

ВЛИЯНИЕ ГЕНОТИПА ОТЦОВ НА СОДЕРЖАНИЕ МЕДИ В ПЕЧЕНИ ПОТОМКОВ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Т.В. Коновалова, старший преподаватель

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: tapetva@gmail.com

Ключевые слова: медь, голштинская порода, потомство генотип, разведение.

Реферат. Изучено содержание меди в печени потомков четырех быков-производителей голштинской породы. Исследования проведены в Кемеровской области. Для всех групп потомков после рождения были созданы одинаковые условия кормления и содержания. Концентрацию меди исследовали в Аналитическом центре коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С.Соболева методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе SOLAR серии М6. В зоне районирования молочного крупного рогатого скота определено содержание тяжелых металлов в воде, почве и кормах, уровень которых не превышал ПДК. Распределение было проверено на соответствие нормальному с использованием критерия Шапиро-Уилка. Для сравнения сыновей четырех отцов использовался тест Данна с коррекцией Холма. Установлено влияние быков-производителей голштинской породы на депонирование меди в печени потомков. Ее уровень у сыновей некоторых быков был выше, чем у других, в 2,7 раза (49,4 мг/кг). По соотношению концентрации меди в печени быки располагались следующим образом: 2,7 : 2,0 : 1,3 : 1,0. Для концентрации меди в печени потомков отцов была характерна разная фенотипическая изменчивость. Сила влияния (r_w) генотипа отцов на варьирование уровня меди в печени сыновей составила 25%. Было выявлено две группы отцов с различными уровнями содержания меди в печени потомков: одна группа с уровнем от 49,4 до 38,5 мг/кг, а другая – от 27,6 до 18,2 мг/кг. Изменчивость содержания меди в печени потомков различных отцов оказалась невысокой и составила от 6,4 до 10%.

THE IMPACT OF THE PATERNAL GENETIC MAKEUP ON THE COPPER CONCENTRATION IN THE LIVERS OF OFFSPRING IN CATTLE

T.V. Konovalova, senior lecturer

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: tapetva@gmail.com

Keywords: copper, Holstein breed, offspring genotype, breeding bull.

Abstracts. The copper content in the liver of the progeny of four Holstein breed bulls was investigated. Research was done in Kemerovo, Russia. The identical dietary and lodging conditions were established for all groups of offspring after their birth. The copper concentration was studied using atomic emission spectrometry on the SOLAR M6 series instrument in the Analytical Center of the Institute of Geology and Mineralogy, named by V.S. Sobolev. The determination of the heavy metal content in water, soil, and fodder within the dairy cattle zoning was conducted, with the result that the level did not exceed MAC. The normal distribution was determined by using the Shapiro-Wilk test. The Dunn's test, coupled with Holm's correction, was employed to evaluate the offspring of the four fathers. The influence of Holstein-bred bulls on copper deposition in offsprings was established. The amount of it in some bulls sons was higher than in others by 2.7 times (49.4 mg/kg). According to the Cu concentration in the liver, bulls were arranged in the following order: 2.7 : 2.0 : 1.3 : 1.0. The concentration of Cu in the liver of the offspring of the fathers was characterized by distinct phenotypic variations. The strength of influence (r_w) of the father's genotype on the variation of copper levels in the liver of sons was 25%. Two groups of fathers were identified with different levels of copper in the livers of their offspring: one group had levels of copper from 49.4 to 38.5 mg/kg, and the other group had levels from 27.6 to 18.2 mg/kg. The variability of copper content in the livers of the offspring of different fathers turned out to be low and ranged from 6.4% to 10%.

Медь является одним из незаменимых микроэлементов и обуславливает активность более 30 ферментов, играющих роль в клеточном дыхании и окислении. Кадмий, железо, цинк,

свинец и кальций влияют на распределение элементов в организме. Устойчивость к некоторым инфекциям связана с медью [1]. Она участвует в углеводном обмене, влияет на синтез белков

[2]. Медь необходима для образования хрящей, связок, стенок сосудов, нормального развития скелета.

