

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ МЕДИ В ЩЕТИНЕ СВИНЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД

Зайко О.А., Назаренко А.В., Королева И.А., Романенко М.А., Магер С.Н.

Новосибирский государственный аграрный университет
Новосибирск, Россия

Приведены результаты оценки содержания меди в щетине свиней ландрасской, кемеровской и скороспелой мясной пород. Исследования выполнены на клинически здоровых шести-месячных животных в хозяйствах Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края. Условия содержания животных стандартные с типовым кормлением. Элементный анализ проб щетины свиней выполнен методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. Обработку данных проводили с применением Microsoft Office Excel и Statistica 8 (StatSoft Inc., USA), в том числе используя непараметрические методы. Установлен убывающий ранжированный ряд по уровню меди в волосе свиней для пород: ландрасская → кемеровская → скороспелая мясная. В виде отношения он представлен как 5,1 : 4,5 : 1. Показатели меди в щетине свиней ландрасской, кемеровской и скороспелой мясной пород составили 44,0; 39,0 и 8,7 мг/кг соответственно. Аккумуляция меди в щетине свиней ландрасской и кемеровской пород зафиксирована в 5,6 и 4,5 раза больше, чем в скороспелой мясной ($p < 0,001$). Однородностью показателей отмечены скороспелая мясная и кемеровская породы, у них зарегистрирован наименьший межквартильный размах и отношение крайних вариантов. Исследованиями с использованием критерия Краскела-Уоллиса установлено, что порода влияет на аккумуляцию меди в щетине свиней. Различия зарегистрированы в парах: скороспелая мясная – кемеровская и скороспелая мясная – ландрасская породы ($p < 0,001$). Наиболее сходные результаты изучения животных на основании кластерного анализа выявлены между кемеровской и ландрасской породами. Скороспелая мясная порода отличается относительной устойчивостью к аккумуляции меди в щетине. Полученные данные можно предварительно принять в качестве физиологической нормы концентрации меди в щетине свиней различных пород, районированных в Западной Сибири.

Ключевые слова: медь, щетина, свиньи, влияние пород

PECULIARITIES OF COPPER ACCUMULATION IN THE BRISTLES OF PIGS OF DIFFERENT BREEDS

Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Koroleva I.A., Romanenko M.A., Mager S.N.

Novosibirsk State Agrarian University
Novosibirsk, Russia

The results of assessing the copper content in the bristles of pigs of Landrace, Kemerovo and Early maturing meat breeds are presented. The study was carried out on clinically healthy six-month-old animals in the farms of Novosibirsk and Kemerovo regions and Altai Territory. The conditions for keeping animals were standard with typical feeding. Elemental analysis of pig bristle samples was carried out by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. The data was processed using Microsoft Office Excel and Statistica 8 (StatSoft Inc., USA), including nonparametric methods. A decreasing ranged series was established according to the level of copper in the hair of pigs for Landrace → Kemerovo → Early maturing meat breeds. As a ratio, it is represented as 5.1 : 4.5 : 1. Copper in the bristles of Landrace, Kemerovo and Early maturing meat breeds amounted to 44.0, 39.0 and 8.7 mg/kg, respectively. The accumulation of copper recorded in the bristles of Landrace and Kemerovo pig breeds was 5.6 and 4.5 times higher than that of Early maturing meat breed ($p < 0.001$). The Early maturing meat and Kemerovo breeds were characterized with the homogeneity of indicators; they had the smallest interquartile range and the ratio of the extreme variants. The study using Kruskal-Wallis criterion established that the breed affects the accumulation of copper in the bristles of pigs. Differences were registered in pairs: Early maturing meat – Kemerovo and Early

maturing meat – Landrace breeds ($p < 0.001$). The most similar results of studying animals based on cluster analysis were found between Kemerovo and Landrace breeds. Early maturing meat breed is relatively resistant to copper accumulation in the bristles. The data obtained can be tentatively taken as a physiological norm for the accumulation of copper in the bristles of pigs of various breeds zoned in Western Siberia.

