

Апробация технологии выявления и коррекции элементозов молочных коров по элементному составу шерсти

С. А. Мирошников¹, О. А. Завьялов^{1✉}

¹ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

✉ E-mail: Oleg-Zavyalov83@mail.ru

Аннотация. Исследование направлено на оценку эффективности новой технологии диагностики и коррекции элементозов молочного скота по химическому составу шерсти при элементозах различной этиологии. **Методология и методы.** Схемой эксперимента предполагалось проведение двух исследований: первое – на микропопуляции коров симментальской породы с выявленным недостатком кальция, цинка, селена и марганца в шерсти; второе – на коровах черно-пестрой породы со значительным превышением установленных норм по свинцу и кадмию на фоне дефицита кальция, цинка, селена и меди. На основании сопоставления данных первичного анализа шерсти по 25 параметрам с интервалами физиологической нормы для животных в первом и втором экспериментах в состав рациона был включен минеральный премикс, состоящий из органических форм лимитированных химических элементов. В целях оптимизации пулов свинца и кадмия в рационы опытных животных во втором эксперименте был дополнительно включен сорбент тяжелых металлов. **Результаты и практическая значимость.** Скармливание в составе рационов корректирующих добавок привело к нормализации элементного статуса по подавляющему большинству элементов в обоих экспериментах. При этом для коров в первом эксперименте отмечалось увеличение выхода молока и молочного жира за период лактации на 7,2 %; во втором эксперименте отмечено увеличение количества плодотворных осеменений, что сопровождалось снижением межотельного и сервис-периодов на 4,5 и 17,7 % с ростом выхода телят. **Научная новизна.** Впервые описан элементный профиль молочного скота при использовании барды в кормлении; в производственных условиях отработана технология выявления и коррекции элементозов молочного скота на основании данных об элементном составе шерсти.

Ключевые слова: молочное скотоводство, коровы, элементный статус, элементоз, эссенциальные и токсические элементы, шерсть (волос), коррекция, молочная продуктивность, воспроизводительная способность.

Для цитирования: Мирошников С. А., Завьялов О. А. Апробация технологии выявления и коррекции элементозов молочных коров по элементному составу шерсти // Аграрный вестник Урала. 2020. № 05 (196). С. 38–50. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-38-50.

Дата поступления статьи: 11.04.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Современное производство молока невозможно без непрерывного контроля состояния здоровья молочных коров [1, с. 44], [2, с. 76]. При этом в числе наиболее информативных характеристик рассматривается элементный статус коров. Многогранность последнего во многом определяется присутствием в организме млекопитающих свыше 80 химических элементов, в своем большинстве связанных с морфофункциональными и другими характеристиками живого организма. Например, только цинк является частью более чем 300 видов ферментов (около 10 % в общем перечне генакодируемых белков организма) [3, с. 141], [4, с. 1128], [5, с. 200].

В связи с этим изучение элементного статуса молочных коров по перечню элементов дает исчерпывающую оценку состояния обмена веществ. Это становится возможным через исследование минерального состава биосубстратов, в числе которых все более широко рассматривается шерсть [6, с. 374], [7, с. 906]. В отличие от традиционных биосубстратов, таких как слюна [8, с. 52], [9, с. 35], кровь

[10, с. 495], моча [11, с. 114], волосы, осуществляющие аккумуляцию химических элементов, дают характеристику общего элементного статуса организма, формирующегося в течение значительного временного промежутка. Элементный состав волос достоверно коррелирует с содержанием эссенциальных и токсичных элементов в крови [12, с. 64], [13, с. 515], [14, с. 300]. Стабильность химического состава волос обеспечивается кератиновой оболочкой, препятствующей как потере внутренних компонентов, так и проникновению внешних загрязнений [15, с. 58].

Наиболее широко анализ волос используется для диагностики и коррекции элементозов у человека, о чем свидетельствует количество посещений медицинских центров, где применяются новые подходы к лечению элементозов [16]. Практика использования метода в животноводстве в общем и молочном скотоводстве в частности пока не получила широкого распространения. Это не позволяет в полном объеме использовать генетический потенциал высокопродуктивных коров с высокой интенсивностью минерального обмена.

В связи с этим нами были проведены масштабные исследования по разработке и апробации технологии выявления и коррекции элементного статуса крупного рогатого скота. Новая технология включает в себя методику взятия образцов шерсти для исследования элементного состава [17, с. 634]; методы высокоточного исследования мультиэлементного состава шерсти с использованием современных аналитических методов; референтные значения и показатели физиологических норм концентраций 25 химических элементов в шерсти молочных коров [18, с. 147]; базы данных, объединяющие материалы исследований продуктивности и особенностей метаболизма молочных коров в связи с особенностями элементного статуса, в том числе в связи с величиной обменных пулов токсических элементов [19], [20, с. 18559].

В настоящем исследовании приводятся результаты апробации разработанной технологии для коррекции элементного статуса животных в условиях элементозов различной этиологии.

Цель исследования – оценить эффективность разработанной технологии выявления и коррекции элементозов молочных коров по элементному составу шерсти.

Методология и методика исследования (Methods)

Схемой опыта по апробации разработанной технологии выявления и коррекции элементозов было предусмотрено проведение двух экспериментов.

Первый эксперимент выполнялся в КФХ «Фальк Н. Г.» (Оренбургская область) на лактирующих коровах симментальской породы ($n = 30$; возраст – 5–6 лет; живая масса – 450–500 кг; стадия лактации – 30–55 суток после отела) и включал два периода: подготовительный (60 суток) и учетный (120 суток). В подготовительный период все животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Особенностью кормления в учетный период являлось то, что в составе основного рациона подопытные животные получали свежую пшеничную барду в количестве 40 л/сут.

В конце подготовительного периода у всех животных были взяты образцы шерсти для изучения элементного состава. Полученные результаты сравнивались с физиологической нормой для молочных коров [18, с. 147], что позволило выявить элементозы по отдельным химическим элементам с последующей разработкой рецепта минерального премикса для коррекции элементного статуса животных.

В состав премикса были дополнительно включены кормовые добавки: мел кормовой – 90 г/гол; Биоплекс цинка – 600 мг/гол (производитель Alltech, Ltd, Ирландия); Биоплекс марганца – 300 мг/гол (производитель Alltech, Inc., Канада); Сел-Плекс – 6 мг/гол (производитель Alltech flanders BVBA, Бельгия). Животным контрольной группы задавали основной рацион без премикса.

Для проведения учетного периода эксперимента животные методом аналогов были разделены на две группы: контрольную ($n = 15$) и опытную ($n = 15$). Различие заключалось в том, что коровы опытной группы получали комплекс корректирующих элементов в составе разработанного премикса в установленных дозировках.

Второй эксперимент проведен на базе ООО «Агрофирма Промышленная» (Оренбургская область) на модели

коров черно-пестрой породы ($n = 30$; возраст – 5–6 лет; живая масса – $485 \pm 22,3$ кг; стадия лактации – 7–15 суток после отела). На первом этапе исследования на основании анализа журналов случек и осеменения коров за три последних года, предшествующих эксперименту, были отобраны животные ($n = 63$) с низкими относительно средних по стаду воспроизводительными качествами.

Критерием для отбора животных на втором этапе послужило выявленное превышение нормы по концентрации свинца и кадмия в шерсти. Как выяснилось, среди микропопуляций коров с низкими воспроизводительными качествами, выявленных в ходе реализации первого этапа отбора, 40 голов (63,5 %) характеризовались превышением допустимой концентрации свинца и кадмия в шерсти. Исходя из уровня концентрации этих элементов в шерсти, животные были разделены на две группы: контрольная ($n = 20$) и опытная ($n = 20$). Различие заключалось в том, что особи опытной группы в составе рациона получали сорбент «Бифеж» в дозе 45 г на одну голову в сутки на протяжении 60-ти суток до предполагаемой даты осеменения.

Сорбент «Бифеж», представляет собой целлюлозно-неорганическую композицию, получаемую путем осаждения ферроцианидов железа-калия на целлюлозном носителе.

Для восполнения дефицита кальция, цинка, селена и меди животным опытной группы в составе минерального премикса скармливали мел кормовой 90 г/гол; Биоплекс меди – 300 мг/гол (производитель Alltech, Сербия); Биоплекс цинка – 600 мг/гол (производитель Alltech, Ltd, Ирландия); Сел-Плекс – 6 мг/гол (производитель Alltech flanders BVBA, Бельгия). Животные контрольной группы получали основной рацион без добавок.

