

УДК 636.1:577.17(470.6)

DOI: 10.33284/2658-3135-102-2-46

**Справочные интервалы содержания химических элементов  
в гриве лошадей английской чистокровной верховой породы**

***В.В. Калашиков<sup>1</sup>, А.М. Зайцев<sup>1</sup>, М.М. Атрощенко<sup>1</sup>, С.А. Мирошников<sup>2,3</sup>, О.А. Завьялов<sup>2</sup>, А.Н. Фролов<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства (Рязанская область, пос. Дивово)*

<sup>2</sup> *Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (г. Оренбург)*

<sup>3</sup> *Оренбургский государственный университет (г. Оренбург)*

**Аннотация.** Целью настоящего исследования была оценка содержания эссенциальных и токсичных микроэлементов в волосах с гривы жеребцов и кобыл английской чистокровной верховой породы лошадей, разводимых в условиях биогеохимической провинции Северного Кавказа. Для этого были отобраны образцы волос от клинически здоровых жеребцов (n=190) и кобыл (n=94), возраст 3-7 лет. Цвет волос – чёрный.

Элементный состав волос определяли по 20 показателям методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии (АЭС-ИСП и МС-ИСП). Статистическую обработку осуществляли при помощи U-критерия Манна-Уитни. Для обработки данных использовали пакет прикладных программ «Statistica 10.0 («Stat Soft Inc.», США).

Выявлены существенные гендерные различия по 10 эссенциальным: Co, Cr, Fe, I, Mn, Zn, Li, Ni, Si, V и по 6 токсичным: Al, As, Pb, Sn, Sr, Hg элементам, в связи с этим референтные интервалы рассчитывали отдельно по полу.

Референтные интервалы содержания основных эссенциальных и токсичных элементов в волосах с гривы лошадей английской чистокровной верховой породы лошадей были рассчитаны в соответствии с рекомендациями Американского общества по обеспечению качества ветеринарной клинической патологии и лабораторных стандартов. Установлены референтные интервалы (мкг/г) для жеребцов по Co (0,006-0,112), Cr (0,026-0,40), Cu (4,29-6,78), Fe (9,99-268,2), I (0,02-3,87), Mn (0,48-9,35), Se (0,127-0,732), Zn (100,7-170,8), Li (0,01-0,31), Ni (0,054-0,464), Si (0,532-29,18), V (0,007-0,328), Al (2,23-136,0), As (0,006-0,099), Cd (0,002-0,03), B (0,464-18,9), Pb (0,016-0,5), Sn (0,0016-0,2), Sr (0,926-7,02), Hg (0,0018-0,016); кобыл по Co (0,006-0,173), Cr (0,026-0,67), Cu (4,06-7,88), Fe (9,46-591,7), I (0,079-3,47), Mn (0,613-14,6), Se (0,077-0,71), Zn (93,95-166,7), Li (0,012-1,02), Ni (0,075-0,653), Si (1,59-30,1), V (0,0052-0,823), Al (1,72-192,7), As (0,0066-0,181), Cd (0,002-0,054), B (0,512-5,96), Pb (0,023-0,436), Sn (0,0017-0,133), Sr (1,33-13,49), Hg (0,0018-0,02).

**Ключевые слова:** лошади, английская чистокровная верховая порода, кобылы, жеребцы, волос, микроэлементы, эссенциальные элементы, токсичные элементы, референтные интервалы.

UDC 636.1:577.17(470.6)

**Reference intervals of chemical elements in the horse's mane of the English thoroughbred**

***VV Kalashnikov<sup>1</sup>, AM Zaytsev<sup>1</sup>, MM Atroshchenko<sup>1</sup>, SA Miroshnikov<sup>2,3</sup>, OA Zavyalov<sup>2</sup>, AN Frolov<sup>2</sup>***

<sup>1</sup> *All-Russian Research Institute of Horse Breeding (Ryazan region, village of Divovo, Russia)*

<sup>2</sup> *Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (Orenburg, Russia)*

<sup>3</sup> *Orenburg State University (Orenburg, Russia)*

**Summary.** The purpose of this study was to assess the content of essential and toxic trace elements in the hair from the mane of stallions and mares of the English thoroughbred bred in the biogeochemical province of the North Caucasus. For this purpose, hair samples were taken from clinically healthy stallions (n=190) and mares (n=94), 3-7 years old. Hair color is black.

The elemental composition of hair was determined according to 20 indicators using atomic emission and mass spectrometry (AES-ICP and MS-ICP). Statistical processing was performed using Mann-

Whitney U-test. For data processing, the software package «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», USA) was used.

Significant gender differences were identified in 10 essential elements: Co, Cr, Fe, I, Mn, Zn, Li, Ni, Si, V, and 6 toxic elements: Al, As, Pb, Sn, Sr, Hg, in that respect reference intervals we calculated separately according to gender.

Reference intervals of the main essential and toxic elements in the hair from the horse's mane of the English thoroughbred were calculated in accordance with the recommendations of the ASVCP Quality Assurance and Laboratory Standard Guidelines. Reference intervals ( $\mu\text{g/g}$ ) were established for stallions according to Co (0.006-0.112), Cr (0.026-0.40), Cu (4.29-6.78), Fe (9.99-268.2), I (0.02-3.87), Mn (0.48-9.35), Se (0.127-0.732), Zn (100.7-170.8), Li (0.01-0.31), Ni (0.054-0.464), Si (0.532-29.18), V (0.007-0.328), Al (2.23-136.0), As (0.006-0.099), Cd (0.002-0.03), B (0.464-18.9), Pb (0.016-0.5), Sn (0.0016-0.2), Sr (0.926-7.02), Hg (0.0018-0.016); mares according to Co (0.006-0.173), Cr (0.026-0.67), Cu (4.06-7.88), Fe (9.46-591.7), I (0.079-3.47), Mn (0.613-14.6), Se (0.077-0.71), Zn (93.95-166.7), Li (0.012-1.02), Ni (0.075-0.653), Si (1.59-30.1), V (0.0052-0.823), Al (1.72-192.7), As (0.0066-0.181), Cd (0.002-0.054), B (0.512-5.96), Pb (0.023-0.436), Sn (0.0017-0.133), Sr (1.33-13.49), Hg (0.0018-0.02).

