

УДК 636.085:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-102-2-30

Феномен нагруженного метаболизма и продуктивность молочных коров**С.А. Мирошников^{1,2}, О.А. Завьялов¹, А.Н. Фролов¹, М.Я. Курилкина¹**¹Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)²Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)

Аннотация. Исследования выполнялись на коровах голштинской породы (n=198), разводимых на территории Ленинградской области. Образцы шерсти отбирались с верхней части холки животных. Элементный состав шерсти оценивали методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой (ИСП-МС). На первом этапе исследований были определены значения 25 и 75 перцентилей, принятые в качестве «физиологической нормы». Второй этап эксперимента выполнялся на коровах голштинской породы (n=47) в условиях ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области. На основании данных по концентрации свинца шерсти коровы были разделены на три группы: I группа – диапазон концентраций свинца в шерсти коров 0,025-0,045 мкг/г, II – 0,049-0,141 мкг/г, III группа – 0,145-0,247 мкг/г. Установлено, что элементный состав шерсти находится в тесной связи с продуктивностью молочных коров. Установлено, что животные с «нагруженным» метаболизмом, констатированным по повышенному содержанию свинца в шерсти, отличаются относительно меньшей молочной продуктивностью и худшими качественными параметрами молока коров. Корреляция между уровнем свинца в шерсти и молочным жиром ($r=-0,50$), белком ($r=-0,37$), сухим веществом ($r=-0,48$) и производством 1 % молока ($r=-0,50$) оказалась достоверной. При этом фактически обменный пул свинца в организме коров не коррелировал ни с одним из эссенциальных элементов, за исключением хрома во II группе.

Ключевые слова: коровы, голштинская порода, шерсть, свинец, химические элементы, молочная продуктивность.

UDC 636.085:577.17

The phenomenon of loaded metabolism and productivity of dairy cows**SA Miroshnikov^{1,2}, OA Zavyalov¹, AN Frolov¹, MYa Kurilkina¹**¹Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)²Orenburg State University (Orenburg, Russia)

Summary. The studies were performed on Holstein cows (n=198), developed on the territory of Leningrad region. Hair samples were taken from the top of withers of the animals. The elemental composition of hair was estimated by methods of mass spectrometry with inductively coupled argon plasma (ICP-MS). At the first stage of research, values of 25 and 75 percentiles, taken as the «physiological standard», were determined. The second stage of the experiment was carried out on Holstein cows (n=47) under the conditions of CJSC Gatchina in Leningrad region. Based on the data on lead concentration in hair, cows were divided into three groups: Group I – the range of lead concentrations in hair was 0.025-0.045 µg/g, Group II – 0.049-0.141 µg/g, Group III – 0.145-0.247 µg/g. It is established that the elemental composition of hair is in close connection with the productivity of dairy cows. It has been established that animals with a «loaded» metabolism, ascertained according to the increased content of lead in hair, are distinguished by relatively lower milk productivity and worse quality parameters of milk. The correlation between the level of lead in hair and milk fat ($r=-0.50$), protein ($r=-0.37$), dry matter ($r=-0.48$) and production of 1 % milk ($r=-0.50$) proved to be reliable. In this case, the actual exchange pool of lead in the body of cows did not correlate with any of the essential elements, with the exception of chromium in group II.

Key words: cows, Holstein breed, hair, lead, chemical elements, milk productivity.

Введение.

Создание и дальнейшее развитие системы индивидуального мониторинга состояния высокопродуктивных животных для преодоления метаболических нарушений: коров (Rauw W et al., 1998), спортивных лошадей (Kalashnikov V et al., 2018) и других животных невозможно без использования неинвазивных методов оценки состояния обмена веществ. В этой связи одним из перспективных методов мониторинга являются исследования элементного состава биосубстратов.

В последние два десятилетия технология выявления и профилактики элементозов человека и животных получила дальнейшее развитие с появлением высокоточных аналитических методов изучения элементного состава биосубстратов. Для контроля уровня химических элементов в организме используют элементный анализ различных биологических материалов, в том числе слюну (Horvath PJ et al., 1997); кровь (Garland M et al., 1993); ногти (Xun P et al., 2011).

Ранее шерсть была предложена в качестве потенциального биосубстрата для оценки микроэлементного статуса в животноводстве (Combs DK, 1987). Проведённые исследования показали, что минеральный состав шерсти указывает на концентрацию и активность химических элементов в других органах и тканях организма и отражает элементный статус молочных коров (Combs DK, 1987), при этом достоверно коррелирует с содержанием эссенциальных и токсичных элементов в крови (Pavlati L et al., 2011). По некоторым оценкам, шерсть – более информативный биосубстрат, чем кровь, например, при прогнозировании восприимчивости животных к болезни сердца (Asano K et al., 2005a).

При этом безусловным достоинством шерсти как биосубстрата является информация об обменных путях токсических элементов. Особенно ценно это сегодня в условиях значительного антропогенного загрязнения окружающей среды и беспрецедентно высокой продуктивности животных, используемых человеком в сельскохозяйственном производстве. Рост и поддержание продуктивности сельскохозяйственных животных становятся всё более сложными без учёта деструктивного действия токсических химических элементов, влияние которых на здоровье и продуктивность животных хорошо изучено (Mohammed AA et al., 2016). Элементный состав шерсти информативен для оценки обменных путей токсических элементов в организме животных (Asano R, et al., 2002).

Одним из широко встречающихся в окружающей среде токсических химических элементов является свинец (Pb). Свинец оказывает токсическое действие на организм животных (Raikwar MK, 2008) и человека, которое сопровождается поражениями печени и почек (Patra R et al., 2001), развитием канцерогенеза (Valverde M et al., 2002), дегенеративными изменениями нервной системы (Sansar W, Bouyatas MM, 2012) и др.

Поступление Pb в организм животных тесно связано с антропогенным загрязнением окружающей среды, потребление свинца может значительно возрастать в регионах с развитой горнодобывающей и металлургической промышленностями (Orisakwe OE et al., 2017).

Попадая в организм с вдыхаемым воздухом, пищей и водой, свинец может отрицательно влиять на здоровье животных (Swarup D et al., 2005). Опасность свинца состоит в способности аккумулироваться в костях и других тканях и органах животных при незначительном поступлении извне (Tangpong J and Satarug S, 2010).

Накопление свинца в организме вызывает токсические эффекты не только у крупного рогатого скота, но также у людей, потребляющих мясо и молоко, загрязнённые этим металлом (González-Weller D et al., 2006).

В последние годы загрязнение молока считается одним из главных опасных аспектов для человека (Malhat F et al., 2012), в том числе по причине потребления молока детьми и подростками (Tripathi RM et al., 1999).

Необходимость отслеживания уровня свинца в организме молочных коров определяется и результатами исследований по влиянию низкоуровневого воздействия свинца на организм детей, в том числе когнитивные функции у детей дошкольного возраста (Bellinger D et al., 1991).

Ранее нами на основании исследований на спортивных лошадях и молочных коровах было предложено рассматривать превышение 75 перцентиля содержания токсических элементов в шерсти продуктивных животных как феномен нагруженного метаболизма.

Цель исследования.

Изучение элементного статуса и продуктивности молочных коров голштинской породы с феноменом нагруженного метаболизма, констатированного по содержанию свинца в шерсти в период раздоя.

Материалы и методы исследования.

Объект исследований. Исследования выполнены на модели коров голштинской породы с живой массой 510-540 кг. Стадия лактации – 35-55 суток после отёла. Молочная продуктивность – 38-51 л/сут.

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.