Keywords: copper, bristles, pigs, influence of breeds

Для цитирования: Зайко О.А., Назаренко А.В., Королева И.А., Романенко М.А., Магер С.Н. Особенности аккумуляции меди в щетине свиной различных пород // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2021. Т. 51. № 1. С. 90–98. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-1-11>

For citation: Zaiko O.A., Nazarenko A.V., Koroleva I.A., Romanenko M.A., Mager S.N. Peculiarities of copper accumulation in the bristles of pigs of different breeds. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2021, vol. 51, no. 1, pp. 90–98. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2021-1-11>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Стабильность химического состава в организме – одно из важнейших условий жизни человека и животных, изменения которого приводят к широкому спектру заболеваний [1]. В связи с этим изучаются величина аккумуляции химических элементов в тканях и органах, соотношение между ними и биохимическими компонентами организма на разных уровнях. Актуальны вопросы, касающиеся индивидуального минерального статуса и здоровья животных, воздействия на человека, потребляющего в пищу продукты животного происхождения¹⁻³ [2].

Медь – один из важных химических элементов для реализации генетического потенциала млекопитающих, в частности свиней, посредством влияния на экспрессию генов. Она служит минеральным компонентом и кофактором многих ферментов в организме [3]. Медь оказывает прооксидантные и антиоксидантные эффекты, необходимые для полноценного обеспечения биологических процессов и развития заболеваний [4]. Например, медь – компонент супероксиддисмутазы и глутатионпероксидазы, снижение активности которых приводит к нарушению

в антиоксидантной защите. Но чрезмерное поступление добавок, содержащих медь, может индуцировать системное перекисное окисление липидов и окислительный стресс [5]. Свиньи, по данным исследований, редко нуждаются в дополнительном введении меди при условии сбалансированности рациона, в основе которого лежат зерновые корма [6].

Оценка минерального статуса животных по концентрации тех или иных химических элементов в производных кожи вызывает интерес многих ученых [7, 8]. Медь относится к группе элементов с высоким коэффициентом обогащения, что свидетельствует о незначительной восприимчивости к экзогенной контаминации, концентрация в производных кожи обусловлена в основном эндогенными факторами [9].

Оценка экологической безопасности объектов неживой и живой природы выполняется в различных субъектах Российской Федерации, в том числе в сибирских регионах [10–12]. Оценка интерьера животных сельскохозяйственного назначения включает исследования содержания химических элементов в органах и тканях, гематологи-

¹Зайко О.А. Изменчивость и корреляция химических элементов в органах и тканях свиней скороспелой мясной породы СМ-1: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2014. 183 с.

²Нарожных К.Н. Изменчивость, корреляции и уровень тяжелых металлов в органах и тканях герефордского скота в условиях Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2019. 163 с.

³Стрижкова М.В. Содержание, изменчивость и корреляция макроэлементов в органах и тканях крупного рогатого скота черно-пестрой породы: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2018. 126 с.

ческих и иммунобиохимических параметров крови. Она необходима для оценки состояния здоровья животных и мониторинга экологического фона, отражающегося на безопасности и качестве сельскохозяйственной продукции⁴ [13]. Интерпретация результатов этих исследований затруднена из-за отсутствия референсных интервалов, характеризующих допустимое содержание различных химических элементов в органах и тканях животных [14].

Цель исследований – установить межпородные особенности аккумуляции меди в волосяном покрове свиней различных пород, районированных в Западной Сибири.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в 2016–2020 гг. на группах клинически здоровых свиней трех пород: скороспелой мясной (СМ-1), кемеровской и ландрасской, выращенных в хозяйствах Новосибирской, Кемеровской областей и Алтайского края. Животных содержали в стандартных условиях для данного вида на мясном откорме⁵. Свиньи вакцинированы в соответствии с планами ветеринарно-профилактических мероприятий. Специалисты систематически выполняли элементы общего исследования, проводили исследование габитуса, кожи, производных кожи, слизистых оболочек и специального исследования. Животных обеспечивали типовым кормлением полнорационным комбикормом в зависимости от живой массы животных. Рационы сбалансированы по питательным, минеральным веществам и витаминам. В частности, количество меди,

в зависимости от изменения живой массы животных, составляло во всех группах от 19 до 38 мг на одну голову в сутки. Контроль комбикормов по номенклатуре гарантированных и дополнительных показателей осуществляли в установленном порядке^{6, 7}. Поение животных выполняли из собственных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, при этом качество воды соответствовало второму классу ГОСТа⁸.

