (m+b)^2}{4} - n \left(\frac{a+2m+b}{4} + \frac{a-2m+b}{4n} \right)^2 \right),$$

где n – величина выборки;

a – минимальное значение признака;

b – максимальное значение признака;

m – медиана;

$\bar{x}$ – средняя арифметическая;

σ^2 – дисперсия.

Для оценки сходства паренхиматозных органов и щетины животных по содержанию кадмия строили кластерную дендрограмму.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием стандартного программного обеспечения из пакета Microsoft office (Excel 2016) и среды R (RStudio 2022.12.0+353, RBC).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кадмий поступает в организм животных непосредственно из окружающей среды. Большая часть микроэлемента поглощается с водой, кормами и вдыхаемым воздухом. Токсический эффект тяжелого металла оказывает непосредственное влияние на ферментативные клеточные системы ввиду высокой степени канцерогенности, обусловленной тесным родством к протеинам, нуклеиновым кислотам и ферментам. При этом поражаются в первую очередь биологические структуры, содержащие в своем составе серные группы – SH- [20–22].

В табл. 1 приведены средние значения содержания кадмия в органах и щетине свиней.

Таблица 1

Содержание кадмия в органах и щетине свиней, мг/кг
Content of cadmium levels in the organs and bristles of pigs, mg/kg

Органы, ткань	n	$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	σ	Me	Lim
Щетина	26	0,010±0,001	0,003	0,009	0,006–0,016
Почки	25	0,150±0,008	0,041	0,140	0,100–0,260
Селезенка	26	0,010±0,001	0,007	0,014	0,004–0,042

Нормальное распределение было выявлено для уровня кадмия в щетине ($W = 0,94$, $p > 0,05$) и почках ($W = 0,92$, $p > 0,05$). Ранжированность признака выглядела следующим образом: почки > селезенка > щетина в соотношении 15,50 : 1,55 : 1,00.

Следует отметить, что щетина является наиболее удобным и доступным биоматери-

алом, особенно если учитывать неприхотливость при сборе и транспортировке, который позволяет диагностировать уровень гомеостатического равновесия организма.

В табл. 2 приведена изменчивость уровня кадмия в органах и щетине свиней.

Таблица 2

Изменчивость уровня кадмия в органах и щетине свиней, мг/кг
Variability of cadmium levels in the organs and bristles of pigs, mg/kg

Органы, ткань	n	Q_1	Q_3	IQR	ПДК*
Щетина	26	0,008	0,013	0,005	–
Почки	25	0,13	0,173	0,043	1,0
Селезенка	26	0,01	0,015	0,005	0,3

*ПДК – предельно допустимая концентрация [23].

В селезенке наблюдалась наибольшая изменчивость тяжелого металла, в то время как в почках – минимальная. Полученные результаты не выходили за пределы установленных норм по уровню химического элемента в паренхиматозных органах. Согласно зарубежным источникам, допустимые уровни содержания кадмия в почках свиней аналогичны отечественным (1,0 мг/кг), но присутствует их градация: допустимая – 0,15–0,99, высокая – 2,0–30,0, хроническая токсичность – более 13 мг/кг [24].

У птиц отмечена тканевая цитотоксичность, вызванная дефицитом некоторых макро- и микроэлементов при поступлении кадмия в организм [25]. Низкие концентрации кальция в кормах способствуют быстрой абсорбции и распределению микроэлемента в тканях [26]. Ярко выраженный антагонизм тяжелого металла к цинку приводит к дефициту последнего в организме и увеличению уровня кадмия [27].