**Key words:** horses, English thoroughbred, mares, stallions, hair, trace elements, essential elements, toxic elements, reference intervals

### **Введение.**

Проблема оценки и интерпретации данных содержания химических элементов в биосубстратах человека и животных представляет огромный интерес для широкого круга специалистов. Причём наибольший задел по данной проблеме сформирован в медицине. Одно из первых исследований и банк данных появились в Великобритании в 1965 г. на базе SEL (Stable Element Laboratory, Sutton, Surrey), созданной по решению национального совета по радиационной защите. В последующем исследования получили дальнейшее развитие в Италии (1990), Великобритании, Дании, Бельгии (1994), Чехии и Словакии (1995) (Cornelis R et al., 1994; Hamilton EI et al., 1994; Poulsen OM et al., 1994; Kucera J et al., 1995; White MA et al., 1998).

С 1980 по 1989 гг. рабочая группа учёных-экспертов из США, Бельгии, Австрии под патронажем Гарвардского университета (США) и МАГАТЭ подготовила отчёт об исследованиях, которые необходимы для получения данных о минеральном составе тканей организма человека, ставший методической основой для контроля за элементным статусом популяций (Iyengar GV, 1989). Технология выявления и профилактики элементозов получила дальнейшее развитие с появлением высокоточных аналитических методов изучения элементного состава и формирования физиологических норм содержания элементов в биосубстратах (Chyla MA et al., 2000; Engelhard C, 2011, Rodushkin I et al., 2013).

В последние годы исследования накопления химических элементов в биосубстратах человека с установлением фоновых уровней содержания химических элементов ведутся в Китае, Японии, Иране, Германии и ряде других стран. Международная рабочая группа, включающая специалистов различных областей, представителей FDA США и МАГАТЭ, в течение 9 лет разрабатывала методологическую основу для создания TEDB (Tissue Element Data Bank), включающей данные мониторинга изменений в элементном статусе референтных популяционных групп.

Значительный объём знаний по элементному профилю населения в связи с состоянием здоровья и экологической ситуацией накоплен в России. Так, только в 2009-2013 гг. в Российской Федерации проведено комплексное аналитическое исследование элементного статуса 65000 человек (Скальный А.В., 2018).

Успехи, достигнутые в животноводстве, значительно скромнее, что определяется недостаточностью информационных ресурсов о физиологических нормах концентрации химических элементов в биосубстратах животных. Это в полной мере относится и к лошадям.

Между тем патологические процессы, вызванные дефицитом, избытком или дисбалансом микроэлементов, представляют серьёзную угрозу для здоровья и продуктивных качеств лошадей (Yanai T et al., 1996; Delesalle C et al., 2017; Hillyer LL et al., 2018; Neustädter LT et al., 2018).

В связи с этим возникает необходимость проведения комплексных исследований, направленных на разработку систем оценки уровня поступления химических элементов в организм лошади.

Исследования показали, что элементный состав волос информативен для оценки обменных пулов химических элементов в организме лошадей (Dunnnett M et al., 2003) в качестве индикатора статуса макроэлементов (кальция и фосфора) (Sippel WL et al., 1964; Wysocki AA et al., 1971) и микроэлементов (медь, молибден, цинк, селен и железо) (Cape L et al., 1982; Mihajlovic M, 1992; Wichert B et al., 2002; Davis TZ et al., 2014). Однако анализ элементного состава волос необходимо производить не столько для оценки обеспеченности животного жизненно необходимыми элементами, но и для определения содержания токсических элементов. Проведённые исследования показали, что минеральный состав волос с гривы лошадей достоверно коррелирует с содержанием токсичных элементов в крови (Witte ST et al., 1993). Деструктивное влияние токсических элементов на здоровье и продуктивность животных хорошо изучена (Assi MA et al., 2016). Это было также показано на примере спортивных лошадей (Asano R et al., 2002; Kalashnikov V et al., 2018).

Особенно ценным это является сегодня в условиях значительного антропогенного загрязнения окружающей среды (Shao S et al., 2008; Madejón P et al., 2009). В этом контексте элементный анализ волос лошадей может быть применён для экологического мониторинга в зонах с высокими уровнями тяжёлых металлов в окружающей среде, в том числе вблизи промышленных производств (Levine, R.J. et al., 1976), оживлённых автомагистралей (Ward NI et al., 1994; Wells LA et al., 1990), крупных мегаполисов, в районах, загрязнённых сбросами сточных вод (Madejón P et al., 2012).

Существующий алгоритм выявления и коррекции элементозов человека по составу волос основывается на исследовании высокоточными методами мультиэлементного состава биосубстратов человека с последующим сравнением полученных данных с «физиологическими нормами» содержания веществ. Принципиальной важностью метода является индивидуальный подход в изучении элементного статуса (González-Muñoz MJ et al., 2008; Smith KM et al., 2010; Roug A et al., 2015).

Исследования элементного состава волосяного покрова лошадей ещё не приобрели широкого распространения на практике. По этой причине информация для сравнительной оценки содержания микроэлементов в волосе довольно незначительна, её следует накапливать для мониторинга и предупреждения заболеваний (Emara EM et al., 2013).

Настоящее исследование является попыткой установить границы референтных интервалов (Friedrichs KR et al., 2012) содержания химических элементов в волосах английской чистокровной верховой породы лошадей, разводимых в определённой биогеохимической провинции. Полученные данные могут быть использованы в качестве эталонных значений при оценке заболеваний и качества питания лошадей.

#### **Материалы и методы исследования.**

**Объект исследования.** Жеребцы и кобылы английской чистокровной верховой породы лошадей.

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.** Образцы волос отбирались от клинически здоровых жеребцов (n=190) и кобыл (n=94) английской чистокровной верховой породы лошадей, разводимых в условиях биогеохимической провинции Северного Кавказа. Возраст 3-7 лет. Цвет волос – чёрный. Период отбора – 2017-2018 гг. Все животные содержались на аналогичной диете в соответствии с половозрастной группой в течение всех периодов.

Образцы волос массой не менее 0,4 г отбирались с участка гривы в области проекции первого шейного позвонка. Для отбора образцов применялись ножницы из нержавеющей стали, которые предварительно обрабатывались этиловым спиртом. Для анализа отбирались пробы волос с проксимальной части гривы длиной 15 мм от корня.