После выявления признаков половой охоты с учетом плана осеменений подопытных коров двукратно осеменяли: первый раз – после выявления охоты и второй раз – через 10–12 ч.

Воспроизводительные качества подопытных животных изучали путем анализа данных зоотехнического учета. По каждому животному определяли продолжительность сервис- и межотельного периодов (суток), количество доз, затрачиваемых на одно плодотворное осеменение, и выход телят.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования проводили в соответствии с инструкциями и рекомендациями Приказа Министерства здравоохранения СССР от 27 июля 1978 года № 701 «О внесении дополнений в приказ Министерства здравоохранения СССР от 12.08.77 № 755» и The Guide for Care and Use of Laboratory Animals (National Academy Press, Washington, D. C., 1996). При выполнении работы были предприняты усилия, чтобы свести к минимуму страдания животных и уменьшить число используемых образцов.

Отбор и анализ образцов волос

Образцы шерсти отбирались с верхней части холки животных, согласно ранее разработанной методике [17, с. 634], ножницами из нержавеющей стали. Элементный состав шерсти исследовали по 25 показателям (Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, Sr, V, Zn) методами масс-спектрометрии (МС-ИСП)

и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) с использованием Optima 2000 DV и Nexion 300 D (Perkin Elmer, США). Все аналитические процедуры были выполнены в лаборатории Центра биотической медицины (Москва, Россия).

Отбор и анализ средних проб молока

Коровы механически доились три раза в день в 06.00, 14.00 и 18.00. Произведенное молоко взвешивали индивидуально от каждой коровы еженедельно в течение двух смежных дней на протяжении всего эксперимента. Образцы молока отбирались индивидуально от каждой коровы три раза в сутки, при каждом доении, помещались в стерильные емкости, охлаждались (до 5 °C) и отправлялись для анализа в Центр коллективного пользования Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук. Исследования проб молока проводились в день отбора образцов от животных.

Содержание жира, белка и лактозы в молоке оценивали с использованием процедуры FIL-IDF на приборе MilkoScan™ FT1 (Foss Electric, DK-3400, Hillerød, Дания).

Отбор и анализ средних проб крови

Образцы крови (9 мл) были взяты от каждой коровы (на следующий день после отбора проб молока) из хвостовой вены в вакуумную пробирку в начале и конце эксперимента. Определение ферментативной активности в плазме крови проводилось спектрофотометрическим методом на Stat fax 1904 Plus. Концентрацию малондиальдегида (Total-MDA) определяли в гепаринизированной крови,

используя реакцию с тиобарбитуровой кислотой спектрофотометрическим методом. Об активности фермента супероксиддисмутазы судили по скорости убывания перекиси водорода в среде инкубации. Концентрацию перекиси водорода определяли по реакции с молибдатом аммония.

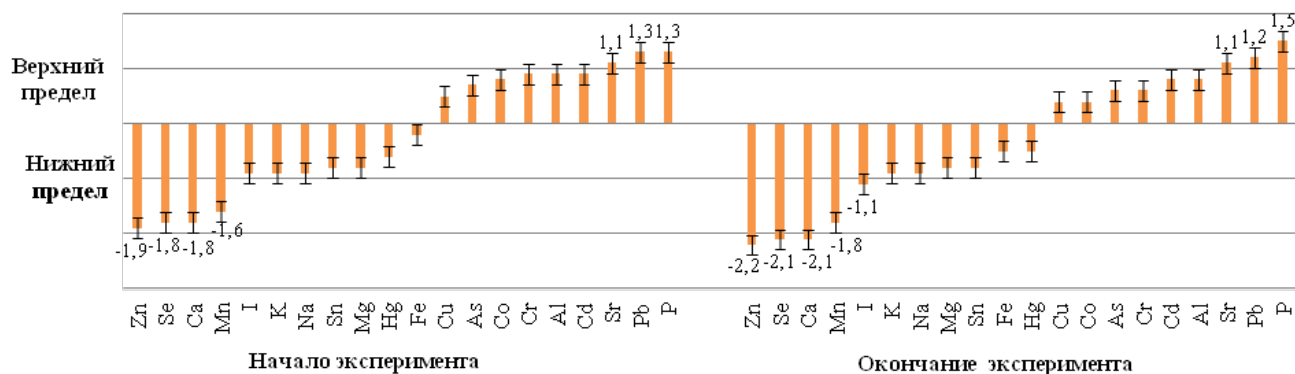
Статистический анализ

Достоверность различий проверяли при помощи U-критерия Манна – Уитни. Уровень значимости (P) принимался меньшим или равным 0,05. Для обработки данных использовали пакет прикладных программ Statistica 10.0 (StatSoft, Inc., США).

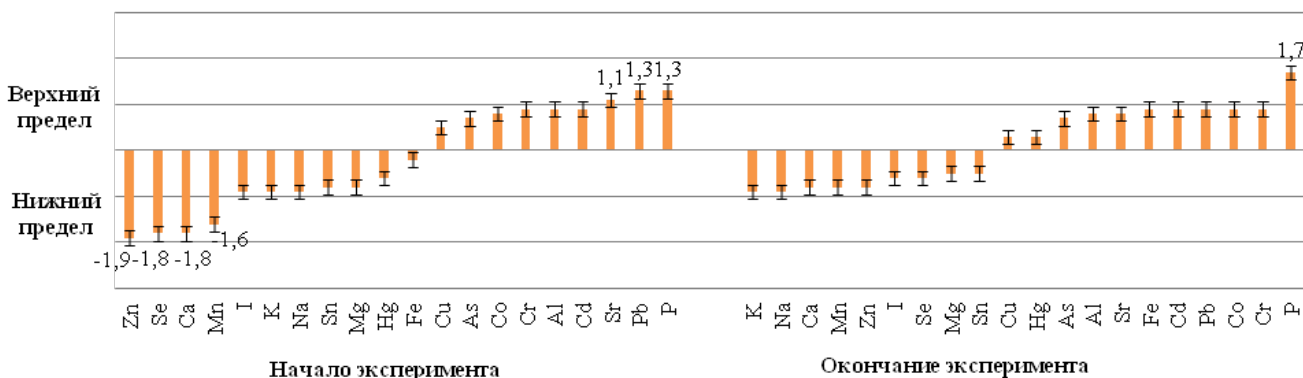
Результаты (Results)

Как показали результаты исследований элементного состава шерсти коров при постановке на опыт, для животных изучаемых выборок как в первом, так и во втором эксперименте были установлены схожие картины нарушений элементного профиля. В целом для двух обследованных микропопуляций было характерным превышение обменных пулов токсичных элементов на фоне дефицита эссенциальных. Это позволило нам разработать предложения по оптимизации минерального питания животных по отдельным химическим элементам.

Первичный анализ элементного состава шерсти коров в первом эксперименте спустя 60 суток после включения в рацион свежей барды выявил снижение относительно физиологической нормы содержания кальция, цинка, марганца, селена, что имело место на фоне избытка по фосфору и токсичным элементам – свинцу и стронцию (рис. 1).



Контрольная группа



Опытная группа

Рис. 1. Кратность отклонений элементного состава шерсти с холки коров симментальской породы, разводимой в КФХ «Фальк Н. Г.» (Оренбургская область) от значений физиологической нормы в начале и в конце эксперимента

