

DOI: 10.33284/2658-3135-102-1-31
УДК 636.085:577.17(470.5)

**Справочные интервалы концентраций эссенциальных
и токсичных элементов в шерсти мясного скота**

С.А. Мирошников^{1,2}, А.Н. Фролов¹, О.А. Завьялов¹, М.Я. Курилкина¹

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

²ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет»

Аннотация. Основной целью настоящего исследования было определение пределов физиологического (нормального) содержания химических элементов в шерсти коров и тёлочек мясного скота. Исследования охватывали коров и тёлочек герефордской породы, разводимых в условиях биогеохимической провинции Южного Урала. В образцах шерсти изучалась концентрация 19 химических элементов (As, B, Cd, Hg, Li, Ni, Pb, Sn, Sr, V, I, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Si, Zn) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой (ИСП-МС). Справочные интервалы были рассчитаны с помощью методических рекомендаций в соответствии с рекомендациями IUPAC. Установлено, что для большинства эссенциальных (Co, Fe, Li, Mn, Si, и V) и токсичных микроэлементов (B, Cd, Ni и Sr) самые узкие интервалы наблюдались у тёлочек, тогда как для коров были характерны более широкие интервалы (за исключением Cr, As и Hg). Коровы имели значительно более высокие значения концентраций Co, I, и V, превышающие соответствующие показатели для тёлочек на 31, 24 и 28 %. Содержание токсичных элементов (B, Cd, Pb и Sr) в шерсти коров было выше, чем у тёлочек на 62, 27, 17 и 31 % соответственно. Сделано заключение, что полученные данные могут быть использованы в качестве справочных интервалов для диагностики элементозов у тёлочек и коров герефордской породы, разводимых на Южном Урале.

Ключевые слова: коровы, тёлочки, герефордская порода, элементный статус, справочные интервалы, диагностика, коррекция, шерсть (волос).

UDC 636.085:577.17(470.5)

Reference intervals of concentrations of essential and toxic elements in hair of beef cattle

S.A. Miroshnikov^{1,2}, A.N. Frolov¹, O.A. Zavyalov¹, M.Ya. Kurilkina¹

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

²FSBEI HE «Orenburg State University»

Summary. The main purpose of this study was to determine the limits of physiological (normal) content of chemical elements in hair of cows and heifers. The studies covered Hereford cows and heifers bred in the biogeochemical province of the Southern Urals. In hair samples, the concentration of 19 chemical elements (As, B, Cd, Hg, Li, Ni, Pb, Sn, Sr, V, I, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Si, Zn) was studied using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Reference intervals were calculated using methodological recommendations in accordance with the recommendations of IUPAC. It has been established that for most essential (Co, Fe, Li, Mn, Si, and V) and toxic microelements (B, Cd, Ni, and Sr), the narrowest intervals were observed in heifers, though wider intervals (except for Cr, As and Hg) were characteristic for cows. Cows had significantly higher concentrations of Co, I, and V, exceeding the corresponding figures for heifers by 31, 24 and 28 %. The content of toxic elements (B, Cd, Pb and Sr) in wool of the cows was higher than that of heifers by 62, 27, 17 and 31 % respectively. It was concluded that the data obtained can be used as reference intervals to diagnose elementosis in Hereford heifers and cows bred in the Southern Urals.

Key words: cows, heifers, Hereford breed, elemental status, reference intervals, diagnostics, correction, wool (hair).

Введение.

Сегодня элементный анализ волос человека используется при диагностике онкологических заболеваний [1], патологий, вызванных интоксикацией тяжёлыми металлами [2], метаболических синдромов [3, 4], заболеваний щитовидной железы [5] и др.

Но, наверное, самое широкое распространение анализ волос получил при выявлении и коррекции элементозов человека и животных, о чём свидетельствует число посещений медицинских центров, где новые подходы к лечению применяются на практике [6].