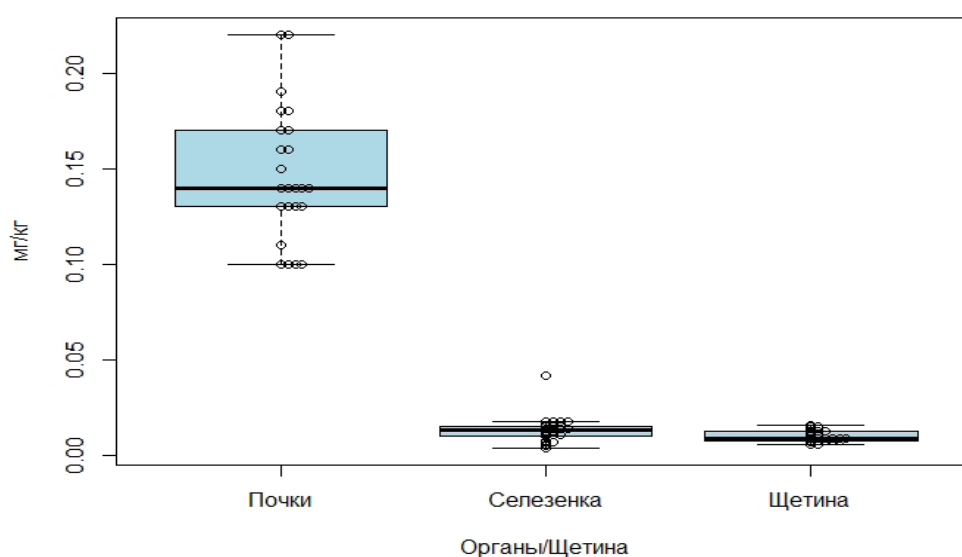


Рис. 1. График «ящик с усами» концентрации кадмия в щетине и паренхиматозных органах

Fig. 1. The «boxplot» graph of cadmium concentrations in bristle and parenchymatous organs

На рис. 1 графически отображены представленные в табл. 1 и 2 данные, откуда видно, что уровень кадмия в селезенке и щетине

характеризуется меньшим межквартильным размахом по отношению к почкам.

Выделено два кластера по аккумуляции кадмия в органах и щетине свиней (рис. 2).