Центром коллективного пользования научным оборудованием многоэлементных и изотопных исследований Сибирского отделения Российской академии наук (СО РАН) Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева и Институтом неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН в районах разведения свиней изучены вода, почва и корма на содержание тяжелых металлов, в том числе меди⁹ [15].

Предмет данного исследования – щетина свиней. Образцы получены с дорсальной поверхности шеи с помощью очищенных этанолом ножниц из нержавеющей стали. Они представлены остевым волосом. Общее количество проб составило 65. Отобрана навеска щетины, выполнена ее очистка от загрязнений и дальнейшая пробоподготовка по соответствующим ГОСТам. Непосредственно элементный анализ выполнен методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с использованием спектрометра iCAP-6500 фирмы Thermo Scientific (USA) [16].

Полученные данные обработаны программами Microsoft Office Excel и Statistica 8 (StatSoft Inc., USA). Критерий Шапиро-Уил-

⁴Sebezhenko O.I., Korotkevich O.S., Kononova T.V., Biryulya I.K., Petukhov V.L., Kamaldinov E.V., Narozhnykh K.N., Osadchuk L.V. Biochemical, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia // 3 rd International Symposium for Agriculture and Food. Ohrid: Faculty of agriculture and food, 2017. P. 100.

⁵ГОСТ 28839–2017. Животные сельскохозяйственные. Свиньи. Зоотехнические требования к содержанию на откорме. Взамен ГОСТ 28839-90; введ. 2018-07-01. М.: Стандартинформ, 2017. 4 с.

⁶ГОСТ Р 51550–2000. Комбикорма-концентраты для свиней. Общие технические условия.– Введен впервые; введ. 2001-01-01.М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 10 с.

⁷ГОСТ Р 51850–2001. Продукция комбикормовая. Правила приемки. Упаковка, транспортирование и хранение; введ. впервые; введ. 2004-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 4 с.

⁸ГОСТ 2761–84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора (с изменением № 1). Взамен ГОСТ 17.1.3.03–77; введ. 1986-01-01. М.: Стандартинформ, 2006. 12 с.

⁹Сысо А.И. Тяжёлые металлы в окружающей среде как угроза растениям, животным и человеку // Агрохимия в XXI веке. Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной памяти академика РАН В.Г. Минеева. Под редакцией В.А. Романенкова. 2018. С. 30–33.

ка и Колмогорова-Смирнова служили для оценки характера распределения. Оценены следующие показатели: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, медиана, среднее квадратическое отклонение, интерквартильный размах, максимальное и минимальное значение содержания меди в щетине. В качестве альтернативы одномерному дисперсионному анализу использован непараметрический критерий Краскела-Уоллиса для установления различий в аккумуляции меди между породами. Проведен кластерный анализ для объединения пород с однородными характеристиками с использованием метода Варда. В качестве метрики расстояний применяли манхэттенское расстояние.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения ряда тестов установлено, что количественная характеристика уровня меди в щетине свиней кемеровской и скороспелой мясной пород характеризуется нормальностью распределения. В тесте Шапиро-Уилка установлено, что W -критерий равен 0,97 ($p > 0,05$). Гипотеза о нормальности распределения этого же признака у свиней породы ландрас отклонена.

В таблице 1 представлены данные по уровню меди в волосе свиней рассматриваемых пород. Ранжируя породы по изучаемому признаку, установили, что убывающий ряд выглядит следующим образом: порода ландрас → кемеровская порода → скороспелая мясная порода, в качестве относи-

тельных показателей, учитывая медиану: 5,1 : 4,5 : 1. Установлены весомые различия среди животных породы ландрас по способности накапливать медь в щетине, что выражается значительным отношением крайних вариантов. В научной литературе отсутствует информация об отличиях в аккумуляции химических элементов в организме свиней различных пород. Но известно о существенных особенностях обмена меди в организме у разных пород овец и его физиологических последствиях для животных¹⁰.

Концентрация меди в щетине свиней кемеровской и ландрасской пород в 4,5 и 5,6 раза соответственно выше, чем данный показатель скороспелой мясной породы ($p < 0,001$).