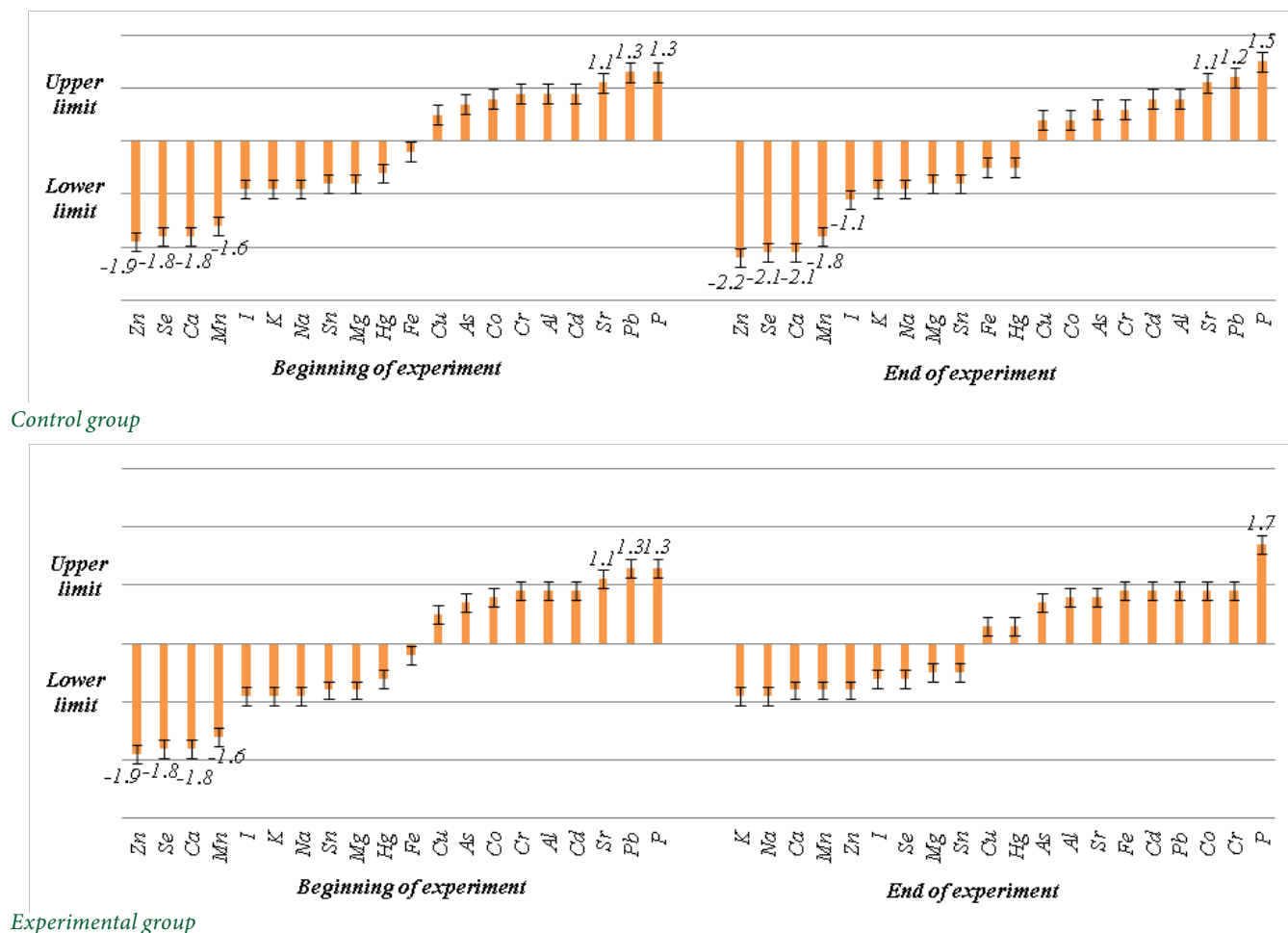


Fig. 1. The multiplicity of deviations in elemental composition of hair from withers of the Simmental cows bred in peasant farm "Falk N. G." (Orenburg region) from the values of the physiological standard at the beginning and at the end of the experiment

Четырехмесячный курс коррекции минеральным премиксом привел к нормализации показателей элементного статуса животных опытной группы по всем корректируемым элементам (Ca, Zn, Mn, Se), а также свинцу и стронцию. Исключение составил только фосфор, концентрация которого в шерсти превышала значения верхней границы нормы в 1,7 раза.

В целом средние значения концентраций элементов в шерсти достоверно повысились по отношению к началу эксперимента: для кальция – на 125 % ($p \leq 0,001$), калия – на 60,00 % ($p \leq 0,05$), цинка – на 99,80 % ($p \leq 0,001$), марганца – на 100 % ($p \leq 0,001$), селена – на 113,2 % ($p \leq 0,001$), йода – на 41,74 % ($p \leq 0,05$), фосфора – на 47,06 % ($p \leq 0,05$), понизились для стронция на 20,45 % ($p \leq 0,05$) и свинца на 30,77 % ($p \leq 0,05$).

Оценка элементного статуса коров контрольной группы после четырех месяцев эксперимента и последующая интерпретация полученных данных к границам физиологических норм позволила установить, что скармливание сырой пшеничной барды привело не только к усугублению выявленных ранее элементозов по кальцию, цинку, марганцу и селену, но и сопровождалось развитием дисэлементоза по йоду.

В целом элементный профиль коров контрольной группы на момент окончания эксперимента характеризовался снижением концентраций в шерсти подавляющего

количества изучаемых элементов. Наиболее значительное снижение отмечалось для обменных пулов железа (на 40,0 %; $p \leq 0,01$), кремния (на 33,3 %; $p \leq 0,01$), кобальта (на 30,0 %; $p \leq 0,05$), йода (на 22,2 %; $p \leq 0,01$), кальция (на 21,7 %; $p \leq 0,01$), меди (на 20 %; $p \leq 0,05$), селена (на 16,7 %; $p \leq 0,01$), цинка (на 15,8 %; $p \leq 0,05$), марганца (на 12,5 %; $p \leq 0,05$), магния (на 12,5 %; $p \leq 0,05$), хрома (на 12,0 %; $p \leq 0,05$) и калия (на 11,1 %; $p \leq 0,05$). Исключением являлся фосфор, концентрация которого увеличилась по отношению к началу эксперимента на 15,4 % ($p \leq 0,05$).

На фоне коррекции элементного статуса коров происходило изменение показателей антиоксидантного статуса животных (таблица 1).

Уровень малонового диальдегида в сыворотке крови коров опытной группы снизился на 21,24 % ($p < 0,05$) по отношению к началу эксперимента, при этом значения этого показателя были ниже аналогичных значений животных контрольной группы в конце эксперимента на 23,76 % ($p < 0,05$).

У коров опытной группы в конце эксперимента отмечалось увеличение активности супероксиддисмутазы по отношению к началу эксперимента на 6,6 % ($p \leq 0,05$), разница между животными контрольной и опытной групп составила 5,8 % ($p \leq 0,05$) в пользу последних.

В эксперименте установлен факт увеличения продуктивности коров (таблица 2).

Таблица 1

Антиоксидантный статус сыворотки крови коров симментальской породы, содержащейся на рационах с добавлением зерновой барды (КФХ «Фальк Н. Г.», Оренбургская область)

Показатель	Группа			
	Контрольная		Опытная	
	Начало эксперимента	Окончание эксперимента	Начало эксперимента	Окончание эксперимента
Супероксиддисмутаза, %	1851 ± 444,7	1863 ± 212,4	1829 ± 283,8	1971 ± 203,8*
Каталаза, мкмоль	4856 ± 2888	4754 ± 2224	4805 ± 2968	4954 ± 2146
Малоновый диальдегид, мкмоль/л нмоль/мл	55,64 ± 15,07	57,62 ± 11,55	55,78 ± 12,78	43,93 ± 13,04*

Разность по отношению показателей к началу эксперимента достоверна при * $p \leq 0,05$.

Table 1

Antioxidant status of blood serum of cows of Simmental breed contained in diets with the addition of grain stillage (peasant farm "Falk N. G.", Orenburg region)

Indicator	Group			
	Control		Experimental	
	Beginning of experiment	End of experiment	Beginning of experiment	End of experiment
Superoxide dismutase, %	1851 ± 444.7	1863 ± 212.4	1829 ± 283.8	1971 ± 203.8*
Catalase, $\mu\text{mol } \mu\text{m}$	4856 ± 2888	4754 ± 2224	4805 ± 2968	4954 ± 2146
Malondialdehyde, $\mu\text{mol/l}$	55.64 ± 15.07	57.62 ± 11.55	55.78 ± 12.78	43.93 ± 13.04*

The difference in the ratio of indicators at the beginning of the experiment is significant at * $p \leq 0.05$.

Таблица 2

Молочная продуктивность коров симментальской породы, содержащихся на рационах с добавлением пшеничной барды за 305 суток лактации (КФХ «Фальк Н. Г.», Оренбургская область)

Показатель	Группа	
	Контрольная	Опытная
Удой 1 % по жиру молока, кг	16 026 ± 1470	17 190 ± 1511*
Содержание жира в молоке, %	3,69 ± 0,275	3,85 ± 0,318
Выход молочного жира, кг	160,3 ± 15,9	171,9 ± 14,7*
Содержание белка в молоке, %	3,21 ± 0,116	3,29 ± 0,108
Выход молочного белка, кг	139,4 ± 16,65	146,91 ± 15,88
Содержание сухого обезжиренного молочного остатка, %	8,66 ± 0,329	8,43 ± 0,352
Выход сухого обезжиренного молочного остатка, кг	376,1 ± 20,14	376,4 ± 23,63

Разность достоверна при * $p \leq 0,05$.