Схема эксперимента. На первом этапе исследований был изучен элементный состав шерсти коров голштинской породы ($n=198$), разводимых на территории Ленинградской области России. На основании этих исследований установлены процентильные интервалы распределения концентраций химических элементов в шерсти; определены значения 25 и 75 перцентилей, принятые по рекомендации (Скальная М.Г. и др., 2003) в качестве «физиологической нормы».

На втором этапе в условиях ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области России из числа коров первой лактации, живой массы 500-550 кг были отобраны 47 клинически здоровых коров-аналогов. На 30-40 сутки после отёла произведён отбор и анализ элементного состава шерсти животных. На основании полученных данных коровы были разделены на три группы в зависимости от концентрации свинца в шерсти: I – до 25-го перцентилей ($n=15$), II – в границах 25-75-го перцентилей ($n=20$), III – выше 75-го перцентилей ($n=12$).

Отбор и исследование образцов шерсти

Образцы волос массой не менее 0,4 г отбирались с верхней части холки животных согласно методики (Miroshnikov S. et al., 2015). Для отбора образцов применялись ножницы из нержавеющей стали, предварительно обработанные этиловым спиртом.

Отбор средних проб молока

Коровы механически доились три раза в сутки. Произведённое молоко взвешивали индивидуально от каждой коровы ежедневно в течение трёх дней подряд. Образцы сырого молока отбирались индивидуально от каждой коровы при каждом доении, помещались в стерильные ёмкости, охлаждались до $+5^{\circ}\text{C}$ и отправлялись для анализа в лабораторию. Исследования проб молока проводились в день отбора образцов от животных. Содержание жира, белка и лактозы в молоке оценивали с использованием процедуры FIL-IDF.

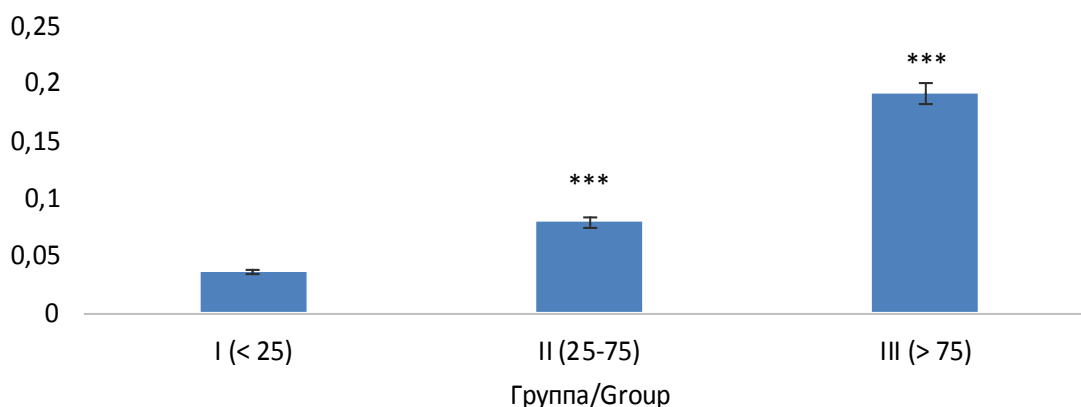
Оборудование и технические средства. Анализ образцов сырого молока проводился в лаборатории селекционного контроля качества молока ОАО «Невское» Ленинградской области на лабораторном оборудовании. Содержание жира, белка и лактозы в молоке оценивали с использованием процедуры FIL-IDF на приборе MilkoScanTM FT1 («Foss Electric», DK-3400, Hillerød, Дания).

Статистический анализ. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали уровень значимости (P), при этом критический уровень значимости принимался меньшим или равным 0,05. Для определения существования силы функциональных связей между параметрами вычисляли коэффициенты корреляции Спирмена (K_s). Для обработки данных использовали пакет прикладных программ «Statistica 10.0» («StatSoft, Inc.», США).

Результаты исследований.

Фактические различия между группами молочных коров по концентрации Pb в шерсти представлены на рисунке 1.

В шерсти животных I группы содержалось $0,036 \pm 0,007$ мкг/г свинца, что в 2,2 ($P \leq 0,001$) и в 5,3 раза ($P \leq 0,001$) меньше в сравнении со II и III группами. При этом диапазон концентраций свинца в шерсти коров I группы составил от 0,0245 до 0,0449 мкг/г, II – от 0,0495 до 0,141 мкг/г, III группы – от 0,145 до 0,247 мкг/г.



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

Note: *** - $P \leq 0.001$ compared with I group

Рис. 1 – Содержание Pb (мкг/г) в шерсти с холки коров голштинской породы по группам
Figure 1 – The content of Pb (μg/g) in hairs from withers in Holstein cows by the groups

Элементный состав шерсти сравниваемых групп различался по содержанию ряда химических элементов (табл. 1).

Таблица 1. Содержание химических элементов в шерсти коров голштинской породы в зависимости от процентильного интервала концентрации Pb, мкг/г

Table 1. The content of chemical elements in hairs of Holstein cows depending on the percentile concentration range of Pb, μg/g

Элемент/ Element	«Физиологическая норма» в процентилях****/ «Physiological norm» in percentiles****	Группа/Group					
		I		II		III	
		M	STD	M	STD	M	STD
1	2	3	4	5	6	7	8
Макроэлементы/Macroelements							
Ca	915-2386	1999	596,4	1733	838,9	1805	1155
K	3122-4154	3400	571,7	3655	1010	3995	995,6
Mg	318-664	537,2	150,5	501,3	197,9	540	295,2
Na	2196-3124	2252	545,8	2719	844,2	3573	2095
P	228-290	262,8	45,95	252,6	48	266,3	41,91
Эссенциальные микроэлементы/Essential trace elements							
Co	0,032-0,054	0,033	0,014	0,04	0,009	0,063	0,018***
Cr	0,087-0,143	0,087	0,024	0,12	0,04*	0,180	0,096**
Cu	8,04-9,47	8,48	0,708	8,63	1,1	9,17	0,898
Fe	100-217	116,4	45,09	158,8	70	382,7	83,9*
Mn	3,51-6,49	3,86	1,77	5,05	1,42	6,95	3,63*
Se	0,754-1,13	1,06	0,25	0,883	0,256	0,977	0,192
Zn	116-141	132	21,21	125,4	14,56	126,3	15,14
I	10,12-19,56	11,0	5,17	15,63	5,27*	20,86	17,49
Условно-эссенциальные микроэлементы/Conditionally essential trace elements							
Li	0,048-0,07	0,056	0,015	0,06	0,013	0,055	0,012
Ni	0,157-0,221	0,174	0,04	0,201	0,106	0,273	0,183
B	3,4-10,89	9,14	4,11	7,13	4,46	6,94	4,56
Si	6,28-11,47	9,64	2,96	9,83	3,28	5,67	2,65**

Продолжение 1 таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
V	0,015-0,026	0,016	0,006	0,021	0,008	0,026	0,01*
Токсичные элементы/Toxic elements							
Al	2,05-4,4	2,47	1,38	3,61	2,16	5,3	3,42*
As	0,028-0,04	0,037	0,01	0,034	0,009	0,034	0,005
Pb	0,049-0,141	0,036	0,007	0,079	0,033***	0,191	0,034***
Cd	0,003-0,005	0,004	0,002	0,004	0,002	0,004	0,001
Hg	0,002-0,006	0,005	0,003	0,005	0,003	0,004	0,002
Sn	0,014-0,04	0,062	0,089	0,039	0,074	0,025	0,015
Sr	1,82-3,68	2,87	0,89	2,68	1,03	3,47	2,24

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

**** – «физиологическая норма» в границах 25 и 75 перцентилей рассчитана для коров, разводимых в Ленинградской области

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$; *** – $P \leq 0,001$ compared with I group;

**** – «physiological norm» within the bounds of 25 and 75 percentiles was estimated for cows bred in Leningrad region

Отмечено относительно меньшее содержание в шерсти коров I группы целого ряда химических элементов: Co – на 90,9 % ($P \leq 0,001$) относительно III группы; Cr – на 37,9 % ($P \leq 0,05$) относительно II и в 2,1 раза ($P \leq 0,01$) – относительно III группы; Fe и Mn – на 3,3 раза ($P \leq 0,05$) и 1,8 раза ($P \leq 0,05$) в сравнении с III; I – на 41,8 % ($P \leq 0,05$) относительно II (рис. 2); V – на 62,5 % ($P \leq 0,05$) относительно III группы. Исключением являлся только Si, концентрация которого в шерсти животных I группы превысила уровень III на 41,2 % ($P \leq 0,01$) (рис. 3).