Не установлено различий в содержании меди в производном кожи у свиней ландрасской и кемеровской пород. Необходимо отметить, что на территории Западной Сибири отсутствует загрязнение тяжелыми металлами за пределами санитарно-гигиенических зон [17].

Уровень аккумуляции химических элементов в волосяном покрове животных позволяет определить индивидуальный минеральный статус, что актуально для сельскохозяйственных животных, содержащихся групповым способом. При этом полученные данные могут служить нормативными показателями для пород животных, районированных на определенной территории, так как информация по данному вопросу в литературе разрознена. По данным исследовате-

Содержание меди в щетине свиней некоторых пород, районированных в Западной Сибири, мг/кг
The content of copper in the bristles of some pig breeds zoned in Western Siberia, mg / kg

Порода	<i>n</i>	$\bar{X} \pm Sx$	<i>Me</i>	σ	IQR	lim	Отношение крайних вариант
Кемеровская	26	39,4 ± 1,6	39,0	7,9	12,2	25 – 56	1 : 2,2
СМ-1	18	8,72 ± 0,2	8,7	1,0	1,7	7,2 – 10,9	1 : 1,5
Ландрас	21	49,2 ± 8,0	44,0	36,7	68	7,7 – 110	1 : 14,3

Примечание. *Me* – медиана, σ – среднее квадратическое отклонение, IQR – интерквартильный размах.

¹⁰Radostits O.M., Gay C.C., Hinchcliff K.W., Constable P.D. Veterinary medicine: a textbook of the diseases of cattle, sheep, pigs, goats and horses // Toronto: Saunders Elsevier, 2007. 2180 p.

лей, существуют уровни аккумуляции меди в волосе свиней 3–7 и 8–15 мг/кг, как дефицитный и нормальный соответственно¹¹. В сравнении с этими значениями зарегистрировано превышение показателей описательной статистики у животных ландрасской и кемеровской пород.

Изучение содержания химических элементов в органах, тканях, производных кожи различных пород и видов актуально для решения вопроса о наличии или отсутствии наследственно обусловленных факторов [18]. В данном исследовании более однородной по содержанию меди в щетине оказалась порода СМ-1, зарегистрирован наименьший межквартильный размах и отношение крайних вариантов (см. рис. 1). Подобными характеристиками отличались животные кемеровской породы.

После расчета критерия Краскела-Уол-

лиса установили, что фактор порода влияет на величину депонирования меди в щетине свиней ($p < 0,001$), если оценивать три породы вместе. В парах СМ-1 – кемеровская порода и СМ-1 – ландрасская порода есть существенные различия ($p < 0,001$). Анализ полученных данных свидетельствует о межпородной дифференциации по концентрации изучаемого химического элемента в щетине, что является фактором, подтверждающим роль наследственности в предрасположенности и устойчивости к накоплению меди в щетине свиней.

На рис. 2 показано сходство между рассматриваемыми породами свиней по содержанию меди в щетине. Установлено, что кемеровская и ландрасская породы имеют большее сходство в сравнении с животными скороспелой мясной породы.

Исследованиями установлена наслед-

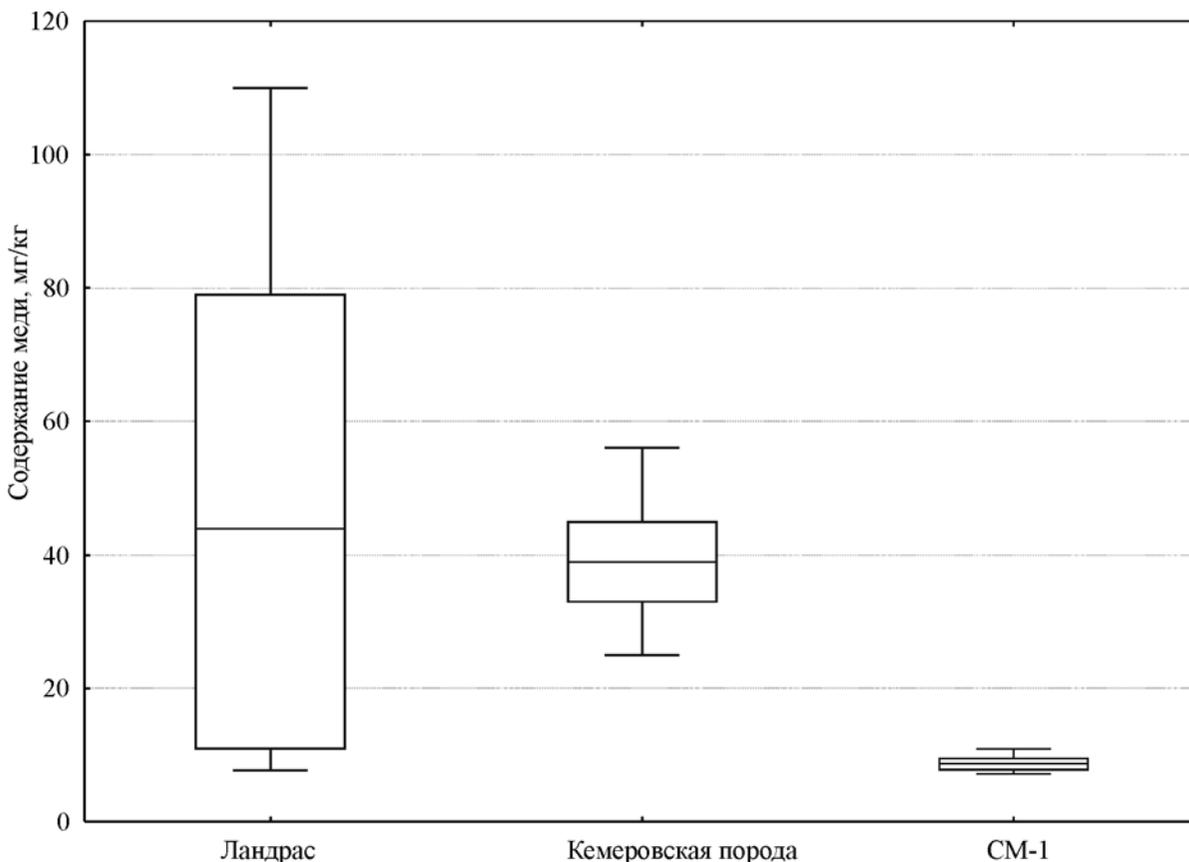


Рис. 1. Диаграммы размаха содержания меди в щетине свиней некоторых пород
Fig. 1. Diagrams of copper content range in the bristles of some pig breeds

¹¹Puls R. Mineral levels in animal health: diagnostic data. Canada: Trinity Western University Press, 1988. 240 p.