Table 2

Dairy productivity of cows of Simmental breed kept on diets with an addition of distiller's grain for 305 days of lactation (peasant farm "Falk N. G.", Orenburg region)

Indicator	Group	
	Control	Experimental
Milk yield in 1% milk fat, kg	16 026 ± 1470	17 190 ± 1511 *
Fat content in milk, %	3.69 ± 0.275	3.85 ± 0.318
Yield of milk fat, kg	160.3 ± 15.9	171.9 ± 14.7*
Protein content in milk, %	3.21 ± 0.116	3.29 ± 0.108
Yield of milk protein, kg	139.4 ± 16.65	146.91 ± 15.88
The content of dry skimmed milk residue, %	8.66 ± 0.329	8.43 ± 0.352
Dry skimmed milk residue output, kg	376.1 ± 20.14	376.4 ± 23.63

The difference is significant at * $p \leq 0.05$.

При анализе полученных результатов выявлено, что животные опытной группы превосходили сверстниц из контрольной группы по среднему удою 1 % молока и выходу молочного жира за 305 суток лактации на 7,2 % ($p \leq 0,05$).

Анализ данных полученных при обследовании животных, разводимых в ООО «Агрофирма Промышленная»,

выявил, что в начале эксперимента средние значения концентраций свинца и кадмия в шерсти коров контрольной и опытной групп превышали установленную норму в 3,4 и 1,5 раза соответственно. При этом значения концентрации кальция в шерсти обследованных животных были ниже допустимого диапазона на 7,2 %; меди – на 11,4 %; селена – на 10,4 % и цинка – на 5 % (рис. 2).

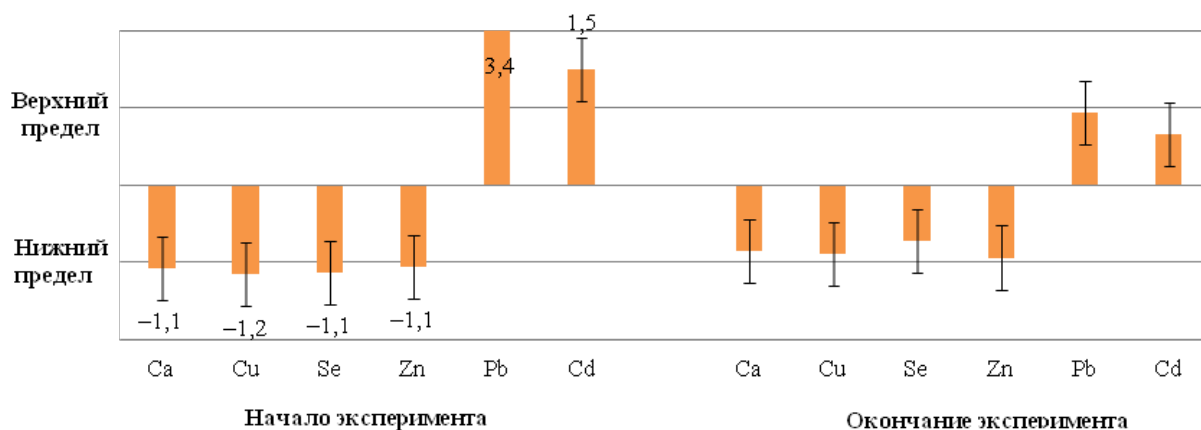


Рис. 2. Кратность отклонения концентраций химических элементов в шерсти с холки коров опытной группы (ООО «Агрофирма Промышленная», Оренбургская область)

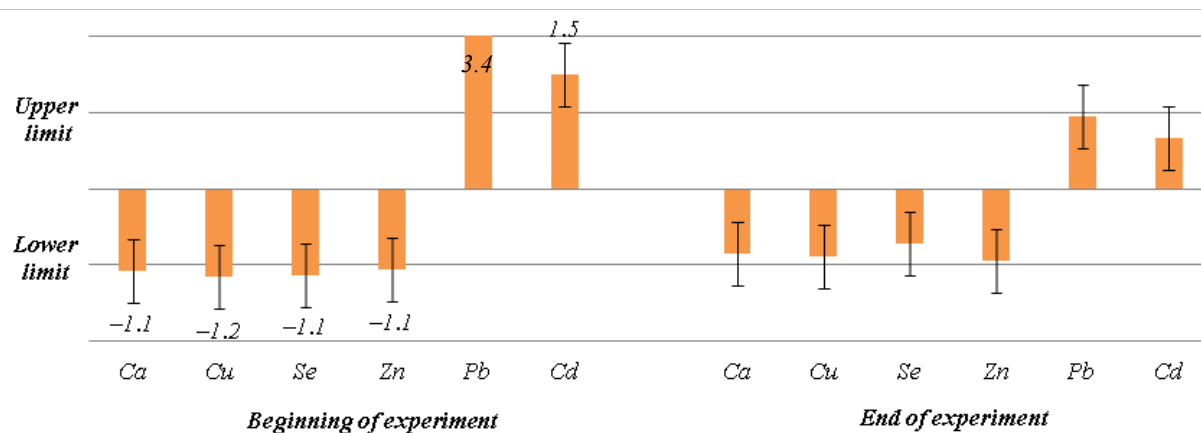


Fig. 2. The multiplicity of deviations in concentrations of chemical elements in hair from withers of cows of the experimental group (LLC "Agrofirma Promyshlennaya", Orenburg region)

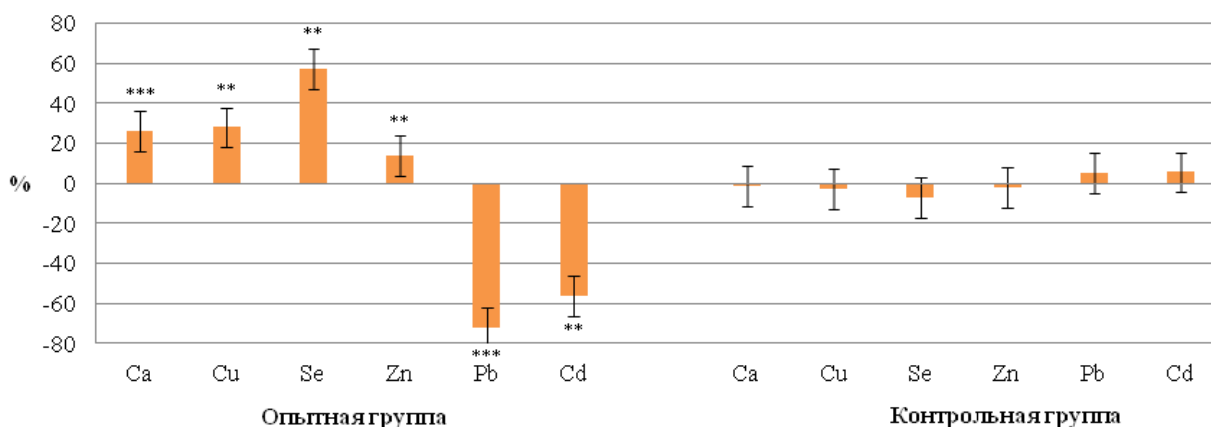


Рис. 3. Отклонение концентраций химических элементов в шерсти с холки коров черно-пестрой породы в конце эксперимента по отношению к началу, % (ООО «Агрофирма Промышленная», Оренбургская область).

Разница достоверна при * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$

К концу экспериментального кормления установлено, что введение в рацион опытных животных сорбента тяжелых металлов позволило снизить по отношению к моменту постановки на опыт обменный пул свинца на 72,3 % ($p \leq 0,001$), кадмия – на 56,1 % ($p \leq 0,01$).

При этом дополнительное включение недостающих эссенциальных элементов, в составе премикса, способствовало увеличению концентраций кальция на 26,1 % ($p \leq 0,001$), меди – на 27,9 % ($p \leq 0,01$); селена – на 57,3 % ($p \leq 0,01$) и цинка – на 13,6 % ($p \leq 0,01$) (рис. 2). К концу эксперимента средние значения корректируемых элемен-

тов для 97 % животных опытной группы вошли в пределы допустимых значений (рис. 3).

Изменения в шерсти животных контрольной группы были статистически недостоверны и характеризовались как состояние гипозлементоза по кальцию, меди, селену, цинку, свинцу и кадмию (рис. 4).

Как показали результаты эксперимента, курс коррекции по нормализации элементного статуса коров в период раздоя обусловил разницу в показателях воспроизводства между животными контрольной и опытной групп (таблица 3).