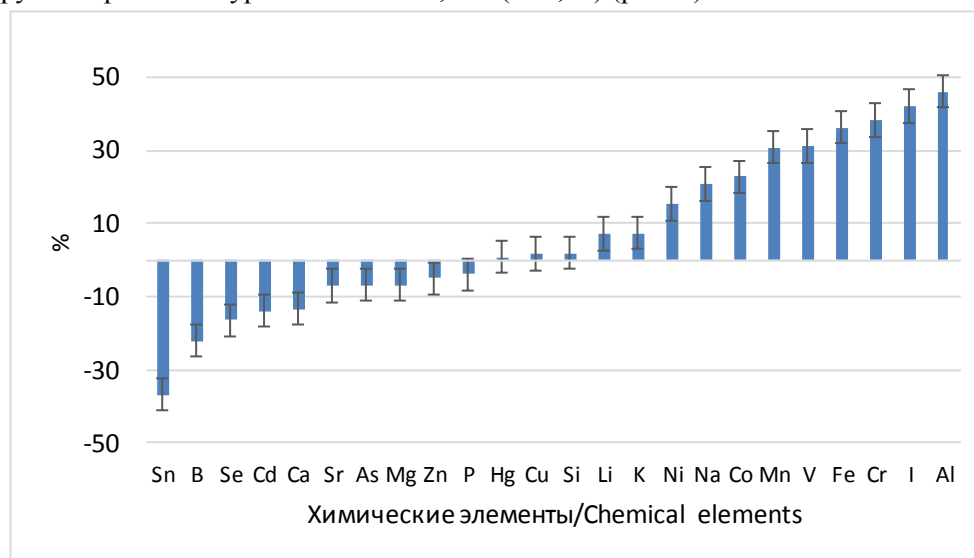


Рис. 2 – Элементный профиль (элементный состав шерсти) коров II группы относительно I группы, установленный по элементному составу шерсти, %

Figure 2 – The element profile (elemental composition of hairs) in cows of II group relatively to the I group determined by the elemental composition of hairs, %

Выраженными оказались различия по концентрации элементов в шерсти животных II и III групп (рис. 4).

При этом фактически обменный пул Pb в организме коров, оценённый по составу шерсти, не коррелировал ни с одним из эссенциальных элементов, за исключением хрома во II группе (табл. 2).

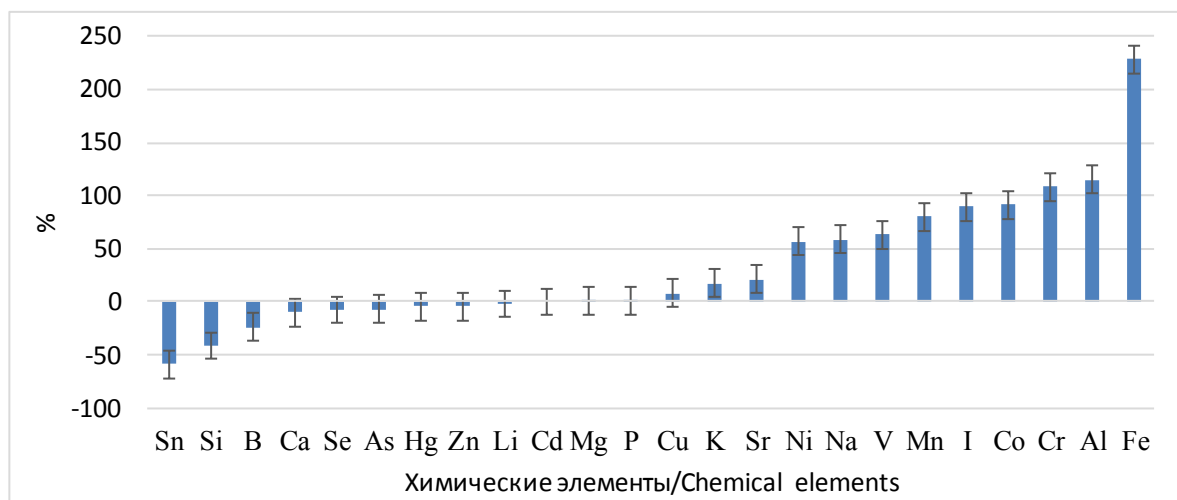


Рис. 3 – Элементный профиль (элементный состав шерсти) коров III группы относительно I группы, %
 Figure 3 – The element profile (elemental composition of hairs) in cows of III group relatively to the I group, %

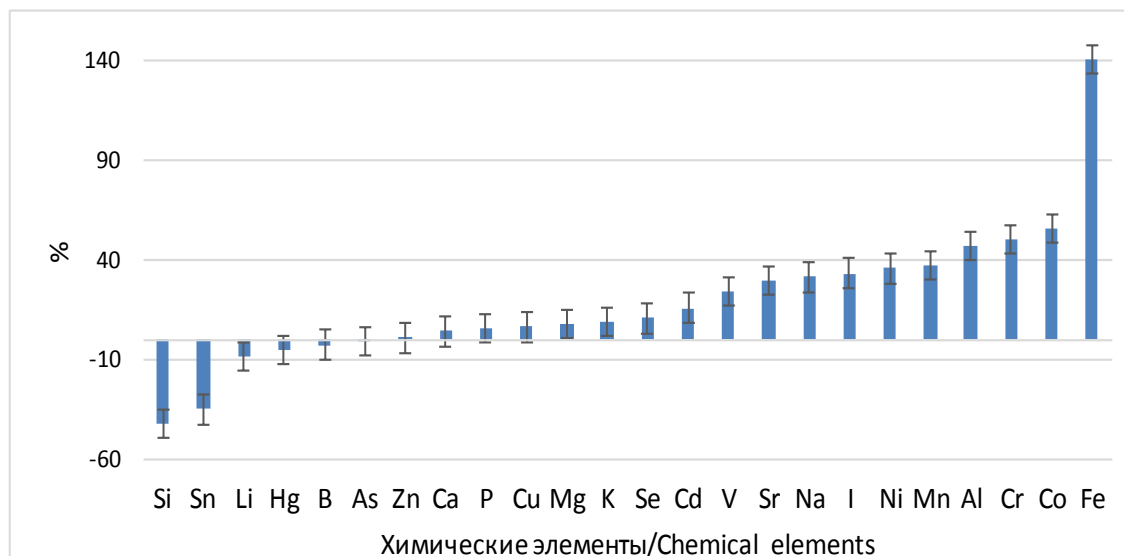


Рис. 4 – Элементный профиль (элементный состав шерсти) коров III группы относительно II группы, %
 Figure 4 – The element profile (elemental composition of hairs) in cows of III group relatively to the II group, %