В рационе жвачных должно присутствовать 4–20 мг/кг меди [3]. Высокая концентрация меди отмечается в печени. Нормальный уровень этого металла равен 63 мг/кг. У крупного рогатого скота в возрасте 13–24 месяца концентрация меди составляет 115 мг/кг. Она уменьшается в 3 раза в сравнении с телятами 0–7 дней.

Инфекции или травмы у животных приводят к увеличению содержания меди в сыворотке крови, а высокий уровень белка в рационе вызывает уменьшение количества меди в сыворотке крови и печени. Дефицит меди вызывает расстройства центральной нервной системы, ведет к снижению плодовитости у коров, у быков ухудшается качество семени. При этом высокий или низкий уровень меди не указывает на видимую токсичность или дефицит.

Защитная функция иммунной системы снижается при дефиците меди [4]. Кадмий, цинк, молибден, сера и фитин уменьшают всасывание меди [5].

Цель исследования – определить влияние генотипа отцов на концентрацию меди в печени сыновей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в Кемеровской области на животных голштинской породы. Для четырех групп сыновей – потомков производителей голштинской породы – со времени отъема были созданы одинаковые условия кормления и содержания. Концентрацию меди определяли

в Аналитическом центре коллективного пользования Института геологии и минералогии им. В.С.Соболева методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе SOLAR серии М6. Методика анализа: ГОСТ 26929-94; МУК 4.1.14.82-03 [6, 7].

В зоне разведения крупного рогатого скота проводился мониторинг почвы, воды, кормов, органов и тканей животных [8–10]. Содержание тяжелых металлов в собранных пробах не превышало ПДК [8–9, 11].

Нормальность распределения определена по критерию Шапиро-Уилка. Тест Данна с поправкой Холма применяли для сравнения сыновей четырех отцов. Сила влияния (r_w) генотипа быков-производителей на аккумуляцию меди в печени сыновей установлена с использованием однофакторного дисперсионного анализа.

Построены плотность распределения и дендрограмма сходства уровня меди в сыворотке крови потомков разных отцов с применением метода Уорда.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования проводились в рамках темы «Изучение фенотипа и генофонда пород сельскохозяйственных животных Западной Сибири» [12–14]. При этом всегда учитывалось загрязнение почвы, воды и растений тяжелыми металлами [15].

Важно установить и референсные значения уровня химических элементов в органах и тканях животных.

В табл. 1 приведены данные о содержании меди в печени потомков быков-производителей голштинской породы.

Таблица 1

Влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание меди в печени сыновей, мг/кг
The influence of the genotype of Holstein bulls on the copper content in the liver of sons, mg/kg

Кличка быка	n	$\bar{x} \pm S\bar{x}$	Me	Референсные значения при $p=0,95$
Брио	9	18,2±2,8	17,0	12,6–23,8
Фабио	11	27,6±3,2	29,0	21,2–34,0
Бонэир	6	38,5±8,1	44,0	22,3–54,7
Малстрем	8	49,4±12,6	37,5	24,2–74,6
В среднем	34	42,3±4,9	25,5	321,9–51,7

Установлены достоверные различия между отцами по аккумуляции меди в печени потомков. Так, у сыновей Малстрема содержание меди в печени было в 2 раза выше, чем у потомков Брио ($P>0,95$). Потомки Брио также в меньшей степени депонировали медь, чем сыновья Бонэира и Фабио. По уровню меди сыновья разных отцов располагались в следующем порядке: Малстрем>Бонэир>Фабио>Брио в соотношении 2,7 : 2,0 : 1,3 : 1,0.

Как показал дисперсионный анализ, сила влияния (r_w) генотипа производителей на изменчивость концентрации меди в печени сы-

новой составила 25%. Это дает нам основание сказать, что наследственные факторы играют важную роль в определении устойчивости или предрасположенности к уровню меди в печени животных.

Самая низкая индивидуальная изменчивость выявлена у потомков Фабио и Брио. Здесь соотношение крайних вариант было 1,0 : 4,3 и 1,0 : 5,0. У сыновей Малстрема соотношение крайних вариант 1,0 : 15,0.

Наиболее высокая фенотипическая изменчивость отмечена у потомков Малстрема (табл. 2).