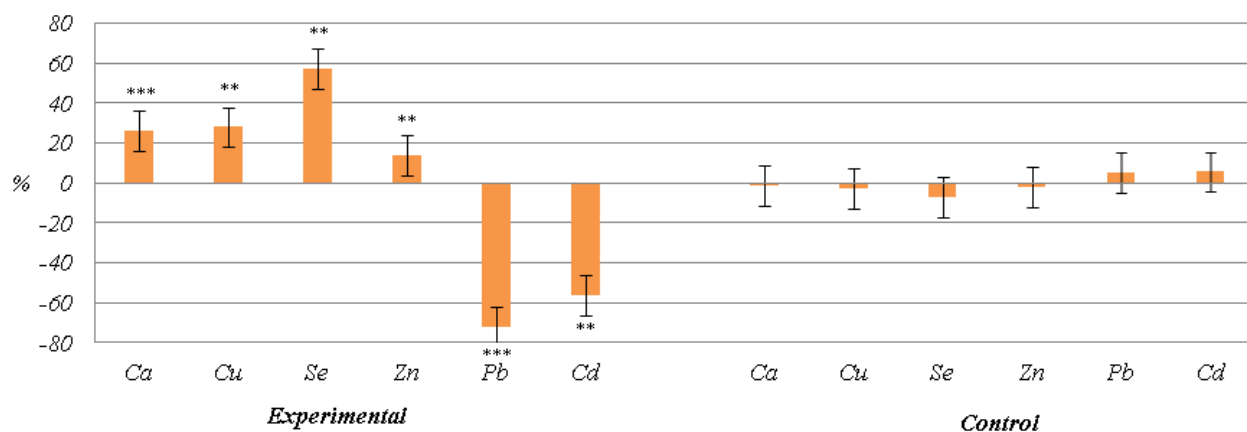


Figure 3. The deviation of concentrations of chemical elements in the hair from the withers of cows of Black Spotted breed at the end of the experiment relative to the beginning, % (LLC "Agrofirma Promyshlennaya", Orenburg region). The difference is significant at * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$

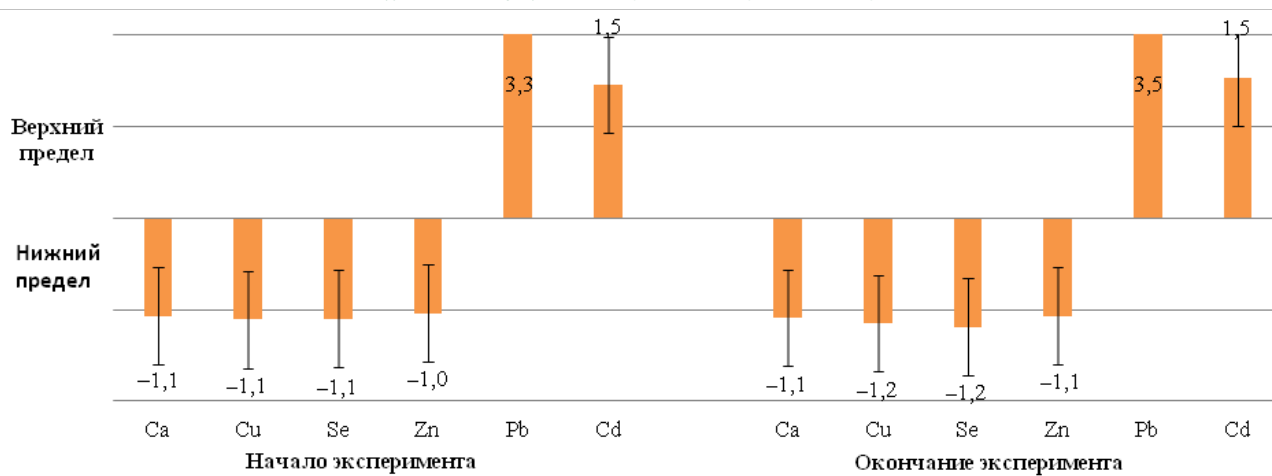


Рис. 4. Кратность отклонения концентраций химических элементов в шерсти с холки коров контрольной группы (ООО «Агрофирма Промышленная», Оренбургская область)

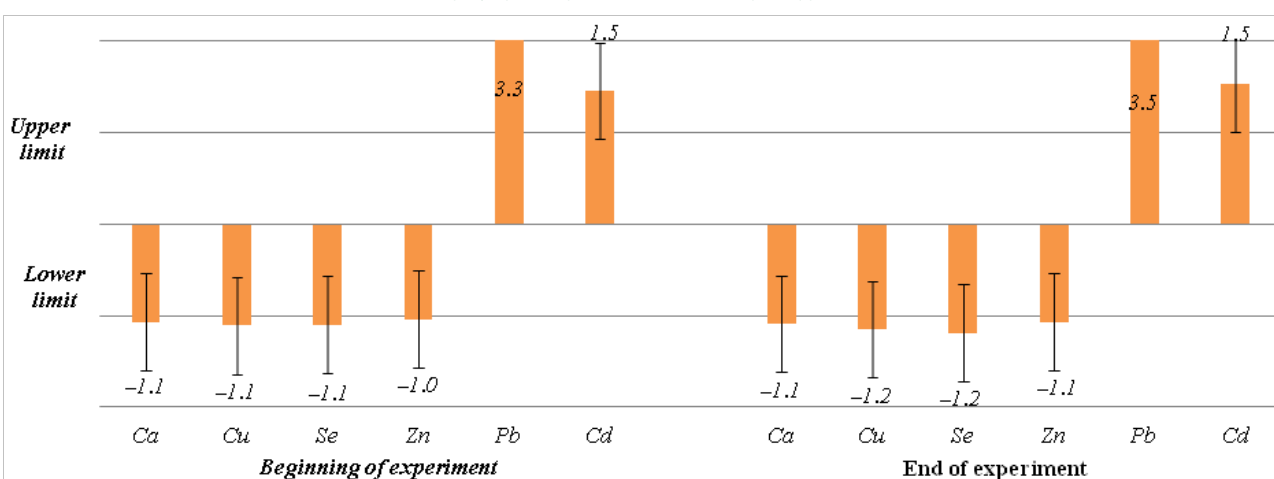


Fig. 4. The multiplicity of deviations in the concentrations of chemical elements in hair from withers of cows of the control group (LLC "Agrofirma Promyshlennaya", Orenburg region)

В частности, оплодотворяемость коров контрольной группы была ниже аналогичного показателя установленного для коров опытной группы на 20 %, при этом продолжительность межжелтечного периода у них была выше

на 4,7 % ($p \leq 0,05$); сервис-периода – на 21,5 % ($p \leq 0,05$), по выходу телят опытная группа опережала контроль на 25 %. Следует отметить, что в контрольной группе абортывала 1 корова.

Таблица 3

Воспроизводительные качества коров (ООО «Агрофирма Промышленная», Оренбургская область)

Показатель	Группа	
	Контрольная	Опытная
Количество голов	20	20
Всего осеменялось: голов	15	19
%	75	95
Не осеменялось: голов	5	1
%	25	5
Продолжительность сервис-периода, сут.	86,0 ± 5,8	70,8 ± 4,4*
Продолжительность межотельного периода, сут.	357,7 ± 5,9	341,5 ± 5,5*
Количество спермодоз, затрачиваемых на одно плодотворное осеменение	5,3	3,3
Абортировало коров, гол.	1	–
Выход телят, %	70	95

Разница достоверна * при $p \leq 0,05$.

Table 3

Reproductive qualities of cows (LLC "Agrofirma Promyshlennaya", Orenburg region)

Indicator	Group	
	Control	Experimental
Number of heads	20	20
Total inseminated: heads	15	19
%	75	95
Non-inseminated: heads	5	1
%	25	5
The duration of the service period, days	86.0 ± 5.8	70.8 ± 4.4*
The duration of calving interval, days	357.7 ± 5.9	341.5 ± 5.5*
The number of sperm doses spent on one fruitful insemination	5.3	3.3
Aborted cows, heads	1	–
The output of calves, %	70	95

The difference is significant at: * $p \leq 0.05$

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Объективный анализ полученного материала возможен с учетом данных, накопленных в медицинской элементологии. В соответствии с одной наиболее широко используемой концепцией элементный состав волос человека соответствует норме, если его значения находятся в интервале 25–75 перцентилей (среднее значение содержания данного химического элемента в популяции). Значения, лежащие в интервале от 10 до 25 и от 75 до 90 перцентилей, предложено рассматривать как отклонения, соответствующие состоянию предболезни. Более выраженные отклонения от нормы следует рассматривать как состояние болезни и ассоциировать с четкой клинической манифестацией специфических для элементозов синдромов и симптомов [21, с. 8], [22, с. 56].