*Оценка элементного состава волос*

Собранные образцы волос промывали в ацетоне в течение 10-15 минут, а затем трижды промывали в деионизированной воде (18 МΩ см). После этого образцы высушивали при +60 °С до воздушно-сухого состояния. Соответствующие веса образцов (около 0,05 г) были обработаны 5 мл азотной кислотой в микроволновой системе Multiwave 3000 («PerkinElmer-A», Paar, Австрия) с использованием следующего режима: в течение 5 минут температура поднималась до +200 °С, 5 минут находились при +200 °С, затем охлаждались до +45 °С. Расщеплённые растворы количественно переносили в 15 мл полипропиленовые пробирки; вкладыши и верхушки трижды промывали деионизированной водой, а полоскания переносили в соответствующие пробирки. Затем растворы заполняли до 15 мл деионизированной водой и тщательно перемешивали путём встряхивания в закрытых пробирках.

**Оборудование и технические средства.** Все аналитические процедуры были выполнены в аккредитованной Испытательной лаборатории АНО «Центр биотической медицины» (ИСО 9001:2008 сертификат 54Q10077 от 21.05.2010 г.; г. Москва, Россия). Определение основных (Co, Cr, Cu, Fe, I, Li, Mn, Se, Si, V, Zn) и токсичных (As, B, Cd, Hg, Ni, Pb, Sn, Sr) микроэлементов в образцах проводили с использованием спектрометра «NexION 300D» («Perkin Elmer», США). Выпускной инструмент был выполнен с использованием одноэлементных универсальных наборов – стандартов сбора данных («PerkinElmer Inc.», Shelton, CT 06484, США). Внутреннюю онлайн-стандартизацию выполняли с использованием 10 мкг/л чистого одноэлементного стандарта иттрия (Y) («PerkinElmer Inc.», Shelton, CT 06484, США). Аналитическое качество подтверждено сертифицированным эталонным материалом для волос GBW09101 (Шанхайский институт ядерных исследований, Шанхай, Китай).

**Статистическая обработка.** Статистический анализ полученных данных проводился с использованием пакета программ «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США). Для проверки гипотезы о нормальности распределения количественных признаков применяли критерий Шапиро-Уилка. Закон распределения исследуемых числовых показателей отличался от нормального, поэтому 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. В таблицах приведены средние значения показателей (M) и их стандартные отклонения ( $\pm$ STD). Контрольные интервалы были рассчитаны с использованием рекомендаций Американского общества по обеспечению качества ветеринарной, клинической патологии и лабораторных стандартов (Friedrichs KR et al., 2012). Расчёты были выполнены с использованием Reference Value Advisor для MS Excel (Geffré A et al., 2011).

**Результаты исследования.**

Фактические различия между жеребцами и кобылами по концентрации эссенциальных и токсичных элементов представлены в таблице 1.

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

Таблица 1. Содержание эссенциальных и токсичных элементов в волосах с гривы жеребцов и кобыл английской чистокровной верховой породы лошадей, мкг/г  
Table 1. The content of essential and toxic elements in hairs from mane in stallions and mares of English thoroughbred horse breed,  $\mu\text{g/g}$

Элемент/Element	Жеребцы (n=190)/Stallions (n=190)	Кобылы (n=94)/Mares (n=94)
<b>Эссенциальные элементы/Essential elements</b>		
Co	0,025±0,031	0,061±0,075***
Cr	0,129±0,141	0,22±0,191***
Cu	5,63±0,82	5,58±1,24
Fe	51,8±91,9	136,3±182,1***
I	0,787±1,51	0,883±1,87
Mn	2,22±3,72	5,12±6,14***
Se	0,45±0,139	0,43±0,164
Zn	132,0±17,84	124,6±20,53**
Li	0,078±0,078	0,201±0,342***
Ni	0,175±0,185	0,272±0,216***
Si	10,94±7,76	13,53±10,14*
V	0,063±0,104	0,187±0,261***
<b>Токсичные элементы/Toxic elements</b>		
Al	24,4±49,73	76,0±33,9***
As	0,024±0,024	0,051±0,052***
Cd	0,009±0,012	0,013±0,021
B	3,37±4,38	2,62±1,62
Pb	0,104±0,198	0,144±0,131***
Sn	0,059±0,367	0,032±0,041*
Sr	3,03±1,64	4,8±3,04***
Hg	0,004±0,004	0,006±0,006***

Примечание: \* –  $P \leq 0,05$ ; \*\* –  $P \leq 0,01$ , \*\*\* –  $P \leq 0,001$

Note: \* –  $P \leq 0.05$ ; \*\* –  $P \leq 0.01$ , \*\*\* –  $P \leq 0.001$

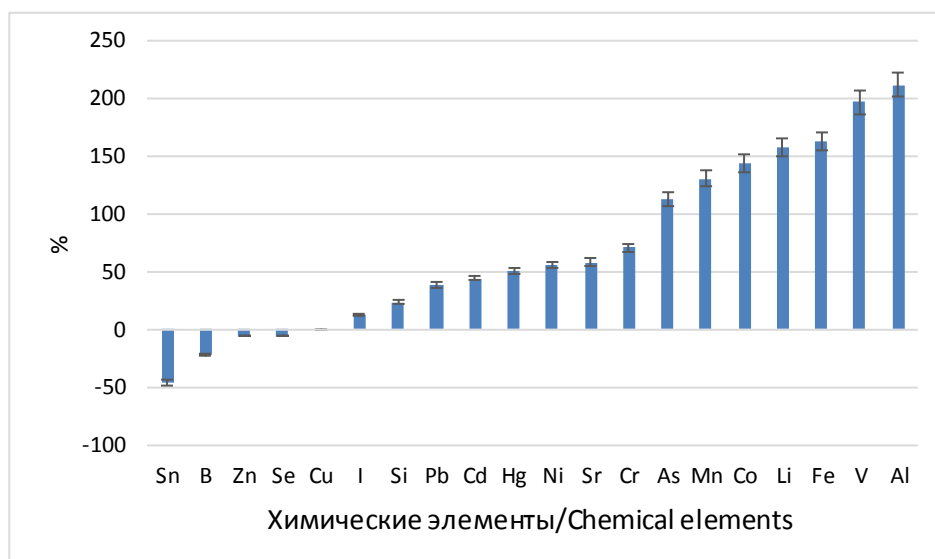


Рис. 1 – Элементный профиль жеребцов английской чистокровной верховой породы лошадей относительно кобыл, установленный по элементному составу (мкг/г) волос с гривы, %

Figure 1 – The elemental profile of stallion of English thoroughbred horse breed compared with mares, estimated by elemental composition ( $\mu\text{g/g}$ ) in hairs from mane, %

Наиболее значимые отличия были установлены для эссенциальных элементов: Co, Fe, Mn, Li, V; токсичных: As и Hg, причём по некоторым перечисленным элементам относительная разница отмечалась на уровне 100 % и более.

