

DOI: 10.33284/2658-3135-102-1-54

УДК 546.81:637.62:636.22/.28.082.13

Влияние концентрации свинца в шерсти на межэлементное взаимодействие и молочную продуктивность голштинских коров

С.А. Мирошников^{1,2}, О.А. Завьялов¹, А.Н. Фролов¹

¹ ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»

² ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

Аннотация. Для оценки влияния уровня свинца в шерсти на элементный статус и молочную продуктивность проведено исследование на коровах голштинской породы первой лактации, живой массой 500-550 кг. Элементный статус изучался в период раздоя на 30-40 сутки после отёла.

На первом этапе исследований изучен элементный состав шерсти коров голштинской породы (n=198), разводимых в одном из регионов России – Ленинградской области, на основании этих исследований установлены процентильные интервалы (25 и 75 перцентиль) распределения концентраций химических элементов в волосах, принятые в качестве «физиологической нормы».

На втором этапе исследований на клинически здоровых коровах голштинской породы в условиях ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области (n=47) и ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области (n=50) дана оценка зависимости уровня свинца в шерсти на элементный статус и молочную продуктивность. Для этого животных на основании расчётов перцентилей по уровню свинца разделили на шесть групп, по три группы в каждом из хозяйств: I и IV группы – до 25-го перцентилья, II и V – в границах 25-75-го перцентилья, III и VI – выше 75-го перцентилья.

Элементный состав волос определяли по 25 химическим элементам методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии.

Установлено, что в шерсти животных III группы было выше совокупное содержание токсичных микроэлементов на 73,8 % ($P \leq 0,01$) и 40,0 %, эссенциальных – на 2,46 раза ($P \leq 0,05$) и 57,7 % ($P \leq 0,05$), при снижении 1 % среднесуточного удоя молока на 24,6 и 4,2 %, жира – 19,8 и 3,9 %, белка – 12,5 и 2,6 %, СОМО – 10,5 и 5,0 % соответственно по сравнению с I и II группами.

Аналогичная закономерность получена и во втором хозяйстве, где по мере увеличения концентрации свинца происходит нарастание токсичных и эссенциальных микроэлементов.

Оценка корреляционных связей между концентрациями токсичных и эссенциальных микроэлементов в шерсти животных выявила нарастание числа достоверных связей по мере увеличения концентрации свинца с 0,0245--0,247 до 1,49-3,0 мкг/г с 7-8 до 15.

На основании вышеизложенного сделано заключение о перспективности оценки уровня токсичных элементов при прогнозировании молочной продуктивности скота.

Ключевые слова: коровы, голштинская порода, элементный статус, шерсть, концентрация свинца, токсичные элементы, молочная продуктивность.

UDC 546.81:637.62:636.22/.28.082.13

Effect of lead concentration in hair on elemental interrelation and milk production of the Holstein cows

S.A. Miroshnikov^{1,2}, O.A. Zavyalov¹, A.N. Frolov¹

¹ FSBSI «Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences»

² FSBEI HE «Orenburg State University»

Summary. To assess the effect of lead level in hair on elemental status and milk productivity, a study was conducted on Holstein cows of the first lactation, with a live weight of 500-550 kg. The elemental status was studied in the period of increasing the milk yield within 30-40 days after calving.

At the first stage of research, the elemental composition of hair of the Holstein cows (n=198), bred in one of Russian regions – the Leningrad region, was studied; on the basis of these studies, percentile distributions of concentrations of chemical elements in hair were established and «physiological standard» was adopted.

At the second stage of research the dependence of lead level in hair on the elemental status and dairy productivity on clinically healthy cows of the Holstein breed in the conditions of CJSC «Gatchinskoe» of the Leningrad Region (n=47) and LLC «Agrofirm Promyshlennaya» of the Orenburg Region (n=50) was assessed. For this, based on lead level calculations, animals were divided into six groups, three groups in each farm: I and IV groups – up to the 25th percentile, II and V – within the boundaries of the 25-75th percentile, III and VI – is above the 75th percentile.

The elemental composition of the hair was determined by 25 chemical elements by atomic emission and mass spectrometry.

It was established that the total content of toxic trace elements in hair of animals of group III was higher by 73.8 % ($P \leq 0.01$) and 40.0 %, and essential – by 2.46 times ($P \leq 0.05$) and 57.7 % ($P \leq 0.05$), with a decrease of 1 % of the average daily milk yield by 24.6 and 4.2 %, fat – 19.8 and 3.9 %, protein – 12.5 and 2.6 %, SOMO – 10.5 and 5.0 %, respectively, compared with the I and II groups.

A similar pattern was obtained in the second farm, there the concentration of lead increases, and toxic and essential microelements also increase

An assessment of correlation relationships between the concentrations of toxic and essential trace elements in animal hair revealed an increase in the number of reliable bonds with increasing lead concentration from 0.0245-0.247 to 1.49-3.0 $\mu\text{g/g}$ from 7-8 to 15.

Based on the above, a conclusion was made about the prospects of assessing the level of toxic elements in predicting the milk production of livestock.

Key words: cows, Holstein breed, elemental status, hair, lead concentration, toxic elements, milk productivity.

Введение.

Проблема высокого содержания токсичных микроэлементов в животноводческой продукции является крайне актуальной [1, 2], это обусловлено в том числе новыми данными о роли токсичных элементов (свинец, кадмий и др.) в развитии аутизма [3-5], болезней Альцгеймера, Паркинсона и шизофрении, заболеваний сердца и др. [6], причём при значительно меньших, чем ранее предполагалось, концентрациях. Эти данные в последние годы побудили американские центры по контролю и профилактике заболеваний снизить критические нормы содержания свинца в крови детей с 10 мкг/дл до 5 мкг/дл [7]. Хотя на момент принятия этого решения число детей в США с содержанием свинца в крови большим 10 мкг/дл уже составляло около 250 000 [8].

Токсичные элементы оказывают пагубное влияние на организм и продуктивность сельскохозяйственных животных. Одним из широко распространённых загрязнителей окружающей среды является свинец. Этот элемент индуцирует широкий спектр физиологических и биохимических нарушений у сельскохозяйственных животных [9]. Будучи кумулятивным ядом, свинец накапливается в мозге, печени, почках, костной и кроветворной системах [10-12] и подавляет рост животных [13,14]. Биохимические и молекулярные механизмы токсичности свинца реализуются через индукцию окислительного стресса в клетках-мишенях и генерацию активных форм кислорода (АФК), после повреждения ДНК и апоптоза, частично через прямое воздействие свинца на мембраны клеток, свинец-гемоглобин взаимодействия, последовательное снижение в крови дельта-аминолевулиновой кислоты, дегидратазы, влияние свинца на антиоксидантных защитных систем клеток [15-20].

Закономерно, что высокий уровень свинца в организме сельскохозяйственных животных приводит к снижению эффективности обмена веществ и сопровождается падением продуктивности [21-23].

Однако до настоящего времени нет сколько-нибудь обстоятельных рекомендаций, обеспечивающих принятие решения о необходимости и инструментах коррекции метаболизма продуктивных животных при нагрузках токсическими элементами в условиях отсутствия яркого проявления токсических реакций. Хотя в литературе широко обсуждается зависимость продуктивности животных от обменного пула токсичных элементов в организме [24]. Рассматриваются перспекти-

вы создания индивидуальных систем мониторинга и управления метаболизмом высокопродуктивных животных, в том числе с учётом эффективности работы систем детоксикации и выведения токсических элементов [25]. Необходимость отслеживания и коррекции низких уровней свинца и других токсичных элементов в организме признаётся и в медицине [6], что очевидно требует от нас принятия мер по снижению их уровня в животноводческой продукции.

Цель исследования.

Изучение связи содержания свинца в шерсти с продуктивностью и интерьерными характеристиками молочных коров.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Молочные коровы голштинской породы первой лактации.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями Russian Regulations, 1987 (Order No. 755 on 12.08.1977 the USSR Ministry of Health) and «The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press Washington, D.C. 1996)». При выполнении исследований были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшения количества используемых образцов.

Материалы и методы исследования.