Данный подход может быть применен и при анализе элементного состава шерсти животных, что значительно упрощает работу по выявлению и лечению элементозов. Подтверждение этого было получено в наших исследованиях по коррекции элементного статуса молочных коров.

Следует отметить, что при планировании первого эксперимента мы ожидали возникновения элементозов у животных на фоне скармливания пшеничной барды, что ранее уже показано в сходных исследованиях. Действительно, первичный анализ элементного состава шерсти коров на 60-е сутки кормления пшеничной бардой выявил пониженные обменные пулы кальция, цинка, марганца, селена организме. При этом отмечался избыток по фосфору и токсичным элементам – свинцу и стронцию.

Учитывая, что элементный состав шерсти является в первую очередь отражением уровня минерального питания животного, выявленное в нашем эксперименте превышение установленных норм по концентрации фосфора могло быть следствием высокого содержания фосфора в потребляемых рационах (181,42–183,97 г/гол в сутки при норме 53–146 г/сут).

Принимая во внимание тот факт, что ни один элемент в организме не действует изолированно и степень его влияния на обменные процессы в организме, помимо других факторов, определяется интенсивностью межэлементных взаимодействий, выявленное в нашем исследовании увеличение концентрации фосфора в шерсти может объяснять причину дисэлементоза по кальцию. Избыток фосфора ограничивает образование усвояемых форм кальция, а образующиеся неусвояемые формы выводятся из организма. При длительном воздействии избытка фосфора происходит повышенная мобилизация кальция из костного депо, что может привести к остеодистрофии.

Одной из причин повышенной относительно нормы концентрации свинца в шерсти животных при постановке на опыт может являться влияние периода лактации (30–55-е сутки после отела). Период раздоя коров сопряжен с повышенной мобилизацией этого элемента из депо в костях [23, с. 876]. Причем в отдельных случаях поступление свинца из костей при беременности и лактации может быть настолько значительным, что способно привести к материнской интоксикации [24, с. 1041]. В ранее проведенных исследованиях на начальном этапе лактации у

коров голштинской породы нами фиксировалось превышение физиологических норм у отдельных животных по содержанию в шерсти свинца в 25–30 раз.

Таким образом, сопоставление данных первичного анализа шерсти с границами «физиологической нормы», позволило выявить ряд ярко выраженных элементозов у обследованных животных. Полученные на этом этапе знания легли в основу при разработке рецепта минерального премикса для коррекции элементного статуса животных. При расчете дозировок введения корректируемых элементов в состав минерального премикса мы исходили из рекомендаций заводов-изготовителей.

Результаты эксперимента свидетельствуют, что четырехмесячный курс коррекции минеральным премиксом привел к нормализации показателей элементного статуса животных опытной группы по всем корректируемым элементам: кальцию, цинку, марганцу, селену, а также свинцу и стронцию. Снижение обменных пулов свинца и стронция может рассматриваться как следствие значительного поступления в организм животных эссенциальных элементов-антагонистов. В ранее опубликованной научной литературе широко описаны примеры подобных взаимодействий для свинца и селена [25, с. 395], стронция и кальция [26, с. 439] и др.

В качестве возможной причины повышения молочной продуктивности коров опытной группы при нормализации уровней недостающих элементов можно рассматривать физиологическую функцию цинка, марганца и селена [27, с. 33] в процессе построения и функционирования ведущих антиоксидантных соединений. Подтверждением этого является повышение активности первичного фермента антиоксидантной защиты – супероксиддисмутазы в сыворотке крови коров опытной группы в конце эксперимента по отношению к началу на 6,6 % ($p < 0,05$), которое фиксировалось на фоне снижения уровня молекулярного диальдегида на 21,24 % ($p < 0,05$).

Как показали результаты эксперимента, волос является информативным биосубстратом для фиксации избыточного накопления токсичных элементов в организме животных и человека. Подтверждением этого являются наши исследования по коррекции элементного статуса по свинцу и кадмию у молочных коров.

Как показали результаты, первоначальный анализ шерсти коров в ООО «Агрофирма Промышленная» выявил факт превышения концентраций свинца в 3,3 раза и кадмия – на 47,4 %. Примечательно, что столь значительные обменные пулы свинца и кадмия фиксировались нами на фоне пониженных концентраций кальция, меди, селена и цинка в шерсти, что, так же как в первом эксперименте, могло быть связано с давлением обменных пулов токсичных элементов на метаболизм эссенциальных [28, с. 14].

Реализация мероприятий по коррекции элементного статуса через введение в рацион сорбента тяжелых металлов в комплексе с минеральным премиксом позволила нормализовать элементный профиль коров, что было сопряжено с повышением воспроизводительных качеств в группе опытных животных по отношению к контролю.

Так, выявленное в нашем исследовании повышение воспроизводительных способностей у коров опытной группы, получавших комплекс корректирующих добавок в составе рациона, может быть объяснено понижением пула свинца и кадмия в организме. Ранее полученные данные свидетельствуют о риске возникновения нарушений репродуктивного здоровья коров при интоксикации организма тяжелыми металлами, что повышает вероятность перинатальных потерь. Другой возможной причиной повышения воспроизводительных качеств коров опытной группы могла быть нормализация обменного пула селена. Увеличение концентрации селена в крови положительно коррелирует с периодом анеструса [29, с. 215], в то время как дефицит селена повышает риск появления мертворожденных телят и может быть естественной причиной абортов [30, с. 232]. К числу наиболее вероятных причин возникновения абортов при недостатке селена можно отнести сердечную недостаточность плода [31, с. 433]. Коррекция статуса селена у коров на поздних стадиях стельности способствует повышению секреции гормона прогестерона [32, с. 243] и способствует его послеродовому производству [33, с. 350].

Обобщая вышеизложенное, можно заключить, что использование технологии выявления и коррекции элементозов молочного скота, основанной на индивидуальной оценке элементного состава шерсти с последующим сопоставлением с физиологической нормой и назначением лимитируемых элементов, обеспечивает нормализацию элементного статуса и позволяет повышать продуктивность молочных коров.

Библиографический список

1. Kossaibati M. A., Esslemont R. J. The costs of production diseases in dairy herds in England // *The Veterinary Journal*. 1997. No. 154. Pp. 41–51. DOI: 10.1016/S1090-0233(05)80007-3.
2. Donat K., Siebert W., Menzer E., Söllner-Donat S. Long-term trends in the metabolic profile test results in German Holstein dairy herds in Thuringia, Germany // *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere*. 2016. Vol. 44. No. 2. Pp. 73–82. DOI: 10.15653/TPG-150948.
3. Grabrucker A. M. A role for synaptic zinc in ProSAP/Shank PSD scaffold malformation in autism spectrum disorders // *Developmental Neurobiology*. 2013. No. 74. Pp. 136–146. DOI: 10.1002/dneu.22089.
4. Fukada T., Yamasaki S., Nishida K., Murakami M., Hirano T. Zinc homeostasis and signalling in health and diseases: Zinc signaling // *Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2011. No. 16. Pp. 1123–1134. DOI: 10.1007/s00775-011-0797-4.
5. Andreini C., Banci L., Bertini I., Rosato A. Counting the zinc-proteins encoded in the human genome // *Journal of Proteome Research*. 2006. No. 5. Pp. 196–201. DOI: 10.1021/pr050361j.

