

На правах рукописи



Завьялов Олег Александрович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ
МОЛОЧНОГО СКОТА ПУТЁМ ОЦЕНКИ И КОРРЕКЦИИ
ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

доктора биологических наук

06.02.10 Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства

Оренбург – 2020

Работа выполнена в ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук»

Научный консультант: доктор биологических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Мирошников Сергей Александрович

Официальные оппоненты: **Морозова Лариса Анатольевна**, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева», факультет биотехнологии, декан

Миронова Ирина Валерьевна, доктор биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», кафедра технологии мясных, молочных продуктов и химии, профессор

Топурия Лариса Юрьевна, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет», кафедра ветеринарно-санитарной экспертизы и фармакологии, профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

Защита диссертации состоится 9 октября 2020 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 006.040.01 на базе ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» по адресу: 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел. 8 (3532) 30-81-70

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» и на сайте: <http://www.fncbst.ru>, с авторефератом на сайтах <http://www.fncbst.ru> и <http://www.vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Ажмулдинов
Елемес Ажмулдинович

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. По мере развития науки становится очевидным, что дальнейшим этапом развития учения о химических элементах в рамках такой дисциплины как частная зоотехния должно стать создание технологии повышения продуктивности животных через исследование мультиэлементного состава биосубстратов с последующей оценкой и коррекцией метаболизма. Это очевидно следует из опыта накопленного в медицине. Одним из наиболее широко используемых биосубстратов для этих целей в медицине являются волосы, мультиэлементный состав которых позволяет оценить состояние метаболизма в организме человека (Скальный А.В., 2000, 2011, 2017; Нотова С.В., 2005). В животноводстве практика использования волос (шерсти) как биосубстрата для оценки состояния и продуктивного потенциала животного так же имеет большие перспективы. Это определяется как тесной связью между концентрацией микроэлементов в шерсти и крови животных (Patra RC, et al 2006; Pavlata L, et al 2011), так и информативностью шерсти в качестве долгосрочного субстрата для оценки состояния минерального обмена (Combs DK., 1987; Zhao XJ, et al 2015). В литературе есть указания на информативность элементного состава волос (шерсти) при оценке минерального статуса и состояния здоровья дойных коров (Pieper L, et al 2016); лошадей (Asano K, et al 2002, 2005; Ghorbani A., et al 2015); кошек (Rzymiski P, et al 2015); собак (So KM, et al 2016); диких животных (Kośła T, et al 2011; Roug A, et al 2015). Наиболее широко, анализ шерсти используется для диагностики и коррекции элементозов у человека, о чем свидетельствует значительное число посещений медицинских центров, где применяются новые подходы к лечению элементозов (<http://en.microelements.ru/>).

Степень разработанности темы. Наибольший задел по проблеме оценки и интерпретации данных содержания химических элементов в биосубстратах сформирован в медицине. Одной из первых таких разработок стала методика контроля за элементным статусом популяций на основании данных о минеральном составе тканей организма человека подготовленные рабочей группой под патронажем Гарвардского университета (США) и МАГАТЭ (Iyengar G.V. 1989). Дальнейшее развитие технологии выявления и профилактики элементозов получили с появлением высокоточных аналитических методов изучения элементного состава биосубстратов (Chyla, M.A., et al W., 2000; Rodushkin I, et al 2013). Значителен объем знаний по элементному составу биосубстратов населения накоплен в России. Так только в 2009–2013 гг. в РФ проведено комплексное аналитическое исследование элементного статуса 65000 человек (Skalny A.V. 2018).

Успехи достигнутые в животноводстве значительно скромнее и до настоящего времени в распоряжении практической зоотехнии и ветеринарии отсутствуют данные о физиологической норме содержания химических элементов в биосубстратах крупного рогатого скота, не существует признанного алгоритма анализа и принятия решения по элементному составу

шерсти. Между тем дисбалансы микроэлементов представляют серьёзную угрозу для здоровья и продуктивных качеств сельскохозяйственных животных (Hillyer LL, et al 2018), причем не только по жизненно необходимым элементам, но и по токсическим (Bellinger D, et al 1991; Kalashnikov V., et al. 2018, 2019). Необходимость снижения уровня токсичных элементов в животноводческой продукции определяется новыми данными о роли токсичных элементов (свинец, кадмий и др.) в этиологии аутизма, болезней Альцгеймера, Паркинсона и шизофрении, заболеваний сердца и других болезней человека (Ordemann J.M., Austin R.N., 2016).

В литературе широко обсуждается зависимость продуктивности животных от величины обменного пула жизненно необходимых и токсичных элементов (Kalashnikov V. et al., 2018). Рассматриваются перспективы создания индивидуальных систем мониторинга и управления метаболизмом высокопродуктивных животных, в том числе с учетом эффективности работы систем детоксикации и выведения токсических элементов (Yasuda H., Tsutsui T., 2013).

Цель и задачи исследований. Целью исследований в соответствии с «Программой фундаментальных и приоритетных прикладных исследований по развитию Агропромышленного комплекса РФ на 2011-2015 годы» и «Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы» (госрегистрация: № 114071740009; № АААА-А19-119040290036-3), являлась разработка технологии повышения продуктивности молочного скота путём оценки и коррекции элементного статуса.

В соответствии с поставленной целью ставились следующие задачи:

1. Разработать способ отбора образцов шерсти крупного рогатого скота для изучения элементного состава;
2. Определить референтные концентрации 25 химических элементов в шерсти и молоке лактирующих молочных коров;
3. Провести апробацию разработанной технологии для повышения продуктивности молочных коров при использовании в рационе свежей барды;
4. Оценить зависимость продуктивности молочных коров от элементного статуса, оцениваемого по содержанию элементов в шерсти;
5. Разработать способы оценки и прогнозирования молочной продуктивности коров на основании данных об элементном составе шерсти;
6. Произвести апробацию разработанной технологии для повышения воспроизводительных качеств коров разводимых в условиях повышенной техногенной нагрузки.
7. Рассчитать экономическую эффективность применения разработанной технологии оценки и коррекции элементного статуса у молочных коров.

Научная новизна работы состоит в разработке и апробировании новой технологии повышения продуктивности молочного скота путём оценки и коррекции элементного статуса.