Известно, что использование волос для изучения элементного статуса человека стало возможным после развития и дальнейшего совершенствования современных методов определения общей совокупности биологически важных химических элементов в различных биосубстратах. Это дало возможность сформировать значительную базу данных, включающую результаты оценки элементного состава волос более чем 500 тыс. человек и в конечном итоге позволило рассчитать процентильные диапазоны, отражающие физиологические нормы содержания микроэлементов в волосах [7, 8].

Успехи этих подходов в животноводстве гораздо скромнее, и наряду с данными о перспективности их в литературе встречаются признаки сомнительности этого решения [9]. Между тем элементный анализ волос животных находит применение для оценки состояния репродуктивной системы у кошек [10]; при оценке иммунологического стресса у собак [11]; в диагностике заболеваний молочных коров [12]. В дикой природе элементный анализ волос может применяться при оценке питания животных и экологического мониторинга [13]. Оценка элементного статуса по химическому составу шерсти (пера) также перспективна при работе с животными с высокой интенсивностью минерального обмена: высокопродуктивными молочными коровами или курами-несушками.

Цель исследования.

Определение пределов физиологического (нормального) содержания химических элементов в шерсти коров и тёлочек герефордской породы.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Клинически здоровые коровы (возраст=3,2±0,8 лет) и тёлочки (возраст=1,4±0,4 лет) герефордской породы.

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. Исследования охватывали коров (n=75) и тёлочек (n=75) герефордской породы, разводимых в условиях биогеохимической провинции Южного Урала (Оренбургская, Челябинская и Курганская области). Период отбора образцов – 2014-2016 гг. Отбор проб проводился в соответствии с ранее разработанной методикой [14] путём объединения образцов, собранных из 3-5 мест в холке и откорректированных по длине в соответствии с проксимальным отрастанием в течение расчётного периода времени (30 суток) с учётом скорости роста, равной 0,38 мм/сут. Для отбора образцов применялись ножницы из нержавеющей стали, предварительно обработанные этиловым спиртом. Средний вес образцов волос составлял 0,4±0,08 г.

Содержание макро- и микроэлементов в рационе обследованных животных в целом соответствовало требованиям Национального научно-исследовательского совета США [15].

Референтные интервалы были рассчитаны в соответствии с рекомендациями IUPAC с использованием методики, описанной Poulsen и соавторами [16], Скальной М.Г. и соавторами [8].

Оборудование и технические средства. Образцы волос были подвергнуты многоэлементному анализу в аккредитованной Испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (ИСО 9001:2008 сертификат 54Q10077 от 21.05.2010 г.; г. Москва, Россия) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргоновой плазмой (ИСП-МС) [17]. Определение 19 химических элементов (As, B, Cd, Hg, Li, Ni, Pb, Sn, Sr, V, I, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Se, Si, Zn) в образцах производили с использованием спектрометра NexION 300D + NWR213 («Perkin Elmer», США). Градуировка инструмента проводилась с использованием моноэлементных эталонных растворов Perkin-Elmer. Аналитическое качество подтверждено CRM GBW09101 (Шанхайский институт ядерных исследований, Китай).

Статистическая обработка. Для проверки гипотезы о нормальности распределения других количественных признаков применяли критерий Шапиро-Уилка. Достоверность различий проверяли при помощи U-критерия Манна-Уитни. Во всех процедурах статистического анализа рассчитывали уровень значимости (P), при этом критический уровень значимости принимался меньшим или равным 0,05. Для обработки данных использовали пакет прикладных программ «Statistica 10.0» («StatSoft, Inc.», США). После исключения выбросов робастный метод был применён для оценки референтных интервалов и 90 % доверительных интервалов для нижнего и верхнего пределов.

Результаты исследований.

Полученные данные показывали, что тёлки и коровы характеризовались различным уровнем концентраций отдельных элементов в шерсти (табл. 1).