В связи с тем, что средние значения концентраций основных эссенциальных и токсичных элементов в волосах с гривы жеребцов и кобыл достоверно отличались по целому ряду элементов, референтные интервалы рассчитывали отдельно по полу. Референтные интервалы содержания основных эссенциальных и токсичных элементов в волосах с гривы лошадей английской чистокровной верховой породы лошадей были рассчитаны в соответствии с рекомендациями Американского общества ветеринарной клинической патологии, обеспечение качества и лабораторные стандарты (Friedrichs KR et al., 2012) представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Референтные интервалы содержания эссенциальных и токсичных элементов в волосах с гривы жеребцов английской чистокровной верховой породы лошадей, мкг/г

Table 2. Reference intervals of essential and toxic elements concentrations in hair from mane in stallions of English thoroughbred horse breed, µg/g

Элемент/ Element	Референтный интервал/ Reference interval	Нижний предел 90 % ДИ*/Lower limit 90 % CI*	Верхний предел 90 % ДИ*/Upper limit 90 % CI*
<b>Эссенциальные элементы/Essential elements</b>			
Co	0,006-0,112	0,005-0,008	0,102-0,154
Cr	0,026-0,40	0,02-0,035	0,319-0,52
Cu	4,29-6,78	4,0-4,52	6,65-7,23
Fe	9,99-268,2	9,09-10,32	242-299
I	0,02-3,87	0,015-0,029	2,52-4,82
Mn	0,48-9,35	0,407-0,585	5,66-12,67
Se	0,127-0,732	0,09-0,251	0,664-0,771
Zn	100,7-170,8	89,9-105	160-181
Li	0,01-0,31	0,008-0,013	0,283-0,374
Ni	0,054-0,464	0,05-0,064	0,398-0,639
Si	0,532-29,18	0,048-0,821	25,35-29,77
V	0,007-0,328	0,005-0,008	0,268-0,404
<b>Токсичные элементы/Toxic elements</b>			
Al	2,23-136,0	1,54-2,44	105-151
As	0,006-0,099	0,005-0,007	0,07-0,118
Cd	0,002-0,03	0,0015-0,002	0,025-0,045
B	0,464-18,9	0,349-0,53	12,39-21,52
Pb	0,016-0,5	0,015-0,02	0,294-0,796
Sn	0,0016-0,2	0,0006-0,0025	0,125-0,446
Sr	0,926-7,02	0,797-1,05	6,34-8,57
Hg	0,0018-0,016	0-0,0018	0,012-0,019

Примечание: \* – ДИ – доверительный интервал

Note: \* – CI – confidence interval

Таблица 3. Референтные интервалы содержания эссенциальных и токсичных элементов в волосах с гривы кобыл английской чистокровной верховой породы лошадей, мкг/г  
Table 3. Reference intervals of essential and toxic elements concentrations in hair from mane in mares of English thoroughbred horse breed, µg/g

Элемент/ Element	Референтный интервал/ Reference interval	Нижний предел 90 % ДИ*/Lower limit 90 % CI*	Верхний предел 90 % ДИ*/Upper limit 90 % CI*
<b>Эссенциальные элементы/Essential elements</b>			
Co	0,0062-0,173	0,0057-0,008	0,139-0,175
Cr	0,0263-0,665	0,024-0,036	0,56-0,706
Cu	4,06-7,88	3,31-4,17	6,69-8,83
Fe	9,46-591,7	8,76-11,4	451-656
I	0,079-3,47	0,054-0,088	2,09-4,49
Mn	0,613-14,6	0,562-0,966	12,01-17,68
Se	0,077-0,71	0,075-0,119	0,618-0,768
Zn	93,95-166,7	82,06-101,0	153-171
Li	0,012-1,02	0,01-0,015	0,713-1,22
Ni	0,075-0,653	0,074-0,09	0,538-0,71
Si	1,59-30,1	1,17-2,29	24,49-32,02
V	0,0052-0,823	0,005-0,008	0,685-0,929
<b>Токсичные элементы/Toxic elements</b>			
Al	1,72-192,7	1,67-2,23	174-203
As	0,0066-0,181	0,005-0,012	0,13-0,183
Cd	0,002-0,054	0,0018-0,0024	0,025-0,059
B	0,512-5,96	0,496-0,704	5,3-6,37
Pb	0,023-0,436	0,0228-0,029	0,405-0,443
Sn	0,0017-0,133	0,00095-0,0055	0,091-0,146
Sr	1,33-13,49	1,28-1,62	9,5-14,18
Hg	0,0018-0,02	0-0,0018	0,017-0,023

Примечание: \* – ДИ – доверительный интервал

Note: \* – CI – confidence interval

### Обсуждение полученных результатов

Референтные интервалы (Gräsbeck R et al., 1969; Siest G et al., 2013) являются одним из основных инструментов для интерпретации результатов лабораторных исследований, они продолжают оставаться активной областью исследований (Henny J et al., 2000) и лежат в основе практической работы в клинических лабораториях (Horn PS et al., 2005).

Настоящее исследование представляет собой попытку оценить границы контрольных интервалов для содержания химических элементов в волосах с гривы английской чистокровной верховой породы лошадей, разводимых в соответствии с рекомендациями American Society for Veterinary Clinical Pathology Quality Assurance and Laboratory Standard Guidelines (Friedrichs KR et al., 2012). Однако можно оспорить данный метод, так как прямых указаний к его использованию при расчёте эталонных интервалов нет.

В своих исследованиях мы установили факт различий по элементному составу волос гривы лошадей в связи с половой принадлежностью. В частности кобылы характеризовались содержанием в волосах гривы достоверно больше Co, Cr, Fe, I, Mn, Li, Ni, Si, V, Al, As, Pb, Sr, Hg в сравнении с жеребцами. Из эссенциальных элементов исключением явился только Zn, концентрация которого была выше в волосах жеребцов на 5,9 % ( $P \leq 0,01$ ). Объяснить этот факт можно различным уровнем минерального питания кобыл и жеребцов. (Nutrient Requirements of Horses, 2007). В нашем исследовании

довании, средний рацион жеребцов по сравнению с кобылами содержал на 28 % больше Zn, при этом жеребцы в составе рациона потребляли меньше Co, Mn и I на 50 %, 25 и 33 % соответственно. Среди токсичных элементов исключением было Sn, по содержанию которого жеребцы превосходили кобыл на 84 % ( $P \leq 0,05$ ). Ранее факт половых различий по накоплению токсичных элементов в волосах с гривы был описан для кадмия. Установлено, что кадмий накапливается в большей степени у жеребцов, чем кобыл (Anke M et al., 1989). В более поздних исследованиях было отмечено, что закономерности проявления гендерных различий в элементном составе волос лошадей не столь однозначны, и их элементный состав не изменяется от пола, возраста и породы. При этом волосы лошадей по концентрациям Br, Cl, K, S, P схожи с литературными данными для человеческого волоса (Asano K et al., 2005).

Исследование показало, что полученные контрольные интервалы значительно отличаются от ранее опубликованных справочных интервалов для лошадей (Asano R et al., 2002).

Наблюдаемая разница между данными может возникнуть из-за различий использованных методов, их точности и методических подходов, условий биогеохимических провинций (Jarvis SC et al., 1983; Gabryszuk M et al., 2010). В то же время сравнение лабораторных данных, полученных в различных исследованиях, может быть затруднено из-за различий в способах выборки образцов (Topczewska J, 2012), методах исследования (Engelhard C, 2011; Rodushkin I et al., 2013), а также цвета волос, кожи (Cape L et al., 1982; Combs DK, 1987) и сезонов года (Topczewska J, 2012).

Кроме того, физиологическое состояние (беременность или стадия лактации) может привести к некоторым изменениям в результатах (Leung PL et al., 1999). В этой популяции животных было недостаточно, чтобы оценить этот фактор.

Полученные данные могут использоваться в качестве контрольных интервалов для оценки заболеваний, нарушений обмена веществ и состояния питания лошадей английской чистокровной верховой породы.

#### **Выводы.**

Выявлены существенные гендерные различия в элементном составе гривы лошадей по 16 элементам: Co, Cr, Fe, I, Mn, Zn, Li, Ni, Si, V, Al, As, Pb, Sn, Sr, Hg из 20 изучаемых.

**Исследования проводились при поддержке Российского научного фонда (проект № 17-16-01109)**

#### Литература

1. Скальный А.В. Оценка и коррекция элементного статуса населения – перспективное направление отечественного здравоохранения и экологического мониторинга. Микроэлементы в медицине. 2018. Т. 19. Вып. 1. С. 5-13. [Skalny AV. Evaluation and correction of elemental status of the population as a perspective direction of national healthcare and environmental monitoring. Trace Elements in Medicine. 2018;19(1):5-13. (In Russ)].
2. Anke M, Kořla T, Groppe B. The cadmium status of horses from central Europe depending on breed, sex, age and living area. Archiv für Tierernährung. 1989;39(7):657-683. doi: <https://doi.org/10.1080/17450398909428337>
3. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Matsumoto T, Asano R, Sakai T. Influence of the coat color on the trace elemental status measured by particle-induced X-ray emission in horse hair. Biological Trace Element Research. 2005; 103(2):169-176. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:103:2:169>
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. Journal of Veterinary Medical Science. 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;Jun.9(6): 660-671. Published online 2016 Jun 27. doi: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.660-671>



6. Cape L, Hintz HF. Influence of month, color, age, corticosteroids, and dietary molybdenum on mineral concentration of equine hair. *American Journal of Veterinary Research*. 1982;43:1132-1136.
7. Chyla MA, Zyrnicki W. Determination of metal concentrations in animal hair by the ICP method. Comparison of various washing procedures. *Biological Trace Element Research*. 2000;75:187-194.
8. Combs DK. Hair Analysis as an Indicator of Mineral Status of Livestock. *Journal of Animal Science*. 1987;65(6):1753-1758. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1987.6561753x>
9. Cornelis R, Sabbioni E, Van der Venne MT. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Community. VII. Review of trace elements in blood, serum and urine of the Belgian population and critical evaluation of their possible use as reference values. *Science of the Total Environment*. 1994;158(1-3):191-226. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90058-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90058-2)
10. Davis TZ, Stegelmeier BL, Hall JO. Analysis in horse hair as a means of evaluating selenium toxicoses and long-term exposures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014;62(30):7393-7397. doi: <https://doi.org/10.1021/jf500861p>
11. Delesalle C, de Bruijn M, Wilmink S, Vandendriessche H, Mol G, Boshuizen B, Plancke L, Grinwis G. White muscle disease in foals: focus on selenium soil content. A case series. *BMC Veterinary Research*. 2017;13(1):121. doi: <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1040-5>
12. Dunnett M, Lees P. Trace element, toxin and drug elimination in hair with particular reference to the horse. *Research in Veterinary Science*. 2003;75:89-101.
13. Emara EM, ImamH, Hassan MA, Elnaby SH. Biological application of laser induced breakdown spectroscopy technique for determination of trace elements in hair. *Talanta*. 2013;117:176-183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.08.043>
14. Engelhard C. Inductively coupled plasma mass spectrometry: Recent trends and developments. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2011;399(1):213-219. doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-010-4299-y>
15. Friedrichs KR, Harr KE, Freeman KP, Szladovits B, Walton RM, Barnhart KF, Blanco-Chavez J. ASVCP reference interval guidelines: determination of de novo reference intervals in veterinary species and other related topics. *Veterinary Clinical Pathology*. 2012;41(4):441-453. doi: <https://doi.org/10.1111/vcp.12006>
16. Gabryszuk M, Sloniewski K, Metera E, Sakowski T. Content of mineral elements in milk and hair of cows from organic farms. *Journal of Elementology*. 2010;15.:259-267. doi: <https://doi.org/10.5601/jelem.2010.15.2.259-267>
17. Geffré A, Concordet D, Braun JP, Trumel C. Reference value advisor: a new freeware set of macroinstructions to calculate reference intervals with Microsoft Excel. *Veterinary Clinical Pathology*. 2011;40:107-112. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1939-165X.2011.00287.x>
18. González-Muñoz MJ, Peña A, Meseguer I. Monitoring heavy metal contents in food and hair in a sample of young Spanish subjects. *Food and Chemical Toxicology*. 2008;46(9):3048-3052. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.06.004>
19. Gräsbeck R, Saris NE. Establishment and use of normal values. *Scand J Clin Lab Invest*. 1969;2:62-63.
20. Hamilton EI, Sabbioni E, Van der Venne MT. Element reference values in tissues from inhabitants of the European Community. VI. Review of elements in blood, plasma and urine and a critical evaluation of reference values for the United Kingdom population. *Science of The Total Environment*. 1994;158(1-3):165-190. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90057-4)
21. Henny J, Petitclerc C, Fuentes-Arderiu X, Hyltoft Petersen P, Queraltó JM, Schiele F, Siest G. Need for revisiting the concept of reference values. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2000;38(7):589-595. doi: <https://doi.org/10.1515/CCLM.2000.085>
22. Hillyer LL, Ridd Z, Fenwick S, Hincks P, Paine SW. Pharmacokinetics of inorganic cobalt and a vitamin B12 supplement in the Thoroughbred horse: Differentiating cobalt abuse from supplementation. *Equine Veterinary Journal*. 2018;50(3):343-349. doi: <https://doi.org/10.1111/evj.12774>
23. Horn PS, Pesce AJ. Reference intervals: a user's guide. Washington, DC: American Association for Clinical Chemistry;2005;115 p.
24. Iyengar GV. Elemental analysis of biological systems, biological, medical, environmental, compositional and methodological aspects. Boca Raton: CRC Press;1989;430 p.

25. Jarvis SC, Austin AR. Soil and plant factor limiting the availability of copper to beef suckler herd. *The Journal of Agricultural Science*. 1983;101(1):39-46. doi: <https://doi.org/10.1017/S0021859600036340>
26. 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: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2334-2>
27. Kucera J, Bencko V, Sabbioni E, Van der Venne MT. Review of trace elements in blood, serum and urine for the Czech and Slovak populations and critical evaluation of their possible use as reference values. *The Science of the total environment*. 1995;166:211-234.
28. Leung PL, Huang HM, Sun DZ, Zhu MG. Hair concentrations of calcium, iron, and zinc in pregnant women and effects of supplementation. *Biological trace element research*. 1999;69(3):269-282. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02783879>
29. Levine RJ, Moore RM, Maclaren GD, Barthel WF, Landrigan PJ. Occupational lead poisoning, animal deaths, and environmental contamination at a scrap smelter. *American Journal of Public Health*. 1976;66:548-552.
30. Madejón P, Domínguez MT, Murillo JM. Evaluation of pastures for horses grazing on soils polluted by trace elements. *Ecotoxicology*. 2009;May 18(4):417-428. doi: [10.1007/s10646-009-0296-3](https://doi.org/10.1007/s10646-009-0296-3)
31. Madejón P, Domínguez MT, Murillo JM. Pasture composition in a trace element-contaminated area: the particular case of Fe and Cd for grazing horses. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012;184(4):2031-2043. doi: [10.1007/s10661-011-2097-4](https://doi.org/10.1007/s10661-011-2097-4)
32. Mihajlovic M. Selenium toxicity in domestic animals. *Glas, Srpska Akademija Nauka i Umetnosti. Odeljenje Medicinskih Nauka*. 1992;42:131-144.
33. National Research Council. *Nutrient Requirements of Horses: Sixth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press, 2007. 324 p. doi: <https://doi.org/10.17226/11653>
34. Neustädter LT Kamphues J, Ratert CJ. Influences of different dietary contents of macrominerals on the availability of trace elements in horses. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2018;102(2):633-640. doi: <https://doi.org/10.1111/jpn.12805>. Epub 2017 Oct 13.
35. Poulsen OM, Christensen JM, Sabbioni E, Van der Venne MT. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Community. V. Review of trace elements in blood, serum and urine and critical evaluation of reference values for the Danish population. *Science of The Total Environment*. 1994;141(1-3):197-215. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90028-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90028-0)
36. Rodushkin I, Engström E, Baxter DC. Review Isotopic analyses by ICP-MS in clinical samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2013;405(9):2785-2797. doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-012-6457-x>
37. Roug A, Swift PK, Gerstenberg G, Woods LW, Kreuder-Johnson C, Torres SG, Puschner B. Comparison of trace mineral concentrations in tail hair, body hair, blood, and liver of mule deer (*Odocoileus hemionus*) in California. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 2015;27(3):295-305. doi: <https://doi.org/10.1177/1040638715577826>
38. Shao S, Zheng B. The biogeochemistry of selenium in Sunan grassland, Gansu, Northwest China, casts doubt on the belief that Marco Polo reported selenosis for the first time in history. *Environ Geochem Health*. 2008;30(4):307-314. doi: <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9166-9>
39. Siest G, Henny J, Grasbeck R, Wilding P, Petitclerc C, Queralto JM, Petersen PH. The theory of reference values: an unfinished symphony. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2013;51:47-64. doi: <https://doi.org/10.1515/cclm-2012-0682>
40. Sippel WL, Flowers J, OFarrell J, Thomas W, Powers J. Nutrition consultation in horses by aid of feed, blood and hair analysis. *Proceedings of the American Association of Equine Practitioners* 1964;10:139-152.
41. Smith KM, Dagleish MP, Abrahams PW. 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 Environment*. 2010;408(5):1035-1042. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.023>

42. Topczewska J. Effects of seasons on the concentration of selected trace elements in horse hair. *Journal of Central European Agriculture*. 2012;13(14): 671-680. doi: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/13.4.1110>
43. Ward NI, Savage JM. Elemental status of grazing animals located adjacent to the London Orbital (M25) motorway. *The Science of the Total Environment* 1994;146:185-189.
44. Wells LA, Leroy R, Ralston SL. Mineral intake and hair analysis of horses in Arizona. *Journal of Equine Veterinary Science*. 1990;10:412-416.
45. White MA, Sabbioni E. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Union. X. A study of 13 elements in blood and urine of a United Kingdom population. *The Science of The Total Environment*. 1998;216(3):253-270. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00156-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00156-9)
46. Wichert B, Frank T, Kienzle E. Zinc, copper and selenium status of horses in Bavaria. *Journal of Nutrition*. 2002;132:1776-1777.
47. Witte ST, Will LA, Olsen CR, Kinker JA, Miller-Graber P. Chronic selenosis in horses fed locally produced alfalfa hay. *Journal of the American Veterinary Medicine Association*. 1993;202:406-409.
48. Wysocki AA, Klett R. Hair as an indicator of the calcium and phosphorus status of ponies. *Journal of Animal Science*. 1971;32:74-78.
49. Yanai T, Masegi T, Ishikawa K, Sakai H, Iwasaki T, Moritomo Y, Goto N. Spontaneous vascular mineralization in the brain of horses. *Journal of Veterinary Medical Science*. 1996;Jan.58(1): 35-40.