Впервые, установлены референтные значения и параметры физиологической нормы содержания 25 химических элементов в шерсти

высокопродуктивных молочных коров (мг/кг): Al 2,05-4,4; As 0,028-0,04; B 3,4-10,89; Ca 915-2386; Cd 0,003-0,005; Co 0,032-0,054; Cr 0,087-0,143; Cu 8,04-9,47; Fe 100-217; Hg 0,002-0,006; I 10,12-19,56; K 3122-4154; Li 0,048-0,07; Mg 318-664; Mn 3,51-6,49; Na 2196-3124; Ni 0,157-0,221; P 228-290; Pb 0,045-0,141; Se 0,754-1,13; Si 6,28-11,47; Sn 0,014-0,04; Sr 1,82-3,68; V 0,015-0,026; Zn 116-141.

Впервые разработана методика взятия образцов шерсти крупного рогатого скота для изучения элементного статуса животных (RU 2607751) обеспечивающая, в том числе «ретроспективную» оценку элементного статуса коров, через анализ участков шерсти сформированных в различные временные периоды (RU 2611755).

Впервые описана взаимосвязь элементного статуса лактирующих коров, установленного по составу шерсти, с показателями молочной продуктивности и качеством молока. Впервые, описаны случаи увеличения обменного пула свинца в организме первотёлок в 25-30 раз в сравнении с нормой на фоне раздоя, что позволило предложить новые решения по повышению продуктивности и воспроизводительной способности крупного рогатого скота.

Установлен факт снижения молочной продуктивности коров, на фоне повышения обменных пулов токсичных элементов (Pb, Cd и Sr). На основании полученных данных разработан способ прогнозирования молочной продуктивности по содержанию Pb и Cd в шерсти (RU 2701350). Впервые, предложен способ повышения воспроизводительных качеств коров через коррекцию элементного статуса крупного рогатого скота по уровню свинца и кадмия в период раздоя (RU 2654573).

Произведен анализ динамики элементного статуса коров в зависимости от продолжительности продуктивного использования по амплитуде колебаний размеров пулов эссенциальных и токсичных элементов относительно значений «физиологической нормы».

Дана оценка межэлементным взаимодействиям обменных пулов эссенциальных и токсичных элементов в организме молочных коров. Установлен факт нарастания количества межэлементных взаимодействий на фоне увеличения обменного пула Pb. Предложен способ оценки молочной продуктивности коров с учетом взаимодействий элемента индикатора молочной продуктивности - Pb и эссенциальных элементов антагонистов - Se и Zn (RU 2701350).

Разработан способ коррекции элементного статуса молочных коров при использовании в рационе свежей барды (RU 2654573; 2701350).

Впервые, создана база данных элементного состава шерсти молочного скота по 25 показателям в связи с продуктивностью.

Новизна и значимость исследований подтверждается публикациями в журналах Q1 и Q2 WoS и Scopus.

Теоретическая значимость работы. Разработана и экспериментально доказана гипотеза об информативности элементного состава шерсти в качестве биосубстрата для оценки продуктивности молочных коров, в том числе в связи с содержанием токсичных элементов.

На основании детального изучения зависимости продуктивности животных от элементного статуса введено понятие «нагруженного метаболизма», определяемое как состояние животного, при котором фиксируется превышение «физиологической нормы» содержания в шерсти токсичных элементов, что сопряжено со снижением воспроизводительной способности, продуктивности и качества молока коров.

Применение установленных в работе референтных интервалов содержания химических элементов в шерсти, позволит объективно оценить масштабы распространенности элементозов, в том числе на стадии «преддефицита», среди продуктивного молочного скота, даст возможность определить приоритетные для территорий химические элементы, влияющие на заболеваемость и снижение его продуктивности, как в масштабе страны, так и на уровне отдельно взятого региона, сельскохозяйственного предприятия и индивида.

Предложенная технология выявления и коррекции элементного статуса молочных коров позволит организовать индивидуальную работу с высокопродуктивными молочными коровами, обеспечивая повышение продуктивности, воспроизводительной способности и долголетие животных.

Практическая значимость работы. Разработанная неинвазивная методика взятия образцов шерсти *Bos taurus* для исследований элементного состава, может найти широкое применение, как в хозяйственной деятельности человека, так и при работе с объектами дикой природы; в научной и производственной деятельности для индивидуальной оценки и коррекции обмена веществ высокопродуктивных животных.

Практическое применение способа выявления и коррекции обмена веществ молочных коров по величине содержания в шерсти свинца и кадмия в период раздоя позволит повысить молочную продуктивность коров первотёлок по среднесуточному удою на 11-13 %.

Внедрение практических рекомендаций по повышению воспроизводительной способности молочных коров на основе новых знаний об информативности шерсти, как биосубстрата для оценки элементного статуса, позволит повысить оплодотворяемость коров на величину до 27 %, увеличить выход телят на 25-31 % для группы животных с повышенным содержанием в шерсти свинца и кадмия.

Внедрение рекомендаций по коррекции элементного статуса молочных коров, получающих в составе рациона свежую барду, позволит повысить молочную продуктивность по выходу молочного жира на 7-8 %. При этом уровень рентабельности производства молока повысится на 6-7 %.

Реализация разработанных способов оценки и прогнозирования молочной продуктивности коров через введение коэффициента токсической нагрузки и показателя суммы молей свинца и кадмия в шерсти в период раздоя позволит отбирать для дальнейшего разведения коров с потенциально высокой молочной продуктивностью, превосходящей аналогов по величине среднесуточного удою на 11 -17 %; выходу молочного жира на 17,0-29 %, белка – на 5-12 %; сухого вещества – на 9-18 %, соответственно.

Материалы диссертационного исследования опубликованы в справочном пособии для сельхозпроизводителей: «Система ведения сельского хозяйства в Оренбургской области (2019)»; практических рекомендациях и пособиях; монографии - «Элементозы животных: Новые технологии диагностики и коррекции», рекомендованной для биологов, физиологов, биохимиков и специалистов, изучающих обмен макро- и микроэлементов в организме животных, аспирантов по направлению подготовки 36.06.01 Ветеринария и зоотехния, для преподавателей сельскохозяйственных вузов, научных сотрудников, специалистов животноводства и студентов биологических и аграрных вузов.