Схема эксперимента. Исследования выполнялись в 2016-2017 годах на модели молочных коров голштинской породы в ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области и ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области (Россия). Для исследований были отобраны животные первой лактации, живой массой 500-550 кг. Элементный состав шерсти изучался на 30-40 сутки после отёла.

На первом этапе в условиях ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области проведено исследование элементного состава шерсти коров голштинской породы ($n=198$). На основании этих исследований были установлены процентильные интервалы распределения концентраций химических элементов в шерсти, определены значения 25 и 75 процентиля.

Выбор процентильных интервалов основывался на ранее выполненных работах для человека [26] и крупного рогатого скота [27], где была выделена «физиологическая норма» – от 25-го до 75-го процентиля.

На втором этапе исследований из клинически здоровых коров голштинской породы были отобраны в условиях ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области 47 голов и в ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области 50 голов. В ходе обследования проведён отбор проб шерсти животных с последующим исследованием элементного состава. На основании полученных данных, в зависимости от концентрации Pb в шерсти коровы были разделены на шесть групп, по три группы в каждом из хозяйств: I и IV группы – до 25-го процентиля, II и V – в границах 25-75-го процентиля, III и VI – выше 75-го процентиля, рассчитанных отдельно по каждой микропопуляции.

Отбор и пробоподготовка образцов волос. Образцы волос массой не менее 0,4 г отбирались с верхней части холки животных согласно методики [28]. Для отбора образцов применялись ножницы из нержавеющей стали, которые предварительно обрабатывались этиловым спиртом. Чтобы оценить элементный статус организма за ближайший к отбору проб отрезок времени и снизить уровень внешнего загрязнения, которое может наблюдаться в дистальных частях, нами отбиралась проксимальная часть волос длиной 15 мм от корня.

Собранные образцы волос промывали в ацетоне («Химмед», Россия) в течение 10-15 минут, а затем трижды промывали в деионизированной воде (18 МΩ см). После этого образцы высушивали при +60 °C до воздушно-сухого состояния. Соответствующие веса образцов (около 0,05 г) были обработаны 5 мл азотной кислотой («Химмед», Россия) в микроволновой системе Multiwave 3000 («PerkinElmer-A. Paar», Австрия) с использованием следующего режима: в течение 5 минут температура поднималась до +200 °C, 5 минут находились при +200 °C, затем охлаждались до +45 °C.

Расщеплённые растворы количественно переносили в 15 мл полипропиленовые пробирки; вкладыши и верхушки трижды промывали деионизированной водой, а полоскания переносили в соответствующие пробирки. Затем растворы заполняли до 15 мл деионизированной водой и тщательно перемешивали путём встряхивания в закрытых пробирках.

Определение основных (Co, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Se, Si, V, Zn) и токсичных (As, B, Cd, Hg, Ni, Pb, Sn, Sr) микроэлементов в образцах проводили с использованием спектрометра NexION 300D (Perkin Elmer, США). Выпускной инструмент был выполнен с использованием одноэлементных универсальных наборов-стандартов сбора данных (PerkinElmer Inc., Shelton, CT 06484, США). Внутреннюю онлайн-стандартизацию выполняли с использованием 10 мкг/л чистого одноэлементного стандарта иттрия (Y) (PerkinElmer Inc., Shelton, CT 06484, США). Аналитическое качество подтверждено сертифицированным эталонным материалом для волос GBW09101 (Шанхайский институт ядерных исследований, Шанхай, Китай). Степень восстановления всех изученных микроэлементов находилась в пределах 90-110 %.

Отбор средних проб молока. Коровы механически доились три раза в день в 06.00, 14.00 и 22.00. Произведённое молоко взвешивали индивидуально от каждой коровы ежедневно в течение трёх дней подряд. Образцы сырого молока отбирались индивидуально от каждой коровы три раза в сутки при каждом доении, помещались в стерильные бутылки, охлаждались (до +5 °C) и отправлялись для анализа в лабораторию селекционного контроля качества молока ОАО «Невское» Ленинградской области и Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук. Следует отметить, что все анализы проб молока были проведены в день отбора образцов от животных. В отобранных образцах определялась концентрация сухого вещества, белка, жира, лактозы, мочевины и СОМО. Количество молока было скорректировано на содержание жира – 1 %.

Отбор средних проб крови. Образцы крови (9 мл) были взяты от каждой коровы (на следующий день после отбора проб молока) из хвостовой вены (ветеринарным врачом) в вакуумную пробирку.

Оборудование и технические средства. Все аналитические процедуры были выполнены в лаборатории Центра биотической медицины (г. Москва, Россия), ассоциированной компании IUPAC. Лаборатория также участвует в системе схем внешней оценки качества в области медицины труда и окружающей среды (EQAS OELM).

Деионизированную воду получали с помощью электрического дистиллятора с комбинированной мембранной установкой ДВС-М/1НА-1 (2) -L («Медиана-Фильтр», Россия).

Содержание жира, белка и лактозы в молоке оценивали с использованием процедуры FIL-IDF [30] на приборе «MilkoScan™ FT1» (Foss Electric, DK-3400, Hillerød, Дания). Подсчёт содержания соматических клеток проводили с использованием «Fossomatic TM 5000» (Foss Electric, DK-3400, Hillerød, Дания).

Статистическая обработка. Для проверки гипотезы о нормальности распределения других количественных признаков применяли критерий Шапиро-Уилка. Закон распределения исследуемых числовых показателей отличался от нормального, поэтому достоверность различий проверяли при помощи U-критерия Манна-Уитни. Для определения существования силы функциональных связей между параметрами вычисляли коэффициенты корреляции Спирмена (Ks). Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали уровень значимости (P), при этом критический уровень значимости принимался меньшим или равным 0,05. В таблицах приведены средние значения показателей (M) и их стандартные отклонения ($\pm$ STD). Для обработки данных использовали пакет прикладных программ «Statistica 10.0» («Stat Soft, Inc.», США).

Результаты исследования.

При выполнении исследований в условиях ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области было установлено, что содержание Pb в шерсти животных I группы составляло 0,042 мкг/г, что оказалось в 1,95 раза меньше II и в 4,55 раза меньше III групп. При этом диапазон концентраций Pb в шерсти коров I группы составлял от 0,0245 до 0,0487 мкг/г, II – от 0,0492 до 0,141 мкг/г, III группы – от 0,145 до 0,247 мкг/г (табл. 1, 2).

Таблица 1. Содержание макро- и эссенциальных химических элементов в шерсти коров голштинской породы в зависимости от процентильного интервала концентрации Рв ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области, мкг/г ($M \pm STD$)

Элемент	Группа		
	I	II	III
Макроэлементы			
Ca	1923,2 $\pm$ 574,8	1527,4 $\pm$ 825,6	1805,0 $\pm$ 1155,1
K	3639,2 $\pm$ 438,6	3424,1 $\pm$ 1029,2	3995,4 $\pm$ 995,6
Mg	523,9 $\pm$ 94,7	457,1 $\pm$ 205,3	539,8 $\pm$ 295,2
Na	2506,1 $\pm$ 283,0	2712,4 $\pm$ 976,7	3572,8 $\pm$ 2094,8
P	267,3 $\pm$ 56,94	241,6 $\pm$ 41	266,3 $\pm$ 41,91
Эссенциальные элементы			
Co	0,036 $\pm$ 0,015	0,039 $\pm$ 0,008	0,063 $\pm$ 0,018**
Cr	0,082 $\pm$ 0,017	0,122 $\pm$ 0,029*	0,180 $\pm$ 0,096*
Cu	8,36 $\pm$ 0,48	8,86 $\pm$ 1,13	9,17 $\pm$ 0,90
Fe	111,6 $\pm$ 50,17	165,5 $\pm$ 78,2	382,7 $\pm$ 383,9
I	13,39 $\pm$ 3,75	15,88 $\pm$ 5,68	20,86 $\pm$ 17,49
Mn	4,34 $\pm$ 2,13	4,79 $\pm$ 1,36	6,95 $\pm$ 3,63
Se	1,14 $\pm$ 0,317	0,811 $\pm$ 0,222*	0,977 $\pm$ 0,192
Zn	125 $\pm$ 10,71	125,6 $\pm$ 16,39	126,3 $\pm$ 15,14