#### References

1. Skalny AV. Evaluation and correction of elemental status of the population as a perspective direction of national healthcare and environmental monitoring. *Trace Elements in Medicine*. 2018;19(1):5-13.
2. Anke M, Kořla T, Groppe B. The cadmium status of horses from central Europe depending on breed, sex, age and living area. *Archiv für Tierernährung*. 1989;39(7):657-683. doi: <https://doi.org/10.1080/17450398909428337>
3. Asano K, Suzuki K, Chiba M, Sera K, Matsumoto T, Asano R, Sakai T. Influence of the coat color on the trace elemental status measured by particle-induced X-ray emission in horse hair. *Biological Trace Element Research*. 2005; 103(2):169-176. doi: <https://doi.org/10.1385/BTER:103:2:169>
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. *Journal of Veterinary Medical Science*. 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;Jun.9(6): 660-671. Published online 2016 Jun 27. doi: <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.660-671>
6. Cape L, Hintz HF. Influence of month, color, age, corticosteroids, and dietary molybdenum on mineral concentration of equine hair. *American Journal of Veterinary Research*. 1982;43:1132-1136.
7. Chyla MA, Zyrnicki W. Determination of metal concentrations in animal hair by the ICP method. Comparison of various washing procedures. *Biological Trace Element Research*. 2000;75:187-194.
8. Combs DK. Hair Analysis as an Indicator of Mineral Status of Livestock. *Journal of Animal Science*. 1987; 65(6):1753-1758. doi: <https://doi.org/10.2527/jas1987.6561753x>
9. Cornelis R, Sabbioni E, Van der Venne MT. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Community. VII. Review of trace elements in blood, serum and urine of the Belgian population and critical evaluation of their possible use as reference values. *Science of the Total Environment*. 1994;158(1-3):191-226. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90058-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90058-2)
10. Davis TZ, Stegelmeier BL, Hall JO. Analysis in horse hair as a means of evaluating selenium toxicoses and long-term exposures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014;62(30):7393-7397. doi: <https://doi.org/10.1021/jf500861p>
11. Delesalle C, de Bruijn M, Wilmink S, Vandendriessche H, Mol G, Boshuizen B, Plancke L, Grinwis G. White muscle disease in foals: focus on selenium soil content. A case series. *BMC Veterinary Research*. 2017;13(1):121. doi: <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1040-5>

12. Dunnett M, Lees P. Trace element, toxin and drug elimination in hair with particular reference to the horse. *Research in Veterinary Science*. 2003;75:89-101.
13. Emara EM, Imam H, Hassan MA, Elnaby SH. Biological application of laser induced breakdown spectroscopy technique for determination of trace elements in hair. *Talanta*. 2013;117:176-183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.08.043>
14. Engelhard C. Inductively coupled plasma mass spectrometry: Recent trends and developments. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2011;399(1):213-219. doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-010-4299-y>
15. Friedrichs KR, Harr KE, Freeman KP, Szladovits B, Walton RM, Barnhart KF, Blanco-Chavez J. ASVCP reference interval guidelines: determination of de novo reference intervals in veterinary species and other related topics. *Veterinary Clinical Pathology*. 2012;41(4):441-453. doi: <https://doi.org/10.1111/vcp.12006>
16. Gabryszuk M, Sloniewski K, Metera E, Sakowski T. Content of mineral elements in milk and hair of cows from organic farms. *Journal of Elementology*. 2010;15.:259-267. doi: <https://doi.org/10.5601/jelem.2010.15.2.259-267>
17. Geffré A, Concordet D, Braun JP, Trumel C. Reference value advisor: a new freeware set of macroinstructions to calculate reference intervals with Microsoft Excel. *Veterinary Clinical Pathology*. 2011;40:107-112. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1939-165X.2011.00287.x>
18. González-Muñoz MJ, Peña A, Meseguer I. Monitoring heavy metal contents in food and hair in a sample of young Spanish subjects. *Food and Chemical Toxicology*. 2008;46(9):3048-3052. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.06.004>
19. Gräsbeck R, Saris NE. Establishment and use of normal values. *Scand J Clin Lab Invest*. 1969;2:62-63.
20. Hamilton EI, Sabbioni E, Van der Venne MT. Element reference values in tissues from inhabitants of the European Community. VI. Review of elements in blood, plasma and urine and a critical evaluation of reference values for the United Kingdom population. *Science of The Total Environment*. 1994;158(1-3):165-190. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90057-4](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90057-4)
21. Henny J, Petitclerc C, Fuentes-Arderiu X, Hyltoft Petersen P, Queraltó JM, Schiele F, Siest G. Need for revisiting the concept of reference values. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2000;38(7):589-595. doi: <https://doi.org/10.1515/CCLM.2000.085>
22. Hillyer LL, Ridd Z, Fenwick S, Hincks P, Paine SW. Pharmacokinetics of inorganic cobalt and a vitamin B12 supplement in the Thoroughbred horse: Differentiating cobalt abuse from supplementation. *Equine Veterinary Journal*. 2018;50(3):343-349. doi: <https://doi.org/10.1111/evj.12774>
23. Horn PS, Pesce AJ. Reference intervals: a user's guide. Washington, DC: American Association for Clinical Chemistry;2005:115 p.
24. Iyengar GV. Elemental analysis of biological systems, biological, medical, environmental, compositional and methodological aspects. Boca Raton: CRC Press;1989;430 p.
25. Jarvis SC, Austin AR. Soil and plant factor limiting the availability of copper to beef suckler herd. *The Journal of Agricultural Science*. 1983;101(1):39-46. doi: <https://doi.org/10.1017/S0021859600036340>
26. 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: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2334-2>
27. Kucera J, Bencko V, Sabbioni E, Van der Venne MT. Review of trace elements in blood, serum and urine for the Czech and Slovak populations and critical evaluation of their possible use as reference values. *The Science of the total environment*. 1995;166:211-234.
28. Leung PL, Huang HM, Sun DZ, Zhu MG. Hair concentrations of calcium, iron, and zinc in pregnant women and effects of supplementation. *Biological trace element research*. 1999;69(3):269-282. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02783879>