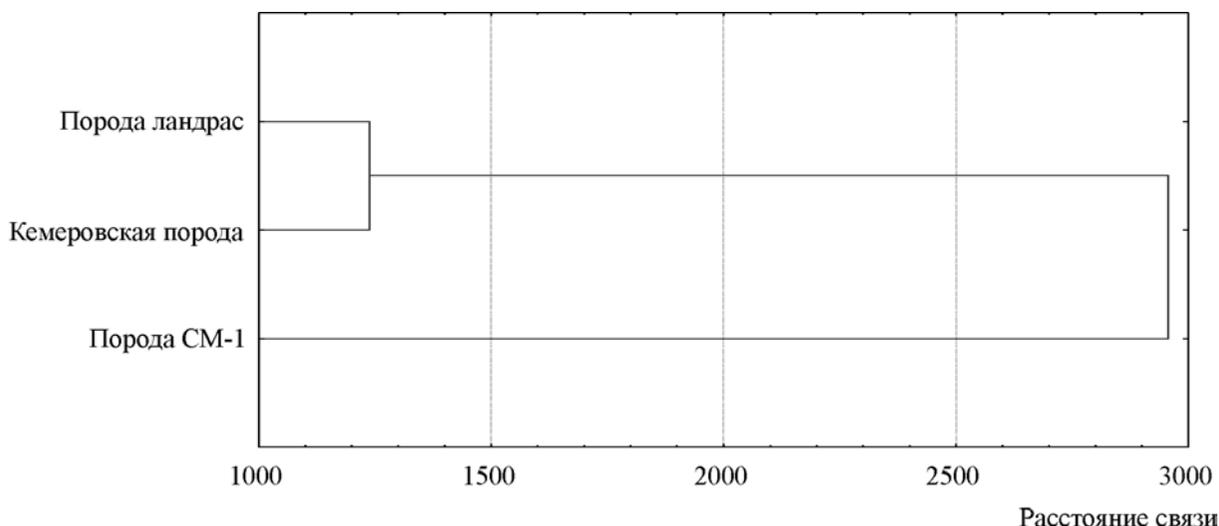


Рис. 2. Дендрограмма межпородного сходства содержания меди в щетине свиней

Fig. 2. Dendrogram of interbreed similarity of copper content in pig bristles

ственная детерминированность накопления химических элементов в органах, тканях и производных кожи сельскохозяйственных животных [15, 19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены межпородные различия в аккумуляции тяжелых металлов в производных кожи свиней пород, районированных в Западной Сибири. Показатели наличия меди в щетине свиней скороспелой мясной, кемеровской и ландрасской пород составили 8,7; 39,0 и 44,0 мг/кг соответственно. Установлено влияние породы на процесс аккумуляции металла ($p < 0,001$). Показатели по содержанию меди в щетине свиней различных пород, районированных на территории Западной Сибири, можно предварительно использовать в качестве физиологической нормы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Savinov S.S., Sharypova R.M., Drobyshch A.I. Determination of the trace element composition of human nails // *Journal of Analytical Chemistry*. 2020. Vol. 75. N 3. P. 409–415. DOI: 10.1134/S1061934820030168.
2. Rakic A., Milovanovich I.D., Trbovich A.M., Stefanović S., Nikolić D., Janković S., Soldatović I., De Luka S.R. Trace elements in different tissues in aging rats // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2020. Vol. 62. P. 126604. DOI: 10.1016/j.jtemb.2020.126604.
3. Gaetke L.M., Chow-Johnson H.S., Chow C.K. Copper: toxicological relevance and mechanisms // *Archives of Toxicology*. 2014. Vol. 88. N 11. P. 1929–1938. DOI: 10.1007/s00204-014-1355-y.
4. Deloncle R., Guillard O. Is brain copper deficiency in Alzheimer's, Lewy Body, and Creutzfeldt Jakob diseases the common key for a free radical mechanism and oxidative stress-induced damage? // *Journal of Alzheimer's Disease*. 2015. Vol. 43. № 4. P. 1149–1156. DOI: 10.3233/JAD-140765.
5. Zhang Y.M., Dong Z.L., Yang H.S., Liang X., Zhang S., Li X., Wan D., Yin Y.L. Effects of dose and duration of dietary copper administration on hepatic lipid peroxidation and ultrastructure alteration in piglets' model // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2020. Vol. 61. P. 126561. DOI: 10.1016/j.jtemb.2020.126561.
6. Hill G.M. Minerals and mineral utilization in swine // *Sustainable Swine Nutrition*. New York: John Wiley & Sons, 2013. P. 173–195.
7. Brummer-Holder M., Cassill B.D., Hayes S.H. Interrelationships between age and trace element concentration in horse mane hair and whole blood // *Journal of Equine Veterinary Science*. 2020. Vol. 87. P. 102922. DOI: 10.1016/j.jevs.2020.102922.
8. Нарожных К.Н. Содержание, изменчивость и корреляция химических элементов