Таблица 2. Корреляция Спирмена концентрации химических элементов в шерсти с холки коров голштинской породы в зависимости от процентильного интервала
 Table 2. The Spearman's correlation of chemical elements concentration in hairs from the withers in Holstein cows, depending on the percentile interval

Химические элементы/ Chemical elements	Al	As	Cd	Hg	Pb	Sn
1	2	3	4	5	6	7
I группа/I group						
Ca	0,44	0,19	0,71*	0,44	0,44	0,09
Co	0,83*	0,59	0,72*	0,41	0,53	-0,03
Cr	0,68*	0,61	0,57	0,17	0,18	-0,33

Продолжение 2 таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Cu	0,49	0,74*	0,39	0,08	0,08	-0,26
Fe	0,39	0,32	0,86*	0,20	0,02	0,12
I	-0,05	-0,01	-0,47	-0,29	0,22	-0,07
K	-0,25	-0,18	-0,15	-0,06	0,13	-0,04
Mg	0,61	0,19	0,37	0,10	0,58	-0,36
Mn	0,64*	0,51	0,76*	0,58	0,38	-0,16
Na	-0,31	0,09	-0,26	-0,04	-0,01	-0,16
P	0,59	0,27	0,33	0,04	0,35	-0,47
Se	0,38	-0,02	-0,16	-0,07	0,59	0,08
Zn	0,44	0,84*	0,56	-0,04	0,07	-0,39
II группа/II group						
Ca	0,10	-0,64*	0,44	-0,01	0,01	-0,27
Co	0,50*	0,17	0,41	0,35	0,30	-0,21
Cr	0,24	-0,31	0,13	0,01	0,54*	0,35
Cu	0,11	0,55*	-0,29	0,02	0,21	0,10
Fe	0,26	-0,05	0,11	0,21	0,33	0,11
I	-0,25	0,34	0,20	0,00	-0,38	0,27
K	-0,09	-0,41	0,48*	0,12	-0,09	0,07
Mg	-0,03	-0,56*	0,47*	-0,03	-0,12	-0,18
Mn	0,27	-0,03	0,69*	0,36	-0,04	-0,18
Na	-0,05	-0,07	0,14	-0,12	-0,05	0,21
P	-0,02	-0,43	0,35	0,20	0,02	-0,25
Se	0,17	-0,42	0,27	0,01	0,00	-0,32
Zn	0,24	0,69*	-0,15	0,29	0,09	0,00
III группа/III group						
Ca	0,10	-0,47	0,65	-0,31	-0,02	0,05
Co	-0,05	-0,08	0,57	0,22	0,08	0,42
Cr	-0,08	-0,12	0,35	0,22	-0,22	0,40
Cu	-0,25	-0,22	-0,67*	0,00	0,22	-0,62
Fe	-0,05	-0,03	0,38	0,34	0,00	0,48
I	-0,18	-0,47	0,35	-0,02	0,37	-0,15
K	-0,30	-0,63	0,33	-0,20	0,13	-0,42
Mg	0,13	-0,55	0,68*	-0,34	0,02	-0,02
Mn	-0,08	-0,32	0,45	-0,12	0,32	-0,05
Na	0,10	-0,82*	0,33	-0,54	-0,27	-0,37
P	0,14	-0,51	0,69*	-0,21	0,14	0,04
Se	0,00	-0,52	0,45	-0,32	-0,37	-0,05
Zn	-0,09	-0,19	-0,69*	-0,18	0,25	-0,69*

Примечание: * – корреляция значима на уровне $P \leq 0,05$ Note: * – correlation is significant at the level of $P \leq 0,05$

Полученные в нашем исследовании результаты продемонстрировали негативную тенденцию в показателях количества и качества молока по мере увеличения концентрации обменного пула свинца в организме, оценённого по химическому составу шерсти (табл. 3).

Самый высокий выход молочного жира, белка и сухого вещества отмечался от коров с содержанием свинца в шерсти ниже 25 процентиля. По мере увеличения содержания свинца от минимального к максимальному в процентильных интервалах 25-75 и больше 75 процентиля происходило снижение жира на 18,8 % ($P \leq 0,05$) и 25,3 % ($P \leq 0,05$); белка – на 9,7 ($P \leq 0,05$) и 10,7 % ($P \leq 0,05$); сухого вещества – на 8,0 и 13,0 % ($P \leq 0,05$). Среднесуточный надой скорректированного по 1 % жиру молока при этом понижался соответственно на 19,2 ($P \leq 0,05$) и 25,3 % ($P \leq 0,05$).

Таблица 3. Показатели количества и качества молока в зависимости от процентильного интервала концентрации свинца в шерсти с холки коров голштинской породы
Table 3. The quantitative and qualitative indicators of milk depending on the percentile range of lead concentration in hairs from the withers in Holstein cows

Показатель/Indicator	Группа/Group					
	I		II		III	
	M	STD	M	STD	M	STD
Выход жира, кг/сут/Fat yield, kg/day	1,83	0,347	1,54	0,318*	1,46	0,208*
Выход белка, кг/сут/Protein yield, kg/day	1,24	0,129	1,13	0,106*	1,12	0,07*
Выход лактозы, кг/сут/ Lactose yield, kg/day	2,15	0,247	2,13	0,206	2,02	0,168
Выход сухого вещества, кг/сут/ Dry matter yield, kg/day	5,48	0,651	5,07	0,565	4,85	0,324*
Выход СОМО, кг/сут/Output of skimmed milk solids, kg/day	3,67	0,392	3,54	0,319	3,4	0,216
Средний дневной надой 1 % молока, л/сут/Average daily yield 1 % milk, l/day	183,1	34,74	153,6	31,8*	146,1	20,81*
Средний дневной надой, л/сут/ Average daily milk yield, liters/day	43,8	5,19	40,65	4,23	38,08	3,4

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

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$, *** – $P \leq 0.001$ compared with I group

Расчёт коэффициентов ранговой корреляции Спирмена подтвердил отрицательную статистически значимую степень влияния уровня обменного пула свинца в организме на выход жира, белка, сухого вещества и скорректированного по 1 % жиру молока у исследуемых коров (табл. 4).

Таблица 4. Корреляция Спирмена концентрации свинца в шерсти с холки коров голштинской породы (мкг/г) с показателями молочной продуктивности и качеством молока (кг/сут)

Table 4. The Spearman's correlation of lead concentration ($\mu\text{g/g}$) in hairs from the withers in Holstein cows with milk productivity and quality of milk (kg/d)

Элемент	Жир/Fat	Белок/ Protein	Сухое вещество/ Dry matter	СОМО/ Skimmed milk solids	Лактоза/ Lactose	1 % молоко/1 % milk
Pb	-0,50*	-0,37*	-0,48*	-0,31	-0,25	-0,50*

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

Note: * – correlation is significant at the level of $P \leq 0.05$

Индивидуальная оценка элементного статуса коров с наиболее высокими и низкими среднесуточными удоями в период раздоя выявила следующие различия (рис. 5, 6).

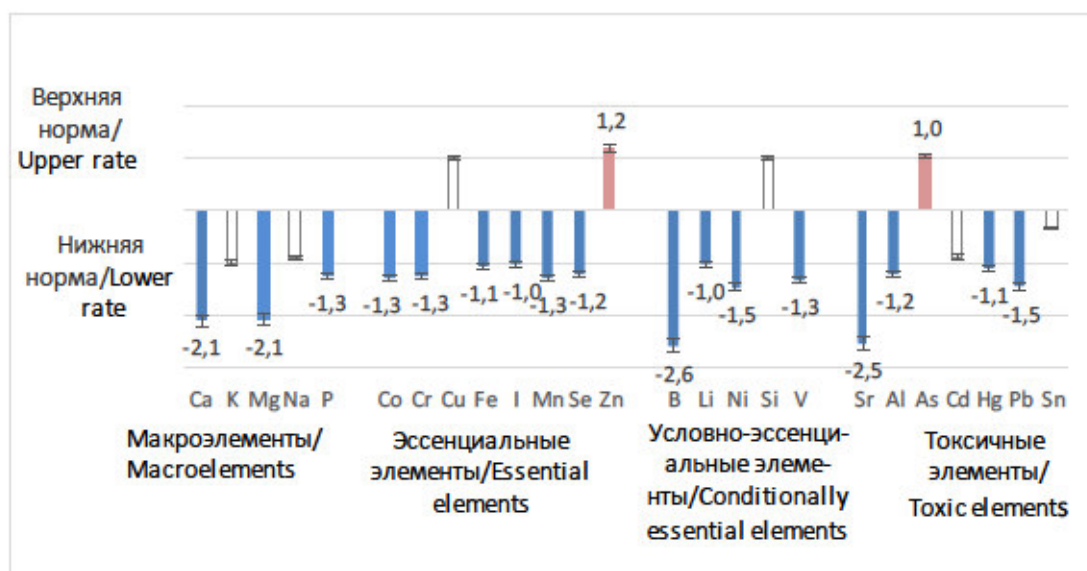


Рис. 5 – Кратность отклонений элементного состава шерсти с холки коровы голштинской породы с максимальной по стаду молочной продуктивностью в период раздоя от «физиологической нормы», установленной в границах 25 и 75 перцентилей (молочная продуктивность, скорректированная по содержанию 1 % жира – 246 л/сут), (приведено по методу доктора Скального)

Figure 5 – The multiplicity of deviations of the elemental composition in hairs from the withers in Holstein cow with the maximum milk productivity within the herd during the milking period from the «physiological norm» estimated within the boundaries 25 and 75 percentiles (milk productivity, adjusted for 1 % fat content – 246 l/day), (given by the method of Dr. Skalny)

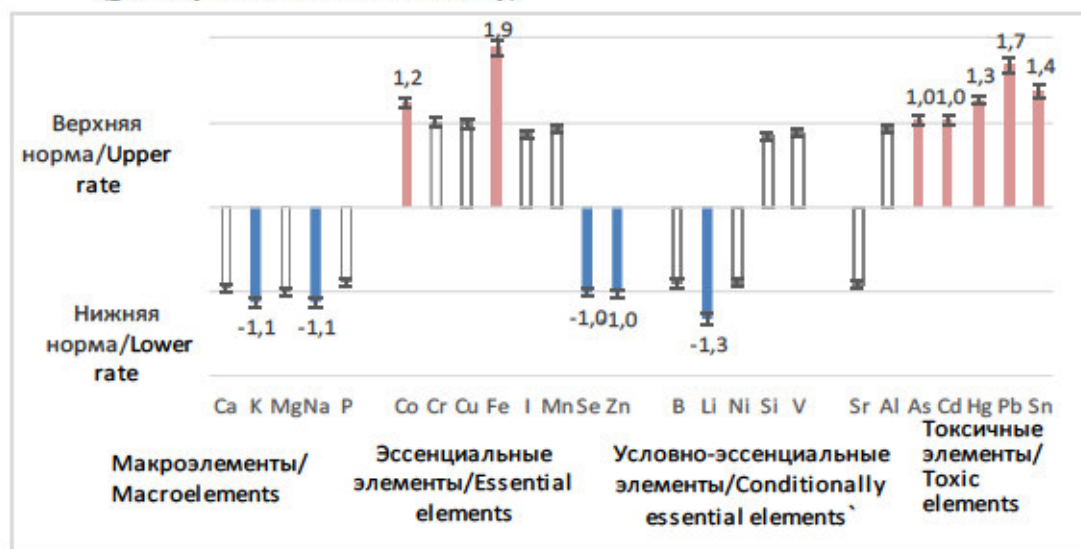


Рис. 6 – Кратность отклонений элементного состава волос с холки коровы голштинской породы с минимальной по стаду молочной продуктивностью в период раздоя от «физиологической нормы», установленной в границах 25 и 75 перцентилей (молочная продуктивность, скорректированная по содержанию 1 % жира – 108,9 л/сут), (приведено по методу доктора Скального)

Figure 6 – The multiplicity of deviations of the elemental composition in hairs from the withers in Holstein cow with the minimal milk productivity within the herd during the milking period from the «physiological norm» estimated within the boundaries 25 and 75 percentiles (milk productivity, adjusted for 1 % fat content – 108.9 l/day), (given by the method of Dr. Skalny)

Обсуждение полученных результатов.

Создание и дальнейшее развитие единой системы индивидуального мониторинга состояния высокопродуктивных коров для преодоления метаболических нарушений (Rauw W et al., 1998) тесно связаны с использованием методов неинвазивной оценки обмена веществ по составу биосубстратов, что может быть достигнуто через индивидуальное исследование элементного состава шерсти. Возможно, что наиболее ценная информация, получаемая в этих исследованиях, состоит в оценке обменных пулов токсических элементов в организме животных на период роста отбираемых проб шерсти.

К числу наиболее широко распространённых токсических элементов в окружающей среде, оказывающих влияние на здоровье и продуктивность животных, относится свинец (Raikwar MK et al., 2008). Известно выраженное токсическое действие этого элемента на организм крупного рогатого скота (Cai Q et al., 2009) и человека при употреблении мяса и молока (Asano K et al., 2005b). Эти факты обосновывают целесообразность исследований по оценке влияния свинца на организм и продуктивность молочных коров. При этом в качестве маркера содержания свинца в организме может быть использована шерсть животных (Zhao XJ et al., 2015), что подтверждается данными, накопленными в медицине (Lazarus M et al., 2008).

Полученные в нашем исследовании результаты демонстрируют тесную связь «обменного пула» свинца, оцениваемого по составу шерсти, с обменом минеральных веществ, количеством и качеством продукции молочных коров (выбор периода первых 30-40 суток лактации определялся максимальной мобилизацией свинца из костей). В частности, в шерсти коров с содержанием свинца ниже 25 процентиля отмечено относительно меньшее содержание целого ряда химических элементов (Co, Cr Fe, Mn, I, V). Самый высокий суточный удой, выход жира, белка и сухого вещества отмечались у коров с содержанием свинца в шерсти ниже 25 процентиля. По мере увеличения содержания свинца от минимального к максимальному в процентильных интервалах 25-75 и более 75 происходило достоверное снижение этих показателей.

Объяснить факт изменения минерального обмена на фоне превышения норм по свинцу в шерсти возможно межэлементными взаимодействиями. Известно, что на фоне увеличения уровня свинца в организме изменяются обмены других химических элементов, в том числе железа (Wang Y et al., 2012), селена (López Alonso M, et al., 2004), кобальта и меди (Patra RC et al., 2001a,b), цинка и марганца (Patra RC et al., 2008), что в целом приводит к нарушению минерального гомеостаза (Raikwar MK et al., 2008).

Однако, как следует из таблицы 3, концентрация свинца в шерсти коров коррелировала только с уровнем хрома во II группе. Это может указывать на иные причины снижения продуктивности коров и изменений в метаболизме химических элементов при увеличении свинца в шерсти.

Объяснение причин относительно низкой продуктивности коров с повышенным содержанием свинца в шерсти возможно с учётом сведений об отрицательном влиянии этого элемента на здоровье животных (Flora SJ, 2011), в том числе через развитие окислительного стресса (Vaziri ND and Khan M, 2007).

Между тем следует отметить, что в ходе наших исследований мы не создавали искусственно избытка свинца в организме коров III группы. Животные сравниваемых групп были выращены в одних и тех же условиях, получали одни и те же рационы с одинаковым содержанием свинца. При этом в шерсти животных II и III групп оказалось повышенное содержание свинца в сравнении с I группой.

Откуда в таком количестве взялся свинец в организме животных? Известны по крайней мере две причины этого явления. С одной стороны, в период лактации отмечается значительное, до двух раз и более, повышение поглощения свинца из пищи и воды (Rabinowitz MB, 1991).

Основным же источником свинца в организме животных и человека в период лактации является депо этого элемента в костях (Maldonado-Vega M, 1996). Причём в отдельных случаях поступление свинца из костей при беременности и лактации может быть настолько значительным, что способно привести к материнской интоксикации, что показано для человека (Bellinger D et al., 1987). Ранее авторы статьи в исследованиях на молочных коровах на начальном этапе лактации фиксировали превышение «физиологических норм» у отдельных животных по содержанию в шерсти свинца в 25-30 раз.

Возможно, что описанная нами адаптационная реакция является общей для высокопродуктивных молочных коров. Но последствия развития этой реакции у отдельных животных сопряжены со снижением продуктивности и воспроизводительной способности лактирующих животных. А также ухудшением здоровья молодняка, что показано для человека (Dietrich KN et al., 1990).

Однако следует признать, что на продуктивность молочных коров оказывает влияние большое число факторов. Причём свинец, как фактор внешней среды, далеко не является наиболее важным. Как следует из таблицы 1, аналогичные различия в продуктивности животных мы выявили бы, если сравнивали группы животных по содержанию в шерсти алюминия. Скорее необходимо говорить об общих отклонениях в минеральном обмене животных II и III групп, связанных с относительно низкой эффективностью системы детоксикации и выведения из организма свинца и других элементов. Косвенно на это указывает повышенное удельное содержание токсических элементов в шерсти животных III группы. Сходные различия отмечены и по содержанию эссенциальных микроэлементов и макроэлементов.

Наиболее показательным в этой связи является элементный профиль коров с минимальной продуктивностью за эксперимент (рис. 6). Для этого животного характерно превышение физиологических норм по пяти токсическим элементам (As, Cd, Hg, Pb, Sn). Тогда как в элементном профиле самой высокопродуктивной коровы в наших исследованиях (рис. 5), напротив, только по мышьяку установлена верхняя граница нормы. Следует отметить, что ранее авторы статьи в сходных условиях описали факт негативного влияния повышенного содержания в шерсти токсических элементов на резвость у лошадей (Kalashnikov V et al., 2018).

В числе физиологических причин повышения обменного пула токсических элементов в организме животных можно выделить недостаточно эффективную «работу» metallothionein (Wong DL et al., 2017), белка участвующего в детоксикации тяжёлых металлов (Petering DH et al., 2009).

Выводы.

Элементный состав шерсти находится в тесной связи с продуктивностью молочных коров. Содержание свинца в шерсти отрицательно коррелирует с количественными и качественными параметрами молока коров. Необходимо проведение дальнейших исследований по возможности использования показателей «физиологической нормы» содержания токсических химических элементов в шерсти молочных коров для повышения продуктивности и сохранения здоровья животных, создания эффективной системы индивидуального мониторинга здоровья высокопродуктивного скота.

Исследования выполнены по государственной программе тема 8-0526-2019-0001

Литература

1. Скальная М.Г., Демидов В.А., Скальный А.В. О пределах физиологического (нормального) содержания Ca, Mg, P, Fe, Zn и Cu в волосах человека // Микроэлементы в медицине. 2003. Т. 4. Вып. 2. С. 5-10 [Skalnaya MG, Demidov VA, Skalny AV. About the limits of physiological (normal) content of Ca, Mg, P, Fe, Zn and Cu in human hair. Mikroelementy v meditsine. 2003;4(2):5-10. (*In Russ*)].
2. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Asano R, Sakai T. Twenty-eight element concentrations in mane hair samples of adult riding horses determined by particle-induced X-ray emission. Biol Trace Elem Res. 2005a;107(2):135-140. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:107:2:135>
3. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Matsumoto T, Asano R, Sakai T. Correlation between 25 element contents in mane hair in riding horses and atrioventricular block. Biol Trace Elem Res. 2005b;108(1-3):127-135. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:108:1-3:127>
4. Asano R, Suzuki K, Otsuka T, Otsuka M, Sakurai H. Concentrations of toxic metals and essential minerals in the mane hair of healthy racing horses and their relation to age. J Vet Med Sci. 2002;64(7):607-610. doi: <https://doi.org/10.1292/jvms.64.607>

5. Assi MA, Hezmee MNM, Haron AW, Sabri MYM, Rajion MA. The detrimental effects of lead on human and animal health. *Vet World*. 2016;9(6):660-671. doi: 10.14202/vetworld.2016.660-671
6. Bellinger D, Leviton A, Waterneaux C, Needleman HL, Rabinowitz M. Longitudinal analyses of prenatal and postnatal lead exposure and early cognitive development. *N. Engl. J.* 1987;316(17):1037-1043
7. Bellinger D, Sloman J, Leviton A, Rabinowitz M, Needleman HL, Waterneaux C. Low-level lead exposure and children's cognitive function in the preschool years. *Pediatrics*. 1991;87(2):219-227
8. Cai Q, Long ML, Zhu M, Zhou QZ, Zhang L. Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead-zinc smelter in Guizhou, China. *J Liu Environmental Pollution*. 2009;157(11):3078-3082. doi: 10.1016/j.envpol.2009.05.048
9. Combs DK. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. *J Anim Sci*. 1987;65(6):1753-1758. doi: 10.2527/jas1987.6561753x
10. Dietrich KN, Succop PA, Bornschein RL, Krafft KM, Berger O, Hammond PB, Buncher CR. Lead exposure and neurobehavioral development in later infancy. *Environ. Health Perspect*. 1990;89:13-19
11. Flora SJ. Review Arsenic-induced oxidative stress and its reversibility. *Free Radic Biol Med*. 2011;51(2):257-281
12. Garland M, Morris JS, Rosner BA, Stampfer MJ, Spate VL, Baskett CJ. Toenail trace element levels as biomarkers: reproducibility over a 6-year period. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*. 1993;2:493-497
13. González-Weller D, Karlsson L, Caballero A, Hernández F, Gutiérrez A, González-Iglesias T, Marino M, Hardisson A. Lead and cadmium in meat and meat products consumed by the population in Tenerife Island, Spain. *Food Addit Contam*. 2006;23(8):757-763
14. Horvath PJ, Eagen CK, Ryer-Calvin SD. Serum zinc and blood rheology in sportsmen (football players). *Clin. Hemorheol. Microcirc*. 1997;17(1):47-58.
15. Kalashnikov V, Zajcev A, Atroshchenko M, Miroshnikov S, Frolov A, Zav'yalov O, Kalinkova L, Kalashnikova T. The content of essential and toxic elements in the hair of the mane of the trotter horses depending on their speed. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018;25(22):21961-21967. doi: 10.1007/s11356-018-2334-2
16. Lazarus M, Orct T, Blanusa M, Vickovic I, Sostarić B. Toxic and essential metal concentrations in four tissues of red deer (*Cervus elaphus*) from Baranja, Croatia. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 2008;25(3):270-283
17. López Alonso M, Prieto Montaña F, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Luis Benedito J. Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW. Spain *Biomaterials*. 2004;17(4):389-397
18. Maldonado-Vega M, Cerbón-Solorzano J, Albores-Medina A, Hernández-Luna C, Calderón-Salinas JV. Lead: intestinal absorption and bone mobilization during lactation *Hum Exp Toxicol*. 1996;15(11):872-867. <https://doi.org/10.1177/096032719601501102>
19. Malhat F, Hagag M, Saber A, Fayz AE. Contamination of cows milk by heavy metal in Egypt. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012;88(4):611-613. doi: 10.1007/s00128-012-0550-x
20. Miroshnikov S, Kharlamov A, Zav'yalov O, Frolov A, Duskaev G, Bolodurina I, Arapova O. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015;14(9):632-636.
21. Orisakwe OE, Oladipo OO, Ajaezi GC, Udowelle NA. Horizontal and vertical distribution of heavy metals in farm produce and livestock around lead-contaminated goldmine in Dareta and Abare, Zamfara State, Northern Nigeria. *J Environ Public Health*. 2017;2:1-12. doi: 10.1155/2017/3506949
22. Patra R, Swarup D, Dwivedi S. Antioxidant effects of α tocopherol, ascorbic acid and L-methionine on lead induced oxidative stress to the liver, kidney and brain in rats. *Toxicology*. 2001a;162(2):81-88. doi: 10.1016/S0300-483X(01)00345-6

23. Patra RC, Swarup D, Dwivedi SK, Sahoo A. Trace minerals in blood of young calves during exposure to lead. *Indian Journal of Animal Science*. 20016;71(6):507-510.
24. Patra RC, Swarup D, Kumar P, Nandi D, Naresh R, Ali SL. Milk trace elements in lactating cows environmentally exposed to higher level of lead and cadmium around different industrial units. *Science of the Total Environment*. 2008;404(1):36-43. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.06.010
25. Pavlata L, Chomat M, Pechova A, Misurova L, Dvorak R. Impact of long-term supplementation of zinc and selenium on their content in blood and hair in goats. *Veterinarni Medicina*. 2011;56(2):63-74.
26. Petering DH, Krezoski S, Tabatabai NM. Metallothionein toxicology: metal ion trafficking and cellular protection. *Metallothioneins and Related Chelators: Metal Ions in Life Sciences*. Sigel A, Sigel H, Sigel RKO, editors. UK, Cambridge: RSC Publishing. 2009;5:353-397.
27. Rabinowitz MB. Toxicokinetics of bone lead. *Environ. Health Perspect*. 1991;91:33-37.
28. Raikwar MK, Kumar P, Singh M, Singh A. Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Vet World*. 2008;1(1):28-30.
29. Rauw W, Kanis E, Noordhuizen-Stassen E, Grommers F. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livest. Prod. Sci*. 1998;56:15-33. doi: 10.1016/S0301-6226(98)00147-X
30. Sansar W, Bouyatas MM, Ahboucha S, Gamrani H. Effects of chronic lead intoxication on rat serotonergic system and anxiety behavior. *Acta Histochem*. 2012; 114:41-45. doi: 10.1016/j.acthis.2011.02.003
31. Swarup D, Patra RC, Naresh R, Kumar P, Shekhar P. Blood lead levels in lactating cows reared around polluted localities; transfer of lead into milk. *Sci Total Environ*. 2005;347(1-3):106-110
32. Tangpong J, Satarug S. Alleviation of lead poisoning in the brain with aqueous leaf extract of the *Thunbergia laurifolia* (Linn.). *Toxicol. Lett*. 2010;198:83-88. doi: 10.1016/j.toxlet.2010.04.031
33. Tripathi RM, Raghunath R, Sastry VN, Krishnamoorthy TM. Daily intake of heavy metals by infants through milk and milk products. *Science of the Total Environment*. 1999;227(3):229-235. doi: 10.1016/S0048-9697(99)00018-2
34. Valverde M, Fortoul TI, Díaz-Barriga F, Mejía J, del Castillo ER. Genotoxicity induced in CD-1 mice by inhaled lead: Differential organ response. *Mutagenesis*. 2002;17(1):55-61. doi: 10.1093/mutage/17.1.55
35. Vaziri ND, Khan M. Review Interplay of reactive oxygen species and nitric oxide in the pathogenesis of experimental lead-induced hypertension. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2007;34(9):920-925
36. Wang Y, Ou YL, Liu YQ, Xie Q, Liu QF, Wu Q, Fan TQ, Yan LL, Wang JY. Correlations of trace element levels in the diet, blood, urine, and feces in the Chinese male. *Biol Trace Elem Res*. 2012;145(2):127-135. doi: 10.1007/s12011-011-9177-8
37. Wong DL, Merrifield-Mac Rae M, Stillman MJ. Lead (II) Binding in Metallothioneins. *Lead: Its Effects on Environment and Health*. *Metal Ions in Life Sciences*. 2017;17:241-269
38. Xun P, Bujnowski D, Liu K, Morris JS, Guo Z, He K. Distribution of toenail selenium levels in young adult Caucasians and African Americans in the United States: the CARDIA. *Trace Element Study*. *Environ Res*. 2011;111:514-519. doi: 10.1016/j.envres.2011.01.016
39. Zhao XJ, Wang XY, Wang JH, Wang ZY, Wang L, Wang ZH. Oxidative stress and imbalance of mineral metabolism contribute to lameness in dairy cows. *Biol Trace Elem Res*. 2015;164(1):43-49. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0207-1>

References

1. 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;4(2):5-10.
2. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Asano R, Sakai T. Twenty-eight element concentrations in mane hair samples of adult riding horses determined by particle-induced X-ray emission. *Biol Trace Elem Res*. 2005a;107(2):135-140. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:107:2:135>

3. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Matsumoto T, Asano R, Sakai T. Correlation between 25 element contents in mane hair in riding horses and atrioventricular block. *Biol Trace Elem Res.* 2005;108(1-3):127-135. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:108:1-3:127>
4. Asano R, Suzuki K, Otsuka T, Otsuka M, Sakurai H. Concentrations of toxic metals and essential minerals in the mane hair of healthy racing horses and their relation to age. *J Vet Med Sci.* 2002;64(7):607-610. doi: <https://doi.org/10.1292/jvms.64.607>
5. Assi MA, Hezmee MNM, Haron AW, Sabri MYM, Rajion MA. The detrimental effects of lead on human and animal health. *Vet World.* 2016;9(6):660-671. doi: 10.14202/vetworld.2016.660-671
6. Bellinger D, Leviton A, Waterneaux C, Needleman HL, Rabinowitz M. Longitudinal analyses of prenatal and postnatal lead exposure and early cognitive development. *N. Engl. J.* 1987;316(17):1037-1043
7. Bellinger D, Sloman J, Leviton A, Rabinowitz M, Needleman HL, Waterneaux C. Low-level lead exposure and children's cognitive function in the preschool years. *Pediatrics.* 1991;87(2):219-227
8. Cai Q, Long ML, Zhu M, Zhou QZ, Zhang L. Food chain transfer of cadmium and lead to cattle in a lead-zinc smelter in Guizhou, China. *J Liu Environmental Pollution.* 2009;157(11):3078-3082. doi: 10.1016/j.envpol.2009.05.048
9. Combs DK. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. *J Anim Sci.* 1987;65(6):1753-1758. doi: 10.2527/jas1987.6561753x
10. Dietrich KN, Succop PA, Bornschein RL, Krafft KM, Berger O, Hammond PB, Buncher CR. Lead exposure and neurobehavioral development in later infancy. *Environ. Health Perspect.* 1990;89:13-19
11. Flora SJ. Review Arsenic-induced oxidative stress and its reversibility. *Free Radic Biol Med.* 2011;51(2):257-281
12. Garland M, Morris JS, Rosner BA, Stampfer MJ, Spate VL, Baskett CJ. Toenail trace element levels as biomarkers: reproducibility over a 6-year period. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev.* 1993;2:493-497
13. González-Weller D, Karlsson L, Caballero A, Hernández F, Gutiérrez A, González-Iglesias T, Marino M, Hardisson A. Lead and cadmium in meat and meat products consumed by the population in Tenerife Island, Spain. *Food Addit Contam.* 2006;23(8):757-763
14. Horvath PJ, Eagen CK, Ryer-Calvin SD. Serum zinc and blood rheology in sportsmen (football players). *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 1997;17(1):47-58.
15. Kalashnikov V, Zajcev A, Atroshchenko M, Miroshnikov S, Frolov A, Zav'yalov O, Kalinkova L, Kalashnikova T. The content of essential and toxic elements in the hair of the mane of the trotter horses depending on their speed. *Environmental Science and Pollution Research.* 2018;25(22):21961-21967. doi: 10.1007/s11356-018-2334-2
16. Lazarus M, Orct T, Blanusa M, Vickovic I, Sostarić B. Toxic and essential metal concentrations in four tissues of red deer (*Cervus elaphus*) from Baranja, Croatia. *Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess.* 2008;25(3):270-283
17. López Alonso M, Prieto Montaña F, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Luis Benedito J. Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW. Spain *Biometals.* 2004;17(4):389-397
18. Maldonado-Vega M, Cerbón-Solorzano J, Albores-Medina A, Hernández-Luna C, Calderón-Salinas JV. Lead: intestinal absorption and bone mobilization during lactation *Hum Exp Toxicol.* 1996;15(11):872-867. <https://doi.org/10.1177/096032719601501102>
19. Malhat F, Hagag M, Saber A, Fayz AE. Contamination of cows milk by heavy metal in Egypt. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.* 2012;88(4):611-613. doi: 10.1007/s00128-012-0550-x
20. Miroshnikov S, Kharlamov A, Zav'yalov O, Frolov A, Duskaev G, Bolodurina I, Arapova O. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. *Pakistan Journal of Nutrition.* 2015;14(9):632-636.

21. Orisakwe OE, Oladipo OO, Ajaezi GC, Udowelle NA. Horizontal and vertical distribution of heavy metals in farm produce and livestock around lead-contaminated goldmine in Dareta and Abare, Zamfara State, Northern Nigeria. *J Environ Public Health*. 2017;2:1-12. doi: 10.1155/2017/3506949
22. Patra R, Swarup D, Dwivedi S. Antioxidant effects of α tocopherol, ascorbic acid and L-methionine on lead induced oxidative stress to the liver, kidney and brain in rats. *Toxicology*. 2001a;162(2):81-88. doi: 10.1016/S0300-483X(01)00345-6
23. Patra RC, Swarup D, Dwivedi SK, Sahoo A. Trace minerals in blood of young calves during exposure to lead. *Indian Journal of Animal Science*. 2001b;71(6):507-510.
24. Patra RC, Swarup D, Kumar P, Nandi D, Naresh R, Ali SL. Milk trace elements in lactating cows environmentally exposed to higher level of lead and cadmium around different industrial units. *Science of the Total Environment*. 2008;404(1):36-43. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.06.010
25. Pavlata L, Chomat M, Pechova A, Misurova L, Dvorak R. Impact of long-term supplementation of zinc and selenium on their content in blood and hair in goats. *Veterinarni Medicina*. 2011;56(2):63-74.
26. Petering DH, Krezoski S, Tabatabai NM. Metallothionein toxicology: metal ion trafficking and cellular protection. *Metallothioneins and Related Chelators: Metal Ions in Life Sciences*. Sigel A, Sigel H, Sigel RKO, editors. UK, Cambridge: RSC Publishing. 2009;5:353-397.
27. Rabinowitz MB. Toxicokinetics of bone lead. *Environ. Health Perspect*. 1991;91:33-37.
28. Raikwar MK, Kumar P, Singh M, Singh A. Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Vet World*. 2008;1(1):28-30.
29. Rauw W, Kanis E, Noordhuizen-Stassen E, Grommers F. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livest. Prod. Sci*. 1998;56:15-33. doi: 10.1016/S0301-6226(98)00147-X
30. Sansar W, Bouyatas MM, Ahboucha S, Gamrani H. Effects of chronic lead intoxication on rat serotonergic system and anxiety behavior. *Acta Histochem*. 2012; 114:41-45. doi: 10.1016/j.acthis.2011.02.003
31. Swarup D, Patra RC, Naresh R, Kumar P, Shekhar P. Blood lead levels in lactating cows reared around polluted localities; transfer of lead into milk. *Sci Total Environ*. 2005;347(1-3):106-110
32. Tangpong J, Satarug S. Alleviation of lead poisoning in the brain with aqueous leaf extract of the *Thunbergia laurifolia* (Linn.). *Toxicol. Lett*. 2010;198:83-88. doi: 10.1016/j.toxlet.2010.04.031
33. Tripathi RM, Raghunath R, Sastry VN, Krishnamoorthy TM. Daily intake of heavy metals by infants through milk and milk products. *Science of the Total Environment*. 1999;227(3):229-235. doi: 10.1016/S0048-9697(99)00018-2
34. Valverde M, Fortoul TI, Díaz-Barriga F, Mejía J, del Castillo ER. Genotoxicity induced in CD-1 mice by inhaled lead: Differential organ response. *Mutagenesis*. 2002;17(1):55-61. doi: 10.1093/mutage/17.1.55
35. Vaziri ND, Khan M. Review Interplay of reactive oxygen species and nitric oxide in the pathogenesis of experimental lead-induced hypertension. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2007;34(9):920-925
36. Wang Y, Ou YL, Liu YQ, Xie Q, Liu QF, Wu Q, Fan TQ, Yan LL, Wang JY Correlations of trace element levels in the diet, blood, urine, and feces in the Chinese male. *Biol Trace Elem Res*. 2012;145(2):127-135. doi: 10.1007/s12011-011-9177-8
37. Wong DL, Merrifield-Mac Rae M, Stillman MJ. Lead (II) Binding in Metallothioneins. *Lead: Its Effects on Environment and Health. Metal Ions in Life Sciences*. 2017;17:241-269
38. Xun P, Bujnowski D, Liu K, Morris JS, Guo Z, He K. Distribution of toenail selenium levels in young adult Caucasians and African Americans in the United States: the CARDIA. *Trace Element Study. Environ Res*. 2011;111:514-519. doi: 10.1016/j.envres.2011.01.016
39. Zhao XJ, Wang XY, Wang JH, Wang ZY, Wang L, Wang ZH. Oxidative stress and imbalance of mineral metabolism contribute to lameness in dairy cows. *Biol Trace Elem Res*. 2015;164(1):43-49. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-014-0207-1>

Мирошников Сергей Александрович, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, директор, 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 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, 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, 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

Курилкина Марина Яковлевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Испытательного центра ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)77-39-97, e-mail: icvniims.or@mail.ru

Поступила в редакцию 7 июня 2019 г.; принята после решения редколлегии 17 июня 2019 г.; опубликована 28 июня 2019 г. / Received: 7 June 2019; Accepted: 17 June 2019; Published: 28 June 2019