Таблица 2

Изменчивость уровня меди в печени потомков некоторых производителей
Variability of copper levels in the liver of the offspring of some sires

Кличка быка	Q1	Q3	IQR	SD	lim
Брио	9,2	27,7	18,5	8,5	6,4-32
Фабио	14,7	33,0	18,3	10,5	10-43
Бонэир	13,5	59,2	45,7	44	8-61
Малстрем	12,4	52,3	39,9	35,6	7,4-110

Концентрация меди в печени является лучшим индикатором в сравнении с ее содержанием в сыворотке крови или волосе.

По данным R. Puls [16], норма содержания меди в печени крупного рогатого скота равна 25–100 мг/кг. Минимальный уровень может

быть в пределах 5,0–25,0 мг/кг. Концентрация меди в печени 0,5–10,0 мг/кг считается дефицитной, 200–550 мг/кг – высокой. У коров концентрация меди в печени составляла 396 ± 109 мг/кг.

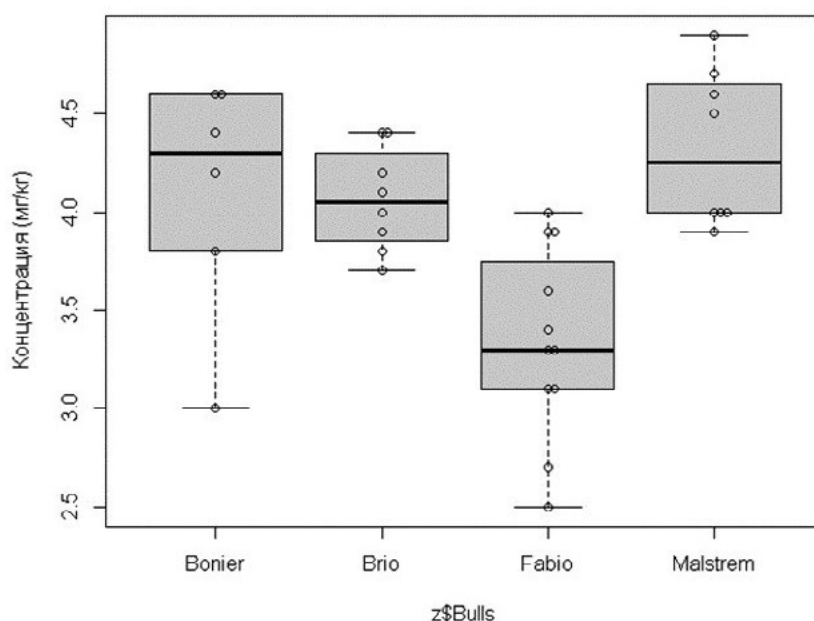


Рис. 1. Плотность распределения уровня меди в печени потомков четырех производителей
Distribution density of copper levels in the liver of the offspring of four sires

Самым малоизученным вопросом в элементологии сельскохозяйственных животных остается наследственная обусловленность устойчивости и восприимчивости к содержанию макро- и микроэлементов в органах и тканях животных [17–23].

На рис. 1 показана плотность распределения уровня меди у потомков четырех быков.

У бычков-кастратов породы Nelore изучалась генетическая детерминация уровня макро- и микроэлементов в *longissimus dorsi* мышцах [24]. Установлено, что коэффициент наследуемости (h^2) содержания меди в этой ткани равен 0,30 [24]. Авторы предположили, что локус, детерминирующий уровень меди, находится в 18-й хромосоме и связан с геном-кандидатом TRNAC-GCA. Содержание меди в длиннейшей мышце спины (LD) составляло $1,80 \pm 0,05$, что

значительно ниже, чем в печени голштинской породы в наших исследованиях.

В то же время у коров красно-пестрой породы, например, не установлено достоверной корреляции в содержании меди в волосе матерей и их телят ($r = -0,290 \pm 0,165$).

С более высоким уровнем меди в печени сыновья производителей Малстрема и Бонэира относятся к одному кластеру.

В других исследованиях показано влияние генотипа быков-производителей на концентрацию натрия в сыворотке крови сыновей [25]. Установлено влияние наследственных факторов на уровень цинка в мышечной ткани потомков некоторых отцов голштинской породы [26].

На дендрограмме сходства концентрации (рис. 2) в наших исследованиях видны три кластера депонирования меди в печени потомков.