6. Rodrigues J. L., Batista B. L., Nunes J. A., Passos C. J., Barbosa F. Jr. Evaluation of the use of human hair for biomonitoring the deficiency of essential and exposure to toxic elements // *Science of the Total Environment*. 2008. No. 405. Pp. 370–376. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.06.002.
7. Barbosa J., Faria J., Carvalho F., Pedro M., Queirós O., Moreira R. [et al.] Hair as an alternative matrix in bioanalysis // *Bioanalysis*. 2013. No. 5. Pp. 895–914. DOI: 10.4155/bio.13.50.
8. Horvath P. J., Eagen C. K., Ryer-Calvin S. D. [et al.] Serum zinc and blood rheology in sportsmen (football players) // *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. 1997. Vol. 17. No. 1. Pp. 47–58.
9. Nabatov A. A., Troegubova N. A., Gilmudtinov R. R., Sereda A. P., Samoilov A. S., Rylova N. V. Sport- and sample-specific features of trace elements in adolescent female field hockey players and fencers // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2017. No. 43. Pp. 33–37. DOI: 10.1016/j.jtemb.2016.11.002.
10. Garland M., Morris J. S., Rosner B. A., Stampfer M. J., Spate V. L., Baskett C. J. [et al.] Toenail trace element levels as biomarkers: reproducibility over a 6-year period // *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 1993. No. 2. Pp. 493–497.
11. Oberleas D., Harland B. F., Bobilya D. J. *Minerals: Nutrition and Metabolism*. New York: Vantage Press, 1999. 238 p.
12. Pavlata L., Chomat M., Pechova A., Misurova L., Dvorak R. Impact of long-term supplementation of zinc and selenium on their content in blood and hair in goats // *Veterinární medicína*. 2011. No. 56. Pp. 63–74.
13. Patra R. C., Swarup D., Sharma M. C., Naresh R. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units // *Journal of Veterinary Medicine*. 2006. No. 53. Pp. 511–517.
14. Roug A., Swift P. K., Gerstenberg G., Woods L. W., Kreuder-Johnson C., Torres S. G., 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. No. 27. Pp. 295–305.
15. Dobrzanski Z., Jankowska D., Dobicki W., Kupczynski R. The influence of different factors on the concentration of elements in hair of horses // *Animals and environment*. Vol. 2: Proceedings of the XIIth ISAH Congress on Animal Hygiene, Warsaw, Poland, 2005. Pp. 50–59.
16. Центр биотической медицины доктора А. В. Скального: сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://en.microelements.ru> (дата обращения: 06.05.2020).
17. Miroshnikov S. [et al.] Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile // *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015. Vol. 14. No. 9. Pp. 632–636. DOI: 10.3923/pjn.2015.632.636.
18. Miroshnikov S. A., Skalny A. V., Zavyalov O. A., Frolov A. N., Grabeklis A. R. The Reference Values of Hair Content of Trace Elements in Dairy Cows of Holstein Breed // *Biological Trace Element Research*. 2020. No. 194 (1). Pp. 145–151. DOI: 10.1007/s12011-019-01768-6.
19. Zavyalov O. A., Kurilkina M. Y., Topuria G. M. The effect of the state of “loaded metabolism” assesses the level of lead in the productivity of dairy cows // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 341. 012076. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012076.
20. Miroshnikov S., Zavyalov O., Frolov A., Sleptsov I., Sirazetdinov F., Poberukhin M. The content of toxic elements in hair of dairy cows as an indicator of productivity and elemental status of animals // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. No. 18. Pp. 18554–18564. DOI: 10.1007/s11356-019-05163-5.
21. Skal'naya M. G., Demidov V. A., Skalny A. V. About the limits of physiological (normal) of Ca, Mg, P, Fe, Zn and Cu in human hair // *Trace Elements in Medicine*. 2003. Vol. 4. No. 2. Pp. 5–10.
22. Skalny A. V. The reference values of the concentration of chemical elements in hair obtained by ICP-AES // *Trace Elements in Medicine*. 2003. Vol. 4. No. 1. Pp. 55–56.
23. Maldonado-Vega M., Cerbón-Solorzano J., Albores-Medina A., Hernández-Luna C., Calderón-Salinas J. V. Lead: intestinal absorption and bone mobilization during lactation // *Human & Experimental Toxicology*. 1996. Vol. 15. No. 11. Pp. 872–877.
24. Bellinger D., Leviton A., Waterneaux C., Needleman H. L., Rabinowitz M. Longitudinal analyses of prenatal and postnatal lead exposure and early cognitive development // *The New England Journal of Medicine*. 1987. Vol. 316. Pp. 1037–1043.
25. López Alonso M., Prieto Montaña F., Miranda M., Castillo C., Hernández J., Luis Benedito J. Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW Spain // *Biometals*. 2004. Vol. 17. No. 4. Pp. 389–397.
26. Miller E. K., Blum J. D., Friedland A. J. Determination of soil exchangeable-cation loss and weathering rates using Sr isotopes // *Nature*. 1993. Vol. 362. Pp. 438–441.
27. Michalska-Mosiej M., Socha K., Soroczyńska J., Karpińska E., Łazarczyk B., Borawska M. H. Selenium, Zinc, Copper, and Total Antioxidant Status in the Serum of Patients with Chronic Tonsillitis // *Biological Trace Element Research*. 2016. Vol. 173. No. 1. Pp. 30–34. DOI: 10.1007/s12011-016-0634-2.
28. Frieden E. A survey of the essential biochemical elements // *Biochemistry of the essential ultratrace elements*. New York, London, 1984. Pp. 1–16.
29. Al Saleh I., Shinwari N., Mashhour A., Rabah A. Birth outcome measures and maternal exposure to heavy metals (lead, cadmium and mercury) in Saudi Arabian population // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2014. Vol. 217. No. 23. Pp. 205–218.
30. Kommisrud E., Osterås O., Vatn T. Blood selenium associated with health and fertility in Norwegian dairy herds // *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2005. No. 46. Pp. 229–240. DOI: 10.1186/1751-0147-46-229.

31. Underwood E. J., Suttle N. F. The Mineral Nutrition of Livestock // CABI Publishing; Wallingford. 2004. No. 15. Pp. 421–475.
32. Kamada H., Nonaka I., Takenouchi N., Amari M. Effects of selenium supplementation on plasma progesterone concentrations in pregnant heifers // Animal Science Journal. 2014. No. 85. Pp. 241–246. DOI: 10.1111/asj.12139.
33. Kamada H. Effects of selenium-rich yeast supplementation on the plasma progesterone levels of postpartum dairy cows // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2017. No. 30. Pp. 347–354. DOI: 10.5713/ajas.16.0372.

Об авторах:

Сергей Александрович Мирошников¹, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, ORCID 0000-0003-1173-1952, AuthorID 587614; +7 (3532) 30-81-70

Олег Александрович Завьялов¹, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, ORCID 0000-0003-2033-3956, AuthorID 618390; +7 (3532) 30-81-70, Oleg-Zavyalov83@mail.ru

¹ Федеральний научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

Approbation of identification and correction technology for dairy cows elementosis according to hair elemental composition

S. A. Miroshnikov¹, O. A. Zavyalov¹✉

¹ Federal Research Centre of Biological System and Agricultural Technologies of Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

✉E-mail: Oleg-Zavyalov83@mail.ru

Abstract. The study is aimed at assessing the effectiveness of a new technology for the diagnosis and correction of dairy cattle elementoses according to the chemical composition of hair, using elementoses of various etiologies. **Methodology and methods.** The experimental design included two studies: the first is a micropopulation of the Simmental cows with a deficiency of calcium, zinc, selenium and manganese in hair; the second is Black Spotted cows with a significant excess in the established standards for lead and cadmium against the background of a deficiency of calcium, zinc, selenium and copper. Based on a comparison of data after initial analysis of hair according to 25 parameters with physiological norm intervals a mineral premix consisting of organic forms of limited chemical elements was included in the diet for animals in the first and second experiments. In order to optimize lead and cadmium pools, sorbent of heavy metals was additionally included in the diets of experimental animals in the second experiment. **Results and practical relevance.** Feeding with corrective additives in the diets led to the normalization of elemental status for the vast majority of elements in both experiments. Moreover, cows in the first experiment had an increase in the yield of milk and milk fat by 7.2 % during the lactation period; in the second experiment, an increase in the number of fruitful inseminations was registered, it was accompanied by a decrease of calving interval and service periods by 4.5 and 17.7 %, with an increase in the calf yield. **Scientific novelty.** For the first time, the elemental profile of dairy cattle was described using distiller's grain in feeding; the technology for identifying and correction of dairy cattle elementoses based on data of hair elemental composition has been developed in production conditions.

Keywords: dairy cattle breeding, cows, elemental status, elementosis, essential and toxic elements, hair (wool), correction, milk productivity, reproductive ability.

For citation: Miroshnikov S. A., Zavyalov O. A. Aprobatsiya tekhnologii vyyavleniya i korrektsii elementozov molochnykh korov po elementnomu sostavu shersti [Approbation of identification and correction technology for dairy cows elementosis according to hair elemental composition] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 05 (196). Pp. 38–50. DOI: 10.32417/1997-4868-2020-196-5-38-50. (In Russian.)

Paper submitted: 11.04.2020.