Таблица 1. Содержание эссенциальных и токсичных элементов в шерсти тёлочек и коров геррефордской породы (мкг/г)

Элемент	Тёлки			Коровы		
	процентиль		M±SD	процентиль		M±SD
	25	75		25	75	
Эссенциальные элементы						
Co	0,069	0,217	0,154±0,108	0,125	0,261	0,201±0,121*
Cr	0,118	0,372	0,305±0,286	0,159	0,372	0,312±0,230
Cu	3,86	5,67	4,846±1,226	3,900	5,440	4,756 ±1,090
Fe	26	191	129±134	39	207	157±142
I	0,514	0,901	0,775±0,413	0,606	1,260	0,962±0,439**
Li	0,180	0,349	0,289±0,178	0,173	0,421	0,326±0,199
Mn	19	43	31±16	21	47	37±25
Se	0,197	0,867	0,572±0,375	0,201	0,365	0,330±0,219*
Si	7	27	18±14	17	45	34±24***
V	0,118	0,522	0,367±0,305	0,251	0,597	0,468±0,318*
Zn	86	111	102±23	88	110	97±18
Токсичные элементы						
As	0,072	0,198	0,137±0,119	0,080	0,175	0,130±0,058
B	2,5	4,2	3,7±2,4	3,0	8,3	6,0±4,1***
Cd	0,024	0,040	0,034±0,018	0,027	0,052	0,043±0,024*
Hg	0,005	0,011	0,011±0,019	0,002	0,007	0,006 ±0,009***
Ni	0,460	0,923	0,713±0,324	0,466	0,868	0,719±0,373
Pb	0,161	0,397	0,288±0,161	0,236	0,430	0,338±0,148*
Sn	0,013	0,048	0,032±0,028	0,009	0,026	0,023±0,023**
Sr	10	16	13±6	12	21	17±7**

Примечание: * – P≤0,05; ** – P≤0,01, *** – P≤0,001 по сравнению с тёлками

В частности, коровы имели ощутимо более высокие значения концентраций Co, I и V, превышающие соответствующие значения для тёлочек на 31, 24 и 28 %. В то же время уровень Si в шерсти коров был практически в 2 раза выше, чем наблюдался у тёлочек. Уровень Se был на 42 % меньше у коров, чем у тёлочек.

Содержание B, Cd, Pb и Sr в шерсти коров было выше, чем у тёлочек на 62, 27, 17 и 31 % соответственно. В свою очередь, уровни Sn у коров были ниже на 28 % по сравнению с тёлочками. Примечательно, что уровень Hg был в 1,8 раза ниже у коров.

Эталонные интервалы, рассчитанные в соответствии с методическими рекомендациями ИУРАС, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Справочные интервалы концентраций эссенциальных и токсичных микроэлементов в шерсти тёлочек и коров герфордской породы (ИУРАС)

Элементы	Тёлки				Коровы			
	n*	референтный интервал	90 % доверительный интервал (нижний предел)	90 % доверительный интервал (верхний предел)	n*	референтный интервал	90 % доверительный интервал (нижний предел)	90 % доверительный интервал (верхний предел)
Эссенциальные элементы								
Co	74	0,035-0,461	0,035-0,047	0,347-0,495	74	0,053-0,627	0,049-0,066	0,361-0,668
Cr	75	0,049-1,268	0,039-0,068	0,83-1,58	75	0,055-1,05	0,052-0,081	0,754-1,110
Cu	74	2,9-7,9	2,9-3,2	6,6-8,3	74	3,0-7,5	2,9-3,2	6,3-7,6
Fe	74	13,3-490,7	13,2-19	390,2-627	74	21,7-575,9	21,3-24,5	436,9-596
I	75	0,245-2,08	0,196-0,355	1,620-2,43	74	0,317-2,1	0,309-0,415	1,64-2,12
Li	74	0,103-0,975	0,097-0,118	0,522-1,18	74	0,099-0,924	0,092-0,122	0,725-0,931
Mn	74	7,3-65,7	6,5-9,2	58,3-66,2	74	7,0-117,3	6,5-11,5	89,7-122
Se	74	0,125-1,31	0,117-0,153	1,167-1,32	75	0,158-1,01	0,154-0,176	0,815-1,06
Si	74	0,5-58,1	0,4-2,3	47,3-58,7	74	5,5-111,3	5,4-6,7	71,3-121
V	74	0,055-1,3	0,048-0,081	0,973-1,34	74	0,086-1,42	0,077-0,114	1,04-1,48
Zn	75	71-165	69,5-76,8	128,6-231	74	54,2-124,4	52,9-61,9	117-126
Токсичные элементы								
As	74	0,029-0,344	0,029-0,04	0,261-0,381	74	0,043-0,258	0,043-0,054	0,230-0,266
B	73	1,2-14	1,2-1,6	6,516,8	74	1,2-18,2	1,0-1,8	12,0-18,2
Cd	75	0,011-0,098	0,009-0,015	0,067-0,127	75	0,014-0,135	0,013-0,019	0,085-0,149
Hg	73	0,002-0,073	0,002-0,002	0,027-0,153	73	0,002-0,044	0,002-0,002	0,029-0,047
Ni	74	0,247-1,52	0,206-0,294	1,250-1,57	74	0,317-2	0,311-0,335	1,36-2,1
Pb	74	0,082-0,684	0,075-0,113	0,590-0,787	74	0,098-0,688	0,096-0,118	0,553-0,691
Sn	75	0,008-0,108	0,007-0,009	0,076-0,17	73	0,004-0,094	0,004-0,005	0,082-0,095
Sr	74	2,9-26,6	2,6-4,5	23,1-26,7	74	5,3-34,8	4,8-8,3	26,4-35,6

Примечание: * – n число проб, включённых в анализ после исключения выбросов

Как видно из таблицы, для большинства эссенциальных (Co, Fe, Li, Mn, Si, и V) и токсичных микроэлементов (B, Cd, Ni и Sr) самые узкие интервалы были установлены для тёлочек, тогда как для коров были характерны более широкие интервалы (за исключением Cr, As и Hg).

Обсуждение полученных результатов.

Полученные уровни эссенциальных и токсичных микроэлементов в волосах коров согласуются с ранее опубликованным исследованием. В частности, выявленные значения концентраций меди и цинка были почти аналогичны тем, что опубликованы Patra et al. [18] для крупного ро-

гатового скота из экологически неблагополучных районов – $5,04 \pm 0,13$ и $106,3 \pm 7,4$ мг/г соответственно. В то же время уровни кобальта ($1,39 \pm 0,09$ мг/г), железа ($206,2 \pm 36,2$ мг/г), свинца ($3,00 \pm 0,44$ мг/г) и кадмия ($0,563 \pm 0,170$ мг/г) даже в незагрязнённом районе Индии были выше, чем в настоящем исследовании [7]. Исследование, проведённое в Польше на коровах голштино-фризской породы [16], продемонстрировало более низкие уровни мышьяка (0,034 мг/г), бора (0,810 мг/г), кадмия (0,002 мг/г), кобальта (0,058 мг/г), хрома (0,075 мг/г), меди (2,2 мг/г), железа (15,9 мг/г), лития (0,012 мг/г), марганца (3,5 мг/г), никеля (0,069 мг/г), свинца (0,033 мг/г), кремния (5,1 мг/г), стронция (0,6 мг/г) и цинка (33 мг/г). В свою очередь, уровни ртути (0,083 мг/г), йода (9,7 мг/г), селена (0,912 мг/г) и олова (0,113 мг/г) в польском исследовании превысили результаты настоящего эксперимента.

Наблюдаемая разница между ранее опубликованными и полученными данными могла возникнуть из-за разницы биогеохимических провинций разведения и породами животных [10]. Возможные различия в содержании изучаемых элементов могут также объясняться вариациями в качестве потребляемых кормов. В этой связи примечательно, что полученные в нашем опыте значения микроэлементов практически полностью соответствуют полученным ранее данным по содержанию меди, железа и цинка в шерсти герефордских коров [19].

Полученные нами данные показали, что тёлки и коровы характеризовались различным содержанием микроэлементов в шерсти. Более ранние исследования также выявили возрастные особенности по содержанию микроэлементов в шерсти. Однако эти данные недостаточны и противоречивы. В частности, некоторые исследования продемонстрировали значительные групповые различия в волосах [20] и в сыворотке крови [21] по содержанию цинка, меди, железа между тёлками и коровами. В свою очередь, в других исследованиях не выявлено никакого эффекта от возраста по содержанию цинка шерсти герефордских коров [22]. Более низкое содержание селена в шерсти коров, которое наблюдалось в настоящем исследовании, противоречит предыдущим исследованиям. Так, анализ цельной крови показал, что у коров более чем в 2 раза выше уровни селена, чем у тёлков [23], Se-зависимая активность глутатионпероксидазы [24] равно как и концентрация селена в сыворотке крови также могут увеличиваться с возрастом [25]. Принимая во внимание учёт потенциальной роли волос как выделительного механизма для селена [26], можно предположить, что повышенная концентрация селена в шерсти тёлков, выявленная в нашем исследовании, может свидетельствовать об увеличении экскреции металлоида.

Наблюдаемые различия в уровнях основных микроэлементов могут быть также связаны с различными потребностями в минеральных веществах рационов в зависимости от репродуктивного статуса [27].

Большинство тяжёлых металлов имеют тенденцию к накоплению с возрастом. В связи с этим увеличение токсичных микроэлементов может возникать вследствие внешнего воздействия и накопления металлов в матрице волос. Подтверждением этого являются исследования, проведённые в условиях биогеохимической провинции Южного Урала, которые продемонстрировали значительную возрастную зависимость по содержанию тяжёлых металлов в волосах жителей крупных городов [28]. В этой связи примечательно, что содержание ртути и олова в шерсти коров в нашем эксперименте уменьшилось по отношению к тёлкам. Однако этот вывод согласуется с исследованиями Lopez Alonso и соавторов, которые установили, что коровы не накапливают ртуть с возрастом [29].

Вывод.

Учитывая, что содержание микроэлементов в рационе в нашем исследовании было достаточным для покрытия внутренних потребностей организма и не превышало максимально допустимых уровней, а исследуемые животные не имели выраженных признаков дефицита или токсичности, полученные данные могут быть использованы в качестве справочных интервалов для диагностики элементозов у тёлков и коров, разводимых на Южном Урале.

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

Литература

1. Screening of trace elements in hair of the female population with different types of cancers in Wielkopolska region of Poland / B. Czerny, K. Krupka, M. Ożarowski, A. Seremak-Mrozikiewicz // *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 14. 15 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/953181>
2. Indicator ability of biosubstances in monitoring the moderate occupational exposure to toxic metals / A.R. Grabeklis, A.V. Skalny, S.P. Nechiporenko, E.V. Lakarova // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2011. No. 25(Suppl. 1). P. 41-44. doi:10.1016/j.jtemb.2010.10.014.
3. Farkhutdinova L.M., Speranskii V.V., Gil'manov A.Z. Hair trace elements in patients with goiter // *Klin Lab Diagn*. 2006. No. 8. P. 19-21.
4. Park S.B., Choi S.W., Nam A.Y. Hair tissue mineral analysis and metabolic syndrome // *Biological Trace Element Research*. 2009. No. 130(3). P. 218-228. doi:10.1007/s12011-009-8336-7.
5. Hair iodine for human iodine status assessment / B. Momčilović, J. Prejac, V. Višnjević, M.G. Skalnaya, N. Mimica et al. // *Thyroid*. 2014. No. 24(6). P. 1018-1026. doi:10.1089/thy.2012.0499.
6. Center for Biotic Medicine [Электронный ресурс] url: <http://en.microelements.ru/> (дата обращения 01.02.2019 г.).
7. Skalny A.V. Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP-AES method in ANO Centre for Biotic Medicine // *Trace Elements in Medicine*. 2003. No. 4(1). P. 55-56.
8. 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. No. 4(2). P. 5-10.
9. Smith K.M., Dagleish M.P., Abrahams P.W. The intake of lead and associated metals by sheep grazing mining-contaminated floodplain pastures in mid-Wales, UK: II. Metal concentrations in blood and wool // *Science of the Total Environ*. 2010. No. 408(5). P. 1035-1042. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.023.
10. Rzymiski P, Niedzielski P, Dąbrowski P. Assessment of iron in uterine and testicular tissues and hair of free-ranging and household cats // *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2015. No. 18(4). P. 677-682. doi: 10.1515/pjvs-2015-0087.
11. Analysis of ionic profiles of canine hairs exposed to lipopolysaccharide (LPS)-induced stress / K.M. So, Y. Lee, J.D. Bok, E.B. Kim, M.I. Chung // *Biological Trace Element Research*. 2016. No. 172(2). P. 364-371. doi: 10.1007/s12011-015-0611-1.
12. Oxidative stress and imbalance of mineral metabolism contribute to lameness in dairy cows / X.J. Zhao, X.Y. Wang, J.H. Wang, Z.Y. Wang, L. Wang, Z.H. Wang // *Biological Trace Element Research*. 2015. No. 164(1). P. 43-49. doi: 10.1007/s12011-014-0207-1.
13. Comparison of trace mineral concentrations in tail hair, body hair, blood, and liver of mule deer (*Odocoileus hemionus*) in California / A. Roug, P.K. Swift, G. Gerstenberg, L.W. Woods, C. Kreuder-Johnson, S.G. Torres, B.J. Puschner // *Vet Diagn Invest*. 2015. No. 27(3). P. 295-305. doi: 10.1177/1040638715577826.
14. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile / S. Miroshnikov, A. Kharlamov, O. Zavyalov, A. Frolov, G. Duskaev, I. Bolodurina, O. Arapova // *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015. No. 14(9). P. 632-636.
15. National Research council Mineral tolerance of animals. Washington: National Academy Press, 2005. 233 p.
16. Poulsen O.M., Holst E., Christensen J.M. Calculation and application of coverage intervals for biological reference values (technical report) // *Pure and Applied Chemistry*. 1997. No. 69(7). P. 1601-1612.
17. Determination of chemical elements in biological objects and preparations by methods of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma and mass spectrometry / S.I. Ivanov, L.G. Podunova, V.B. Skachkov, V.A. Tutelian, A.V. Skalny, V.A. Demidov, M.G. Skalnaya, E.P. Serebryansky, A.R. Grabeklis, V.V. Kuznetsov: methodical guidelines (MUK 4.1.1482-03, MUK 4.1.1483-03). Moscow: Ministry of Public Health of Russian Federation [in Russian], 2003. 56 p.
18. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units / R.C. Patra, D. Swarup, M.C. Sharma, R. Naresh // *Journal of Veterinary Medicine. Series A*. 2006. No. 53. P. 511-517.

19. Narasimhalu P., McRae K.B., Quinton D. Disposition of hair minerals at four different body sites of Hereford cows // *Canadian Journal of Animal Science*. 1986. No. 66. P. 1141-1144.
20. Micro-nutrient profile of blood plasma in relation to age reproductive status of Holstein Friesian cattle / A.J. Dharni, P.M. Patel, P.D. Lakum, V.P. Ramani, M.B. Pande // *Indian Journal of Animal Nutrition*. 2003. No. 20. P. 206-211.
21. Serum mineral concentrations in relation to estrus and conception in beef heifers and cows fed conserved forage / J.A. Small, E. Charmley, A.V. Rodd, A.H. Fredeen // *Canadian Journal of Animal Science*. 1997. No. 77. P. 55-62.
22. Effects of irradiation, age, season and color on mineral composition of Hereford cattle hair / C.C. O'Mary, W.T. Butts, R.A. Reynolds, M.C. Bell // *Journal of Animal Science*. 1969. No. 28. P. 268-271.
23. Selenium status of cattle in the Czech Republic / L. Pavlata, J. Illek, A. Pechova, M. Matějčiček // *Acta Veterinaria Brno*. 2002. No. 71. P. 3-8.
24. Differences in the occurrence of selenium, copper and zinc deficiencies in dairy cows, calves, heifers and bulls / L. Pavlata, A. Podhorsky, A. Pechova, P. Chomat // *Veterinarni Medicina Czech*. 2005. No. 50. P. 390-400.
25. Stowe H.D., Herdt T.H. Clinical assessment of selenium status of livestock // *Journal of Animal Science*. 1992. No. 70. P. 3928-3933.
26. Pyrzyńska K. Determination of selenium species in environmental samples // *Microchimica Acta*. 2002. No. 140. P. 55-62.
27. Spears J.W. Overview of mineral nutrition in cattle: the dairy and beef NRC // *Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*. Gainesville: University of Florida, 2002. P. 113-126.
28. Age-related differences in hair trace elements: a cross-sectional study in Orenburg, Russia / M.G. Skalnaya, A.A. Tinkov, V.A. Demidov, E.P. Serebryansky, A.A. Nikonorov, A.V. Skalny // *Annals of Human Biology*. 2015. No. 43. P. 438-444.
29. Mercury concentrations in cattle from NW Spain / M.L. Alonso, J.L. Benedito, M. Miranda, C. Castillo, J. Hernández, R.F. Shore // *Science of the Total Environment*. 2003. No. 302. P. 93-100.

References

1. Screening of trace elements in hair of the female population with different types of cancers in Wielkopolska region of Poland / B. Czerny, K. Krupka, M. Ożarowski, A. Seremak-Mrozikiewicz // *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 14. 15 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/953181>
2. Indicator ability of biosubstances in monitoring the moderate occupational exposure to toxic metals / A.R. Grabeklis, A.V. Skalny, S.P. Nechiporenko, E.V. Lakarova // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2011. No. 25(Suppl. 1). P. 41-44. doi:10.1016/j.jtemb.2010.10.014.
3. Farkhutdinova L.M., Speranskii V.V., Gil'manov A.Z. Hair trace elements in patients with goiter // *Klin Lab Diagn*. 2006. No. 8. P. 19-21.
4. Park S.B., Choi S.W., Nam A.Y. Hair tissue mineral analysis and metabolic syndrome // *Biological Trace Element Research*. 2009. No. 130(3). P. 218-228. doi:10.1007/s12011-009-8336-7.
5. Hair iodine for human iodine status assessment / B. Momčilović, J. Prejac, V. Višnjević, M.G. Skalnaya, N. Mimica et al. // *Thyroid*. 2014. No. 24(6). P. 1018-1026. doi:10.1089/thy.2012.0499.
6. Center for Biotic Medicine [Electronic resource] url: <http://en.microelements.ru/> (reference date 01.02.2019).
7. Skalny A.V. Reference values of chemical elements concentration in hair, obtained by means of ICP-AES method in ANO Centre for Biotic Medicine // *Trace Elements in Medicine*. 2003. No. 4(1). P. 55-56.
8. 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. No. 4(2). P. 5-10.
9. Smith K.M., Dagleish M.P., Abrahams P.W. The intake of lead and associated metals by sheep grazing mining-contaminated floodplain pastures in mid-Wales, UK: II. Metal concentrations in blood and wool // *Science of the Total Environ*. 2010. No. 408(5). P. 1035-1042. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.10.023.

10. Rzymiski P, Niedzielski P, Dąbrowski P. Assessment of iron in uterine and testicular tissues and hair of free-ranging and household cats // *Polish Journal of Veterinary Sciences*. 2015. No. 18(4). P. 677-682. doi: 10.1515/pjvs-2015-0087.
11. Analysis of ionic profiles of canine hairs exposed to lipopolysaccharide (LPS)-induced stress / K.M. So, Y. Lee, J.D. Bok, E.B. Kim, M.I. Chung // *Biological Trace Element Research*. 2016. No. 172(2). P. 364-371. doi: 10.1007/s12011-015-0611-1.
12. Oxidative stress and imbalance of mineral metabolism contribute to lameness in dairy cows / X.J. Zhao, X.Y. Wang, J.H. Wang, Z.Y. Wang, L. Wang, Z.H. Wang // *Biological Trace Element Research*. 2015. No. 164(1). P. 43-49. doi: 10.1007/s12011-014-0207-1.
13. Comparison of trace mineral concentrations in tail hair, body hair, blood, and liver of mule deer (*Odocoileus hemionus*) in California / A. Roug, P.K. Swift, G. Gerstenberg, L.W. Woods, C. Kreuder-Johnson, S.G. Torres, B.J. Puschner // *Vet Diagn Invest*. 2015. No. 27(3). P. 295-305. doi: 10.1177/1040638715577826.
14. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile / S. Miroshnikov, A. Kharlamov, O. Zavyalov, A. Frolov, G. Duskaev, I. Bolodurina, O. Arapova // *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015. No. 14(9). P. 632-636.
15. National Research council Mineral tolerance of animals. Washington: National Academy Press, 2005. 233 p.
16. Poulsen O.M., Holst E., Christensen J.M. Calculation and application of coverage intervals for biological reference values (technical report) // *Pure and Applied Chemistry*. 1997. No. 69(7). P. 1601-1612.
17. Determination of chemical elements in biological objects and preparations by methods of atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma and mass spectrometry / S.I. Ivanov, L.G. Podunova, V.B. Skachkov, V.A. Tutelian, A.V. Skalny, V.A. Demidov, M.G. Skalnaya, E.P. Serebryansky, A.R. Grabeklis, V.V. Kuznetsov: methodical guidelines (MUK 4.1.1482-03, MUK 4.1.1483-03). Moscow: Ministry of Public Health of Russian Federation [in Russian], 2003. 56 p.
18. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units / R.C. Patra, D. Swarup, M.C. Sharma, R. Naresh // *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 2006. No. 53. P. 511-517.
19. Narasimhalu P., McRae K.B., Quinton D. Disposition of hair minerals at four different body sites of Hereford cows // *Canadian Journal of Animal Science*. 1986. No. 66. P. 1141-1144.
20. Micro-nutrient profile of blood plasma in relation to age reproductive status of Holstein Friesian cattle / A.J. Dhami, P.M. Patel, P.D. Lakum, V.P. Ramani, M.B. Pande // *Indian Journal of Animal Nutrition*. 2003. No. 20. P. 206-211.
21. Serum mineral concentrations in relation to estrus and conception in beef heifers and cows fed conserved forage / J.A. Small, E. Charmley, A.V. Rodd, A.H. Fredeen // *Canadian Journal of Animal Science*. 1997. No. 77. P. 55-62.
22. Effects of irradiation, age, season and color on mineral composition of Hereford cattle hair / C.C. O'Mary, W.T. Butts, R.A. Reynolds, M.C. Bell // *Journal of Animal Science*. 1969. No. 28. P. 268-271.
23. Selenium status of cattle in the Czech Republic / L. Pavlata, J. Illek, A. Pechova, M. Matějčiček // *Acta Veterinaria Brno*. 2002. No. 71. P. 3-8.
24. Differences in the occurrence of selenium, copper and zinc deficiencies in dairy cows, calves, heifers and bulls / L. Pavlata, A. Podhorsky, A. Pechova, P. Chomat // *Veterinarni Medicina Czech*. 2005. No. 50. P. 390-400.
25. Stowe H.D., Herdt T.H. Clinical assessment of selenium status of livestock // *Journal of Animal Science*. 1992. No. 70. P. 3928-3933.
26. Pyrzyńska K. Determination of selenium species in environmental samples // *Microchimica Acta*. 2002. No. 140. P. 55-62.
27. Spears J.W. Overview of mineral nutrition in cattle: the dairy and beef NRC // *Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*. Gainesville: University of Florida, 2002. P. 113-126.

28. Age-related differences in hair trace elements: a cross-sectional study in Orenburg, Russia / M.G. Skalnaya, A.A. Tinkov, V.A. Demidov, E.P. Serebryansky, A.A. Nikonorov, A.V. Skalny // *Annals of Human Biology*. 2015. No. 43. P. 438-444.

29. Mercury concentrations in cattle from NW Spain / M.L. Alonso, J.L. Benedito, M. Miranda, C. Castillo, J. Hernández, R.F. Shore // *Science of the Total Environment*. 2003. No. 302. P. 93-100.

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

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

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

Курилкина Марина Яковлевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник Испытательного центра ЦКП ФГБНУ «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 25 февраля 2019 года