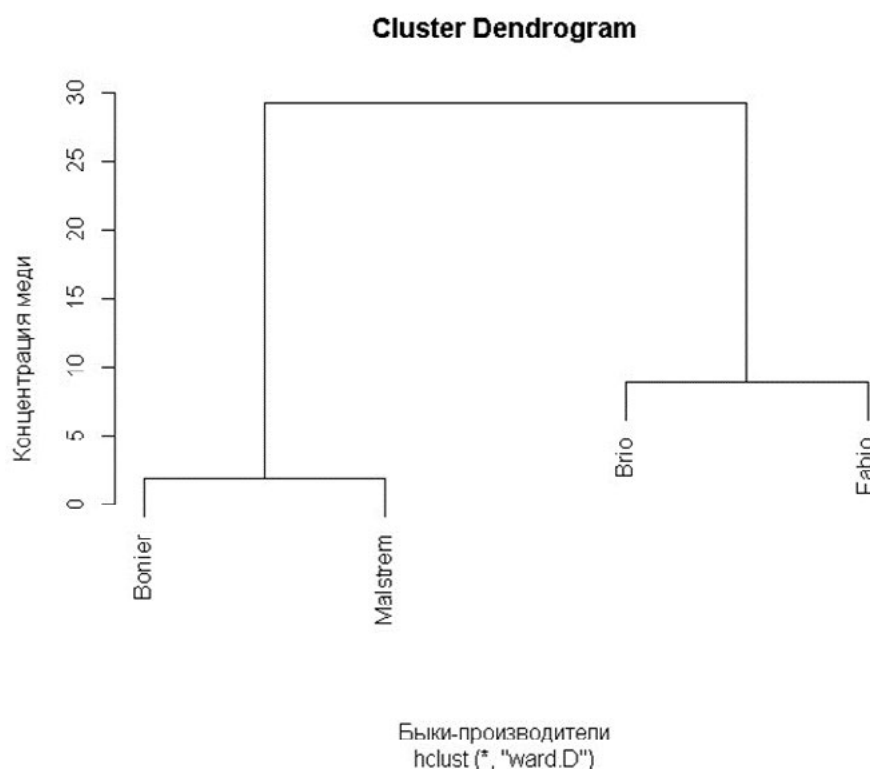


Рис. 2. Дендрограмма сходства концентрации меди в группах потомков

Dendrogram similarity of copper concentration in descendant groups

У овец романовской породы выявлена роль генотипа баранов-производителей на уровень кадмия в миокарде потомков [17, 27]. Показано влияние генофонда семейств и линий на содержание свинца в некоторых органах свиней [28, 29].

Имеется ряд исследований, посвященных поиску маркеров аккумуляции кадмия, свинца, лития в органах крупного рогатого скота.

Производство экологически безопасной продукции является приоритетным направлением в животноводстве согласно Указу Президента Российской Федерации от 1 декабря

2016 г. Для этого ведется поиск прижизненных маркеров уровня тяжелых металлов в органах и тканях с возможной их коррекцией путем изменения рационов. Так, прижизненно можно определить концентрацию кадмия в печени крупного рогатого скота по уровню марганца [30] или железа и титана в волосе [31]. В мышечной ткани определяют содержание кадмия по уровню фосфора и цинка в сыворотке крови [32]. В мышечной ткани можно определить содержание лития по концентрации марганца или фосфора в волосе скота [33]. Запатентован и способ определения концентрации свинца у крупного рогатого скота в печени, почках и селезенке по содержанию меди или калия в волосе [34].

В свете этих работ возможна прижизненная оценка производителей или семейств по устойчивости или восприимчивости потомства к депонированию микроэлементов в органах и тканях [35, 36]. На этой основе может быть разработана селекционная программа, позволяющая регулировать уровень тяжелых метал-

лов в органах и тканях с учетом экологической ситуации в регионах.

Таким образом, наличие наследственной обусловленности устойчивости или восприимчивости к аккумуляции химических элементов в органах и тканях позволяет обсуждать вопрос о включении в селекционные программы этих признаков. Это особенно важно при разведении животных в зонах с избыточным или недостаточным содержанием тех или иных химических элементов.

ВЫВОДЫ

1. Установлено влияние быков-производителей голштинской породы на содержание меди в печени их сыновей. В потомстве некоторых отцов уровень меди был в 2,7 раза выше, чем у других. Сила влияния генотипа отцов на концентрацию меди в печени потомков составила 25%.

2. Выявлено два кластера отцов по уровню меди в печени потомков: с уровнем 49,4–38,5 и 27,6–18,2 мг/кг. Изменчивость содержания меди в печени потомков разных отцов была невысокой и изменялась в пределах 6,4–10%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Скальный А.В., Рудаков И.А. Биозлементы в медицине. – М.: Оникс 21 век: Мир, 2004. – 272 с.
2. Thompson L. Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles: Third edition. – 2018. – P. 425–427.
3. Suttle N.F. Mineral nutrition of livestock. – 4th ed. – UK:MPG Book Group. 2010.
4. Copper transport protein (Ctrl) levels in mice are tissue specific and depended on copper / Y. Kuo, A. Gy-bina, J. Pyatskowiwit [et al.] // J. Nutr. – 2006. – Vol. 136, Is. 1. – P. 21–26.
5. Хеннинг А. Минеральные вещества, витамины, биостимуляторы в кормлении сельскохозяйственных животных. – М.: Колос, 1976. – 560 с.
6. Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with Dc Arc excitation sources / A.R. Tsygankova, A.V. Kuptsov, K.N. Narozhnykh [et al.] // J. Pharm. Sci. and Res. – 2017. – Vol. 9 (5). – P. 601–605.
7. Direct determination of copper, lead and cadmium in the whole bovine blood using thick film modified graphite electrodes / T.V. Skiba, A.R. Tsygankova, N.S. Borisova [et al.] // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9 (6). – P. 958–964.
8. Lead content in soil, water, grains, and muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia) / K.N. Narozhnykh, T.V. Konovalova, N.I. Shishin [et al.] // Indian Journal of Ecology. – 2018. – Т. 45, N 4. – P. 866–871.
9. Ecological and biogeochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia / A.I. Syso, V.A. Sokolov, V.L. Petukhov [et al.] // J. Pharmaceutical Sciences and Research. – 2017. – Vol. 9, N 4. – P. 368–374.
10. Content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the forages of various ecological zones of Western Siberia / O.S. Korotkevich, V.L. Petukhov, O.I. Sebezhko, E.Ya. Barinov, T.V. Konovalova // Russian Agricultural Sciences. – 2014. – Т. 40, N 3. – P. 195–197.

11. *Comparative assessment of radioactive strontium contents in the feedstuffs and dairy products of Western Siberia* / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, V.A. Sokolov [et al.] // *Indian Journal of Ecology*. – 2017. – Vol. 44, N 3. – P. 662–666.
12. *Проблемы селекции сельскохозяйственных животных* / Б.Л.Панов, В.Л. Петухов, Л.К. Эрнст [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. предпр. РАН, 1997. – 283 с.
13. *Biochemical, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia* / O.I. Sebezhko, O.S. Korotkevich, T.V. Konovalova [et al.] // *3rd International symposium for agriculture and food*. – ISAF 2017. – 2017. – P. 100.
14. *Selective constraints in cold-region wild boars may defuse the effects of small effective population size on molecular evolution of mitogenomes* / J.Chen, P. Ni, T.N.T Thi [et al.] // *Ecology and Evolution*. – 2018. – T. 16. – P. 8102–8114.
15. *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 Tuva* / O.I. Sebezhko, V.L. Petukhov, R.B. Chysyma [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. – 2017. – Vol. 9, N 9. – P. 1530–1535.
16. *Pulls R. Mineral levels in animal health. Diagnostic data 2nd edition*. – Canada: Sherpa International, 1994. – 298 p.
17. *The impact of the stud rams of Romanov breed genotype on the accumulation of cadmium in the myocardium of their offspring* / T.V. Konovalova, V.A. Andreeva, R.T. Saurbarva [et al.] // *Trace Elements and Electrolytes*. – 2021. – T. 38, N 3. – P. 145.
18. *Characterizing physiological status in three breeds of bulls reared under ecological and climate conditions of the Altai region* / L.V. Osadchuk, M.A. Kleshchev, O.I. Sebezhko [et al.] // *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*. – 2017. – T. 31, N1. – P. 35–42.
19. *Content of heavy metals in the hair* / S.A. Patrashkov, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich, I.V. Petukhov // *Journal De Phsique*. IV: JP. – 2003. – Vol. 107 (II). – P. 1025–1027.
20. *Содержание железа в некоторых органах и мышечной ткани бычков герефордской породы* / К.Н. Нарожных, Ю. Ефанова, О. Короткевич, В. Петухов // *Молочное и мясное скотоводство*. – 2013. – № 1. – С. 24–25.
21. *Accumulation of heavy metals in the muscles of zander from Novosibirsk water basin* / I.S. Miller, V.L. Petukhov, O.S. Korotkevich, I.S. Konovalov // *E3S Web of Conferences. Proceeding of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment: electronic edition*. – 2013. – P. 11007.
22. *Особенности накопления и корреляции тяжелых металлов в чешуе судака Новосибирского водохранилища* / И.С. Миллер, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, О.И. Себежко // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 9–11. – С. 2469–2473.
23. *Genome wide association study of concentration of iron and other minerals in longissimus muscle of Angus cattle* / R.C. Matescu, D.J. Garrick, R.G. Tair [et al.] // *Journal of Animal Science*. – 2013. – T. 91. – P. 3593–3600. – DOI:10.2527/jas.2012–6079.
24. *Detection of quantitative trait loci for mineral content of Nelore longissimus dorci muscle* / P.C. Tizioto, J.F. Taylor, J.E. Decker [et al.] // *Genetics Selection Evolution*. – 2015. – Vol. 47.15. – P. 1–9.
25. *Влияние генотипа быков-производителей голштинской породы на содержание натрия в сыворотке крови сыновей* / М.В. Стрижкова, О.И. Себежко, Т.В. Коновалова [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2021. – № 1(58). – С. – 125–133.
26. *Нарожных К.Н. Модели прогнозирования уровня цинка в мышечной ткани крупного рогатого скота* // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2023. – № 1. – С. 89–103.
27. *Влияние генотипа баранов производителей романовской породы на аккумуляцию цинка в шерсти потомства* / Л. Мингжун, Р.Т. Саурбаева, Л. Венронг [и др.] // *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*. – 2019. – № 3 (52). – С. 91–97.
28. *Зайко О.А., Коновалова Т.В. Влияние генофонда семейств скороспелой мясной породы на аккумуляцию свинца в некоторых органах и тканях свиней* // *Мир науки, культуры, образования*. – 2013. – № 4 (41). – С. 432–434.
29. *Зайко О.А., Коновалова Т.В. Характеристика генофонда линий породы свиней* СМ–1 по *аккумуляции свинца в органах и тканях свиней* // *Свиноводство*. – 2013. – № 8. – С. 11–12.

30. Патент на изобретение RU 2591825 C1, 20.07.2016. Способ определения содержания кадмия в печени крупного рогатого скота / О.С. Короткевич, К.Н. Нарожных, Т.В. Коновалова [и др.]. – Заявка № 2015116391/15 от 29.04.2015.
31. Патент RU 2548774 C1, 20.04.2015. Способ оценки кадмия в печени и легких крупного рогатого скота / О.С. Короткевич, К.Н. Нарожных, Т.В. Коновалова [и др.]. – Заявка № 2014111570/15 от 25.03.2014.
32. Патент RU 2758902 C1, 02.11.2021. Способ оценки кадмия в мышечной ткани крупного рогатого скота / К.Н. Нарожных, Э.С. Соколова, Т.В. Коновалова [и др.]. – Заявка № 2020124521 от 14.07.2020.
33. Патент на изобретение RU 2760089 C1, 22.11.2021. Способ определения содержания лития в мышечной ткани крупного рогатого скота / Т.В. Коновалова, Е.И. Тарасенко, О.С. Короткевич [и др.]. – Заявка № 2021106116 от 09.03.2021.
34. Патент на изобретение RU 2421726 C1, 20.06.2011. Способ определения содержания свинца в органах крупного рогатого скота / О.С. Короткевич, В.Л. Петухов, М.В. Стрижкова [и др.]. – Заявка № 2010113845/15 от 08.04.2010.
35. Chernitsky A.E., Skogoreva T.S., Safonov V.A. Study of interrelation of the bioelements status of mother and fetus at cattle // *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*. – 2020. – N 10. – P. 154–170.
36. Han H., Domby E., Engle T. The relationship of pulmonary artery copper concentrations and genes involved in copper homeostasis in cattle, Swine, and goats // *Asian–Australas J. Anim. Sci.* – 2012. – T. 25, N 2. – P. 194–199.

REFERENCES

1. Skal'nyi A.V., Rudakov I.A., *Bioelementy v meditsine* (Bioelements in medicine) Moscow: Oniks 21 vek: Mir, 2004, 272 p.
2. Thompson L., *Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles*: Third edition, 2018, pp. 425–427.
3. Suttle N.F., *Mineral nutrition of livestock*, 4th ed. UK:MPG Book Group, 2010.
4. Kuo Y., Gybina A., Pyatskowiwit J. et al., Copper transport protein (Ctr1) levels in mice are tissue specific and depended on copper, *J. Nutr.*, 2006, Vol. 136, Is. 1, pp. 21–26.
5. Khenning A., *Mineral'nye veshchestva, vitaminy, biostimulyatory v kormlenii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Minerals, vitamins, biostimulants in feeding farm animals), Moscow: Kolos, 1976, 560 p.
6. Tsygankova A.R., Kuptsov A.V., Narozhnykh K.N. et al., Analysis of trace elements in the hair of farm animals by atomic emission spectrometry with Dc Arc excitation sources, *J. Pharm. Sci. and Res*, 2017, Vol. 9 (5), pp. 601–605.
7. Skiba T.V., Tsygankova A.R., Borisova N.S. et al., 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 (6), pp. 958–964.
8. Narozhnykh K.N., Konovalova T.V., Shishin N.I. et al., Lead content in soil, water, grains, and muscle tissue of cattle in Western Siberia (Russia), *Indian Journal of Ecology*, 2018 – T. 45, No. 4, pp.866–871.
9. Syso A.I., Sokolov V.A., Petukho V.L. et al., Ecological and biogeochemical evaluation of elements contents in soils and fodder grasses of the agricultural lands of Siberia, *J. Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 4, pp. 368–374.
10. Kороткевич O.S., Petukhov V.L., Sebezhko O.I. et al., Content of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the forages of various ecological zones of Western Siberia, *Russian Agricultural Sciences*, 2014, T. 40, No. 3, pp. 195–197.
11. Sebezhko O.I., Petukhov V.L., Sokolov V.A. et al., Comparative assessment of radioactive strontium contents in the feedstuffs and dairy products of Western Siberia, *Indian Journal of Ecology*, 2017, Vol. 44, No. 3, pp. 662–666.
12. Panov B.L., Petukhov V.L., Ernst L.K. et al., *Problemy selektsii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh* (Problems of selection of farm animals), Novosibirsk: Nauka. Sib. predpriyatie RAN, 1997, 283 p.
13. Sebezhko O.I., Kороткевич O.S., Konovalova T.V. et al., Biochemical, hematological and mineral parameters in pigs of two breeds reared in large industrial complexes of Western Siberia, *3rd International symposium for agriculture and food*, ISAF 2017, pp. 100.

14. Chen J., Ni P., Thi T.N.T. et al., Selective constraints in cold-region wild boars may defuse the effects of small effective population size on molecular evolution of mitogenomes, *Ecology and Evolution*, 2018, T. 16, pp. 8102–8114.
15. Sebezshko O.I., Petukhov V.L., Chysyma R.B. et al., Influence of anthropogenic pollution on interior parametrs, accumulation of heavy metals in organs and tissues, and the resistance to disorders in the yak population in the republic of Tuva, *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2017, Vol. 9, No. 9, pp.1530–1535.
16. Pulls R., Mineral levels in animal health. *Diagnostic data 2nd edition*, Canada: Sherpa International, 1994, 298 p.
17. Konovalova T.V., Andreeva V.A., Saurbarva R.T., Korotkevich O.S., The impact of the stud rams of Romanov breed genotype on the accumulation of cadmium in the miocardium of their offspring, *Trace Elements and Electrolytes*, 2021, T. 38, No. 3, pp. 145.
18. Osadchuk L.V., Kleshchev M.A., Sebezshko O.I. et.al., Characterizing physiological status in three breeds of bulls reared under ecological and climate conditions of the Altai region, *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 2017, T. 31, No. 1, pp. 35–42.
19. Patrashkov S.A., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Petukhov I.V., Content of heavy metals in the hair, *Journal De Physique*. IV: JP, 2003, Vol. 107 (II), pp. 1025–1027.
20. Narozhnykh K.N., Efanova Yu., Korotkevich O., Petukhov V., *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, 2013, No. 1, pp. 24–25. (In Russ.)
21. Miller I.S., Petukhov V.L., Korotkevich O.S., Konovalov I.S., Accumulation of heavy metals in the muscles of zander from Novosibirsk water basin, *Proceeding of the 16th International Conference on Heavy Metals in the Environment: electronic edition*, 2013, pp. 11007.
22. Miller I.S., Konovalova T.V., Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Sebezshko O.I., *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, No. 9–11, pp. 2469–2473
23. Mattescu R.C., Garrick D.J., Tair R.G., Genome wide association study of concentration of iron and other minerals in longissimus muscle of Angus cattle, *Journal of Animal Science*, 2013, T. 91, pp. 3593–3600.
24. Tizioto P.C., Taylor J.F., Decker J.E., Detection of quantitative trait loci for mineral content of Nelore longissimus dorsi muscle/ *Genetics Selection Evolution*, 2015, Vol. 47, pp. 1–9.
25. Strizhkova M.V., Sebezshko O.I., Konovalova T.V., Narozhnykh K.N., *Vestnik NGAU*, 2021, No. 1 (58), pp. 125–133. (In Russ.)
26. Narozhnykh K.N., *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2023, No. 1, pp. 89–103. (In Russ.)
27. Mingzhun L., Saurbaeva R.T., Venrong L., Sebezshko O.S., *Vestnik NGAU*, 2019, No. 3 (52), pp. 91–97. (In Russ.)
28. Zaiko O.A., Konovalova T.V., *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*, 2013, No. 4 (41), pp. 432–434. (In Russ.)
29. Zaiko O.A., Konovalova T.V., *Svinovodstvo*, 2013, No. 8, pp. 11–12. (In Russ.)
30. Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V. i dr., *Patent na izobretenie* RU 2591825 S1, 20.07.2016 Zayavka No. 2015116391,15 ot 29.04.2015. (In Russ.)
31. Korotkevich O.S., Narozhnykh K.N., Konovalova T.V. i dr., *Patent na izobretenie* RU 2548774 S1, 20.04.2015 Zayavka No. 2014111570,15 ot 25.03.20214. (In Russ.)
32. Narozhnykh K.N., Sokolova E.S., Konovalova T.V. i dr., *Patent na izobretenie* RU 2758902 S1, 02.11.2021 Zayavka No. 2020124521 ot 14.07.2020. (In Russ.)
33. Konovalova T.V., Tarasenko E.I., Korotkevich O.S. i dr., *Patent na izobretenie* RU 2760089 S1, 22.11.2021 Zayavka No 2021106116 ot 09.03.2021. (In Russ.)
34. Korotkevich O.S., Petukhov V.L., Strizhkova M.V. i dr., *Patent na izobretenie* RU 2421726 S1, 20.06.2011 Zayavka No. 2010113845, 15 ot 08.04.2010. (In Russ.)
35. Chernitsky A.E., Skogoreva T.S., Safonov V.A., Study of interrellation of the bioelements status of mother and fetus at cattle, *Journal of Mechanics of Continua and Mathematical Sciences*, 2020, No. 10, pp. 154–170.
36. Han H., Domby E., Engle T., The relationship of pulmonary artery copper concentrations and genes involved in copper homeostasis in cattle, Swine, and goats, *Asian–Australas J. Anim. Sci.*, 2012, T. 25, No. 2, pp. 194–199.