References

1. Kossaibati M. A., Esslemont R. J. The costs of production diseases in dairy herds in England // The Veterinary Journal. 1997. No. 154. Pp. 41–51. DOI: 10.1016/S1090-0233(05)80007-3.
2. Donat K., Siebert W., Menzer E., Söllner-Donat S. Long-term trends in the metabolic profile test results in German Holstein dairy herds in Thuringia, Germany // Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere. 2016. Vol. 44. No. 2. Pp. 73–82. DOI: 10.15653/TPG-150948.
3. Grubruker A. M. A role for synaptic zinc in ProSAP/Shank PSD scaffold malformation in autism spectrum disorders // Developmental Neurobiology Dev. Neurobiol. 2013. No. 74. Pp. 136–146. DOI: 10.1002/dneu.22089.

4. Fukada T., Yamasaki S., Nishida K., Murakami M., Hirano T. Zinc homeostasis and signalling in health and diseases: Zinc signaling // *Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2011. No. 16. Pp. 1123–1134. DOI: 10.1007/s00775-011-0797-4.
5. Andreini C., Banci L., Bertini I., Rosato A. Counting the zinc-proteins encoded in the human genome // *Journal of Proteome Research*. 2006. No. 5. Pp. 196–201. DOI: 10.1021/pr050361j.
6. Rodrigues J. L., Batista B. L., Nunes J. A., Passos C. J., Barbosa F. Jr. Evaluation of the use of human hair for biomonitoring the deficiency of essential and exposure to toxic elements // *Science of the Total Environment*. 2008. No. 405. Pp. 370–376. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.06.002.
7. Barbosa J., Faria J., Carvalho F., Pedro M., Queirós O., Moreira R. [et al.] Hair as an alternative matrix in bioanalysis // *Bioanalysis*. 2013. No. 5. Pp. 895–914. DOI: 10.4155/bio.13.50.
8. Horvath P. J., Eagen C. K., Ryer-Calvin S. D. [et al.] Serum zinc and blood rheology in sportsmen (football players) // *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. 1997. Vol. 17. No. 1. Pp. 47–58.
9. Nabatov A. A., Troegubova N. A., Gilmudtinov R. R., Sereda A. P., Samoilov A. S., Rylova N. V. Sport- and sample-specific features of trace elements in adolescent female field hockey players and fencers // *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2017. No. 43. Pp. 33–37. DOI: 10.1016/j.jtemb.2016.11.002.
10. Garland M., Morris J. S., Rosner B. A., Stampfer M. J., Spate V. L., Baskett C. J. [et al.] Toenail trace element levels as biomarkers: reproducibility over a 6-year period // *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 1993. No. 2. Pp. 493–497.
11. Oberleas D., Harland B. F., Bobilya D. J. *Minerals: Nutrition and Metabolism*. New York: Vantage Press, 1999. 238 p.
12. Pavlata L., Chomat M., Pechova A., Misurova L., Dvorak R. Impact of long-term supplementation of zinc and selenium on their content in blood and hair in goats // *Veterinární medicína*. 2011. No. 56. Pp. 63–74.
13. Patra R. C., Swarup D., Sharma M. C., Naresh R. Trace mineral profile in blood and hair from cattle environmentally exposed to lead and cadmium around different industrial units // *Journal of Veterinary Medicine*. 2006. No. 53. Pp. 511–517.
14. Roug A., Swift P. K., Gerstenberg G., Woods L. W., Kreuder-Johnson C., Torres S. G., 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. No. 27. Pp. 295–305.
15. Dobrzanski Z., Jankowska D., Dobicki W., Kupczynski R. The influence of different factors on the concentration of elements in hair of horses // *Animals and environment*. Vol. 2: Proceedings of the XIIth ISAH Congress on Animal Hygiene, Warsaw, Poland, 2005. Pp. 50–59.
16. Tsentri bioticheskoy meditsiny doktora A. V. Skalnogo [Center for Biotic Medicine of Dr. A. V. Skalny]: web-site [e-resource]. URL: <http://en.microelements.ru> (appeal date: 06.05.2020). (In Russian.)
17. Miroshnikov S. [et al.] Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile // *Pakistan Journal of Nutrition*. 2015. Vol. 14. No. 9. Pp. 632–636. DOI: 10.3923/pjn.2015.632.636.
18. Miroshnikov S. A., Skalny A. V., Zavyalov O. A., Frolov A. N., Grabeklis A. R. The Reference Values of Hair Content of Trace Elements in Dairy Cows of Holstein Breed // *Biological Trace Element Research*. 2020. No. 194 (1). Pp. 145–151. DOI: 10.1007/s12011-019-01768-6.
19. Zavyalov O. A., Kurilkina M. Y., Topuria G. M. The effect of the state of “loaded metabolism” assesses the level of lead in the productivity of dairy cows // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 341. 012076. DOI: 10.1088/1755-1315/341/1/012076.
20. Miroshnikov S., Zavyalov O., Frolov A., Sleptsov I., Sirazetdinov F., Poberukhin M. The content of toxic elements in hair of dairy cows as an indicator of productivity and elemental status of animals // *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 26. No. 18. Pp. 18554–18564. DOI: 10.1007/s11356-019-05163-5.
21. Skalnaya M. G., Demidov V. A., Skalny A. V. About the limits of physiological (normal) of Ca, Mg, P, Fe, Zn and Cu in human hair // *Trace Elements in Medicine*. 2003. Vol. 4. No. 2. Pp. 5–10.
22. Skalny A. V. The reference values of the concentration of chemical elements in hair obtained by ICP-AES // *Trace Elements in Medicine*. 2003. Vol. 4. No. 1. Pp. 55–56.
23. Maldonado-Vega M., Cerbón-Solorzano J., Albores-Medina A., Hernández-Luna C., Calderón-Salinas J. V. Lead: intestinal absorption and bone mobilization during lactation // *Human & Experimental Toxicology*. 1996. Vol. 15. No. 11. Pp. 872–877.
24. Bellinger D., Leviton A., Waterneaux C., Needleman H. L., Rabinowitz M. Longitudinal analyses of prenatal and postnatal lead exposure and early cognitive development // *The New England Journal of Medicine*. 1987. Vol. 316. Pp. 1037–1043.
25. López Alonso M., Prieto Montaña F., Miranda M., Castillo C., Hernández J., Luis Benedito J. Interactions between toxic (As, Cd, Hg and Pb) and nutritional essential (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn) elements in the tissues of cattle from NW Spain // *Biometals*. 2004. Vol. 17. No. 4. Pp. 389–397.
26. Miller E. K., Blum J. D., Friedland A. J. Determination of soil exchangeable-cation loss and weathering rates using Sr isotopes // *Nature*. 1993. Vol. 362. Pp. 438–441.
27. Michalska-Mosiej M., Socha K., Soroczyńska J., Karpińska E., Łazarczyk B., Borawska M. H. Selenium, Zinc, Copper, and Total Antioxidant Status in the Serum of Patients with Chronic Tonsillitis // *Biological Trace Element Research*. 2016. Vol. 173. No. 1. Pp. 30–34. DOI: 10.1007/s12011-016-0634-2.
28. Frieden E. A survey of the essential biochemical elements // *Biochemistry of the essential ultratrace elements*. New York, London, 1984. Pp. 1–16.

29. Al Saleh I., Shinwari N., Mashhour A., Rabah A. Birth outcome measures and maternal exposure to heavy metals (lead, cadmium and mercury) in Saudi Arabian population // *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2014. Vol. 217. No. 23. Pp. 205–218.
30. Kommisrud E., Osterås O., Vatn T. Blood selenium associated with health and fertility in Norwegian dairy herds // *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2005. No. 46. Pp. 229–240. DOI: 10.1186/1751-0147-46-229.
31. Underwood E. J., Suttle N. F. *The Mineral Nutrition of Livestock* // CABI Publishing; Wallingford. 2004. No. 15. Pp. 421–475.
32. Kamada H., Nonaka I., Takenouchi N., Amari M. Effects of selenium supplementation on plasma progesterone concentrations in pregnant heifers // *Animal Science Journal*. 2014. No. 85. Pp. 241–246. DOI: 10.1111/asj.12139.
33. Kamada H. Effects of selenium-rich yeast supplementation on the plasma progesterone levels of postpartum dairy cows // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2017. No. 30. Pp. 347–354. DOI: 10.5713/ajas.16.0372.

Authors' information:

Sergey A. Miroshnikov¹, doctor of biological sciences, professor, corresponding member of Russian Academy of Sciences, director, ORCID 0000-0003-1173-1952, AuthorID 587614; +7 (3532) 30-81-70

Oleg A. Zavyalov¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the department of technology for beef cattle breeding and beef production, ORCID 0000-0003-2033-3956, AuthorID 618390; +7 (3532) 30-81-70, *Oleg-Zavyalov83@mail.ru*

¹ Federal Scientific Center of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia