

УДК 636.085:577.17

DOI: 10.33284/2658-3135-103-2-8

Суммарное накопление тяжёлых металлов-микроэлементов в шерсти в связи с молочной продуктивностью коров

Т.В. Казакова, О.В. Маршинская, С.А. Мирошников, С.В. Нотова, О.А. Завьялов, А.Н. Фролов, Е.А. Тяпугин

Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)

Аннотация. Современное производство молока невозможно без непрерывного контроля состояния здоровья молочных коров, в том числе показателей минерального обмена. В настоящем исследовании изучалась молочная продуктивность лактирующих коров голштинской породы в зависимости от уровня суммарного накопления тяжёлых металлов. С целью оценки величины токсической нагрузки на организм коров вычислялся коэффициент суммарной токсической нагрузки K_{tox} . По данным расчёта были сформированы две группы: I группа включала коров голштинской породы с более низким коэффициентом токсической нагрузки ($K_{tox}=6,9$ (6,5-7,2)) относительно исследуемой выборки; II группа включала коров с более высоким коэффициентом токсической нагрузки ($K_{tox}=15,8$ (13,5-24,6)). С помощью атомно-эмиссионного и масс-спектрального анализов с индуктивно связанной плазмой был изучен элементный состав образцов шерсти и сыворотки крови коров. Оценка продуктивности животных проводилась по материалам, накопленным в племенных предприятиях в ходе контрольных доек. Согласно полученным результатам, было отмечено снижение показателей молочной продуктивности на фоне суммарного накопления тяжёлых металлов в организме животных. Таким образом, воздействие тяжёлых металлов может служить причиной экономических потерь в молочном скотоводстве.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, коровы, элементный состав, шерсть, сыворотка крови, молочная продуктивность, нагруженный метаболизм.

UDC 636.085:577.17

Total accumulation of heavy trace metals in hair caused by milk production of cows

Tatyana V Kazakova, Olga V Marshinskaya, Sergey A Miroshnikov, Svetlana V Notova, Oleg A Zavyalov, Alexey N Frolov, Evgeniy A Tyapugin

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)

Summary. Modern milk production is impossible without continuous monitoring of health status of dairy cows, including indicators of mineral metabolism. This study examined the milk productivity of lactating cows of the Holstein breed, depending on the level of total increase of heavy metals. In order to assess the toxic load on the body of cows, the coefficient of total toxic load – C_{tox} was calculated. According to the calculation data, two groups were formed: group I included cows of the Holstein breed with a lower coefficient of toxic load ($C_{tox} = 6.9$ (6.5-7.2)) relative to the studied sample; Group II included cows with a higher toxic load coefficient ($C_{tox} = 15.8$ (13.5-24.6)). Using atomic emission and mass spectral analysis with inductively coupled plasma, the elemental composition of hair and blood serum samples of cows was studied. Assessment of animal productivity was carried out on the materials accumulated in breeding enterprises during the control milking. According to the results, a decrease in milk production was observed against the background of the total accumulation of heavy metals in the animal body. Thus, exposure to heavy metals can cause economic losses in dairy farming.

Key words: heavy metals, cows, elemental composition, hair, blood serum, milk productivity, loaded metabolism.

Введение.

Современное производство молока невозможно без непрерывного контроля состояния здоровья молочных коров (Kossaibati MA and Esslemont RJ, 1997; Donat K et al., 2016), в том числе показателей минерального обмена. Как правило, необходимость оценки минерального обмена обосновывается высокой интенсивностью метаболизма жизненно необходимых элементов у лактирующих животных (Neves RC et al., 2018); ролью этих элементов в работе ферментов, гормонов, функционировании иммунной системы и др. (Radostits OM et al., 2007; Spears JW, 2000).

Между тем при современном уровне продуктивности молочных коров помимо эссенциальных элементов всё большее внимание необходимо уделять контролю обмена токсических элементов, значительное число которых относится к категории тяжёлых металлов. Это определяется необходимостью максимального снижения содержания токсических элементов в животноводческой продукции (Ciobanu C et al., 2012; Pilarczyk R et al., 2013; Cygan-Szczegieliński D et al., 2014), что обусловлено новыми данными о роли тяжёлых металлов (свинец, кадмий и др.) в развитии аутизма, болезней Альцгеймера, Паркинсона и шизофрении, заболеваний сердца и др. у человека (Yasuda H et al., 2008; Ordemann JM and Austin RN, 2016; Sobhanardakani S, 2018; Karri V et al., 2016), причём при значительно меньших, чем ранее предполагалось, концентрациях.

В этой связи наименее защищёнными являются дети, так как развивающаяся в морфофункциональном плане мозговая ткань особенно чувствительна к воздействию тяжёлых металлов (Li N et al., 2015; Hossain S et al., 2016; Caito S and Aschner M, 2017), и поступление тяжёлых металлов (свинец, кадмий и др.) сопряжено со снижением способности к обучению (Li N et al., 2014).

Понимание этого побудило многие страны в последние 5-10 лет к пересмотру норм содержания тяжёлых металлов в объектах окружающей среды и продуктах питания (Chen S et al., 2018; Zhou Q et al., 2017; Hossu CA et al., 2020; Environmental Protection Agency, 2019).

Влияние тяжёлых металлов отражается на продуктивности и здоровье животных (Hamilton JD and O'Flaherty EJ, 1995; Maboeta MS et al., 1999; Erdogan Z et al., 2005), что в конечном итоге определяет снижение экономической эффективности животноводства (Rajaganapathy V et al., 2011; Mukesh KR et al., 2008).

Как показывает анализ, контроль обмена тяжёлых металлов у молочных коров возможен через исследования минерального состава биосубстратов, в числе которых всё более широко рассматривается шерсть. Это определяется тесной связью между концентрацией микроэлементов в шерсти и крови дойных коров (Patra RC et al., 2006; Patra RC et al., 2007; Pavlata L et al., 2011) и информативностью шерсти коров в качестве долгосрочного параметра оценки состояния минерального обмена (Combs DK, 1987; Pieper L et al., 2016).

Цель исследования.

Изучение молочной продуктивности лактирующих коров голштинской породы в условиях различного уровня накопления тяжёлых металлов.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Коровы голштинской породы в возрасте – 4-6 лет.

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.

Дизайн экспериментов был одобрен локальным этическим комитетом Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (№ 4 от 05.02.2019).

Схема эксперимента. Исследования проведены на модели коров голштинской породы (n=80) СПК ПКЗ Вологодский (Вологодская область, Россия). Живая масса животных – 610-640 кг.

Отбор образцов. Для изучения элементного статуса в качестве биосубстратов использовали образцы шерсти и сыворотку крови животных. Шерсть была отобрана согласно ранее предложенной методике – не менее 0,4 г с верхней части холки (Miroshnikov S et al., 2015).

Полученные результаты элементного состава шерсти коров сравнивались со значениями (Q_{25} - Q_{75} центильные интервалы) содержания химических элементов в шерсти коров, принятыми как рекомендуемый диапазон оптимальных значений (Miroshnikov SA et al., 2020).

С целью оценки величины токсической нагрузки на организм коров вычислялся коэффициент суммарной токсической нагрузки – K_{tox} . Преимуществом данного показателя является его независимость от размерности отдельных показателей и, как следствие, возможность вычисления интегральных параметров (Нотова С.В., 2005; Барышева Е.С. и др., 2008).

Для подсчёта коэффициента токсической нагрузки использовалась сумма коэффициентов отдельных тяжёлых элементов (Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Pb, Cd, Hg):

$$K_{tox} = K_{Mn} + K_{Fe} + K_{Cu} + K_{Zn} + K_{As} + K_{Sr} + K_{Pb} + K_{Cd} + K_{Hg},$$

где $K_{Mn} \dots K_{Hg}$ – отношение содержания элемента в шерсти конкретной коровы к содержанию, соответствующему 50-му центиллю.

Тяжёлые металлы были выбраны относительно атомной массы элементов – свыше 50 атомных единиц (Теплая Г.А., 2013).

Оценка продуктивности животных проводилась по материалам, накопленным в племенных предприятиях в ходе контрольных доек и последующей оценки качества молока.

Оборудование и технические средства. Пробоподготовка осуществлялась методом озоления биосубстратов с использованием микроволновой системы разложения MD-2000 (США). Аналитические исследования проводились в аккредитованной Испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (ИСО 9001:2008 сертификат 54Q10077 т 21.05.2010 г.) (г. Москва, Россия), использовались приборы атомно-эмиссионного («Optima 2000 DV», «PerkinElmerCorp.», США) и масс-спектрального («Elan 9000», «Perkin Elmer Corp.», США) анализов с индуктивно связанной плазмой.

Статистическая обработка. Обработку полученных данных проводили при помощи методов вариационной статистики с использованием офисного программного комплекса «Microsoft Office» и применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Проверку соответствия полученных данных нормальному закону распределения проводили при помощи критерия согласия Колмогорова. Гипотеза о принадлежности данных нормальному распределению отклонена во всех случаях с вероятностью 95 %, что обосновало применение непараметрических процедур обработки статистических совокупностей (U-критерий Манна-Уитни). Полученные данные представлены в виде медианы (Me) и 25-75-го квартилей (Q_{25} - Q_{75}).

Результаты исследования.

Изучение элементного состава шерсти коров голштинской породы показало, что практически по всем элементам полученные данные находились в интервале физиологической нормы. Исключение составили Hg, Li и As, для которых показатели содержания в шерсти превысили показатель Q_{75} рекомендуемых значений в 4,8; 3,6 и 3,2 раза соответственно. На фоне этого было отмечено, что уровень йода был ниже рекомендуемых норм, при этом Q_{25} в исследуемой выборке был практически в 2 раза меньше аналогичного показателя оптимального диапазона.

Таким образом, в целом результаты анализа шерсти коров Вологодской области были удовлетворительными, в связи с чем предложено использовать коэффициент токсической нагрузки для более детального изучения полученных результатов. Расчёт K_{tox} проводился независимо от биологической значимости элементов.

По данным расчёта K_{tox} были сформированы две группы: I группа (n=25) включала коров голштинской породы с более низким коэффициентом токсической нагрузки ($K_{tox}=6,9$ (6,5-7,2)) относительно исследуемой выборки; II группа (n=25) включала коров с более высоким коэффициентом токсической нагрузки ($K_{tox}=15,8$ (13,5-24,6)) относительно исследуемой выборки.

Анализ результатов содержания химических элементов в шерсти молочных коров выявил, что у животных II группы были статистически значимо более высокие уровни Cu, Fe, Mn, Pb, Al, Ni и V (табл. 1).

Среди жизненно необходимых элементов отмечено, что уровень Fe был статистически достоверно выше во II группе, где значение Q_{25} данного элемента было больше Q_{75} в 1,7 раза ($p=0,008$) относительно I группы. В этой же группе наблюдалось достоверно более высокое содержание Cu – Q_{25} больше Q_{25} I группы в 1,3 раза ($p=0,03$). Уровень Mn был также выше – Q_{25} больше Q_{75} в 1,8 раза ($p=0,003$) (рис. 1).

Таблица 1. Содержание микроэлементов в шерсти коров голштинской породы, разделённых по величине K_{tox} , мг/кг
 Table 1. The content of trace elements in hair of the Holstein cows divided into groups according to the value of C_{tox} , mg / kg

Элемент / <i>Element</i>	I группа $K_{tox}=6,9$ (6,5-7,2) / <i>I group $C_{tox}=6.9$ (6.5-7.2)</i>	II группа $K_{tox}=15,8$ (13,5-24,6) / <i>II group $C_{tox}=15,8$ (13,5-24,6)</i>	p-уровень / <i>p-level</i>
Жизненно необходимые микроэлементы / <i>Essential trace elements</i>			
Co	0,03 (0,02-0,05)	0,08 (0,07-0,11)	0,134
Cr	0,17 (0,12-0,23)	0,29 (0,20-0,32)	0,134
Cu	7,69 (6,35-8,14)	8,99 (8,03-10,62)	0,03
Fe	85,7 (40,05-132,0)	279,5 (235,0-498,0)	0,008
I	1,62 (1,41-1,93)	2,98 (1,54-4,49)	0,284
Mn	1,47 (1,37-2,33)	4,95 (4,20-12,62)	0,003
Se	0,58 (0,37-0,77)	0,68 (0,54-0,84)	0,617
Zn	103,0 (99,1-113,0)	137,5 (107,0-249,0)	0,086
Условно жизненно необходимые микроэлементы / <i>Conditionally essential trace elements</i>			
B	1,61 (1,34-9,71)	8,85 (2,64-11,56)	0,100
Ni	0,13 (0,11-0,14)	0,29 (0,27-0,33)	0,03
V	0,02 (0,02-0,03)	0,05 (0,04-0,07)	0,003
Li	0,32 (0,31-0,39)	0,43 (0,42-0,49)	0,074
Si	1,96 (0,79-3,12)	3,25 (1,83-3,91)	0,134
As	0,13 (0,12-0,19)	0,15 (0,13-0,2)	0,52
Потенциально токсичные и токсичные микроэлементы / <i>Potentially toxic and toxic trace elements</i>			
Cd	0,00 (0,00-0,01)	0,01 (0,00-0,03)	0,054
Hg	0,07 (0,05-0,16)	0,12 (0,09-0,14)	0,721
Pb	0,04 (0,04-0,04)	0,11 (0,07-0,35)	0,005
Sn	0,01 (0,00-0,03)	0,02 (0,01-0,02)	0,353
Sr	2,96 (1,90-5,24)	7,57 (4,25-11,60)	0,054
Al	1,38 (1,16-1,74)	4,63 (2,61-6,91)	0,008

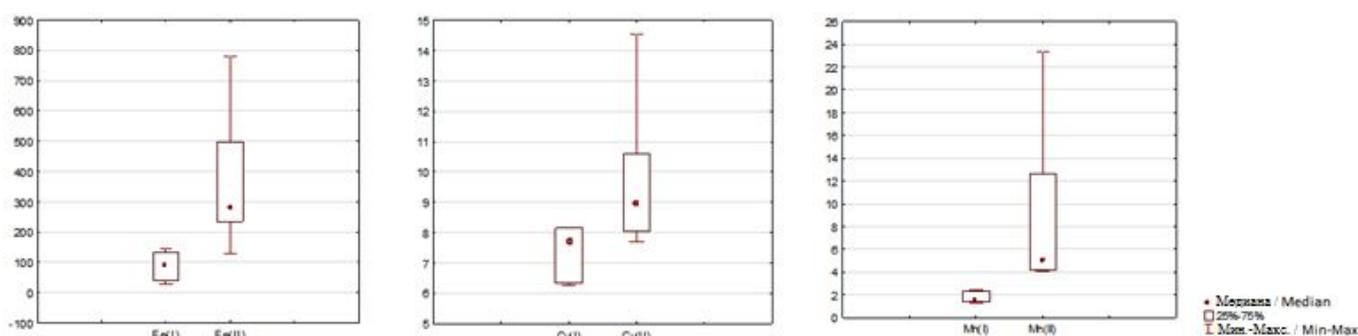


Рис. 1 – Концентрация Fe, Cu и Mn в шерсти в I и II группах, мг/кг
 Figure 1 – The Concentration of Fe, Cu and Mn in hair in groups I and II, mg/kg

Среди условно жизненно необходимых элементов было зафиксировано, что уровень Ni и V статистически значимо выше во II группе – Q_{25} больше Q_{25} I группы в 2 ($p=0,03$) и 1,3 ($p=0,003$) раза соответственно (рис. 2).

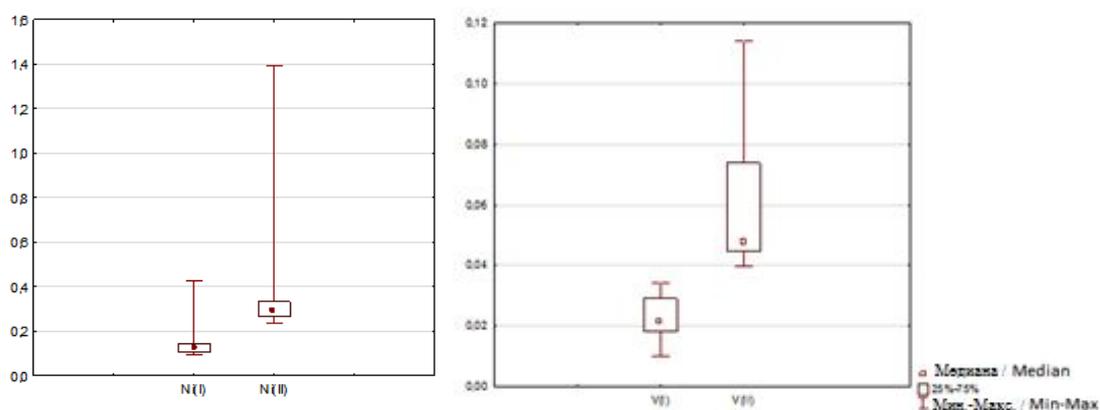


Рис. 2 – Концентрация Ni и V в шерсти в I и II группах, мг/кг
Figure 2 – The concentration of Ni and V in hair in groups I and II, mg/kg

Среди потенциально токсичных и токсичных микроэлементов прослеживалось следующее: уровень Pb во II группе был статистически достоверно выше, чем в I – значение Q_{25} было больше Q_{75} в 1,8 раза ($p=0,005$); уровень алюминия также достоверно был выше – значение Q_{25} было больше Q_{75} в 1,5 раза ($p=0,008$) относительно сравниваемой группы (рис. 3).

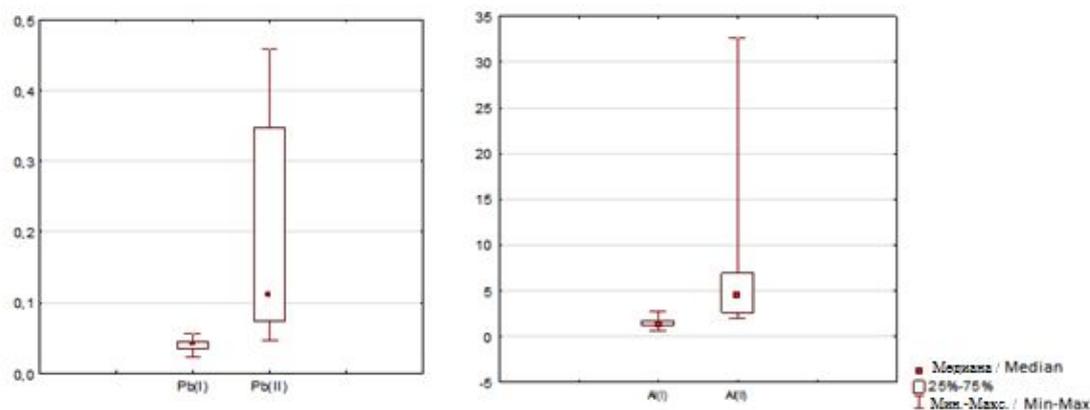


Рис. 3 – Концентрация Pb и Al в шерсти в I и II группах, мг/кг
Figure 3 – The concentration of Pb and Al in hair in groups I and II, Mg/kg

Следует отметить, что у животных II группы также прослеживалась тенденция к более высоким показателям таких элементов, как As, Cd, Hg, Sr, Zn, B, Co, Cr, I, Li, Se, Si и Sn.

Следующим этапом была проведена оценка содержания химических элементов в сыворотке крови в данных группах (табл. 2).

С увеличением значений K_{tox} во II группе мы отмечали снижение молочной продуктивности коров: по величине удоя – на 21,8 % ($p=0,04$); по выходу молочного жира – на 16,4 % ($p=0,01$). Помимо этого, прослеживалась тенденция к снижению выхода белка и его процентного содержания (табл. 3).

Таблица 2. Содержание микроэлементов в сыворотке крови коров голштинской породы, разделённых по величине K_{tox} , мкг/млTable 2. The content of trace elements in blood serum of cows of the Holstein breed divided into groups according to the value of C_{tox} , mg/kg

Элемент/ <i>Element</i>	I группа $K_{tox}=6,9$ (6,5-7,2) / <i>I group $C_{tox}=6.9$ (6.5-7.2)</i>	II группа $K_{tox}=15,8$ (13,5-24,6) / <i>II group $C_{tox}=15.8$ (13.5-24.6)</i>	p-уровень / <i>p-level</i>
Жизненно необходимые микроэлементы / Essential trace elements			
Co	0,0007 (0,0003-0,0008)	0,0007 (0,0005-0,0008)	0,475
Cu	0,576 (0,4860-0,711)	0,677 (0,568-0,852)	0,224
Fe	1,52 (1,42-2,01)	1,505 (1,35-1,95)	0,886
I	0,074 (0,055-0,123)	0,094 (0,085-0,129)	0,134
Mn	0,0022 (0,0016-0,0025)	0,0022 (0,0019-0,003)	0,568
Se	0,06 (0,04-0,067)	0,057 (0,049-0,064)	0,83
Zn	0,831 (0,664-0,961)	0,876 (0,634-1,07)	0,72
Условно жизненно необходимые микроэлементы / Conditionally essential trace elements			
B	0,308 (0,269-0,324)	0,312 (0,277-0,33)	0,83
Ni	0,0037 (0,0033-0,0056)	0,0057 (0,0047-0,0067)	0,353
V	0,0028 (0,0023-0,0028)	0,0028 (0,0025-0,0031)	0,432
Li	0,057 (0,055-0,061)	0,062 (0,056-0,064)	0,432
Si	0,176 (0,169-0,199)	0,195 (0,156-0,217)	0,52
As	0,009 (0,0079-0,0095)	0,0091 (0,0085-0,0097)	0,567
Потенциально токсичные и токсичные микроэлементы / Potentially toxic and toxic trace elements			
Pb	0,0004 (0,0004-0,0005)	0,0005 (0,0005-0,0010)	0,153
Sn	0,0011 (0,001-0,0012)	0,0012 (0,0011-0,0012)	0,617
Sr	0,102 (0,0766-0,115)	0,1017 (0,0884-0,12)	0,617
Al	0,0213 (0,0097-0,0259)	0,0255 (0,0205-0,0303)	0,198

Таблица 3. Показатели количества и качества молока в зависимости суммарного коэффициента токсической нагрузки

Table 3. Indicators of quantity and quality of milk depending on the total coefficient of toxic load

Молочная продуктивность/ <i>Milk production</i>	I группа $K_{tox}=6,9$ (6,5-7,2)/ <i>I group $C_{tox}=6.9$ (6.5-7.2)</i>	II группа $K_{tox}=15,8$ (13,5-24,6)/ <i>II group $C_{tox}=15.8$ (13.5-24.6)</i>	p-уровень / <i>p-level</i>
Удой за последний месяц, кг / <i>Milk yield within the last month, kg</i>	1 296 (1 122-1 351)	1 064 (967-1 125)	0,04
Среднесуточный удой, кг / <i>Daily average milk yield, kg</i>	43,2 (37,4-45,0)	35,5 (32,2-37,5)	0,04
Жир, % / <i>Fat, %</i>	3,52 (3,47-3,77)	3,63 (3,45-3,63)	0,94
Белок, % / <i>Protein, %</i>	3,34 (3,28-3,42)	3,33 (3,29-3,39)	0,94
Выход жира, кг/сут / <i>Fat yield, kg/day</i>	1,50 (1,40-1,59)	1,29 (1,10-1,38)	0,01
Выход белка, кг/сут / <i>Protein yield, kg/day</i>	1,40 (1,24-1,54)	1,19 (1,08-1,29)	0,07

Обсуждение полученных результатов.

Проблема тяжёлых металлов в рационах сельскохозяйственных животных и продуктах питания животного происхождения является одной из наиболее важных в современном сельскохозяйственном производстве. Само возникновение проблемы вызвано широким распространением тяжёлых металлов в почвах (Jie C et al., 2002), обусловленным хозяйственной деятельностью человека (Tang Q et al., 2015; Mazurek R et al., 2017), результатом выветривания исходного материала

(Chen H et al., 2015; Kierczak J et al., 2016) и др. Присутствие тяжёлых металлов в почве закономерно предшествует поступлению в организм сельскохозяйственных животных (Madejón P et al., 2012) и далее – в продукты питания животного происхождения (Licata P et al., 2004; Bilandžić N et al., 2011).

Учитывая целый ряд негативных последствий присутствия тяжёлых металлов в рационах, в том числе снижение продуктивности и воспроизводительной способности животных (Guvvala PR et al., 2020), ухудшение ветеринарной обстановки и падёж животных (Bischoff K et al., 2014; Buchweitz J et al., 2015), а также далеко идущие последствия присутствия тяжёлых металлов в продуктах питания (Sobhanardakani S, 2018; Karri V et al., 2016), предпринимаются усилия по снижению уровня тяжёлых металлов в организме животных и проведению исследований по проблеме.

Для оценки воздействия тяжёлых металлов на почвенные экосистемы и организмы используется целый ряд различных формул и коэффициентов (Kowalska JB et al., 2018). В этой связи выбранный нами коэффициент – K_{tox} в определённой степени соответствует общему тренду исследований и призван решать задачи, связанные с оценкой суммарного накопления тяжёлых металлов на организм молочного скота. При этом мы изначально, наряду с токсичными элементами As, Sr, Pb, Cd и Hg, предприняли попытку оценить в совокупности и действие эссенциальных элементов Mn, Fe, Cu и Zn. Ниже мы покажем причину этого действия.

Прежде чем приступить к анализу полученных нами результатов, необходимо отметить, что Вологодская область – это промышленно развитый регион Российской Федерации с общей тенденцией к увеличению содержания токсичных соединений в биосфере (Власова О.А. и др., 2017). Мы в своих исследованиях также отметили отпечаток этого явления – у обследованных нами коров был выявлен избыток в шерсти Hg, Li и As.

Антропогенным источником ртути в Вологодской области являются предприятия металлургического и химического комплекса Череповецкого промышленного узла, деятельность которых уже привела к накоплению ртути в экосистемах региона (Удоденко Ю.Г. и Филиппов Д.А., 2017). В ряде исследований ртуть была обнаружена в органах земноводных, рыб и пиявок, отловленных из естественных водоёмов, а также в шерсти домашних животных Вологодской области (Комов В.Т. и др., 2017; Бачина Е.С. и др., 2018; Шувалова О.П. и др., 2018).

Как следует из полученных нами результатов, повышение пула токсичных элементов в организме коров привело к достоверному снижению обменного пула йода более чем в 2 раза. Ранее аналогичные взаимодействия между йодом и токсичными элементами описаны в других исследованиях (Лебедев С.В. и др., 2006).

При анализе элементного состава сыворотки крови существенных различий между группами выявлено не было. Этот факт и то, что разделение животных на группы в зависимости от уровня K_{tox} позволило нам описать зависимость продуктивности лактирующих коров от микроэлементного состава шерсти, позволяет нам утверждать об относительно более высокой информативности элементного состава шерсти в сравнении с сывороткой крови животных. Это связано с тем, что анализ шерсти/волос отражает изменение баланса элементов за период, предшествующий анализу 3-6 месяцев, а кровь – за значительно меньший промежуток времени (Скальная М.Г., 2005; Скальный А.В. и др., 2001). Причём элементный состав крови способен изменяться под влиянием кратковременных воздействий, связанных с текущим поступлением элементов с пищей, приёмом препаратов, стрессом и др., (Харламов А.В. и др., 2014; Скальный А.В. и Быков А.Т., 2003). Поэтому специфические изменения концентрации отдельных элементов в крови зачастую не могут быть распознаны своевременно. Таким образом, интерпретации результатов анализа элементного состава шерсти/волос и крови могут существенно отличаться друг от друга. Как отмечают А.В. Скальный и соавторы (2001), анализ волос особо информативен при оценке долговременных воздействий токсичных элементов малой интенсивности, которые не отражаются на составе крови, что соответственно и было продемонстрировано в нашем исследовании.

Как следует из полученных нами данных, информативность разделения животных на группы по величине K_{tox} подтверждается различиями в продуктивности коров. Суточный удой коров I группы превосходил уровень II группы на 21,7 %.

Между тем критический анализ полученных данных показывает, что фактор нарастания тяжёлых металлов в шерсти выше медианы скорее опосредованно связан с продуктивностью животных. Фактически мы имеем дело с более сложным явлением, выражающимся в нарушении метаболизма химических элементов в организме коров. Действительно, элементный профиль молочных коров II группы характеризовался нарастанием не только тяжёлых металлов. Так, по мере увеличения K_{tox} с 6,9 в I группе до 15,8 – во II группе, а это – тенденция увеличения концентрации в шерсти 9 химических элементов, все из оцениваемых микроэлементов в шерсти II группы превосходили аналогичный уровень в I группе. При этом общее содержание всех микроэлементов в шерсти коров I группы составило 3,64 ммоль/г, во II – 8,62 ммоль/г. В то же время элементный состав сыворотки крови II группы оказался не столь информативным.

Ранее сходные результаты были получены нами на модели скаковых лошадей (Kalashnikov V et al., 2019), когда по мере увеличения содержания токсичных металлов в волосах гривы лошадей мы отмечали достоверное увеличение одиннадцати (Ca, P, Co, Cr, Fe, I, Mn, Li, Ni, V, As) и снижение концентрации двух (B, Si) элементов. Эти изменения в элементном составе шерсти лошадей тесно связаны с их быстротой бега (Kalashnikov V et al., 2018). Ранее аналогичные результаты были получены на молочных коровах (Miroshnikov S et al., 2019).

Таким образом, очевидно, что оптимальное течение обменных процессов в организме животных, сопряжённое с наибольшей продуктивностью, возможно при насыщении внутренней среды организма определённым количеством химических элементов. Соответственно недостаток или избыток этих веществ будут связаны со снижением эффективности метаболизма и продуктивности животных.

В этой связи можно выделить состояния, при которых «чрезмерное» насыщение среды химическими элементами сопряжено, как в нашем случае, со снижением продуктивности животных. Мы предлагаем обозначить такое состояние как «нагруженный метаболизм». Состояние «нагруженности метаболизма», по всей видимости, связано с показателями эффективности работы в организме систем усвоения, всасывания, транспорта и выделения химических элементов. Однако для понимания механизма формирования состояния «нагруженного метаболизма» необходимы дальнейшие исследования.

Выводы.

Таким образом, в ходе проведённого исследования было отмечено, что с увеличением суммарного накопления тяжёлых металлов в организме животных снижается молочная продуктивность. Величина недополучения продукции от дойных коров в Вологодской области может быть сопряжена с экономическими убытками.

Оценка состояния элементного обмена в организме сельскохозяйственных животных позволяет с достаточно высокой точностью судить об эффективности работы морфофизиологических систем, риске развития тех или иных патологических состояний и может применяться в качестве средства донозологической диагностики. А также может быть важным показателем безопасности, уровня загрязнения региона, в котором разводят молочный крупнорогатый скот. Использование анализа шерсти коров можно рассматривать в качестве возможного биомаркера воздействия тяжёлых металлов на организм в различных промышленных зонах.

Исследования выполнены в соответствии с планом НИР на 2019-2021 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0526-2019-0001)

Литература

1. Власова О.А., Веденева Н.В., Орлянский Н.А. Результаты локального агроэкологического мониторинга окружающей среды в условиях Вологодской области // Молочнохозяйственный вестник. 2017. № 4(28). С. 18-29. [Vlasova OA, Vedeneva NV, Orlyansky NA. Local monitoring of environment in the conditions of the Vologda region. Dairy Farming Journal. 2017;4(28):18-29. (In Russ)].
2. Информативность биосубстратов при оценке элементного статуса сельскохозяйственных животных (обзор) / А.В. Харламов, А.Н. Фролов, О.А. Завьялов, А.М. Мирошников // Вестник мясного скотоводства. 2014. № 4(87). С. 53-58. [Kharlamov AV, Frolov AN, Zav'yalov OA, Miroshnikov AM. Kharlamov AV, Frolov AN, Zav'yalov OA, Miroshnikov AM. Informational content of biosubstrates during assessment of element status of agricultural animals (review). Herald of Beef Cattle Breeding. 2014;4(87):53-58. (In Russ)].
3. Клиническая коррекция элементного статуса у работников промышленного предприятия / Е.С. Барышева, О.О. Фролова, С.В. Нотова, А.В. Скальный // Вестник восстановительной медицины. 2008. № 1(23). С. 14-17. [Barysheva ES, Frolova OO, Notova SV, Skalny AV. Klinicheskaya korrekciya elementnogo statusa u rabotnikov promyshlennogo predpriyatiya. Vestnik vosstanovitel'noj mediciny. 2008;1(23):14-17. (In Russ)].
4. Лебедев С.В., Барышева Е.С., Малышева Н.В. Степень накопления и особенности взаимодействия токсичных и эссенциальных элементов в организме лабораторных животных (экспериментальные исследования) // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 2S(52). С. 33-35. [Lebedev SV, Barysheva ES, Malysheva NV. Degree of accumulation and peculiarities of toxic and essential elements interaction in organism of laboratory animals (experimental researches). Vestnik of the Orenburg State University. 2006;2S(52):33-35. (In Russ)].
5. Нотова С.В. Эколого-физиологическое обоснование корректирующего влияния элементного статуса на функциональные резервы организма человека: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 2005. 40 с. [Notova SV. Ekologo-fiziologicheskoe obosnovanie korriruyushchego vliyaniya elementnogo statusa na funkcion'al'nye rezervy organizma cheloveka: avtoref. dis. ... d-ra med. nauk. Moscow; 2005:40 p. (In Russ)].
6. Скальная М.Г. Сравнительный анализ изменений элементного состава биосубстратов при избыточном поступлении в организм Pb, Cd, As и Ni // Вестник Оренбургского государственного университета. 2005. № 2S-2(40). С. 11-13. [Skal'naya MG. Sravnitel'nyi analiz izmenenii elementnogo sostava biosubstratov pri izbytochnom postuplenii v organizm Pb, Cd, As i Ni. Vestnik of the Orenburg State University. 2005;2S-2(40):11-13. (In Russ)].
7. Скальный А.В., Быков А.Т. Эколого-физиологические аспекты применения макро- и микроэлементов в восстановительной медицине: монография. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2003. 198 с. [Skal'nyi AV, Bykov AT. Ekologo-fiziologicheskie aspekty primeneniya makro- i mikroelementov v vosstanovitel'noi meditsine: monografiya. Orenburg: Orenburgskii gosudarstvennyi universitet; 2003:198 p. (In Russ)].
8. Скальный А.В., Демидов В.А., Скальная М.Г. Оценка элементного статуса популяции в гигиенической донозологической диагностике // Вестник СПб ГМА им. И.И. Мечникова. 2001. № 2-3(2). С. 64-67. [Skal'nyi AV, Demidov VA, Skal'naya MG. Otsenka elementnogo statusa populyatsii v gigenicheskoi donozologicheskoi diagnostike. Vestnik SPb GMA im. Mechnikova II. 2001;2-3(2):64-67. (In Russ)].
9. Содержание ртути в организме амфибий и пиявок водоемов Вологодской и Ярославской областей и экспериментальное подтверждение вызываемых ею биологических последствий / В.Т. Комов, Е.С. Иванова, В.А. Гремячих, Л.Н. Лапкина, Л.В. Козлова, Е.Н. Желеток, А.М. Киркина, Д.Э. Кудряшова, Е.В. Щедрова, Д.Г. Селезнев // Труды ИБВВ РАН. 2017. № 77(80). С. 57-76. doi: 10.24411/0320-3557-2017-10004 [Kmov VT, Ivanova ES, Gremyachikh VA, Lapkina LN, Kozlova LV, Zheletok EN, Kirkina AM, Kudryashova DE, Schedrova EV, Seleznev DG. The mercury content in the organism of amphibians and leeches from waterbodies of Vologda and Yaroslavl Oblasts and experimental verification of its biological consequences. Transactions of IBIW RAS. 2017;77(80):57-76. (In Russ)]. doi: 10.24411/0320-3557-2017-10004

10. Содержание ртути в шерсти домашних животных г. Череповца / Е.С. Бачина, О.Ю. Румянцева, Е.С. Иванова, В.Т. Комов, М.А. Гусева, Н.Я. Поддубная // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7 № 3(24). С. 19-23. [Bachina ES, Rumiantseva OY, Ivanova ES, Komov VT, Guseva MA, Poddubnaya NY. Mercury content in the wool of domestic animals in Cherepovets. Samara Journal of Science. 2018;7(3):19-23. (In Russ)].
11. Теплая Г.А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 1(23). С. 182-192. [Teplay GA. Heavy metals as a factor of oenvironmental pollution (Review). Astrahanskij vestnik ekologicheskogo obrazovaniya. 2013;1(23):182-192. (In Russ)].
12. Удоденко Ю.Г., Филиппов Д.А. Ртуть в торфяных отложениях шиченгского болота (Вологодская область) // Труды ИБВВ РАН. 2017. № 79(82) С. 236-242. [Udodenko YuG, Philippov DA. Mercury in peat deposits of the shichenskoe mire (Vologda Region, Russia). Transactions of IBIW RAS. 2017;79(82):236-242. (In Russ)].
13. Шувалова О.П., Иванова Е.С., Комов В.Т. Влияние накопления ртути на состояние здоровья женщин репродуктивного возраста // Здоровье населения и среда обитания. 2018. № 11(308). С. 36-39. [Shuvalova OP, Ivanova ES, Komov VT. Influence of mercury accumulation on the health status of reproductive age women. Public Health and Life Environment. 2018;11(308):36-39. (In Russ)]. doi: 10.35627/2219-5238/2019-308-11-36-39
14. Bilandzic N, Dokic M, Sedak M, Bozica S, Varenina I, Knezevic Z, Benic M. Trace element levels in raw milk from northern and southern regions of Croatia. Food Chemistry. 2011;127(1):63-66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.084>
15. Bischoff K, Higgins W, Thompson B, Ebel JG. Lead excretion in milk of accidentally exposed dairy cattle. Food Addit Contam: Part A. 2014;31(5):839-844. doi: <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.888787>
16. Buchweitz J, McClure-Brinton K, Zyskowski J, Stensen L, Lehner A. Lead isotope profiling in dairy calves. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2015;71(2):174-177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.12.015>
17. Caito S, Aschner M. Developmental Neurotoxicity of Lead. Neurotoxicity of Metals. Advances in neurobiology. 2017;18:3-12. doi: 10.1007/978-3-319-60189-2_1
18. Chen H, Teng Y, Lu S, Wang Y, Wang J. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. Science of the Total Environment. 2015;512-513:143-153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025>
19. Chen S, Wang M, Li S, Zhao Z, Wen E. Overview on current criteria for heavy metals and its hint for the revision of soil environmental quality standards in China. Journal of Integrative Agriculture. 2018;17(4):765-774. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61892-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61892-6)
20. Ciobanu C, Slencu BG, Cuciureanu R. Estimation of dietary intake of cadmium and lead through food consumption. Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi. 2012;116(2):617-623.
21. Combs DK. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. J Anim Sci. 1987;65(6):1753-1758. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1987.6561753x>
22. Cygan-Szczegielniak D, Stanek M, Giernatowska E, Janicki B. Impact of breeding region and season on the content of some trace elements and heavy metals in the hair of cows. Folia Biol. 2014;62(3):163-169. doi: https://doi.org/10.3409/fb62_3.163
23. Donat K, Siebert W, Menzer E, Söllner-Donat S. Long-term trends in the metabolic profile test results in German Holstein dairy herds in Thuringia, Germany. Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere. 2016;44(02):73-82. doi: 10.15653/TPG-150948
24. Erdogan Z, Erdogan S, Celik S, Unlu A. Effects of ascorbic acid on cadmium-induced oxidative stress and performance of broilers. Biological Trace Element Research. 2005;104(1):19-31. doi: 10.1385/BTER:104:1:019
25. Guvvala PR, Ravindra JP, Selvaraju S. Impact of environmental contaminants on reproductive health of male domestic ruminants: a review. Environmental Science and Pollution Research. 2020;27(4):3819-3836. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06980-4>
26. Hamilton JD, O'Flaherty EJ. Influence of lead on mineralization during bone growth. Fundamental and Applied Toxicology. 1995;26(2):265-271. doi: <https://doi.org/10.1006/faat.1995.1097>

27. Hossain S, Bhowmick S., Jahan S, Rozario L, Sarkar M, Islam S, Basunia MA, Rahman A, Choudhury BK, Shahjalal H. Maternal lead exposure decreases the levels of brain development and cognition-related proteins with concomitant upsurges of oxidative stress, inflammatory response and apoptosis in the offspring rats. *Neuro Toxicology*. 2016;56:150-158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2016.07.013>
28. Hossu CA, Ioja IC, Mitincu CG, Artmann M, Hersperger AM. An evaluation of environmental plans quality: Addressing the rational and communicative perspectives. *Journal of Environmental Management*. 2020;256: 109984. doi: [10.1016/j.jenvman.2019.109984](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109984)
29. Chen J, Chen JZ, Tan MZ, Gong ZT Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *J Geogr Sci*. 2002;12(2):243-252. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02837480>
30. Kalashnikov V, Zaitsev A, Atroschenko M, Miroshnikov S, Frolov A, Zavyalov O. The total content of toxic elements in horsehair given the level of essential elements. *Environ Sci Pollut Res*. 2019;26(24):24620-24629. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05630-z>
31. Kalashnikov V, Zajcev A, Atroschenko M, Miroshnikov S, Frolov A, Zavyalov 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. *Environ Sci Pollut Res*. 2018;25(22):21961-21967. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2334-2>
32. Karri V, Schuhmacher M, Kumar V. Heavy metals (Pb, Cd, As and MeHg) as risk factors for cognitive dysfunction: A general review of metal mixture mechanism in brain. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2016;48:203-213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.09.016>
33. Kierczak J, Pedziwiatr A, Waroszewski J, Modelska M. Mobility of Ni, Cr and Co in serpentine soils derived on various ultrabasic bedrocks under temperate climate. *Geoderma*. 2016;268:78-91. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.025>
34. Kossaibati MA, Esslemont RJ. The costs of production diseases in dairy herds in England. *Vet J*. 1997;154(1):41-51. doi: [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(05\)80007-3](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(05)80007-3)
35. Kowalska JB, Mazurek R, Gąsiorek M, Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination- A review. *Environ Geochem Health*. 2018;40(6):2395-2420. doi: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>
36. Li N, Zhang P, Qiao M, Shao J, Li H, Xie W. The effects of early life lead exposure on the expression of P2X7 receptor and synaptophysin in the hippocampus of mouse pups. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2015;30:124-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.12.001>
37. Li N, Zhao G, Qiao M, Shao J, Liu X, Li H, Li X, Yu Z. The effects of early life lead exposure on the expression of insulin-like growth factor 1 and 2 (IGF1, IGF2) in the hippocampus of mouse pups. *Food and Chemical Toxicology*. 2014;63:48-52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.10.037>
38. Licata P, Trombetta D, Cristani M, Giofre F, Martino D, Calo M, Naccari F. Levels of “toxic” and “essential” metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environment International*. 2004;30(1):1-6. doi: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00139-9](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00139-9)
39. Maboeta MS, Reinecke AJ, Reinecke SA. Effects of low levels of lead on growth and reproduction of the Asian Earthworm *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1999;44(3):236-240. doi: <https://doi.org/10.1006/eesa.1999.1797>
40. Madejon P, Domínguez MT, Murillo JM. Pasture composition in a trace element-contaminated area: the particular case of Fe and Cd for grazing horses. *Environ Monit Assess*. 2012;184(4):2031-2043. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2097-4>
41. Mazurek R, Kowalska J, Gąsiorek M, Zadrożny P, Jozefowska A, Zaleski T, Kępa W, Tymczuk M, Orłowska K. Assessment of heavy metals contamination in surface layers of Roztocze National Park forest soils (SE Poland) by indices of pollution. *Chemosphere*. 2017;168:839-850. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.126>
42. Miroshnikov S, Kharlamov A, Zavyalov O, Frolov A, Bolodurina I, Arapova O, Duskaev G. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015;14(9):632-636.

43. Miroshnikov S, Zavyalov O, Frolov A, Sleptsov I, Sirazetdinov F, Poberukhin M. The content of toxic elements in hair of dairy cows as an indicator of productivity and elemental status of animals. *Environ Sci Pollut Res.* 2019;26(18):18554-18564. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05163-5>
44. Miroshnikov SA, Skalny AV, Zavyalov OA, Frolov AN, Grabeklis AR. The reference values of hair content of trace elements in dairy cows of Holstein Breed. *Biol Trace Elem Res.* 2020;194(1):145-151. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01768-6>
45. Mukesh KR, Kumar P, Singh M, Singh A. Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Veterinary World.* 2008;1(1):28-30. doi: 10.5455/vetworld.2008.28-30
46. Neves RC, Leno BM, Bach KD, McArt JAA. Epidemiology of subclinical hypocalcemia in early-lactation Holstein dairy cows: The temporal associations of plasma calcium concentration in the first 4 days in milk with disease and milk production. *J Dairy Sci.* 2018;101(10):9321-9331. doi: 10.3168/jds.2018-14587
47. Ordemann JM, Austin RN. Lead neurotoxicity: exploring the potential impact of lead substitution in zinc-finger proteins on mental health. *Metallomics.* 2016;8(6):579-588. doi: 10.1039/c5mt00300h
48. Patra RC, Swarup D, Naresh R, Kumar P, Nandi D, Shekhar P, Roy S, Ali SL. Tail hair as an indicator of environmental exposure of cows to lead and cadmium in different industrial areas. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2007;66(1):127-131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.01.005>
49. Patra RC, Swarup D, Sharma MC, Naresh R. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units. *J Vet Med A.* 2006;53(10):511-517. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.2006.00868.x>
50. 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. doi: <https://doi.org/10.17221/1581-VETMED>
51. Pieper L, Wall K, Müller E, Roder A, Staufenbiel R. Evaluation of sulfur status in dairy cows in Germany. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere.* 2016;44(02):92-98. doi: 10.15653/TPG-150901.
52. Pilarczyk R, Wójcik J, Czerniak P, Sablik P, Pilarczyk B, Tomza-Marciniak A. Concentrations of toxic heavy metals and trace elements in raw milk of Simmental and Holstein-Friesian cows from organic farm. *Environ Monit Assess.* 2013;185(10):8383-8392. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3180-9>
53. Radostits OM, Gay CC, Hinchcliff KW, Constable PD, editors. *Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs and Goats.* 10th ed. Saunders Ltd.; 2007:2065 p.
54. Rajaganapathy V, Xavier F, Sreekumar D, Mandal PK. Heavy metal contamination in soil, water and fodder and their presence in livestock and products: A Review. *Journal of Environmental Science and Technology.* 2011;4(3):234-249. doi: 10.3923/jest.2011.234.249
55. Review of the dust-lead hazard standards and the definition of lead based paint. *Federal Register.* 2019;84(131):32632-32648.
56. Sobhanardakani S. Human Health Risk Assessment of Cd, Cu, Pb and Zn through Consumption of Raw and Pasteurized Cow's Milk. *Iran J Public Health.* 2018;47(8):1172-1180.
57. Spears JW. Micronutrients and immune function in cattle. *Proc Nutr Soc.* 2000;59(4):587-594. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0029665100000835>
58. Tang Q, Li Y, Xu Y. Land suitability assessment for post-earthquake reconstruction: A case study of Lushan in Sichuan, China. *Journal of Geographical Sciences.* 2015;25(7):865-878. doi: <https://doi.org/10.1007/s11442-015-1207-6>
59. Yasuda H, Yoshida K, Segawa M, Tokuda R, Yasuda Y, Tsutsui T. High accumulation of aluminium in hairs of infants and children. *Biomed Res Trace Elem.* 2008;19(1):57-62. doi: <https://doi.org/10.11299/brte.19.57>
60. Zhou Q, Teng Y, Liu Y. A study on soil-environmental quality criteria and standards of arsenic. *Applied Geochemistry.* 2017;77:158-166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.05.001>

References

1. Vlasova OA, Vedeneyeva NV, Orlyansky NA. Local monitoring of environment in the conditions of the Vologda region. *Dairy Farming Journal.* 2017;4(28):18-29.

2. Kharlamov AV, Frolov AN, Zavyalov OA, Miroschnikov AM. Informational content of biosubstrates during assessment of element status of agricultural animals (review). *Herald of Beef Cattle Breeding*. 2014;4(87):53-58.
3. Barysheva EC, Frolova OO, Notova SV, Skalny AV. Clinical correction of elemental status of industrial workers. *Bulletin of Regenerative Medicine*. 2008;1(23):14-17.
4. Lebedev SV, Barysheva ES, Malysheva NV. Degree of accumulation and peculiarities of toxic and essential elements interaction in organism of laboratory animals (experimental researches). *Vestnik of the Orenburg State University*. 2006;2S(52):33-35.
5. Notova SV. Ecological and physiological substantiation of the corrective effect of elemental status on functional reserves of the human body: abstract. dis. ... Dr. Med. Sciences. Moscow, 2005. 40 p.
6. Skal'naya MG. Comparative analysis of changes in the elemental composition of biosubstrates with excessive intake of Pb, Cd, As and Ni. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2005;2S-2(40):11-13.
7. Skalny AV, Bykov AT. Ecological and physiological aspects of the use of macro- and microelements in regenerative medicine: a monograph. Orenburg: Orenburg State University; 2003. 198 p.
8. Skalny AV, Demidov VA, Skal'naya MG. Assessment of elemental status of a population in hygienic prenosological diagnosis. *Bulletin of St. Petersburg State Medical Academy named after Mechnikov II*. 2001;2-3(2):64-67.
9. Komov VT, Ivanova ES, Gremyachikh VA, Lapkina LN, Kozlova LV, Zheletok EN, Kirkina AM, Kudryashova DE, Schedrova EV, Seleznev DG. The mercury content in the organism of amphibians and leeches from waterbodies of Vologda and Yaroslavl Oblasts and experimental verification of its biological consequences. *Transactions of IBIW RAS*. 2017;77(80):57-76. doi: 10.24411/0320-3557-2017-10004
10. Bachina ES, Rumiantseva OY, Ivanova ES, Komov VT, Guseva MA, Poddubnaya NY. Mercury content in the wool of domestic animals in Cherepovets. *Samara Journal of Science*. 2018;7(3):19-23.
11. Teplay GA. Heavy metals as a factor of oenvironmental pollution (Review). *Astrakhan Bulletin of Environmental Education*. 2013;1(23):182-192.
12. Udodenko YuG, Philippov DA. Mercury in peat deposits of the shichengskoe mire (Vologda Region, Russia). *Transactions of IBIW RAS*. 2017;79(82):236-242.
13. Shuvalova OP, Ivanova ES, Komov VT. Influence of mercury accumulation on the health status of reproductive age women. *Public Health and Life Environment*. 2018;11(308):36-39. doi: 10.35627/2219-5238/2019-308-11-36-39
14. Bilandzic N, Dokic M, Sedak M, Bozica S, Varenina I, Knezevic Z, Benic M. Trace element levels in raw milk from northern and southern regions of Croatia. *Food Chemistry*. 2011;127(1):63-66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.084>
15. Bischoff K, Higgins W, Thompson B, Ebel JG. Lead excretion in milk of accidentally exposed dairy cattle. *Food Addit Contam: Part A*. 2014;31(5):839-844. doi: <https://doi.org/10.1080/19440049.2014.888787>
16. Buchweitz J, McClure-Brinton K, Zyskowski J, Stensen L, Lehner A. Lead isotope profiling in dairy calves. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2015;71(2):174-177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2014.12.015>
17. Caito S, Aschner M. Developmental Neurotoxicity of Lead. *Neurotoxicity of Metals. Advances in neurobiology*. 2017;18:3-12. doi: 10.1007/978-3-319-60189-2_1
18. Chen H, Teng Y, Lu S, Wang Y, Wang J. Contamination features and health risk of soil heavy metals in China. *Science of the Total Environment*. 2015;512-513:143-153. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.025>
19. Chen S, Wang M, Li S, Zhao Z, Wen E. Overview on current criteria for heavy metals and its hint for the revision of soil environmental quality standards in China. *Journal of Integrative Agriculture*. 2018;17(4):765-774. doi: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61892-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61892-6)
20. Ciobanu C, Slencu BG, Cuciureanu R. Estimation of dietary intake of cadmium and lead through food consumption. *Rev Med Chir Soc Med Nat Iasi*. 2012;116(2):617-623.
21. Combs DK. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock. *J Anim Sci*. 1987;65(6):1753-1758. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1987.6561753x>

22. Cygan-Szczegielniak D, Stanek M, Giernatowska E, Janicki B. Impact of breeding region and season on the content of some trace elements and heavy metals in the hair of cows. *Folia Biol.* 2014;62(3):163-169. doi: https://doi.org/10.3409/fb62_3.163
23. Donat K, Siebert W, Menzer E, Söllner-Donat S. Long-term trends in the metabolic profile test results in German Holstein dairy herds in Thuringia, Germany. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere.* 2016;44(02):73-82. doi: [10.15653/TPG-150948](https://doi.org/10.15653/TPG-150948)
24. Erdogan Z, Erdogan S, Celik S, Unlu A. Effects of ascorbic acid on cadmium-induced oxidative stress and performance of broilers. *Biological Trace Element Research.* 2005;104(1):19-31. doi: [10.1385/BTER:104:1:019](https://doi.org/10.1385/BTER:104:1:019)
25. Guvvala PR, Ravindra JP, Selvaraju S. Impact of environmental contaminants on reproductive health of male domestic ruminants: a review. *Environmental Science and Pollution Research.* 2020;27(4):3819-3836. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06980-4>
26. Hamilton JD, O'Flaherty EJ. Influence of lead on mineralization during bone growth. *Fundamental and Applied Toxicology.* 1995;26(2):265-271. doi: <https://doi.org/10.1006/faat.1995.1097>
27. Hossain S, Bhowmick S., Jahan S. Rozario L, Sarkar M, Islam S, Basunia MA, Rahman A, Choudhury BK, Shahjalal H. Maternal lead exposure decreases the levels of brain development and cognition-related proteins with concomitant upsurges of oxidative stress, inflammatory response and apoptosis in the offspring rats. *Neuro Toxicology.* 2016;56:150-158. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2016.07.013>
28. Hossu CA, Ioja IC, Mitincu CG, Artmann M, Hersperger AM. An evaluation of environmental plans quality: Addressing the rational and communicative perspectives. *Journal of Environmental Management.* 2020;256: 109984. doi: [10.1016/j.jenvman.2019.109984](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109984)
29. Chen J, Chen JZ, Tan MZ, Gong ZT Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *J Geogr Sci.* 2002;12(2):243-252. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02837480>
30. Kalashnikov V, Zaitsev A, Atroschenko M, Miroshnikov S, Frolov A, Zavyalov O. The total content of toxic elements in horsehair given the level of essential elements. *Environ Sci Pollut Res.* 2019;26(24):24620-24629. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05630-z>
31. Kalashnikov V, Zajcev A, Atroschenko M, Miroshnikov S, Frolov A, Zavyalov 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. *Environ Sci Pollut Res.* 2018;25(22):21961-21967. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2334-2>
32. Karri V, Schuhmacher M, Kumar V. Heavy metals (Pb, Cd, As and MeHg) as risk factors for cognitive dysfunction: A general review of metal mixture mechanism in brain. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2016;48:203-213. doi: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2016.09.016>
33. Kierczak J, Pedziwiatr A, Waroszewski J, Modelska M. Mobility of Ni, Cr and Co in serpentine soils derived on various ultrabasic bedrocks under temperate climate. *Geoderma.* 2016;268:78-91. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.025>
34. Kossaibati MA, Esslemont RJ. The costs of production diseases in dairy herds in England. *Vet J.* 1997;154(1):41-51. doi: [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(05\)80007-3](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(05)80007-3)
35. Kowalska JB, Mazurek R, Gąsiorek M, Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination- A review. *Environ Geochem Health.* 2018;40(6):2395-2420. doi: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0106-z>
36. Li N, Zhang P, Qiao M, Shao J, Li H, Xie W. The effects of early life lead exposure on the expression of P2X7 receptor and synaptophysin in the hippocampus of mouse pups. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.* 2015;30:124-128. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2014.12.001>
37. Li N, Zhao G, Qiao M, Shao J, Liu X, Li H, Li X, Yu Z. The effects of early life lead exposure on the expression of insulin-like growth factor 1 and 2 (IGF1, IGF2) in the hippocampus of mouse pups. *Food and Chemical Toxicology.* 2014;63:48-52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.10.037>
38. Licata P, Trombetta D, Cristani M, Giofre F, Martino D, Calo M, Naccari F. Levels of “toxic” and “essential” metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environment International.* 2004;30(1):1-6. doi: [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00139-9](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00139-9)

39. Maboeta MS, Reinecke AJ, Reinecke SA. Effects of low levels of lead on growth and reproduction of the Asian Earthworm *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1999;44(3):236-240. doi: <https://doi.org/10.1006/eesa.1999.1797>
40. Madejon P, Dominguez MT, Murillo JM. Pasture composition in a trace element-contaminated area: the particular case of Fe and Cd for grazing horses. *Environ Monit Assess*. 2012;184(4):2031-2043. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2097-4>
41. Mazurek R, Kowalska J, Gąsiorek M, Zadrozny P, Jozefowska A, Zaleski T, Kępka W, Tymczuk M, Orłowska K. Assessment of heavy metals contamination in surface layers of Roztocze National Park forest soils (SE Poland) by indices of pollution. *Chemosphere*. 2017;168:839-850. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.126>
42. Miroshnikov S, Kharlamov A, Zavyalov O, Frolov A, Bolodurina I, Arapova O, Duskaev G. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015;14(9):632-636.
43. Miroshnikov S, Zavyalov O, Frolov A, Sleptsov I, Sirazetdinov F, Poberukhin M. The content of toxic elements in hair of dairy cows as an indicator of productivity and elemental status of animals. *Environ Sci Pollut Res*. 2019;26(18):18554-18564. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05163-5>
44. Miroshnikov SA, Skalny AV, Zavyalov OA, Frolov AN, Grabeklis AR. The reference values of hair content of trace elements in dairy cows of Holstein Breed. *Biol Trace Elem Res*. 2020;194(1):145-151. doi: <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01768-6>
45. Mukesh KR, Kumar P, Singh M, Singh A. Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Veterinary World*. 2008;1(1):28-30. doi: [10.5455/vetworld.2008.28-30](https://doi.org/10.5455/vetworld.2008.28-30)
46. Neves RC, Leno BM, Bach KD, McArt JAA. Epidemiology of subclinical hypocalcemia in early-lactation Holstein dairy cows: The temporal associations of plasma calcium concentration in the first 4 days in milk with disease and milk production. *J Dairy Sci*. 2018;101(10):9321-9331. doi: [10.3168/jds.2018-14587](https://doi.org/10.3168/jds.2018-14587)
47. Ordemann JM, Austin RN. Lead neurotoxicity: exploring the potential impact of lead substitution in zinc-finger proteins on mental health. *Metallomics*. 2016;8(6):579-588. doi: [10.1039/c5mt00300h](https://doi.org/10.1039/c5mt00300h)
48. Patra RC, Swarup D, Naresh R, Kumar P, Nandi D, Shekhar P, Roy S, Ali SL. Tail hair as an indicator of environmental exposure of cows to lead and cadmium in different industrial areas. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2007;66(1):127-131. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.01.005>
49. Patra RC, Swarup D, Sharma MC, Naresh R. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units. *J Vet Med A*. 2006;53(10):511-517. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.2006.00868.x>
50. 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. doi: <https://doi.org/10.17221/1581-VETMED>
51. Pieper L, Wall K, Müller E, Roder A, Staufenbiel R. Evaluation of sulfur status in dairy cows in Germany. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere*. 2016;44(02):92-98. doi: [10.15653/TPG-150901](https://doi.org/10.15653/TPG-150901)
52. Pilarczyk R, Wójcik J, Czerniak P, Sablik P, Pilarczyk B, Tomza-Marciniak A. Concentrations of toxic heavy metals and trace elements in raw milk of Simmental and Holstein-Friesian cows from organic farm. *Environ Monit Assess*. 2013;185(10):8383-8392. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3180-9>
53. Radostits OM, Gay CC, Hinchcliff KW, Constable PD, editors. *Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs and Goats*. 10th ed. Saunders Ltd.; 2007:2065 p.
54. Rajaganapathy V, Xavier F, Sreekumar D, Mandal PK. Heavy metal contamination in soil, water and fodder and their presence in livestock and products: A Review. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2011;4(3):234-249. doi: [10.3923/jest.2011.234.249](https://doi.org/10.3923/jest.2011.234.249)
55. Review of the dust-lead hazard standards and the definition of lead based paint. *Federal Register*. 2019;84(131):32632-32648.
56. Sobhanardakani S. Human Health Risk Assessment of Cd, Cu, Pb and Zn through Consumption of Raw and Pasteurized Cow's Milk. *Iran J Public Health*. 2018;47(8):1172-1180.

57. Spears JW. Micronutrients and immune function in cattle. Proc Nutr Soc. 2000;59(4):587-594. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S0029665100000835>

58. Tang Q, Li Y, Xu Y. Land suitability assessment for post-earthquake reconstruction: A case study of Lushan in Sichuan, China. Journal of Geographical Sciences. 2015;25(7):865-878. doi: <https://doi.org/10.1007/s11442-015-1207-6>

59. Yasuda H, Yoshida K, Segawa M, Tokuda R, Yasuda Y, Tsutsui T. High accumulation of aluminium in hairs of infants and children. Biomed Res Trace Elem. 2008;19(1):57-62. doi: <https://doi.org/10.11299/brte.19.57>

60. Zhou Q, Teng Y, Liu Y. A study on soil-environmental quality criteria and standards of arsenic. Applied Geochemistry. 2017;77:158-166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.05.001>

Казакова Татьяна Витальевна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и металломики в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук; 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; e-mail: vaisvais13@mail.ru

Маршинская Ольга Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и металломики в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук; 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29; e-mail: m.olja2013@yandex.ru

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)30-81-70, e-mail: vniims.or@mail.ru

Нотова Светлана Викторовна, доктор медицинских наук, профессор, первый заместитель директора, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; e-mail: snotova@mail.ru

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)30-81-78, 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)30-81-78, e-mail: forleh@mail.ru

Тяпугин Евгений Александрович, доктор биологических наук, академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических исследований и металломики в животноводстве, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, e-mail: vniims.or@mail.ru

Поступила в редакцию 18 мая 2020 г.; принята после решения редколлегии 15 июня 2020 г.; опубликована 8 июля 2020 г./ Received: 18 May 2020; Accepted: 15 June 2020; Published: 8 July 2020