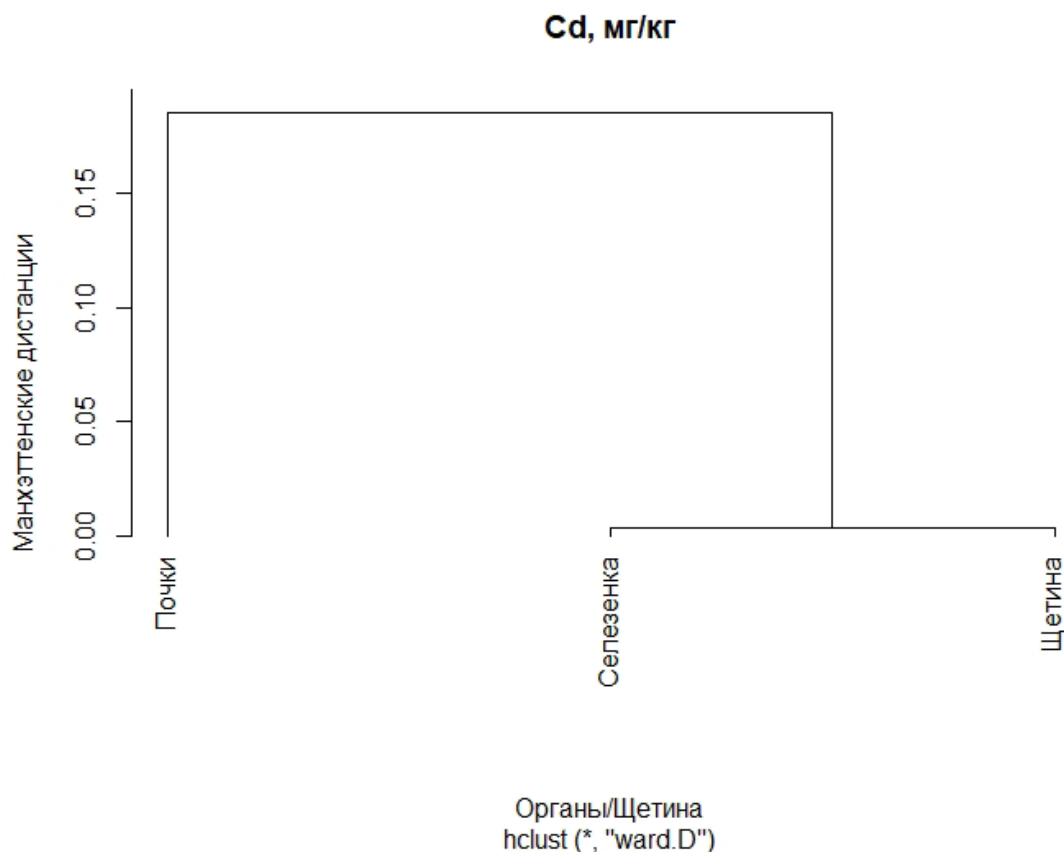


Рис. 2. Кластерная дендрограмма распределения уровня кадмия в щетине и паренхиматозных органах

Fig. 2. Cluster dendrogram of allocation of cadmium level in bristles and parenchymal organs

Первый кластер представляют щетина и селезенка, что может свидетельствовать о роли наследственности в накоплении и распределении тяжелого металла. Во второй кластер включены почки. На генетическую детерминацию тяжелых металлов указывают межвидовые различия [27].

Полученные данные свидетельствуют о роли наследственности содержания кадмия в паренхиматозных органах и щетине. Подобная закономерность подтверждается результатами других исследований [28, 29]. Например, по данным О.А. Зайко, генофонд скороспелой мясной породы (СМ-1) влиял на уровень кадмия в щетине, других органах и мышечной ткани.

Таким образом, детерминация устойчивости или восприимчивости к аккумуляции тяжелых металлов в органах, тканях и щетине животных подтверждается межпородными, межлинейными различиями, влиянием гено-

типа производителей [30]. Показана возможность прижизненного определения у свиней уровня кадмия в мышцах, печени и легких. В качестве маркера депонирования кадмия в мышечной ткани, сердце и почках возможно использовать концентрацию марганца в копытном роге [31]. У крупного рогатого скота по концентрации марганца в волосе прижизненно устанавливают содержание кадмия в печени [32]. У того же вида животных маркером содержания кадмия в мышцах служит концентрация цинка и рубидия в сыворотке крови [33]. Уровень кадмия в легких у крупного рогатого скота определяют по концентрации железа и теллура в волосе [34].

Особенно важно использовать приведенные выше маркеры для определения содержания кадмия и корректировки его уровня в зонах антропогенного загрязнения этим металлом. Известно, что кадмиевая интоксикация вызывает поражение центральной нервной

и сердечно-сосудистой систем, гипертонию, почечную недостаточность, снижает воспроизводительную способность животных и обуславливает другие нарушения [35]. Для производства экологически безопасной продукции важен поиск прижизненных неинвазивных или малоинвазивных маркеров накопления кадмия в органах и тканях, что позволит при необходимости корректировать рационы.

ВЫВОДЫ

1. Установлены средние концентрации кадмия в органах и щетине свиней кемеров-

ской породы, которые были ранжированы следующим образом: почки > селезенка > щетина в соотношении 15,50 : 1,55 : 1,00.

2. Показано, что уровень микроэлементов в паренхиматозных органах не превышал референсных значений. Полученные данные могут быть приняты в качестве физиологической нормы для свиней, разводимых в Западной Сибири.

3. Выявлены фенотипические дистанции между паренхиматозными органами и щетиной по содержанию кадмия. При группировке были выделены два кластера, из которых в первый входили селезенка и щетина, во второй – почки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башлакова О.И. Проблемы экологической безопасности России // Вестник МГИМО университета. – 2015. – № 3 (42). – С. 112–121.
2. Генофонд и фенофонд сибирской северной породы и черно-пестрой породной группы свиней / В.Л. Петухов, В.Н. Тихонов, А.И. Желтиков [и др.]. – Новосибирск: Прометей, 2012. – 579 с.
3. *Selective constraints in cold-region wild boars may defuse the effects of small effective population size on molecular evolution of mitogenomes* / J. Chen, P. Ni, T.N. Thi Tran, E.V. Kamaldinov [et al.] // Ecology and Evolution. – 2018. – Vol. 8, N 16. – P. 8102–8114.
4. Патент № 2004113866/13 РФ. Способ сохранения редких и исчезающих пород животных / Петухов В.Л., Эрнст Л.К., Желтиков А.И. [и др.]. – № 2270562. 2004: заявл.05.05.2004: опубл. 27.02.2006. – 8 с.
5. *Biochemical, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia* / O.I. Sebezheko, O.S. Korotkevich, T.V. Konovalova [et al.] // Proceedings of the 3rd International Symposium for Agriculture and Food. – ISAF, 2017. – P. 100.
6. Проблемы сельскохозяйственных животных / Б.Л. Панов, В.Л. Петухов [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. предпр. РАН, 1997. – 283 с.
7. Галатова Е.А. Особенности накопления и распределения тяжелых металлов в системе вода – донные отложения – гидробионты (на примере реки Уй): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Екатеринбург, 2007. – 19 с.
8. *Patrick L. Toxic metals and antioxidants: part II, the role of antioxidants in arsenic and cadmium toxicity* // Altern. Med. Rev. – 2003. – N 8. – P. 106–128.
9. *More Essential elements and heavy metal concentrations in a small area of the Castlecomer Plateau Co. Kilkenny, Ireland: implications for animal performance* / M.J. Canty [et al.] // Ir. J. Agric. Food Res. – 2011. – N 50. – P. 223–238.
10. *The accumulation of potentially-toxic metals by grazing ruminants* / J.M. Wilkinson, J. Hill, C.J.C. Phillips // Proc. Nutr. Soc. – 2003. – N 62. – P. 267–277.
11. *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. – 2021. – P. 06032.
12. *Impact of iron status on cadmium uptake in suckling piglets* / H. Öhrvik [et al.] // Toxicology. – 2007. – N 240. – P. 15–24.
13. *Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia)* / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, Y.I. Fedyaev [et al.] // Indian Journal of Ecology. – 2017. – Vol. 44, N 2. – P. 217–220.
14. *Cadmium toxicity in animal cells by interference with essential metals* / E. Martelli [et al.] // Biochimie. – 2006. – N 88. – P. 1807–1814.

15. *Accumulation and detoxification of metals and arsenic in tissues of cattle (*Bos taurus*) and the risks for human consumption* / S. Roggeman [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2014. – N 466–467. – P. 175–184.
16. *Ja R. Berrocoso J.D.* Review: the use of dietary fiber and its impact on the physiological functions and intestinal health of pigs // *Animal.* – 2015. – N 9. – P. 1441–1452.
17. *Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia* / A.I. Syso, M.A. Lebedeva, A.S. Cherevko [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research.* – 2017. – Vol. 9 (4). – P. 368–374.
18. *ГОСТ 26929-94 Сырые и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов: Введ. 1996-01-01.* – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 9 с.
19. *Estimation the mean and variance from the median, range and the size of a sample* / S.P. Hozo, B. Djulbegovic, I. Hozo // *BMC Medical Research Methodology.* – 2005. – Vol. 5 (1). – P. 13.
20. *A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques* / C. Li, K. Zhou, W. Qin // *Soil and Sediment Contamination: an International Journal.* – 2019. – Vol. 28. – P. 380–394.
21. *Global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population* / S. Satarug, J.R. Baker, S. Urbenjapol [et al.] // *Toxicol. Lett.* – 2003. – Vol. 137. – P. 65–83.
22. *Waalkes M.P.* Cadmium carcinogenesis in review // *J. Inorg. Biochem.* – 2000. – Vol. 79. – P. 241–244.
23. *СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.* – М.: ФГУП «Интерсен», 2002. – 168 с.
24. *Puls R.* Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data // *Sherpa International.* – 1994. – Vol. 2. – P. 356.
25. *Effects of nutritional factors on metabolism of dietary cadmium at levels similar to those of man* / M.R. Fox [et al.] // *Environ. Health Perspect.* – 1979. – Vol. 28. – P. 107–114.
26. *Effects of zinc, iron and copper deficiencies on cadmium in tissues of Japanese quail.* *Environ / M.R. Fox [et al.] // Health Perspect.* – 1984. – Vol. 54. – P. 57–65.
27. *The influence of calcium content in diet on cumulation and toxicity of cadmium in the organism* / M.M. Brzoska, J. Moniuszko-Jakoniuk // *Arch. Toxicol.* – 1998. – Vol. 72. – P. 63–73.
28. *Назаренко А.В.* Содержание и изменчивость кадмия в щетине свиней разных пород // *Материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Горно-Алтайского гос. ун-та,* 2019. – С. 386–391.
29. *Аккумуляция кадмия и свинца в производных кожи кемеровской породы свиней* / А.В. Назаренко, О.И. Себежко, Ю.В. Волков [и др.] // *Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Казахстана, Монголии, Беларуси и Болгарии: сб. науч. докл. XX Междунар. науч.-практ. конф.* – Новосибирск: СФНЦА РАН, 2017. – С. 419–422.
30. *Зайко О.А.* Изменчивость и корреляции химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2014. – 182 с.
31. *Патент № G01N33/50 РФ.* Способ определения содержания кадмия в органах и мышечной ткани свиней / Петухов В.Л., Желтикова О.А., Желтиков А.И. [и др.]. – № 2342659. 2008; заявл. 28.03.2007; опубл. 27.12.2008. – 7 с.
32. *Патент № G01N33/48 РФ.* Способ определения содержания кадмия в печени крупного рогатого скота / Короткевич О.С., Нарожных К.Н., Коновалова Т.В. [и др.]. – № 2591825. 2016; заявл. 29.04.2015; опубл. 20.07.2016. – 5 с.
33. *Патент № G01N33/48 РФ.* Способ определения содержания кадмия в мышечной ткани крупного рогатого скота / Петухов В.Л., Короткевич О.С., Желтиков А.И. [и др.]. – № 2426119. 2011; заявл. 24.03.2010; опубл. 10.08.2011. – 7 с.
34. *Патент № G01N33/48 РФ.* Способ оценки кадмия в печени и легких крупного рогатого скота / Короткевич О.С., Нарожных К.Н., Коновалова Т.В. [и др.]. – № 2426119. 2015; заявл. 25.03.2014; опубл. 20.04.2015. – 6 с.
35. *Фокина В.Д., Покровская С.Ф.* Влияние загрязнения окружающей среды на сельскохозяйственных и диких животных. – Л.: Наука, 1982. – 191 с.

REFERENCES

1. Bashlakova O.I., *Vestnik MGIMO universiteta*, 2015, No. 3(42), pp. 112–121. (In Russ.)
2. Petukhov V.L., Tikhonov V.N., Zheltikov A.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Fridcher A.A., *Genofond i fenofond sibirskoj severnoj porody i cherno-pestroj porodnoj gruppy svinej* (Gene pool and pheno pool of the Siberian northern breed and the black-and-white breed group of pigs), Novosibirsk, Prometei, 2012, 579 p.
3. Chen J., Ni P., Thi Tran T.N., Kamaldinov E.V., Petukhov V.L., Han J., Liu X., Šprem N., Zhao S., *Ecology and evolution*, 2018, Vol. 8, No. 16, pp. 8102–8114.
4. Patent № 2004113866/13 RF. *Sposob sokhraneniya redkikh i ischezayushchikh porod zhivotnykh*, № 2270562, 2004, zayavl. 05.05.2004, opubl. 27.02.2006 / Petukhov V.L., Ernst L.K., Zheltikov A.I., Gart V.V., Zheltikova O.A., Petukhov I.V., Gart E.V., Marenkov V.G., Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S., Chysyma R.B. 8 s. (In Russ.)
5. Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Biryulya I.K., Petukhov V.L., Kamaldinov E.V., Narozhnykh K.N., Osadchuk L.V., *Proceedings of the 3rd International Symposium for Agriculture and Food*, ISAF, 2017, P. 100.
6. Panov B.L., Petukhov V.L., Ernst L.K., Gudilin I.I., Kulikova S.G., Korotkevich O.S., Dementiev V.N., Kochnev N.N., Marenkov V. G., Kochneva M.L., Nezavitin A.G., Smirnov P.N., Kondratov A.F., Zheltikov A.I., Bekenev V.A., Nozdrin G.A., *Problemy sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh* (Farm Animal Problems), Novosibirsk: Nauka. Sib. predpriyatie RAN, 1997, 283 p.
7. Galatova E.A., *Osobennosti nakopleniya i raspredeleniya tjazhelykh metallov v sisteme voda – donnye otlozheniya – gidrobionty (na primere reki Uj)* (Features of the accumulation and distribution of heavy metals in the system water - bottom sediments - hydrobionts (on the example of the Ui River)), Extended abstract of candidates thesis, Ekaterinburg, 2007, 19 p.
8. Patrick L., Toxic metals and antioxidants: part II, the role of antioxidants in arsenic and cadmium toxicity, *Alternative Medicine Reviews*, 2003, No. 8, pp. 106–128.
9. Canty M.J., McCormack S., Lane E.A., Collins D.M., More S.J., More Essential elements and heavy metal concentrations in a small area of the Castlecomer Plateau Co. Kilkenny, Ireland: implications for animal performance, *Irish Journal of Agricultural Food Research*, 2011, No. 50, pp. 223–238.
10. Wilkinson J.M., Hill J., Phillips C.J.C., The accumulation of potentially-toxic metals by grazing ruminants, *Procedure Nutrition Society*, 2003, No. 62, pp. 267–277.
11. Nazarenko A.V., Zaiko O.A., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Osintseva L.A., Correlation of the iron level in the bristles of kemerovo pigs with macro- and essential microelements, *International Scientific and Practical Conference*, 2021, P. 06032.
12. Ohrvik H., Oskarsson A., Lundh T., Skerfving S., Tallkvist J., Impact of iron status on cadmium uptake in suckling piglets, *Toxicology*, 2007, No. 240, pp. 15–24.
13. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev Y.I., Shishin N.I., Syso A.I., Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Osadchuk L.V., Iron content in soil, water, fodder, grain, organs and muscular tissues in cattle of Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 44, No. 2, pp. 217–220.
14. Martelli A., Rousselet E., Dycke C., Bouron A., Moulis J.M., Cadmium toxicity in animal cells by interference with essential metals, *Biochimie*, 2006, No. 88, pp. 1807–1814.
15. Roggeman S., de Boeck G., De Cock H., Blust R., Bervoets L., *Accumulation and detoxification of metals and arsenic in tissues of cattle (Bos taurus) and the risks for human consumption*, *Science Total Environment*, 2014, No. 466–467, pp. 175–184.
16. Ja R. Berrocoso J.D., Review: the use of dietary fiber and its impact on the physiological functions and intestinal health of pigs, *Animal*, 2015, No. 9, pp. 1441–1452.
17. Syso A.I., Lebedeva M.A., Cherevko A.S., Petukhov V.L., Sebezhko O.I., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Kamaldinov E.V., Sokolov V.A., Ecological and biogeochemical evaluation of elements content in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.

18. GOST 26929-94, *Syrje i produkty pishhevye. Podgotovka prob. Mineralizacija dlja opredelenija sodержanija toksichnyh jelementov* (Raw and food products. Sample preparation. Mineralization to determine the content of toxic elements), Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2002, 9 s. (In Russ.)
19. Hozo S.P., Djulbegovic B., Hozo I., Estimation the mean and variance from the median, range and the size of a sample *BMC, Medical Research Methodology*, 2005, Vol. 5 (1), P. 13.
20. Li C., Zhou K., Qin W., A review on heavy metals contamination in soil: effects, sources, and remediation techniques, *Soil and Sediment Contamination: an International Journal*, 2019, Vol. 28, pp. 380–394.
21. Satarug S., Baker J.R., Urbenjapol S., Haswell-Elkins M., Reilly P.E., Williams D.J., Moore M.R., Global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population, *Toxicology Letters*, 2003, Vol. 137, pp. 65–83.
22. Waalkes M.P., Cadmium carcinogenesis in review, *Journal of Inorganic Biochemistry*, 2000, Vol. 79, pp. 241–244.
23. Sanpin 2.3.2.1078-01, *Gigiyenicheskiye trebovaniya bezopasnosti i pishchevoy tsennosti pishchevykh produktov* (Hygienic requirements for the safety and nutritional value of food products), FGUP 'Intersen', 2002, 168 p. (In Russ.)
24. Puls R., Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data, *Sherpa International*, 1994, Vol. 2, pp. 356.
25. Fox M.R., Jacobs R.M., Jones A.O., Fry B.E., Effects of nutritional factors on metabolism of dietary cadmium at levels similar to those of man, *Environment Health Perspective*, 1979, Vol. 28, pp. 107–114.
26. Spivey Fox M.R., Tao Shyy-Hwa, Stone C.L., Fry B.E., Effects of zinc, iron and copper deficiencies on cadmium in tissues of Japanese quail. Environ, *Health Perspective*, 1984, Vol. 54, pp. 57–65.
27. Brzoska M.M., Moniuszko-Jakoniuk J., The influence of calcium content in diet on cumulation and toxicity of cadmium in the organism, *Archive Toxicology*, 1998, Vol. 72, pp. 63–73.
28. Nazarenko A.V., *Materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvjashh. 70-letiju Gorno-Altajskogo gos. un-ta*, 2019, pp. 386–391. (In Russ.)
29. Nazarenko A.V., Sebezhko O.I., Volkov Yu.V., Korotkevich O.S., Fikhman E.V., Mazurina E.P., *Agrarnaya nauka – sel'skokhozyaystvennomu proizvodstvu Sibiri, Kazakhstana, Mongolii, Belarusi i Bolgarii* (Agrarian science - agricultural production in Siberia, Kazakhstan, Mongolia, Belarus and Bulgaria), Proceedings of the Conference Title, Novosibirsk, 2017, pp. 419–422. (In Russ.)
30. Zaiko O.A., *Izmenchivost' i korrelyatsii khimicheskikh elementov v organakh i tkanyakh sviney skorospeloy myasnoy porody SM-1* (Variability and correlations of chemical elements in the organs and tissues of pigs of early maturing meat breed SM-1), Candidates thesis, Novosibirsk, 2014, 182 s.
31. Petuhov V.L., Zheltikova O.A., Zheltikov A.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Sebezhko O.I., Patent № G01N33/50 RF, *Sposob opredelenija sodержanija kadmija v organah i myshechnoj tkani svinej*: № 2342659. 2008: zajavl. 28.03.2007: opubl. 27.12.2008, 7 p. (In Russ.)
32. Korotkevich O.S., Narozhnyh K.N., Konovalova T.V., Petuhov V.L., Sebezhko O.I., Soloshenko V.A., Birjulja I.K., Zaiko O.A., Patent № G01N33/48 RF. *Sposob opredelenija sodержanija kadmija v pecheni krupnogo rogatogo skota*: № 2591825. 2016: zajavl. 29.04.2015: opubl. 20.07.2016, 5 p. (In Russ.)
33. Petuhov V.L., Korotkevich O.S., Zheltikov A.I., Petuhova T.V., Patent № G01N33/48 RF. *Sposob opredelenija sodержanija kadmija v myshechnoj tkani krupnogo rogatogo skota*: № 2426119. 2011: zajavl. 24.03.2010: opubl. 10.08.2011, 7 p. (In Russ.)
34. Korotkevich O.S., Narozhnyh K.N., Konovalova T.V., Petuhov V.L., Sebezhko O.I., Zaiko O.A., Kupcov A.V., Grevcov D.S., Miller I.S., Strizhkova M.V., Patent № G01N33/48 RF. *Sposob ocenki kadmija v pecheni i legkih krupnogo rogatogo skota*: № 2426119. 2015: zajavl. 25.03.2014: opubl. 20.04.2015, 6 p. (In Russ.)

35. Fokina V.D., Pokrovskaja S.F., *Vliyaniye zagryazneniya okruzhayushchey sredy na sel'skokhozyaystvennykh i dikikh zhivotnykh* (Impact of environmental pollution on farm and wild animals), Nauka, 1982, 191 p.