- в волосе герефордского скота // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. № 4 (239). С. 74–78.
9. *Hu L., Fernandez D.P., Cerling T.E.* Trace element concentrations in horn: Endogenous levels in keratin and susceptibility to exogenous contamination // *Chemosphere*. 2019. Vol. 237. P. 124443. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124443.
10. *Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Zheltikov A.I., Marenkov V.G., Nezavitin A.G., Osadchuk L.V., Chysyma R.B., Kuzmina E.E.* Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2017. Vol. 9. N 9. P. 1530–1535.
11. *Григорьева А.А., Миронова Г.Е., Олесова Л.Д., Кривошапкина З.Н., Семенова Е.И., Ефремова А.В., Константинова Л.И., Яковлева А.И., Охлопкова Е.Д.* Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды в условиях криолитозоны // *Проблемы региональной экологии*. 2018. № 6. С. 51–58. DOI: 10.24411/1728-323X-2018-16051.
12. *Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J.I., Shishin N.I., Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Marenkov V.G., Osintseva L.A., Reimer V.A., Nezavitin A.G., Dementiev V.N., Osadchuk L.V., Syso A.I.* Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia) // *Indian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 45. N 4. P. 866–871.
13. *Осадчук Л.В., Себежко О.И., Шишин Н.Г., Короткевич О.С., Коновалова Т.В., Петухов В.Л., Фихман Е.В.* Гормональный и метаболический статус бычков голштинской породы в эколого-климатических условиях Кемеровской области // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. 2017. № 2. С. 52–61.
14. *Нарожных К.Н., Стрижкова М.В., Коновалова Т.В.* Межпородные различия по уровню макро- и микроэлементов в мышечной ткани крупного рогатого скота Западной Сибири // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2–10. С. 2158–2163.
15. *Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Osadchuk L.V.* Direct determination of cooper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2017. Vol. 9. N 6. P. 958–964.
16. *Tsygankova A.R., Kuptsov A.V., Saprykin A.I., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Osadchuk L.V.* Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with DC ARC excitation sources // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2017. Vol. 9. N 5. P. 601–605.
17. *Мингжун Л., Саурбаева Р.Т., Венронг Л., Себежко О.И., Андреева В.А., Коновалова Т.В., Короткевич О.С.* Влияние генотипа баранов-производителей романовской породы на аккумуляцию цинка в шерсти потомства // *Вестник Новосибирского государственного аграрного университета*. 2019. № 3 (52). С. 91–97.
18. *Нарожных К.Н., Коновалова Т.В., Миллер И.С., Стрижкова М.В., Зайко О.А., Назаренко А.В.* Межвидовые различия по концентрации тяжелых металлов в производных кожи животных // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2–26. С. 5815–5819.
19. *Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L., Fedyaev Y.I., Shishin N.I., Sebezhko O.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Osadchuk L.V.* Copper content in hair, bristle and feather in different species reared in Western Siberia // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2017. Vol. 44. N 5. P. 74.

REFERENCES

1. Savinov S.S., Sharypova R.M., Drobyshev A.I. Determination of the trace element composition of human nails. *Journal of Analytical Chemistry*, 2020, vol. 75, no. 3, pp. 409–415. DOI: 10.1134/S1061934820030168.
2. Rakic A., Milovanovich I.D., Trbovich A.M., Stefanović S., Nikolić D., Janković S., Soldatović I., De Luka S.R. Trace elements in different tissues in aging rats. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2020, vol. 62, pp. 126604. DOI: 10.1016/j.jtemb.2020.126604.
3. Gaetke L.M., Chow-Johnson H.S., Chow C.K. Copper: toxicological relevance and mechanisms. *Archives of Toxicology*, 2014, vol. 88,