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

Таблица 2. Содержание условно-эссенциальных и токсичных микроэлементов в шерсти коров голштинской породы в зависимости от процентильного интервала концентрации Рв ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области, мкг/г ($M \pm STD$)

Элемент	Группа		
	I	II	III
Условно-эссенциальные элементы			
Li	0,065 $\pm$ 0,008	0,058 $\pm$ 0,014	0,055 $\pm$ 0,012
B	8,33 $\pm$ 2,78	6,08 $\pm$ 4,61	6,94 $\pm$ 4,56
Ni	0,179 $\pm$ 0,024	0,168 $\pm$ 0,043	0,273 $\pm$ 0,183
Si	10,79 $\pm$ 2,46	9,19 $\pm$ 3,12	5,67 $\pm$ 2,65**
V	0,016 $\pm$ 0,005	0,021 $\pm$ 0,008	0,026 $\pm$ 0,01*
Токсичные элементы			
Al	2,5 $\pm$ 1,39	3,8 $\pm$ 2,43	5,3 $\pm$ 3,43
As	0,036 $\pm$ 0,007	0,035 $\pm$ 0,009	0,034 $\pm$ 0,005
Cd	0,003 $\pm$ 0,002	0,003 $\pm$ 0,001	0,004 $\pm$ 0,001
Hg	0,006 $\pm$ 0,003	0,004 $\pm$ 0,003	0,004 $\pm$ 0,002
Sn	0,032 $\pm$ 0,026	0,049 $\pm$ 0,088	0,025 $\pm$ 0,015
Sr	2,84 $\pm$ 0,75	2,45 $\pm$ 1,03	3,47 $\pm$ 2,24
Pb	0,042 $\pm$ 0,009	0,082 $\pm$ 0,031**	0,191 $\pm$ 0,034***

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

При этом совокупное содержание токсических и эссенциальных микроэлементов в шерсти животных III группы превысило уровень I группы на 73,8 % ($P \leq 0,01$) и в 2,46 раза ($P \leq 0,05$), II группы – на 40 % и 57,7 % ($P \leq 0,05$).

Сравнительная оценка полученных в ходе исследований результатов элементного состава шерсти коров голштинской породы выявила факт значительных различий в минерализации этого биосубстрата, оцениваемого по показателю суммы количества веществ (табл. 3).

Таблица 3. Σ химических элементов в шерсти коров ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области, ммоль/кг, (M $\pm$ STD)

Элементы	Группа		
	I	II	III
Макроэлементы (Ca, K, Mg, Na, P)	278,6 $\pm$ 33,9	270,2 $\pm$ 83,1	344,9 $\pm$ 160,2
Эссенциальные микроэлементы (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Zn, I)	4,23 $\pm$ 1,2	5,25 $\pm$ 1,4	7,35 $\pm$ 1,8**
Токсичные микроэлементы (Al, As, Cd, Hg, Pb, Sn, Sr)	0,11 $\pm$ 0,03	0,17 $\pm$ 0,09	0,27 $\pm$ 0,14*

Примечание: * – P $\leq$ 0,05; ** – P $\leq$ 0,01 по сравнению с I группой

В III группе констатировано минимальное за опыт содержание жира – 1,46 кг, белка – 1,12 кг и сухого вещества – 4,85 кг при суточном удое 1 % молока 146,1 л, что на 36 л или 24,6 % (P $\leq$ 0,05) оказалось меньше, чем в I группе и на 6,1 л или 4,2 % меньше II группы (табл. 4).

Таблица 4. Количественные и качественные показатели молока в зависимости от процентильного интервала концентрации Pb в шерсти с холки коров голштинской породы ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области, M $\pm$ STD

Показатель	Группа		
	I	II	III
Среднесуточный надой, л	42,77 $\pm$ 6,3	41,09 $\pm$ 3,99	38,08 $\pm$ 3,4
Среднесуточный надой 1 % молока, л	182,1 $\pm$ 39,6	152,2 $\pm$ 30,79	146,1 $\pm$ 20,81*
В молоке содержится, кг/сут:			
жира	1,82 $\pm$ 0,396	1,52 $\pm$ 0,308	1,46 $\pm$ 0,208*
белка	1,28 $\pm$ 0,102	1,15 $\pm$ 0,106*	1,12 $\pm$ 0,070**
СОМО	3,8 $\pm$ 0,35	3,58 $\pm$ 0,322	3,4 $\pm$ 0,216*

Примечание: * – P $\leq$ 0,05; ** – P $\leq$ 0,01 по сравнению с I группой

Однако достоверная корреляционная связь между содержанием токсических элементов и показателями продуктивности животных была выявлена только по кадмию в связи с содержанием белка в суточном удое (табл. 5).

Таблица 5. Корреляция Спирмена токсичных элементов в шерсти коров голштинской породы с показателями молочной продуктивности и качества молока ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области

Показатель	Элементы						
	Al	Cd	Pb	Sn	Hg	Sr	As
Среднесуточный надой, л	-0,2	-0,1	-0,3	-0,2	0,2	-0,1	0,2
Среднесуточный надой 1 % молока, л	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	0,1	0,2	0,0
Выход жира, кг/сут	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	0,1	0,2	0,0
Выход белка, кг/сут	-0,3	-0,4*	-0,4	0,0	0,4	-0,2	0,2
Выход СОМО, кг/сут	-0,2	-0,2	-0,3	-0,2	0,1	-0,1	0,2

Примечание: * – корреляция значима на уровне P $\leq$ 0,05

При выполнении исследований в «Агрофирме Промышленная» Оренбургской области были выявлены относительно большие концентрации свинца в шерсти животных. Фактическое содержание свинца в шерсти животных IV группы составило 0,356 мкг/г, что в 2,02 раза оказалось меньше V и в 5,98 раза – меньше VI групп. При этом диапазон концентраций Pb в шерсти коров IV группы составил от 0,228 до 0,46 мкг/г, V – от 0,461 до 1,03 мкг/г, VI группы – от 1,49 до 3,0 мкг/г.

Элементный состав шерсти сравниваемых групп различался по содержанию ряда химических элементов (табл. 6, 7).

Таблица 6. Содержание макро- и эссенциальных элементов в шерсти коров голштинской породы в зависимости от процентильного интервала концентрации Pb ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области, мкг/г ($M \pm STD$)

Элементы	Группа		
	IV	V	VI
Макроэлементы			
Ca	1463,2±926,3	2033,1±1495	2013,4±566,6
K	2107,0±1057,0	2477,2±467	2311,1±432,9
Mg	437,8±156,9	583,1±182,2	528,8±109,7
Na	594,2±421,3	669,5±180,5	613,8±90,2
P	217,4±40,3	236,3±42,6	253,8±35,1
Эссенциальные микроэлементы			
Co	0,167±0,027	0,174±0,049	0,251±0,039**
Cr	0,747±0,179	0,724±0,285	1,22±0,195**
Cu	7,9±1,36	7,2±0,89	8,5±1,27
Fe	412,6±100	410,3±164	764,5±189**
I	0,18±0,114	0,25±0,126	0,20±0,026
Mn	13,1±3,3	19,9±8,66	20,6±2,8**
Se	0,475±0,143	0,561±0,16	0,563±0,098
Zn	140,2±14,1	206,2±92,4	288,3±72,8**

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

Таблица 7. Содержание условно-эссенциальных и токсичных элементов в шерсти коров голштинской породы в зависимости от процентильного интервала концентрации Pb в ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области, мкг/г ($M \pm STD$)

Элемент	Группа		
	I	II	III
Условно-эссенциальные элементы			
Li	0,472±0,111	0,481±0,098	0,545±0,029
B	3,18±3,13	4,44±2,02	3,23±2,12
Ni	0,77±0,13	0,78±0,20	1,17±0,15**
Si	5,31±5,09	8,41±9,19	4,61±2,69
V	0,77±0,175	0,76±0,353	1,18±0,241*
Токсичные элементы			
Al	246,2±76,4	198,4±93,2	344,8±63,8
As	0,162±0,012	0,140±0,028	0,215±0,046*
Cd	0,011±0,004	0,014±0,006	0,018±0,004*
Hg	0,003±0,002	0,003±0,002	0,003±0,002
Pb	0,36±0,091	0,72±0,218**	2,13±0,729***
Sn	0,012±0,01	0,014±0,007	0,011±0,012
Sr	4,98±2,29	7,22±3,72	7,2±2,38

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

По мере увеличения концентраций свинца в шерсти отмечалось общее увеличение минерализации этого биосубстрата, исключением являлся только кремний (рис. 1, 2).