Методология и методы исследования. Спектр методов, использованных для достижения поставленных целей, включал: зоотехнические, биохимические, физические, химические, физиологические и математические методы. Исследования выполнялись с использованием материально-технической и методической базы Центра коллективного пользования ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», (г. Оренбург); АНО «Центр биотической медицины», (г. Москва); ОАО «Невское» (Ленинградская область);

Методы и подходы реализованы с использованием целого ряда предприятий, в том числе: ООО «Агрофирма Промышленная» (Оренбургская область); КФХ Фальк Н.Г. (Оренбургская область); СПК колхоз «Красногорский» (Оренбургская область); ОАО Гатчинское (Ленинградская обл.); АО ПЗ «Первомайский» (Ленинградская обл.); СПК КПЗ «Вологодский» (Вологодская обл.) и др.

Полученные результаты обработаны при помощи программного пакета «Statistica 10.0 RU».

Основные положения, выносимые на защиту:

- с учётом данных по информативности, степени загрязнённости, скорости отрастания, соотношению и элементному составу компонентов шерсти (остевые шерсть, пух) отбор образцов шерсти для исследований элементного статуса крупного рогатого скота целесообразно производить с верхней части холки животного;

- при оценке элементного статуса крупного рогатого скота, как на индивидуальном, так и на групповом уровнях следует использовать данные многоэлементного анализа шерсти по основным эссенциальным и токсичным элементам с обязательной интерпретацией полученных результатов в границах референтных интервалов;

- повышение уровня токсичных элементов в организме сопряжено с нарастанием межэлементных взаимодействий и развитием окислительного стресса, с последующим снижением молочной продуктивности коров в период раздоя;

- применение сорбента тяжелых металлов для коррекции повышенных обменных пулов свинца и кадмия, в организме коров в период раздоя, повышает воспроизводительные качества коров;

- коррекция элементного статуса молочных коров, содержащихся на рационах с добавлением свежей зерновой барды, повышает молочную продуктивность и рентабельность производства молока.

Степень достоверности и апробация работы. Научные положения, выводы и предложения производству обоснованы и базируются на аналитических и экспериментальных данных, степень достоверности которых доказана путём статистической обработки. Выводы и предложения основаны на научных исследованиях, проведенных с использованием современных методов анализа и расчёта. Основные материалы диссертационной работы доложены на международных научно-практических конференциях (г. Санкт-Петербург, 2017; 2019; г. Волгоград, 2016, 2019; Оренбург, 2015; 2016; 2017; 2018; 2019; 2020; Курган, 2018; Уфа 2019; Екатеринбург, 2020).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по проектам РНФ № 14-16-00060 и РНФ № 14-16-00060 П, а так же Правительства Оренбургской области в сфере научной и научно-технической деятельности «Разработка комплексной программы и внедрение передовых технологий обеспечивающих увеличение производства говядины в Оренбургской области» (Постановление № 38 от 25.06.2015).

Основные положения работы доложены и обсуждены на расширенном заседании научных сотрудников отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (Оренбург, 2020).

Реализация результатов исследований. Результаты работы внедрены в производство в ООО «Агрофирма Промышленная», СПК колхоз «Красногорский», учебно-опытном хозяйстве «Покровский сельскохозяйственный колледж»-филиал ФГБОУ ВО «Оренбургский ГАУ» Оренбургской области.

Публикация материалов исследований. По теме диссертации опубликовано 38 научных работ, в том числе 1 - монография; 6 - статей в изданиях, индексируемых в базах Web of Science и Scopus; 13 - в периодических изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки Российской Федерации. Новизна исследований подтверждена 7 патентами РФ на изобретения.

Объем и структура работы. Материалы диссертации изложены на 280 страницах компьютерного текста и включают введение, обзор литературы, собственные исследования, обсуждение результатов исследований, заключение выполненного исследования, рекомендации производству, перспективы дальнейшей разработки темы, список литературы включает 584 источник, в том числе 499 – зарубежных авторов. Работа иллюстрирована 53 таблицами, 38 рисунками.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования были выполнены в период 2013-2020 гг. на базе отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук (до 2018 года Всероссийский научно-исследовательский институт мясного скотоводства). Лабораторные исследования выполнены с использованием материально-технической и методической базы Центра коллективного пользования ФНЦ БСТ РАН. Научно-хозяйственные эксперименты выполнялись в условиях ООО «Агрофирма Промышленная», КФХ «Фальк Н.Г.», учебно-опытного хозяйства «Покровский сельскохозяйственный колледж» - Филиал Оренбургского государственного аграрного университета Оренбургской области; ЗАО «Гатчинское», АО ПЗ «Первомайский» Ленинградской области; СПК ПКЗ «Вологодский» Вологодской области, ООО «Совхоз Брединский», ООО Агрофирма «Андреевская» Челябинской области и охватывали более 2 тысяч голов молочного скота (рис. 1).

При разработке методики отбора использовалась шерсть, полученная от взрослых животных чёрно-пёстрой породы. Животные (n=120) были рождены и содержались на территории одной биогеохимической провинции (Оренбургская область). Взятие образцов шерсти осуществлялось по сезонам года (зима, лето) от одних и тех же животных. Пробы отбирались с 6 мест на поверхности тела животного: 1 - затылочной части головы; 2 - верхней части холки; 3 - области подгрудка; 4 - проекции медианны двенадцатого ребра; 5 - проекции первого хвостового позвонка; 6 - кисти хвоста. Шерсть срезалась на расстоянии 0,3 см от корня ножницами из нержавеющей стали обработанными этиловым спиртом. Для исследований отбиралась проксимальная часть шерсти, скорректированная по длине (не более 3 см). Образцы шерсти разделялись на остевые шерсть, пух и переходный.

Скорость отрастания шерсти на отдельных участках тела животного определялась отдельно для разных типов волокон (ость, пух, переходный). Для достижения поставленной цели поверхность тела выбривалась на участках 5×5 см. С интервалом 10 суток производились измерения вновь отрастающей шерсти длине волокон.

Разработка способа ретроспективного способа оценки элементного статуса крупного рогатого скота выполнялись на физиологически здоровых коровах красной степной породы (n=60) разводимых в условиях учебно-опытного хозяйства «Покровский сельскохозяйственный колледж» - Филиал Оренбургского государственного аграрного университета Оренбургской области.

Отбор образцов шерсти производился с верхней части холки животных с участка кожи размером 5×5 см², в пастбищный (август) и стойловый (декабрь) периоды года. Образцы шерсти разделялись по длине на участки соответствующие изучаемому временному периоду. Проксимальное отрастание (мм) рассчитывалось с учетом скорость роста шерсти (мм/сут.) установленной в эксперименте и длительности интервала времени (сут.).

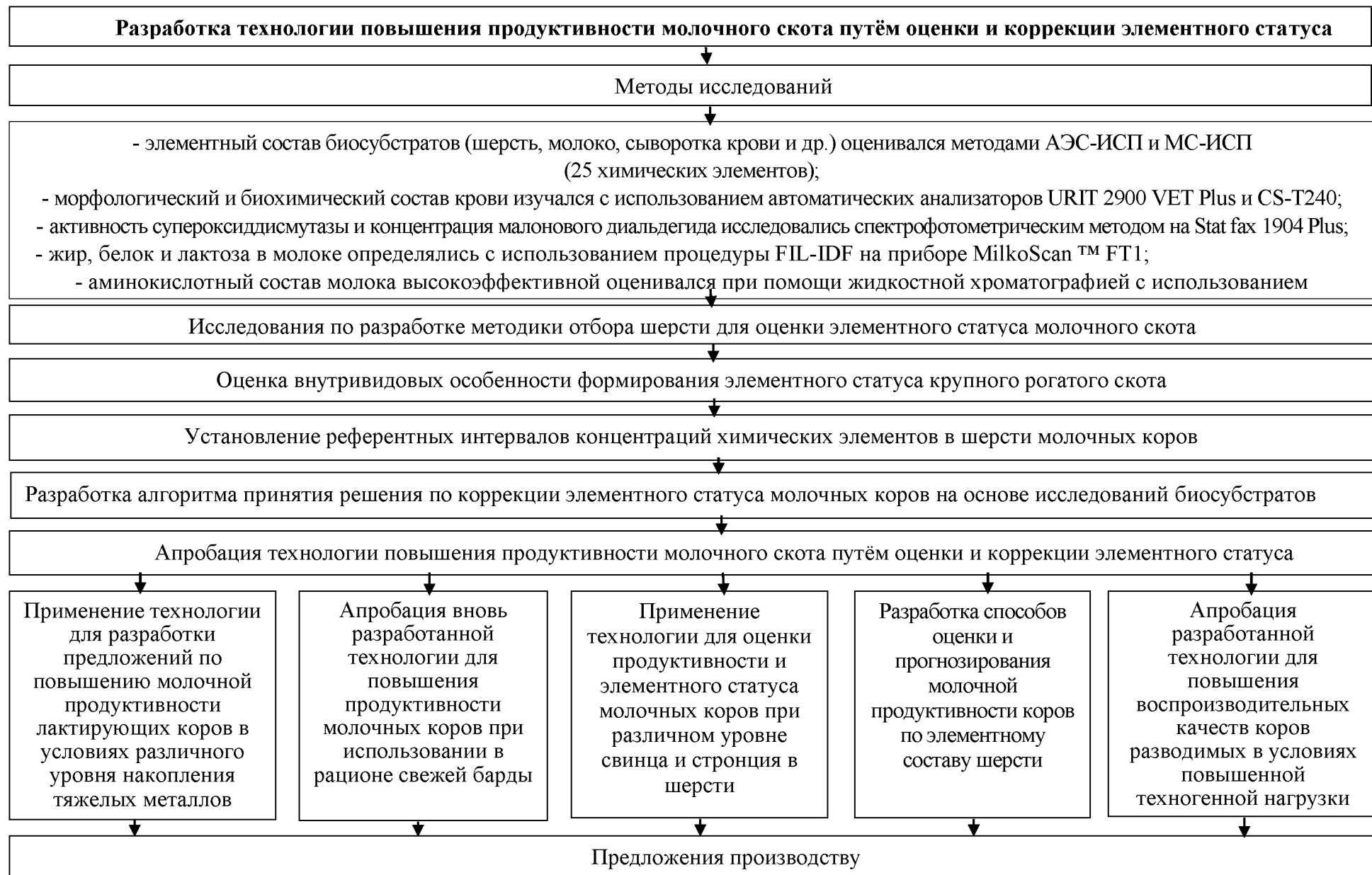


Рисунок 1. Общая схема исследований

На втором этапе были проведены исследования по установлению референтных интервалов физиологической нормы концентраций химических элементов в шерсти молочных коров. Объектом исследований являлись коровы 1-5 лактаций (n=1700) разводимые в хозяйствах расположенных на территориях Оренбургской, Ленинградской, Вологодской, Челябинской и Курганской и др. областей. Молочная продуктивность обследованных коров находилась в пределах 6000-11000 литров за лактацию.

Содержание макро- и микроэлементов в рационе обследованных коров соответствовало нормам Калашникова А.П. и др. (2003). В суточном рационе обследованных коров содержалось: Al - 261,2-977,4 мг; As - 0,296-1,84 мг; B - 71,84-125,19 мг; Ca - 94,88-145,16 г; Cd - 0,319-1,79 мг; Co - 4,32-6,59 мг; Cr - 1,42-3,65 мг; Cu - 332,53-363,92 мг; Fe - 2473-2923 мг; Hg - 0,013-0,043 мг; I - 34,43-35,72 мг; K - 285,55-237,89 г; Li - 1,99-2,04 мг; Mg - 63,5-65,57 г; Mn - 1918-2000 мг; Na - 64,6-70,6 г; Ni - 16,77-31,07 мг; P - 80,94-84,73 г; Pb - 0,64-4,46 мг; Se - 2,775-3,105 мг; Si - 871,6-1782,8 мг; Sn - 0,383-0,563 мг; Sr - 204,21-269,8 мг; V - 0,70-1,29 мг; Zn - 1729-1787 мг.

Референтные интервалы (2,5-97,5 процентиля) были рассчитаны с использованием рекомендаций ИЮПАК (Friedrichs K.R. et al., 2012). Также, в соответствии с рекомендациями Skalnaya M.G. et al. (2003) на этой же выборке животных были также рассчитаны 25 и 75 процентиля концентраций химических элементов в шерсти и молоке животных.

На третьем этапе была произведена апробация разработанной технологии оценки и коррекции элементозов.

Первое исследование по апробации технологии проведены на лактирующих коровах чёрно-пёстрой породы (n=80; m=610-640 кг; возраст 4-6 лет) принадлежащих СПК ПКЗ «Вологодский» (Вологодская область, Россия). В качестве интегрального критерия использовался коэффициент суммарной нагрузки – $K_{нагруз}$. Преимуществом данного показателя является его независимость от размерности отдельных показателей и, как следствие, возможность вычисления интегральных параметров (Нотова С.В., 2005; Барышева Е.С. и др. 2008).

Для подсчёта коэффициента нагрузки использовалась сумма коэффициентов отдельных тяжелых элементов (Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Pb, Cd, Hg):

$$K_{нагруз} = K_{Mn} + K_{Fe} + K_{Cu} + K_{Zn} + K_{As} + K_{Sr} + K_{Pb} + K_{Cd} + K_{Hg},$$

где $K_{Mn} \dots K_{Hg}$ – отношение содержания элемента в шерсти конкретной коровы к содержанию, соответствующему 50-ому процентилю.

По данным расчета $K_{нагруз}$ было сформировано две группы. I группа (n=25) включала коров чёрно-пёстрой породы с более низким коэффициентом токсической нагрузки ($K_{нагруз} = 6,9$ (6,5-7,2)) относительно исследуемой выборки; II группа (n=25) включала коров с более высоким коэффициентом токсической нагрузки ($K_{нагруз} = 15,8$ (13,5-24,6)) относительно исследуемой выборки. Тяжелые металлы были выбраны относительно атомной массы элементов – свыше 50 атомных единиц (Теплая Г.А., 2013).

Эксперимент по апробации разработанной технологии для повышения продуктивности молочных коров при использовании в рационе свежей

пшеничной барды 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 отёла) и включал два периода: подготовительный (60 суток) и учётный (120 суток). В подготовительный период все животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Особенностью кормления в учётный период, являлось, введение в состав основного рациона, подопытных животных 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, что позволило выявить отклонения по отдельным химическим элементам с последующей разработкой рецепта минерального премикса для коррекции элементного статуса животных.

В состав премикса были включены следующие 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 учётного 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.

Апробация технологии для оценки продуктивности и элементного статуса молочных коров при различном уровне свинца выполнялась на территориях двух хозяйств. Для проведения исследований из числа коров первой лактации разводимых в ЗАО «Гатчинское» Ленинградской области, было отобрано 47 клинически здоровых первотёлочек-аналогов. На 30-40 сутки после отёла произведен отбор и анализ элементного состава шерсти животных. На основании полученных данных коровы были разделены на 3 группы в зависимости от концентрации Pb в шерсти: I - до 25-го перцентиля (0,0245-0,0449 мг/кг; n=15), II - в границах 25-75-го перцентиля (0,0495-0,141 мг/кг; n=20), III - выше 75-го перцентиля (0,145-0,247 мг/кг; n=12).

Дальнейшее изучение происходило на фоне превышения установленных норм по концентрации Pb в шерсти. Для этого в условиях ООО «Агрофирма Промышленная» было дополнительно сформировано 3 группы животных. Диапазон концентраций Pb в шерсти коров IV группы (n=15) составил от 0,228 до 0,46 мг/кг, V (n=19) от 0,461 до 1,03 мг/кг, VI (n=16) группы от 1,49 до 3,0 мг/кг.

Экспериментальная часть работы по апробации технологии для оценки продуктивности и элементного статуса молочных коров при различном уровне стронция в шерсти выполнялась в 2019 году в ООО «Агрофирма Промышленная» Оренбургской области. Для достижения поставленной цели животные (n=45) были разделены на 3 группы в зависимости от концентрации Sr в шерсти: I - до 25-го перцентиля (n=12), II - в границах 25-75-го перцентиля

(n=19), III - выше 75-го перцентиля (n=14). При этом диапазон концентраций Sr в шерсти коров I группы составил от 0,716 до 1,69 мг/кг, II - от 1,82 до 3,68 мг/кг, III группы от 3,81 до 7,23 мг/кг.

Исследования по разработке способа прогнозирования молочной продуктивности коров по элементному составу шерсти выполнялась коровах чёрно-пёстрой породы (n=45) разделённых на три группы в зависимости от диапазона суммы молей Pb и Cd в пределах установленных перцентильных интервалов: I группа – менее 0,253 ммоль/г (n=15), II группа – 0,254-0,695 ммоль/г (n=15), III – группа – более 0,695 ммоль/г (n=15).

Экспериментальная часть работы выполнялась в ООО «Агрофирма Промышленная», Оренбургская область. Возраст коров 3-5 отёл. Стадия лактации – 20-40 сутки после отёла

Способ оценки молочной продуктивности коров разработан на основе экспериментальных исследований, выполненных коровах чёрно-пёстрой породы (n=38) разводимых в условиях одной биогеохимической провинции (ЗАО «Гатчинское» Ленинградская область).

На первом этапе для определения силы взаимодействий между токсичными (Al, As, Sr, Pb, Sn, Cd, Hg) и эссенциальными (Zn, Fe, Cu, Mn, I, Se, Cr, Co) элементами были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена для опытных животных.

На втором этапе в соответствии с физиологическими нормами концентраций химических элементов в шерсти, установленными в ранее проведённых исследованиях, были рассчитаны значения коэффициента нагрузки (K) соответствующего, в нашем исследовании, уровню предельной напряженности механизмов детоксикации в организме лактирующих коров.

Расчёты коэффициента производились по следующей формуле:

$$K = \frac{0,00068}{0,014+2,16} \times 100 = 0,031, \text{ где}$$

0,00068 – значение верхней границы нормы (75 перцентиль) количества Pb в шерсти с холки, ммоль/кг;

0,014 – значение нижней границы нормы (25 перцентиль) количества Se в шерсти с холки, ммоль/кг;

2,16 – значение нижней границы нормы (25 перцентиль) количества Zn в шерсти с холки, ммоль/кг.

Для проверки достоверности разработанного способа из числа высокопродуктивных коров чёрно-пёстрой породы в период раздоя (20-40 сутки после отёла) были отобраны 40 голов. Для всех подопытных животных были рассчитаны коэффициенты нагрузки. В дальнейшем животные были распределены на две группы в зависимости от величины коэффициента: I группа – K ниже 0,031 (n=25), II группа – K выше 0,031 (n=15).

Апробация разработанной технологии для повышения воспроизводительных качеств коров разводимых в условиях повышенной техногенной нагрузки проводилась в условиях ООО «Агрофирма Промышленная» (Оренбургская область) на коровах чёрно-пёстрой породы (n=40; возраст – 5-6 лет; живая масса 485±22,3 кг; стадия лактации – 1-10 сутки

после отёла). На первом этапе исследования, на основании анализа журналов случек и осеменения коров, с учётом данных по продолжительности межотельного периода и количеству доз затрачиваемых на плодотворное осеменение за три последних года предшествующих эксперименту были отобраны животные (n=63) с низкими, относительно средних по стаду, воспроизводительными качествами.

На втором этапе из числа коров с низкими воспроизводительными качествами отбирались особи с превышением установленных норм по содержанию свинца и кадмия в шерсти (n=40). Впоследствии, для проведения эксперимента, эти животные были разделены на две группы: контрольную (n=20) и опытную (n=20). Различие заключалось в том, что коровы опытной группы в составе рациона получали сорбент тяжёлых металлов «Бифеж» в дозе 45 г на одну голову в сутки на протяжении 60-ти суток до предполагаемой даты осеменения. 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.

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

Исследования элементного состава биосубстратов (шерсть, молоко, сыворотка крови) проводили в лаборатории АНО «Центр Биотической медицины» (аттестат аккредитации ГСЭН.RU.ЦОА 311, регистрационный номер в Государственном реестре РОСС RU.0001.513118) методами атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной аргонной плазмой на приборах Optima 2000 DV и ELAN 9000 (Perkin Elmer, США).

Анализ образцов молока проводился в ЦКП ФНЦ БСТ РАН (г. Оренбург) и лаборатории селекционного контроля качества молока ООО «НПЦ «Селекция» (г. Пушкин). 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).

Аминокислотный состав анализировали с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием катионообменного анализатора (Knauer, ФРГ) и последующей постколоночной дериватизацией нингидрином.

Образцы крови отбирались из хвостовой вены в вакуумные пробирки. 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

убыли перекиси водорода в среде инкубации. Концентрацию перекиси водорода определяли по реакции с молибдатом аммония.

Статистический анализ результатов проводился при помощи пакета статистических программ Statistica 10 Ru. Статистическое сравнение результатов проводилось с использованием критерия Манна-Уитни U и Стьюдента. Коэффициенты корреляции рассчитывались по Спирмену (Kc). Уровень значимости (P), принимался меньшим или равным 0,05.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Разработка методики отбора образцов шерсти для оценки элементного статуса крупного рогатого скота

На основании обобщения всего материала исследований проб шерсти с затылочной части головы, проекции первого хвостового позвонка, в проекции медианны 12-го ребра, в области подгрудка, холки и кисти хвоста по элементному составу (25 показателей) - по соответствию независимых выборок (состава) одной совокупности; скорости отрастания; по степень загрязненности; соотношению и элементному составу компонентов шерсти (остевые волосы, пух и др. нами было сделано заключение о целесообразности отбора проб с холки.

Формирование элементного состава шерсти на различных участках тела крупного рогатого скота математически описывается одним и тем же законом, что подтверждено нами путём пошаговой проверки. Однако пробы шерсти с различных участков поверхности тела животных имеют различный состав, отличный от среднестатистического. В этой связи шерсть с холки в наибольшей степени соответствует требованиям. Таким образом, что из 25 химических элементов по 24 показателям шерсть с холки информативна для характеристики среднестатистического уровня. Исключением стал только Ni, содержание которого в шерсти с холки было на 10,0 % ($P \leq 0,01$) меньше, чем в среднестатистической пробе.

Расхождения в элементном составе шерсти, собранной с различных мест, определяются неодинаковой скоростью роста и меняющимся составом шерсти. Наибольшая скорость роста характерна для остевых волос с холки $0,38 \pm 0,033$ мм/сут, что достоверно на 79% ($P \leq 0,001$) превосходит аналогичные показатели для подгрудка, на 29% ($P \leq 0,001$) для ости с области проекции I хвостового позвонка. Достоверно интенсивнее ($0,22 \pm 0,02$ мм/сут) растут пуховые волокна на поверхности кожи первого хвостового позвонка. Элементный состав пуховых и остевых волокон различен, в пухе животных содержалось относительно больше Co - на 49,5 % ($P \leq 0,001$), Mn - на 56,8 % ($P \leq 0,001$), Ni - на 39,0 % ($P \leq 0,01$). Это определяет большую объективность методики отбора средних проб с участка тела крупного рогатого скота почти лишённого пуховых волокон – холки.

По степени загрязненности пробы с холки и подгрудка содержали наименьшее количество примесей: $8,14 \pm 1,02$; $9,01 \pm 0,73$ % в стойловый период и $4,80 \pm 0,83$; $5,42 \pm 0,71$ % в пастбищный период по массе соответственно. Суммарное загрязнение для других четырёх мест было достоверно большим,

с максимальными значениями для кисти хвоста в 6,0 ($P \leq 0,001$) и 10,4 раз ($P \leq 0,001$) выше по отношению к загрязнению установленному для области холки в летний и зимний периоды.

Согласно разработанной методики взятия образцов шерсти крупного рогатого скота - средняя проба шерсти (4-5 г) формируется путём объединения образцов, собранных с 3-5 мест холки, скорректированных по длине, соответствующей отрастанию в оцениваемый период времени с учётом скорости роста волос - 0,38 мм/сут.

3.2. Установление референтных интервалов концентраций химических элементов в шерсти и молоке коров

Концентрация и референтные интервалы химических элементов в шерсти лактирующих коров рассчитанные в соответствии с рекомендациями IUPAC (Friedrichs K.R., 2012) представлены в таблице 1.

Таблица 1. Концентрация и референтные интервалы химических элементов в шерсти лактирующих коров, мг/кг

Элемент	Процентиль	
	2,5 (90 % CI)	97,5 (90% CI)
Al	1,41(1,28-1,69)	5,65(4,78-6,19)
As	0,022 (0,015-0,0299)	0,06 (0,04-0,07)
B	0,962 (0,662-1,61)	11,82 (10,06-15,75)
Ca	434 (324-712)	4011 (2992-4311)
Cd	0,001 (0,0008-0,0019)	0,009 (0,0063-0,0192)
Co	0,018 (0,009-0,0226)	0,097 (0,061-0,137)
Cr	0,059 (0,049-0,113)	0,409 (0,303-0,609)
Cu	6,66 (5,66-9,65)	11,16 (8,1-13,16)
Fe	47,36 (37,36-80)	1368 (1122-1568)
Hg	0,002 (0,0018-0,0028)	0,012 (0,008-0,0133)
I	4,99 (3,99-15,93)	65,93 (40,88-85,93)
K	1947 (1747-2329)	5583 (5167-5983)
Li	0,029 (0,0192-0,0429)	0,082 (0,0709-0,0923)
Mg	148 (128-323)	940 (727-1040)
Mn	1,97 (1,67-4,94)	14,94 (10,55-17,94)
Na	1450 (1250-1766)	8804 (7025-9804)
Ni	0,101 (0,65-0,251)	0,601 (0,459-0,801)
P	173 (153-289)	369 (258-469)
Pb	0,025 (0,0145-0,037)	0,247 (0,138-0,297)
Se	0,556 (0,456-0,665)	1,55 (1,45-1,65)
Si	1,46 (1,26-2,96)	15,66 (11,03-18,66)
Sn	0,007 (0,0054-0,0091)	0,345 (0,1795-0,445)
Sr	0,716 (0,516-0,96)	7,23 (5,96-9,23)
V	0,008 (0,0062-0,018)	0,039 (0,0212-0,0492)
Zn	95,02 (75,02-140)	167 (146-187)

Опираясь на рекомендации М.Г. Скальной и др., (2003) и рассматривая концентрации химических элементов в волосах в пределах от 10-го до 25-го перцентилля и от 75-го до 90-го перцентилля как состояние до проявления дисэлементозов; концентрации менее 10-го и более 90-го перцентилей как состояния связанные с клиническим проявлением синдромов и симптомов, характерных для элементозов нами рассчитаны параметры физиологической нормы (табл. 2).

Таблица 2. Концентрация и референтные интервалы химических элементов в шерсти лактирующих коров, мг/кг

Элемент	Перцентиль			m ± std	Минимум	Максимум
	10	25-75	90			
Al	1,48	2,05-4,4	5,65	3,7±2,5	0,961	11,82
As	0,026	0,028-0,04	0,046	0,034±0,009	0,022	0,061
B	1,31	3,4-10,89	12,92	8,61±4,38	0,962	17,75
Ca	543	915-2386	2712	1818±854,2	434	4011
Cd	0,002	0,003-0,005	0,007	0,004±0,002	0,001	0,009
Co	0,025	0,032-0,054	0,065	0,039 ±0,016	0,018	0,097
Cr	0,069	0,087-0,143	0,205	0,109±0,063	0,059	0,409
Cu	7,38	8,04-9,47	9,96	8,71±0,97	6,66	11,16
Fe	86,0	100-217	342	150±211,2	47,36	1368
Hg	0,002	0,002-0,006	0,008	0,004±0,003	0,002	0,012
I	8,22	10,12-19,56	22,28	13,71±9,84	4,99	65,93
K	2550	3122-4154	5329	3668±917	1947	5583
Li	0,042	0,048-0,070	0,076	0,056±0,013	0,029	0,082
Mg	208	318-664	764	519,4±208,9	148	940
Mn	2,7	3,51-6,49	8,19	4,5±2,4	1,97	14,94
Na	1586	2196-3124	4166	2796±1255	1450	8804
Ni	0,119	0,157-0,221	0,299	0,179±0,120	0,101	0,601
P	204	228-290	317	258,4±45,4	173	369
Pb	0,031	0,045-0,141	0,187	0,069±0,063	0,025	0,247
Se	0,618	0,754-1,13	1,34	0,902±0,247	0,556	1,55
Si	3,37	6,28-11,47	14,17	8,44±3,46	1,46	15,66
Sn	0,011	0,014-0,04	0,08	0,019±0,07	0,007	0,345
Sr	1,21	1,82-3,68	4,83	2,84±1,37	0,716	7,23
V	0,011	0,015-0,026	0,034	0,019±0,008	0,008	0,039
Zn	100	116-141	147	124±16,39	95,02	167

По аналогии с этими данными были рассчитаны 25-75 перцентильные интервалы содержания химических элементов в молоке коров (табл. 3).

Таблица 3. Концентрация и референтные интервалы химических элементов в молоке коров, мг/кг

Показатели	Среднее значение (m)	Процентиль	
		25	75
Al	0,091	-	0,128
As	0,0010	0,0009	0,0011
B	0,1725	0,1615	0,2050
Ca	1063	1023	1134
Cd	0,0001	-	0,0002
Co	0,0019	0,0018	0,002
Cr	0,093	0,087	0,102
Cu	0,041	0,023	0,065
Fe	4,37	4,13	4,69
Hg	0,0002	-	0,0005
I	0,0051	0,0032	0,0087
K	1641	1523	1730
Li	0,0276	0,0140	0,0578
Mg	112,0	102,5	122,5
Mn	0,0204	0,013	0,027
Na	436	406,5	468,5
Ni	0,041	0,04	0,052
P	1066	1019	1106
Pb	0,0007	-	0,0009
Se	0,027	0,021	0,028
Si	1,90	1,69	2,35
Sn	0,0002	0,0001	0,0027
Sr	0,71	0,60	0,93
V	0,0096	0,0082	0,0102
Zn	4,395	3,70	4,97

Таким образом, учитывая высокую эффективность применения референтных интервалов при диагностике и коррекции элементного статуса у людей, полученные в нашем исследовании значения физиологических норм могут быть использованы в качестве эталонных интервалов для оценки минерального состава молока и элементного статуса высокопродуктивных молочных коров.