29. Levine RJ, Moore RM, Maclaren GD, Barthel WF, Landrigan PJ. Occupational lead poisoning, animal deaths, and environmental contamination at a scrap smelter. *American Journal of Public Health*. 1976;66:548-552.
30. Madejón P, Domínguez MT, Murillo JM. Evaluation of pastures for horses grazing on soils polluted by trace elements. *Ecotoxicology*. 2009;May 18(4):417-428. doi: 10.1007/s10646-009-0296-3
31. Madejón P, Domínguez MT, Murillo JM. Pasture composition in a trace element-contaminated area: the particular case of Fe and Cd for grazing horses. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2012;184(4):2031-2043. doi: 10.1007/s10661-011-2097-4
32. Mihajlovic M. Selenium toxicity in domestic animals. *Glas, Srpska Akademija Nauka i Umetnosti. Odeljenje Medicinskih Nauka*. 1992;42:131-144.
33. National Research Council. *Nutrient Requirements of Horses: Sixth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press, 2007. 324 p. doi: <https://doi.org/10.17226/11653>
34. Neustädter LT Kamphues J, Ratert CJ. Influences of different dietary contents of macrominerals on the availability of trace elements in horses. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2018;102(2):633-640. doi: <https://doi.org/10.1111/jpn.12805>. Epub 2017 Oct 13.
35. Poulsen OM, Christensen JM, Sabbioni E, Van der Venne MT. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Community. V. Review of trace elements in blood, serum and urine and critical evaluation of reference values for the Danish population. *Science of The Total Environment*. 1994;141(1-3):197-215. doi: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90028-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90028-0)
36. Rodushkin I, Engström E, Baxter DC. Review Isotopic analyses by ICP-MS in clinical samples. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2013;405(9):2785-2797. doi: <https://doi.org/10.1007/s00216-012-6457-x>
37. Roug A, Swift PK, Gerstenberg G, Woods LW, Kreuder-Johnson C, Torres SG, Puschner B. Comparison of trace mineral concentrations in tail hair, body hair, blood, and liver of mule deer (*Odocoileus hemionus*) in California. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 2015;27(3):295-305. doi: <https://doi.org/10.1177/1040638715577826>
38. Shao S, Zheng B. The biogeochemistry of selenium in Sunan grassland, Gansu, Northwest China, casts doubt on the belief that Marco Polo reported selenosis for the first time in history. *Environ Geochem Health*. 2008;30(4):307-314. doi: <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9166-9>
39. Siest G, Henny J, Grasbeck R, Wilding P, Petitclerc C, Queralto JM, Petersen PH. The theory of reference values: an unfinished symphony. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2013;51:47-64. <https://doi.org/10.1515/cclm-2012-0682>
40. Sippel WL, Flowers J, O'Farrell J, Thomas W, Powers J. Nutrition consultation in horses by aid of feed, blood and hair analysis. *Proceedings of the American Association of Equine Practitioners* 1964;10:139-152.
41. Smith KM, Dagleish MP, Abrahams PW. 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 Environment*. 2010;408(5):1035-1042. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.023>
42. Topczewska J. Effects of seasons on the concentration of selected trace elements in horse hair. *Journal of Central European Agriculture*. 2012;13(14): 671-680. doi: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/13.4.1110>
43. Ward NI, Savage JM. Elemental status of grazing animals located adjacent to the London Orbital (M25) motorway. *The Science of the Total Environment* 1994;146:185-189.
44. Wells LA, Leroy R, Ralston SL. Mineral intake and hair analysis of horses in Arizona. *Journal of Equine Veterinary Science*. 1990;10:412-416.
45. White MA, Sabbioni E. Trace element reference values in tissues from inhabitants of the European Union. X. A study of 13 elements in blood and urine of a United Kingdom population. *The Science of The Total Environment*. 1998;216(3):253-270. doi: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(98\)00156-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00156-9)
46. Wichert B, Frank T, Kienzle E. Zinc, copper and selenium status of horses in Bavaria. *Journal of Nutrition*. 2002;132:1776-1777.

47. Witte ST, Will LA, Olsen CR, Kinker JA, Miller-Graber P. Chronic selenosis in horses fed locally produced alfalfa hay. *Journal of the American Veterinary Medicine Association*. 1993;202:406-409.

48. Wysocki AA, Klett R. Hair as an indicator of the calcium and phosphorus status of ponies. *Journal of Animal Science*. 1971;32:74-78.

49. Yanai T, Masegi T, Ishikawa K, Sakai H, Iwasaki T, Moritomo Y, Goto N. Spontaneous vascular mineralization in the brain of horses. *Journal of Veterinary Medical Science*. 1996;Jan.58(1): 35-40.

**Калашников Валерий Васильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, научный руководитель, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, 391105, Рязанская область, Рыбновский район, пос. Дивово, тел.: 8(4912)24-02-65, e-mail: vniik08@mail.ru

**Зайцев Александр Михайлович**, кандидат сельскохозяйственных наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, 391105, Рязанская область, Рыбновский район, пос. Дивово, тел.: 8(4912)24-02-65, e-mail: amzaitceff@mail.ru

**Атрощенко Михаил Михайлович**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии размножения, Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, 391105, Рязанская область, Рыбновский район, пос. Дивово, тел.: 8(4912)24-02-65, e-mail: atomiks-77@mail.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)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

Поступила в редакцию 5 июня 2019 г.; принята после решения редколлегии 17 июня 2019 г.; опубликована 28 июня 2019 г. / Received: 5 June 2019; Accepted: 17 June 2019; Published: 28 June 2019