- no. 11, pp. 1929–1938. DOI: 10.1007/s00204-014-1355-y.
4. Deloncle R., Guillard O. Is brain copper deficiency in Alzheimer's, Lewy Body, and Creutzfeldt Jakob diseases the common key for a free radical mechanism and oxidative stress-induced damage? *Journal of Alzheimer's Disease*, 2015, vol. 43, no. 4, pp. 1149–1156. DOI: 10.3233/JAD-140765.
 5. Zhang Y.M., Dong Z.L., Yang H.S., Liang X., Zhang S., Li X., Wan D., Yin Y.L. Effects of dose and duration of dietary copper administration on hepatic lipid peroxidation and ultrastructure alteration in piglets' model. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2020, vol. 61, pp. 126561. DOI: 10.1016/j.jtemb.2020.126561.
 6. Hill G.M. *Minerals and mineral utilization in swine. Sustainable Swine Nutrition*. New York: John Wiley & Sons, 2013, pp. 173–195.
 7. Brummer-Holder M., Cassill B.D., Hayes S.H. Interrelationships between age and trace element concentration in horse mane hair and whole blood. *Journal of Equine Veterinary Science*, 2020, vol. 87, pp. 102922. DOI: 10.1016/j.jevs.2020.102922.
 8. Narozhnykh K.N. The content, variation and correlation of certain chemical elements in hair of Hereford bull calves. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*. 2014, no. 4 (239), pp. 74–78. (In Russian).
 9. Hu L., Fernandez D.P., Cerling T.E. Trace element concentrations in horn: Endogenous levels in keratin and susceptibility to exogenous contamination. *Chemosphere*, 2019, vol. 237, pp. 124443. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124443.
 10. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Shishin N.I., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Zheltikov A.I., Marenkov V.G., Nezavitin A.G., Osadchuk L.V., Chysyma R.B., Kuzmina E.E. Influence of anthropogenic pollution on interior parameters, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tyva. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, vol. 9, no. 9, pp. 1530–1535.
 11. Grigor'eva A.A., Mironova G.E., Olesova L.D., Krivoshapkina Z.N., Semenova E.I., Efremova A.V., Konstantinova L.I., Yakovleva A.I., Okhlopko E.D. Heavy metals as a factor of environmental pollution in cryolithozone conditions. *Problemy regional'noi ekologii = Regional Environmental Issues*, 2018, no. 6, pp. 51–58. (In Russian). DOI: 10.24411/1728-323X-2018-16051.
 12. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Fedyaev J.I., Shishin N.I., Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Marenkov V.G., Osintseva L.A., Reimer V.A., Nezavitin A.G., Dementiev V.N., Osadchuk L.V., Syso A.I. Lead content in soil, water, forage, grains, organs and the muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia). *Indian Journal of Ecology*, 2018, vol. 45, no. 4, pp. 866–871.
 13. Osadchuk L.V., Sebezshko O.I., Shishin N.G., Korotkevich O.S., Konovalova T.V., Petukhov V.L., Fikhman E.V. Hormonal and metabolic state of Holstein bulls in environmental and climate conditions of Kemerovo region. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University*, 2017, no. 2, pp. 52–61. (In Russian).
 14. Narozhnykh K.N., Strizhkova M.V., Konovalova T.V. Differences between breeds relative to the level of macro- and microelements in muscle tissue of cattle of Western Siberia. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*, 2015, no. 2–10, pp. 2158–2163. (In Russian).
 15. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Sebezshko O.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Osadchuk L.V. Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, vol. 9, no. 6, pp. 958–964.
 16. Tsygankova A.R., Kuptsov A.V., Saprykin A.I., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Sebezshko O.I., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Osadchuk L.V. Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with DC ARC excitation sources. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, vol. 9, no. 5, pp. 601–605.
 17. Mingzhun L., Saurbaeva R.T., Venrong L., Sebezshko O.I., Andreeva V.A., Konovalova T.V., Korotkevich O.S. The impact of the Romanov

- stud rams' genotype on the accumulation of zinc in the wool. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University*, 2019, no. 3 (52). pp. 91–97. (In Russian).
18. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Miller I.S., Strizhkova M.V., Zaiko O.A., Nazarenko A.V. Interspecies differences in concentration of heavy metals in derivatives of animal skin. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*, 2015, no. 2–26, pp. 5815–5819. (In Russian).
19. Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., Petukhov V.L., Fedyaev Y.I., Shishin N.I., Sebezhenko O.I., Korotkevich O.S., Kamaldinov E.V., Osadchuk L.V. Copper content in hair, bristle and feather in different species reared in Western Siberia. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2017, vol. 44, no. 5, pp. 74.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Зайко О.А.**, кандидат биологических наук, доцент; **адрес для переписки:** Россия, 630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Назаренко А.В., заведующий лабораторией

Романенко М.А., аспирантка

Королева И.А., аспирантка

Магер С.Н., доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой

AUTHOR INFORMATION

✉ **Olga A. Zaiko**, Candidate of Science in Biology, Assistant Professor; **address:** 160 Dobrolyubov St, Novosibirsk, 630039, Russia; e-mail: zheltikovaolga@gmail.com

Andrey V. Nazarenko, Head of Laboratory

Mariia A. Romanenko, Postgraduate Student

Irina A. Korolyova, Postgraduate Student

Sergey N. Mager, Doctor of Science in Biology, Professor, Head of the Department

Дата поступления статьи 21.12.2020
Received by the editors 21.12.2020