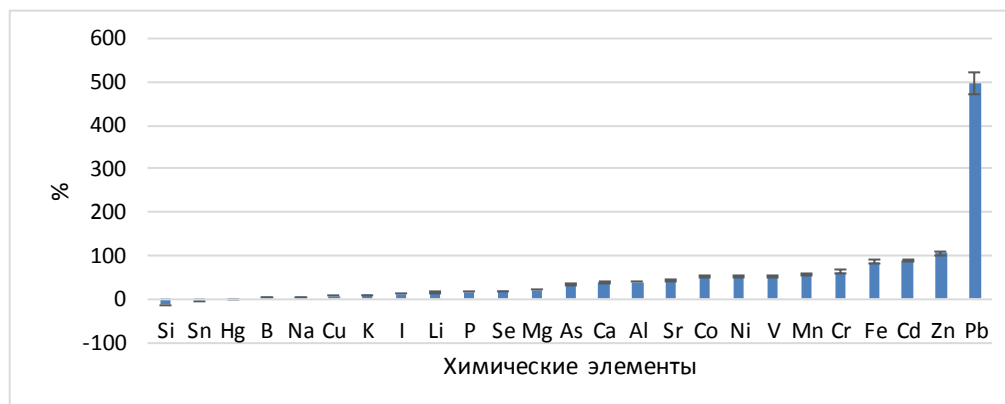


Рис. 1 – Элементный профиль коров VI группы относительно IV, %

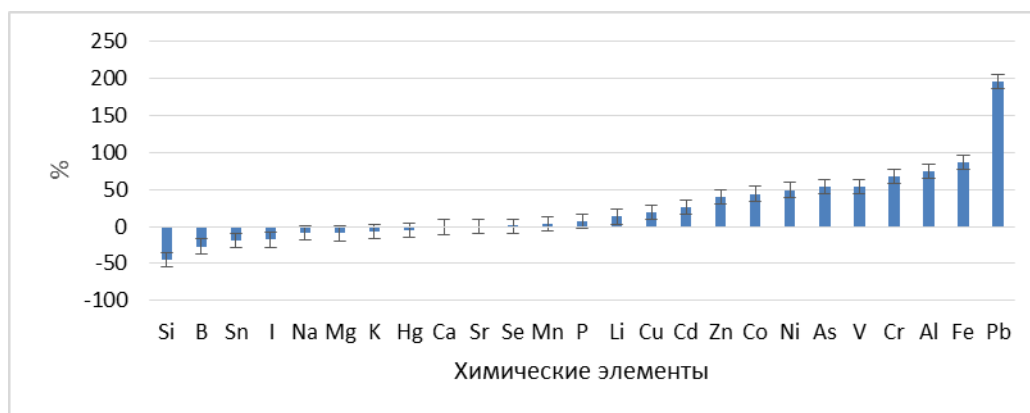


Рис. 2 – Элементный профиль коров VI группы относительно V, %

Содержание токсических элементов в шерсти животных VI группы увеличилось на 46,4 % ($P \leq 0,05$) в сравнении с IV и на 80,9 % ($P \leq 0,05$) – в сравнении с V группами. Аналогичная закономерность установлена нами по концентрации эссенциальных элементов (табл. 8).

Таблица 8. Σ химических элементов в шерсти коров ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области, ммоль/кг, ($M \pm STD$)

Элементы	Группа		
	IV	V	VI
Макроэлементы (Ca, K, Mg, Na, P)	141,2 $\pm$ 75,3	174,8 $\pm$ 51,8	151,6 $\pm$ 42,2
Эссенциальные (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Zn, I)	9,9 $\pm$ 1,8	11,0 $\pm$ 3,4	23,8 $\pm$ 11,7*
Токсичные (Al, As, Cd, Hg, Pb, Sn, Sr)	9,18 $\pm$ 2,82	7,43 $\pm$ 3,45	13,44 $\pm$ 2,37*

Примечание: * – при $P \leq 0,05$; ** – при $P \leq 0,01$; *** – при $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

Анализ выявил достоверную связь уровня кадмия в шерсти животных с выходом белка и СОМО в суточном удое (табл. 9).

Таблица 9. Корреляция Спирмена токсичных элементов в шерсти коров голштинской породы с показателями молочной продуктивности и качества молока ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области

Показатель	Элементы						
	Al	Cd	Pb	Sn	Hg	Sr	As
Среднесуточный надой 1 % молока, л	0,1	-0,3	-0,3	0,2	-0,3	-0,3	0,1
Выход жира, кг/сут	0,1	-0,3	-0,3	0,2	-0,3	-0,3	0,1
Выход белка, кг/сут	-0,4	-0,6*	0,0	0,0	-0,1	0,4	-0,3
Выход СОМО кг/сут	-0,4	-0,6*	0,0	0,0	-0,1	0,4	-0,3

Примечание: * – корреляция значима на уровне $P \leq 0,05$

Оценка элементного статуса коров с наибольшей и наименьшей молочной продуктивностью выявила следующие зависимости (рис. 3,4).

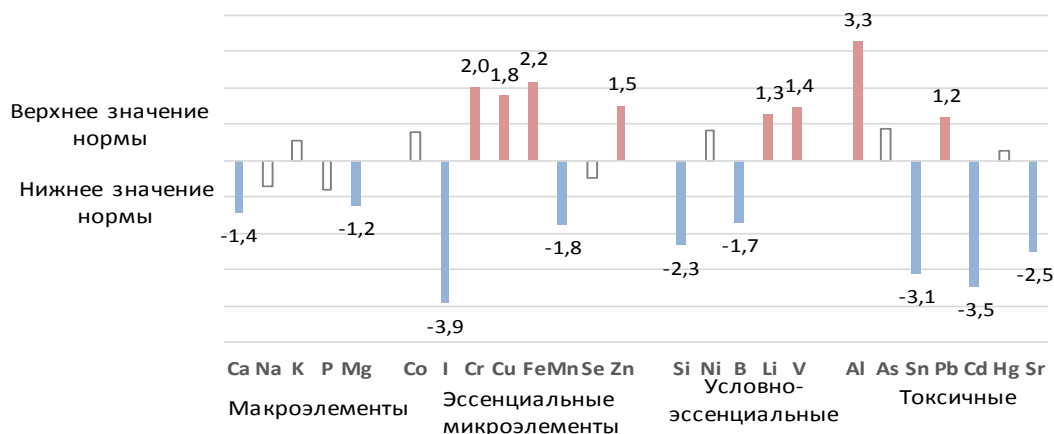


Рис. 3 – Кратность отклонений элементного состава волос с холки, коровы чёрно-пёстрой породы с максимальной по стаду молочной продуктивностью в период раздоя от «физиологической нормы», установленной в границах 25 и 75 перцентилей (возраст – 3,1 года, молочная продуктивность, скорректированная по содержанию 1 % жира – 94,3 л/сут). ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области, Россия

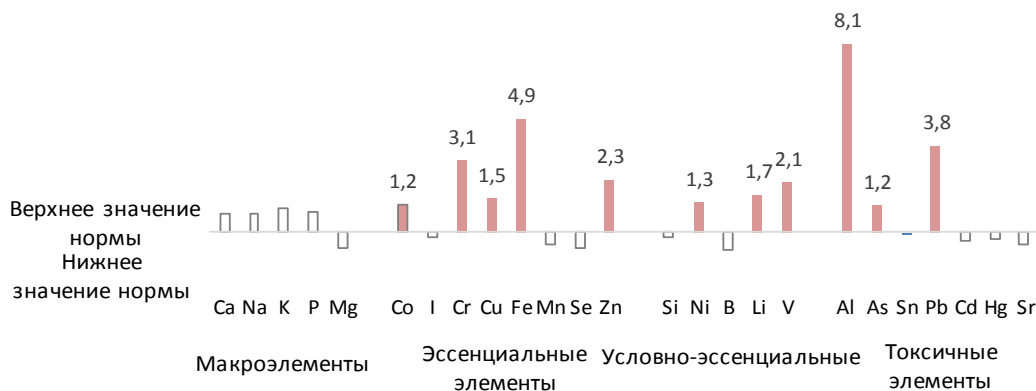


Рис. 4 – Кратность отклонений элементного состава волос с холки, коровы голштинской породы с минимальной по стаду молочной продуктивностью в период раздоя от «физиологической нормы», установленной в границах 25 и 75 перцентилей (возраст – 3,1 года, молочная продуктивность, скорректированная по содержанию 1 % жира – 34,1 л/сут). ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области, Россия

При оценке параметров продуктивности животных достоверных различий между группами не выявлено (табл. 10).

Таблица 10. Показатели количества и качества молока в зависимости от процентильного интервала концентрации Pb в шерсти с холки коров голштинской породы ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области, $M \pm STD$

Показатель	Группа		
	IV	V	VI
Среднесуточный надой, л	26,9±6,19	26,9±3,87	24,8±8,18
Среднесуточный надой 1 % молока, л	77,08±13,46	70,25±15,20	61,41±25,03
В молоке содержится, кг/сут:			
жира	0,77±0,13	0,70±0,15	0,61±0,25
белка	0,91±0,27	0,92±0,14	0,86±0,29
СОМО	2,37±0,60	2,37±0,35	2,20±0,74

Концентрация свинца в шерсти коррелировала с концентрацией свинца ($r = -0,946$) и кадмия ($r = 0,89$) в кале животных. При этом концентрация свинца в молоке коров VI группы оказались наименьшей 0,055, что на 45,5 % ($P \leq 0,05$) меньше уровня IV группы, на 63,6 % ($P \leq 0,05$) меньше уровня V группы.

Оценка корреляции между концентрациями токсических и эссенциальных микроэлементов в шерсти животных по отдельным группам-интервалам содержания свинца выявила нарастание числа достоверных связей по мере увеличения концентрации свинца с 0,0245-0,247 до 1,49-3,0 мкг/г с 7-8 до 15 (табл. 11, 12).

Таблица 11. Корреляция Спирмена концентрации токсичных с эссенциальными микроэлементами у коров голштинской породы в ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области в зависимости от процентильного интервала по свинцу

Элементы	Al	Cd	Pb	Sn	Hg	Sr	As
Pb (0,0245-0,0487 мкг/г)							
Co	0,9*	0,8	0,9*	-0,3	0,3	-0,4	0,3
Cr	0,1	0,6	0,1	0,3	-0,6	0,4	-0,1
Cu	0,7	0,5	0,7	-0,7	0,3	-0,5	0,7
Fe	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1	-0,5	0,5
I	0,7	0,2	0,7	-0,1	0,8	-0,6	0,3
Mn	0,9*	0,3	0,9*	-0,6	0,6	-0,5	0,5
Se	-0,1	0,4	-0,0	0,5	-0,8	0,9*	-0,9*
Zn	0,4	0,2	0,4	-0,6	0,4	-0,8	0,9*
Pb (0,0492-0,141 мкг/г)							
Co	0,5	0,4	0,5	-0,1	0,4	0,4	0,1
Cr	0,2	0,3	0,2	0,3	0,6*	0,2	-0,2
Cu	-0,0	-0,2	0,3	-0,0	0,0	-0,5*	0,4
Fe	0,5	0,2	0,4	0,0	0,4	0,3	-0,1
I	-0,1	0,6*	-0,5	0,3	-0,2	0,2	0,3
Mn	0,2	0,7*	0,0	0,0	0,4	0,7*	-0,2
Se	0,2	0,3	0,1	-0,3	-0,2	0,9*	-0,5
Zn	0,3	0,0	0,2	-0,1	0,2	-0,7*	0,6*
Pb (0,145-0,247 мкг/г)							
Co	-0,1	0,6	0,1	0,4	0,2	0,7*	-0,1
Cr	-0,1	0,4	-0,2	0,4	0,2	0,4	-0,1
Cu	-0,3	-0,7*	0,2	-0,6	0,0	-0,5	-0,2
Fe	-0,1	0,4	0,0	0,5	0,3	0,4	-0,0
I	-0,2	0,4	0,4	-0,2	-0,0	0,9*	-0,5
Mn	-0,1	0,5	0,3	-0,1	-0,1	0,8*	-0,3
Se	0,0	0,5	-0,4	-0,1	-0,3	0,6	-0,5
Zn	-0,1	-0,7*	0,3	-0,7*	-0,2	-0,6	-0,2

Примечание: * – при $P \leq 0,05$

Таблица 12. Корреляция Спирмена концентрации химических элементов в шерсти с холки коров голштинской породы ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области в зависимости от процентильного интервала

Элементы	Al	Cd	Pb	Sn	Hg	Sr	As
Pb (0,228-0,46 мкг/г)							
Co	0,9*	0,7	0,9*	-0,3	0,4	-0,5	0,7
Cr	0,7	0,3	0,9*	-0,5	0,0	-0,1	0,8
Cu	-0,1	-0,6	-0,2	0,6	-0,7	-0,2	0,6
Fe	0,3	-0,2	0,6	-0,8	0,4	0,6	0,4
I	-0,9*	-0,9*	-0,7	0,1	-0,4	0,7	-0,4
Mn	0,8	0,5	0,9*	-0,8	0,7	0,1	0,4
Se	-0,5	-0,6	-0,2	-0,6	0,4	1,0	-0,5
Zn	0,2	-0,1	-0,1	0,8	-0,7	-0,7	0,6
Pb (0,461-1,03 мкг/г)							
Co	0,8*	0,8*	-0,4	0,2	-0,3	-0,0	0,4
Cr	0,8*	0,7	-0,3	0,2	-0,2	0,0	0,6
Cu	0,1	-0,3	0,3	-0,1	0,7	-0,6	0,1
Fe	0,8*	0,8*	-0,4	0,2	-0,3	0,0	0,5
I	-0,8*	-0,7*	-0,1	-0,2	-0,5	0,7	-0,5
Mn	0,3	0,7	-0,2	0,2	-0,4	0,4	-0,3
Se	-0,2	0,3	-0,3	0,3	-0,6	0,7*	-0,6
Zn	0,4	0,7	-0,5	0,8*	0,4	-0,6	-0,1
Pb (1,49-3,0 мкг/г)							
Co	0,8*	1,0*	0,6	0,1	-0,2	-0,9*	0,1
Cr	0,9*	1,0*	0,7	0,2	-0,2	-1,0*	0,2
Cu	0,6	0,4	0,5	0,2	-0,5	-0,7	0,7
Fe	0,5	0,9*	0,2	0,0	-0,2	-0,7	0,0
I	-0,9*	-0,9*	-0,8*	-0,3	0,2	1,0	-0,3
Mn	0,3	0,7	-0,1	-0,4	-0,5	-0,4	0,1
Se	-0,9*	-0,9*	-0,8*	-0,3	0,2	1,0	-0,3
Zn	-0,6	-0,4	-0,3	0,8*	0,9*	0,3	-0,7

Примечание: * – при $P \leq 0,05$

Обсуждение полученных результатов.

Несмотря на беспрецедентные меры, предпринятые для защиты населения от воздействия токсических химических элементов, повсеместно по всему миру в продуктах питания, в том числе животного происхождения, фиксируются случаи превышения содержания этих веществ [30-32]. Между тем в последние десять лет наукой получены новые данные о роли токсических элементов (свинец, кадмий и др.) в развитии аутизма [25], болезней Альцгеймера, Паркинсона, шизофрении, заболеваний сердца [6] и почек, риска возникновения дефицита внимания и гиперактивности и др. [33-37], причём при значительно меньших, чем ранее предполагалось, концентрациях.

Свинец является одним из широко распространённых загрязнителей окружающей среды, которые индуцируют широкий спектр физиологических и биохимических нарушений у сельскохозяйственных животных [9] и способствуют снижению продуктивности [13, 14]. Ранее установлены факты снижения резвости лошадей на фоне увеличения размера обменного пула свинца, тесной зависимости молочной продуктивности коров от обменного пула свинца и алюминия [24].

В связи с этим возникает заказ на разработку мероприятий по снижению содержания свинца и других токсических элементов в организме животных, а следовательно, и продуктах питания, что становится возможным через определение норм содержания этих элементов в биосубстратах животных в связи с продуктивностью. При этом следует учитывать, что свинец, как и ряд других токсических элементов, является кумулятивным ядом и способен в течение длительного времени в небольших количествах откладываться в организме животных, например, в период выращивания тёлочек. Как результат, на заключительных этапах стельности и в период раздоя свинец освобождается из костей (основное депо этого элемента в организме) [38, 39] попадает в кровяное русло. Это находит подтверждение в медицине [40]. Авторы статьи при таких обстоятельствах фиксировали случаи увеличения обменного пула свинца в 25-30 раз у первотёлок в сравнении с физиологической нормой. Возможно, что описанная нами адаптационная реакция является общей для высокопродуктивных молочных коров. Однако до настоящего момента данных об этом явлении в животноводстве крайне мало. Хотя в медицине подобные исследования выполнялись [41-44]. В связи с чем нами поставлена задача – изучение связи содержания свинца в шерсти с продуктивностью молочных коров в период раздоя. В качестве биосубстрата, состав которого тесно связан с уровнем свинца в организме, выбрана шерсть животных, что обосновано ранее проведёнными исследованиями в медицине и сельском хозяйстве [39, 45, 46].

Как следует из полученных нами данных, выбор двух предприятий оказался оправданным, так как удалось сформировать группы коров в рамках шести диапазонов с концентрацией в шерсти свинца для I группы от 0,0245 до 0,0487 мкг/г, II – 0,0492-0,141; III – 0,145-0,247 мкг/г (ЗАО «Гатчинское»); IV – 0,228-0,46; V – 0,461-1,03; VI группы – 1,49-3,0 мкг/г (ООО «Агрофирма Промышленная»). По мере увеличения концентрации свинца в шерсти коров с 0,0245 до 3,0 мкг/г мы отмечали достоверное повышение содержания Cr в 3,1 раза, Fe – в 6,9 раза; Mn – в 4,7 Zn – в 2,3 раза и др. Можно оспорить правильность объединения двух микропопуляций в единую базу. Между тем при анализе концентраций этих химических элементов в каждой из выбранных микропопуляций мы фиксировали аналогичные статистически значимые различия между группами (табл. 1, 5).

Следует отметить, что на фоне увеличения обменного пула свинца выявлено достоверное повышение совокупного содержания токсических элементов с 0,109 в I группе до 0,268 ммоль/кг – в III ($P \leq 0,05$) и с 9,18 – в IV до 13,44 – в VI ($P \leq 0,05$) или в 123 раза. Объяснением этого является тесная связь обмена токсических элементов [2] и потенцирование действия одних токсических элементов другими [47]. Возможно по этой причине рассмотрение корреляционных связей токсических элементов в шерсти и показателей молочной продуктивности и качества молока выявила достоверную связь только по кадмию с суточным производством белка молока ($r = -0,58$) и СОМО ($r = -0,56$) в ООО «Агрофирма Промышленная», белка молока – в ЗАО «Гатчинское» ($r = -0,44$).

Исходя из результатов ранее проведённых исследований о тесной связи факторов минерального питания дойных коров со здоровьем и продуктивностью [48, 49], ожидалось снижение продуктивности животных на фоне роста нагрузки по свинцу. Однако только в условиях фирмы ЗАО «Гатчинское» это было показано при статистически достоверной разнице. В частности, увеличение содержания свинца в шерсти сопровождалось снижением суточной продуктивности коров по белку молока на 14 % ($P \leq 0,05$), жиру молока – на 24,7 % ($P \leq 0,05$). При этом удой коров снижался на 24,6 % ($P \leq 0,05$). Эти факты можно объяснить снижением общей эффективности обмена веществ и необходимостью для организма животных затрат части энергии на детоксикацию свинца и продуктов его обмена. Анализ продуктивности животных ООО «Агрофирма Промышленная» выявил снижение продуктивности коров на фоне увеличения концентрации свинца в шерсти по суточному удою на величину до 25,4 %. Однако эти различия оказались статистически не достоверными, что объясняется высокими значениями ошибки среднеарифметической.

Возможно причиной накопления свинца в организме отдельных животных является низкая эффективность систем выведения. На это указывают данные об отрицательной корреляции концентрации свинца в шерсти животных (VI группа) с содержанием свинца в кале ($r = -0,946$). При этом концентрация свинца в молоке коров VI группы оказалась на 45,5 % ($P \leq 0,05$) меньше уровня

IV группы, на 63,6 % ($P \leq 0,05$) – меньше уровня V группы. Таким образом, относительно больший пул свинца, участвующего в обменных процессах, результат низкого выделения этого металла во внешнюю среду. В числе физиологических причин повышения обменного пула токсических элементов в организме животных можно выделить недостаточно эффективную «работу» metallothionein [50, 51], белка, участвующего в детоксикации тяжёлых металлов [52, 53].

Ранее S. Roggeman et al. констатировали различия в работе системы детоксикации и выведения токсических элементов у коров различной продуктивности [54]. На различия в работе системы выведения химических элементов из организма животных указывают данные о тесной связи уровня свинца в шерсти и совокупных обменных пулов эссенциальных элементов (табл. 3, 6). Вместе с тем в наших исследованиях была зафиксирована и отрицательная связь уровня свинца в шерсти и обменного пула кремния и селена.

Оценка корреляции уровня токсических элементов в шерсти с содержанием эссенциальных микроэлементов выявила факт нарастания числа достоверных связей между элементами по мере роста концентрации свинца. Так, наибольшее число корреляционных связей – 15 зафиксировано нами в VI группе. В том числе отрицательных: I-Cd, I-Pb, Se-Al, Se-Cd, Se-Pb, что свидетельствует об истощении резервов организма по способности противостоять токсической нагрузке [55].

Закономерно, что дальнейшее развитие методов неинвазивного контроля элементного обмена является обязательным условием создания единой системы индивидуального мониторинга состояния высокопродуктивных животных для преодоления метаболических нарушений [56-58] и вновь полученные результаты могут быть использованы для этих целей.

Выводы.

1. Уровень свинца в шерсти влияет на общую минерализацию этого биосубстрата. С повышением концентрации свинца с 0,0245-0,0487 до 0,145-0,247 мкг/г происходит увеличение двух микроэлементов: Co и Cr; при повышении с 0,228-0,46 до 1,49-3,0 мкг/г – по восьми: Co, Cr, Fe, Mn, Zn, Ni, V, As.

2. Элементный состав шерсти находится в тесной связи с молочной продуктивностью коров, так, с увеличением концентрации свинца в шерсти происходит снижение среднесуточного надоя 1 % молока, уровня жира, белка и СОМО в молоке. Установлены отрицательные корреляционные связи концентрации свинца с количественными и качественными параметрами молока коров.

3. Необходимо проведение дальнейших исследований по возможности использования показателей «физиологической нормы» содержания токсичных химических элементов в шерсти молочных коров для повышения продуктивных качеств и сохранения здоровья животных.

Исследования проводились при поддержке Российского научного фонда (проект № 14-16-00060 П)

Литература

1. Ciobanu C., Slencu B.G., Cuciureanu R. Estimation of dietary intake of cadmium and lead through food consumption // *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi*. 2012. Apr-Jun. V. 116(2). P. 617-623.
2. Concentrations of toxic heavy metals and trace elements in raw milk of Simmental and Holstein-Friesian cows from organic farm / R. Pilarczyk, J. Wójcik, P. Czerniak, P. Sablik, B. Pilarczyk, A. Tomza-Marciniak // *Environ Monit Assess*. 2013. Oct. 185(10). P. 8383-8392. doi: 10.1007/s10661-013-3180-9. Epub 2013. Apr 10.
3. High toxic metal levels in scalp hair of infants and children. *Biomed* / H. Yasuda, T. Yonashiro, K. Yoshida, T. Ishii, T. Tsutsui // *Res. Trace Elem*. 2005. 16. P. 39-45.
4. High accumulation of aluminium in hairs of infants and children / H. Yasuda, K. Yoshida, M. Segawa, R. Tokuda, Y. Yasuda, T. Tsutsui // *Biomed. Res. Trace Elem*. 2008. 19. P. 57-62.
5. Two age-related accumulation profiles of toxic metals / H. Yasuda, K. Yoshida, Y. Yasuda, T. Tsutsui // *Curr. Aging Sci*. 2012. 5. P. 105-111. doi: 10.2174/1874609811205020105.

6. Ordemann J.M., Austin R.N. Lead neurotoxicity: exploring the potential impact of lead substitution in zinc-finger proteins on mental health // *Metallomics*. 2016. Jun 1. 8(6). P. 579-588. doi: 10.1039/c5mt00300h.
7. Advisory Committee on Childhood Lead Poisoning Prevention, of the Centers for Disease Control and Prevention, low Level Lead Exposure Harms Children: A Renewed Call for Primary Prevention, report to the CDCP, ACCLPP: Atlanta, GA, USA, 2012. P. 1-54.
8. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) CDC National Surveillance Data (1997-2009), National Centers for Environmental Health 2012. [(accessed on 6 November 2018)]. Available online: <http://www.cdc.gov/nceh/lead/data/national.htm>.
9. Effects of ascorbic acid on cadmium-induced oxidative stress and performance of broilers / Z. Erdogan, S. Erdogan, S. Celik, A. Unlu // *Biological Trace Element Research*. 2005. 104(1). P. 19-31. doi: 10.1385/BTER:104:1:019.
10. Effect of garlic (*Allium sativum* L.) extract on tissue lead level in rats / S.K. Senapati, S. Dey, S.K. Dwivedi, D. Swarup // *Journal of Ethnopharmacology*. 2001. 76(3). P. 229-232. doi: 10.1016/S0378-8741(01)00237-9.
11. Effects of Brn-3a protein and RNA expression in rat brain following low-level lead exposure during development on spatial learning and memory / W. Chang, J. Chen, Q.Y. Wei, X.M. Chen // *Toxicology Letters*. 2006. 164(1). P. 63-70. doi: 10.1016/j.toxlet.2005.11.011.
12. Cellular and Molecular Biology of Metals / Rudolfs K. Zalups, James Koropatnick (Eds.). Boca Raton-London-New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2010. 425 p.
13. Hamilton J.D., O'Flaherty E.J. Influence of lead on mineralization during bone growth // *Fundamental and Applied Toxicology*. 1995. 26(2). P. 265-271. doi: 10.1006/faat.1995.1097.
14. Maboeta M.S., Reinecke A.J., Reinecke S.A. Effects of low levels of lead on growth and reproduction of the Asian Earthworm *Perionyx excavatus* (Oligochaeta) // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1999. 44(3). P. 236-240. doi: 10.1006/eesa.1999.1797.
15. Shabani A., Rabbani A. Lead nitrate induced apoptosis in alveolar macrophages from rat lung // *Toxicology*. 2000. 149(2-3). P. 109-114. doi: 10.1016/S0300-483X(00)00232-8.
16. Ercal N., Gurer-Orhan H., Aykin-Burns N. Toxic metals and oxidative stress part I: mechanisms involved in metal-induced oxidative damage // *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2001. 1(6). P. 529-539. doi: 10.2174/1568026013394831.
17. Ahamed M., Siddiqui M. K. J. Low level lead exposure and oxidative stress: current opinions // *Clinica Chimica Acta*. 2007. 383(1-2). P. 57-64. doi: 10.1016/j.cca.2007.04.024.
18. Lead induces oxidative stress, DNA damage and alteration of p53, Bax and Bcl-2 expressions in mice / J. Xu, L.-J. Lian, C. Wu, X.-F. Wang, W.-Y. Fu, L.-H. Xu // *Food and Chemical Toxicology*. 2008. 46(5). P. 1488-1494. doi: 10.1016/j.fct.2007.12.016.
19. Newairy A.-S. A., Abdou H. M. Protective role of flax lignans against lead acetate induced oxidative damage and hyperlipidemia in rats // *Food and Chemical Toxicology*. 2009. 47(4). P. 813-818. doi: 10.1016/j.fct.2009.01.012.
20. Liu C.M., Ma J.Q., Sun Y.Z. Puerarin protects the rat liver against oxidative stress-mediated DNA damage and apoptosis induced by lead // *Experimental and Toxicologic Pathology*. 2012. 64(6). P. 575-582. doi: 10.1016/j.etp.2010.11.016.
21. Longitudinal analyses of prenatal and postnatal lead exposure and early cognitive development / D. Bellinger, A. Leviton, C. Waterneaux, H.L. Needleman, M.N. Rabinowitz Engl // *J. Med.* 1987. V. 316. P. 1037-1043.
22. Lead exposure and neurobehavioral development in later infancy / K. Dietrich, P.A. Succop, R.L. Bornschein, P.B. Hammond, K. Krafft // *Environ. Health Perspect.* 1990. 89. P. 13-19.
23. Low-level lead exposure and children's cognitive function in the preschool years / D. Bellinger, J. Sloman, A. Leviton, M. Rabinowitz, H.L. Needleman, C. Waterneaux // *Pediatrics*. 1991. Feb. 87(2). P. 219-227.

24. The content of essential and toxic elements in the hair of the mane of the trotter horses depending on their speed / V. Kalashnikov, A. Zajcev, M. Atroshchenko, S. Miroshnikov, A. Frolov, O. Zav'yalov, L. Kalinkova, T. Kalashnikova // *Environ Sci Pollut Res Int.* 2018. May 24. P. 21961-21967. doi: 10.1007/s11356-018-2334-2.
25. Yasuda H., Tsutsui T. Assessment of Infantile Mineral Imbalances in Autism Spectrum Disorders (ASDs) // *J Environ Res Public Health.* 2013. Nov. 10(11). P. 6027-6043.
26. Skalnaya M.G., Demidov V.A., Skalny A.V. About the limits of physiological (normal) content of Ca, Mg, P, Fe, Zn and Cu in human hair // *Trace Elements in Medicine.* 2003. Vol. 4(2). P. 5-10.
27. The reference intervals of hair trace element content in hereford cows and heifers (*Bos taurus*) / S.A. Miroshnikov, O.A. Zavyalov, A.N. Frolov, I.P. Bolodurina, A.V. Skalny, V.V. Kalashnikov, A.R. Grabeklis, A.A. Tinkov // *Biological Trace Element Research.* 2017. Vol. 180. No. 1. P. 56-62.
28. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile / S. Miroshnikov, A. Kharlamov, O. Zavyalov, A. Frolov, G. Duskaev, I. Bolodurina, O. Arapova // *Pakistan Journal of Nutrition.* 2015. V. 14. № 9. P. 632-636.
29. International Standard 141C. Whole milk-Determination of milkfat, protein and lactose content-Guidance on the operation of mid-infrared instruments. Brussels, Belgium: International Dairy Federation, 2000. 12 p.
30. Impact of breeding region and season on the content of some trace elements and heavy metals in the hair of cows / D. Cygan-Szczegielniak, M. Stanek, E. Giernatowska, B. Janicki // *Folia Biol (Kra-kow).* 2014. 62(3). P. 163-169.
31. Contamination of cows milk by heavy metal in Egypt / F. Malhat, M. Hagag, A. Saber, A.E. Fayz // *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 2012. 88(4). P. 611-613. doi: 10.1007/s00128-012-0550-x.
32. Simultaneous assessment of zinc, cadmium, lead and copper in poultry feeds by differential pulse anodic stripping voltammetry / S.A. Mahesar, S.T. Sherazi, A. Niaz, M.I. Bhanger, S. Uddin, A. Rauf // *Food and Chemical Toxicology.* 2010. 48(8-9). P. 2357-2360. doi: 10.1016/j.fct.2010.05.071.
33. The long-term effects of exposure to low doses of lead in childhood / H.L. Needleman, A. Schell, D. Bellinger, A. Leviton, E.N. Allred // An 11-year follow up report. *N. Engl. J. Med.* 1990. 322. P. 83-88. doi: 10.1056/NEJM199001113220203.
34. Binns H.J., Campbell C., Brown M.J. Interpreting and managing blood lead levels of less than 10 micro g/dL in children and reducing childhood exposure to lead: Recommendations of the centers for disease control and prevention advisory committee on childhood lead poisoning prevention // *Pediatrics.* 2007. 120. P. 1285-1298. doi: 10.1542/peds.2005-1770.
35. Bellinger D.C. Lead neurotoxicity and socioeconomic status: Conceptual and analytical issues. *Neurotoxicology.* 2008. 29. P. 828-832. doi: 10.1016/j.neuro.2008.04.005.
36. Low-level prenatal and postnatal blood lead (Pb) exposure and adrenocortical responses to acute stress in children. *Environ / B.B. Gump, P. Stewart, J. Reihman, E. Lonky, T. Darvill, P.J. Parsons, D.A. Granger // Health Perspect.* 2008. 116. P. 249-255.
37. Low blood lead levels associated with clinically diagnosed attention-deficit/hyperactivity disorder and mediated by weak cognitive control / J.T. Nigg, G.M. Kottnerus, M.M. Martel, M. Nikoas, V. Cavanagh, W. Karmaus, M.D. Rappley // *Biol. Psychiatry.* 2008. 63. P. 325-331. doi: 10.1016/j.biopsych.2007.07.013.
38. Rabinowitz M.B. Toxicokinetics of bone lead // *Environ. Health Perspect.* 1990. 91. P. 33-37.
39. Lead: intestinal absorption and bone mobilization during lactation / M. Maldonado-Vega, J. Cerbón-Solorzano, A. Albores-Medina, C. Hernández-Luna, J.V. Calderón-Salinas // *Hum Exp Toxicol.* 1996. Nov. 15(11). P. 872-877.
40. Thompson G.N., Robertson E.F., Fitzgerald S. Lead mobilization during pregnancy // *Med. J. Aust.* 1985. 143. P. 131.

41. Effects of pregnancy on the inter-individual variations in blood levels of lead, cadmium and mercury / C. Bonithon-Kopp, G. Huel, C. Grasmick, H. Sarmini, T. Moreau // *Biol. Res. Preg.* 1986. 7. P. 37-42.
42. Silbergeld E.K. Lead in bone: implications for toxicology during pregnancy and lactation // *Environ Health Perspect.* 1991. Feb. 91. P. 63-70.
43. Epidemiology of osteoporosis and osteoporotic fractures / S.R. Cummings, J.L. Kelsey, M.C. Nevitt, K.J. O'Dowd // *Epidemiol. Rev.* 1985. 7. P. 178-208.
44. Silbergeld E.K., Schwartz J., Mahaffey K. Lead and osteoporosis: mobilization of lead from bone in postmenopausal women // *Environ. Res.* 1988. 47. P. 79-94.
45. Kośła T., Skibniewska E.M., Skibniewski M. The state of bioelements in the hair of free-ranging European bison from Białowieża Primeval Forest // *Pol J Vet Sci.* 2011. 14(1). P. 81-86.
46. Hair trace metal levels and environmental exposure / D.I. Hammer, J.F. Finklea, R.H. Hendricks, C.M. Shy, R.J. Horton // *American Journal of Epidemiology.* 1971. 93. P. 84-92.
47. Lead, cadmium, arsenic, and mercury combined exposure disrupted synaptic homeostasis through activating the Snk-SPAR pathway / F. Zhou, J. Xie, Sh. Zhang, G. Yin, Y. Gao, Y. Zhang, D. Bo, Z. Li, S. Liu, Ch. Feng, G. Fan // *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2018. V. 163. 15 November. P. 674-684. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.116>.
48. Effect of zinc source on performance, zinc status, immune response, and rumen fermentation of lactating cows / R.L. Wang, J.G. Liang, L. Lu, L.Y. Zhang, S.F. Li, X.G. // *Luo. Biol Trace Elem Res.* 2013. 152(1). P. 16-24. doi: 10.1007/s12011-012-9585-4.
48. Effects of feeding organic trace minerals on milk production and reproductive performance in lactating dairy cows: a meta-analysis / A.R. Rabiee, I.J. Lean, M.A. Stevenson, M.T. Socha // *J Dairy Sci.* 2010. 93(9). P. 4239-4251. doi: 10.3168/jds.2010-3058.
50. Refined crystal structure of Cd, Zn metallothionein at 2.0 Å resolution / A.H. Robbins, D.E. McRee, M. Williamson, S.A. Collett, N.H. Xuong, W.F. Furey, B.C. Wang, C.D. Stout // *J Mol Biol.* 1991. 221. P. 1269-1293.
51. Wong D.L., Merrifield-MacRae M.E., Stillman M.J. Lead(II) Binding in Metallothioneins // *Lead: Its Effects on Environment and Health. Series: Metal Ions in Life Sciences. Volume 17 / Eds.: A. Sigel, H. Sigel, Roland K.O. Sigel. Berlin-Boston: De Gruyter, 2017. P. 241-270. <https://doi.org/10.1515/9783110434330-009>.*
52. Metallothionein-I and -II knock-out mice are sensitive to cadmium-induced liver mRNA expression of c-jun and p53 / H. Zheng, J. Liu, K.H. Choo, A.E. Michalska, C.D. Klaassen // *Toxicol Appl Pharmacol.* 1996. 136. P. 229-235.
53. Petering D.H., Krezoski S., Tabatabai N.M. Metallothionein toxicology: metal ion trafficking and cellular protection // *Metallothioneins and Related Chelators. Metal Ions in Life Sciences. Volume 5 / Eds.: A. Sigel, H. Sigel, Roland K.O. Sigel. United Kingdom: RSC Publishing, Cambridge. P. 353-397.*
54. Accumulation and detoxification of metals and arsenic in tissues of cattle (*Bos taurus*), and the risks for human consumption / S. Roggeman, G. de Boeck, H. de Cock, R. Blust, L. Bervoets // *Sci Total Environ.* 2014. Jan 1. Vol. 466-467. P 175-184. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.07.007. Epub 2013 Jul 31.
55. Correlations of trace element levels in the diet, blood, urine, and feces in the Chinese male / Y. Wang, Y.L. Ou, Y.Q. Liu, Q. Xie, Q.F. Liu, Q. Wu, T.Q. Fan, L.L. Yan, J.Y. Wang // *Biol Trace Elem Res.* 2012. Feb. 145(2). P. 127-135. doi: 10.1007/s12011-011-9177-8. Epub 2011 Aug 26.
56. Kossabati M.A., Esslemont R.J. The costs of production diseases in dairy herds in England // *Vet. J.* 1997. 154. P. 41-51. doi: 10.1016/S1090-0233(05)80007-3.
57. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review / W. Rauw, E. Kanis, E. Noordhuizen-Stassen, F. Grommers // *Livest. Prod. Sci.* 1998. 56. P. 15-33. doi: 10.1016/S0301-6226(98)00147-X.
58. Long-term trends in the metabolic profile test results in German Holstein dairy herds in Thuringia, Germany / K. Donat, W. Siebert, E. Menzer, Söllner S. Donat // *Tierärztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere.* 2016. 44(2). P. 73-82. doi: 10.15653/TPG-150948. Epub 2016 Mar 21. [Article in German].

Мирошников Сергей Александрович, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-41, e-mail: vniims.or@mail.ru; профессор кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13

Завьялов Олег Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-78, e-mail: oleg-zavyalov83@mail.ru

Фролов Алексей Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)43-46-78, e-mail: forleh@mail.ru

Поступила в редакцию 25 февраля 2019 года