3.3. Апробация технологии повышения продуктивности молочного скота путём оценки и коррекции элементного статуса

3.3.1. Применение технологии для разработки предложений по повышению молочной продуктивности лактирующих коров в условиях различного уровня накопления тяжелых металлов

Анализ полученных данных выявил, что элементный статус животных II группы характеризовался статистически значимо большим уровнем Cu, Fe, Mn, Pb, Al, Ni и V (табл. 4)

Таблица 4. Содержание микроэлементов в шерсти коров чёрно-пёстрой породы разделенных по величине $K_{\text{нагруз}}$, мг/кг

Элемент	I группа $K_{\text{нагруз}}=6,9$ (6,5-7,2)	II группа $K_{\text{нагруз}}=15,8$ (13,5-24,6)	P-уров.
Al	1,38 (1,16-1,74)	4,63 (2,61-6,91)	0,008**
As	0,13 (0,12-0,19)	0,15 (0,13-0,2)	0,52
B	1,61 (1,34-9,71)	8,85 (2,64-11,56)	0,100
Cd	0,00 (0,00-0,01)	0,01 (0,00-0,03)	0,054
Co	0,03 (0,02-0,05)	0,08 (0,07-0,11)	0,134
Cr	0,17 (0,12-0,23)	0,29 (0,20-0,32)	0,134
Cu	7,69 (6,35-8,14)	8,99 (8,03-10,62)	0,03
Fe	85,7 (40,05-132,0)	279,5 (235,0-498,0)	0,008
Hg	0,07 (0,05-0,16)	0,12 (0,09-0,14)	0,721
I	1,62 (1,41-1,93)	2,98 (1,54-4,49)	0,284
Li	0,32 (0,31-0,39)	0,43 (0,42-0,49)	0,074
Mn	1,47 (1,37-2,33)	4,95 (4,20-12,62)	0,003
Ni	0,13 (0,11-0,14)	0,29 (0,27-0,33)	0,03*
Pb	0,04 (0,04-0,04)	0,11 (0,07-0,35)	0,005**
Se	0,58 (0,37-0,77)	0,68 (0,54-0,84)	0,617
Si	1,96 (0,79-3,12)	3,25 (1,83-3,91)	0,134
Zn	103,0 (99,1-113,0)	137,5 (107,0-249,0)	0,086
Sn	0,01 (0,00-0,03)	0,02 (0,01-0,02)	0,353
Sr	2,96 (1,90-5,24)	7,57 (4,25-11,60)	0,054

Следует отметить, что для животных II группы также прослеживалась тенденция к более высоким показателям таких элементов, как As, Cd, Hg, Sr, Zn, B, Co, Cr, I, Li, Se, Si и Sn. Полученные данные были проанализированы с учётом изменений в содержании химических элементов в сыворотке крови (табл. 5).

При анализе элементного состава сыворотки крови существенных различий между группами выявлено не было. Этот факт позволяет нам утверждать об относительно более высокой информативности элементного состава шерсти в сравнении с сывороткой крови животных. Это связано с тем, что анализ шерсти/волос отражает изменение баланса элементов за период, предшествующий анализу 3-6 месяцев, а кровь – за значительно меньший промежуток времени. Причем элементный состав крови способен изменяться под влиянием кратковременных воздействий, связанных с текущим поступлением элементов с пищей, приёмом препаратов, стрессом и др. Поэтому специфические изменения концентраций отдельных элементов в крови зачастую не могут быть распознаны своевременно. Таким образом, интерпретация результатов анализа элементного состава шерсти/волос и крови жет существенно отличаться друг от друга.

Таблица 5. Содержание микроэлементов в сыворотке крови коров чёрно-пёстрой породы разделенных по величине $K_{нагрузка}$, мкг/мл

Элемент	I группа $K_{нагрузка} = 6,9 (6,5-7,2)$	II группа $K_{нагрузка} = 15,8 (13,5-24,6)$	P-уров.
Al	0,0213 (0,0097-0,0259)	0,0255 (0,0205-0,0303)	0,198
As	0,009 (0,0079-0,0095)	0,0091 (0,0085-0,0097)	0,567
B	0,308 (0,269-0,324)	0,312 (0,277-0,33)	0,83
Co	0,0007 (0,0003-0,0008)	0,0007 (0,0005-0,0008)	0,475
Cu	0,576 (0,4860-0,711)	0,677 (0,568-0,852)	0,224
Fe	1,52 (1,42-2,01)	1,505 (1,35-1,95)	0,886
I	0,074 (0,055-0,123)	0,094 (0,085-0,129)	0,134
Li	0,057 (0,055-0,061)	0,062 (0,056-0,064)	0,432
Mn	0,0022 (0,0016-0,0025)	0,0022 (0,0019-0,003)	0,568
Ni	0,0037 (0,0033-0,0056)	0,0057 (0,0047-0,0067)	0,353
Pb	0,0004 (0,0004-0,0005)	0,0005 (0,0005-0,0010)	0,153
Se	0,06 (0,04-0,067)	0,057 (0,049-0,064)	0,83
Si	0,176 (0,169-0,199)	0,195 (0,156-0,217)	0,52
Sn	0,0011 (0,001-0,0012)	0,0012 (0,0011-0,0012)	0,617
Sr	0,102 (0,0766-0,115)	0,1017 (0,0884-0,12)	0,617
V	0,0028 (0,0023-0,0028)	0,0028 (0,0025-0,0031)	0,432
Zn	0,831 (0,664-0,961)	0,876 (0,634-1,07)	0,72

С увеличением значений $K_{нагрузка}$ во II группе мы отмечали снижение молочной продуктивности коров, по величине удоя на 21,8% ($P \leq 0,05$); по выходу молочного жира на 16,4% ($P \leq 0,05$). Помимо этого, прослеживалась тенденция к снижению выхода белка и его процентного содержания (табл. 6).

Таблица 6. Показатели количества и качества молока в зависимости суммарного коэффициента нагрузки

Молочная продуктивность	I группа $K_{нагрузка} = 6,9 (6,5-7,2)$	II группа $K_{нагрузка} = 15,8 (13,5-24,6)$
Среднесуточный удой, кг	43,20 (37,40-45,03)	35,47 (32,23-37,5)*
Жир, %	3,52 (3,47-3,77)	3,63 (3,45-3,63)
Белок, %	3,34 (3,28-3,42)	3,33 (3,29-3,39)
Выход жира, кг/сут	1,50 (1,40-1,59)	1,29 (1,10-1,38)*
Выход белка, кг/сут	1,40 (1,24-1,54)	1,19 (1,08-1,29)

3.3.2. Апробация разработанной технологии для повышения продуктивности молочных коров при использовании в рационе свежей барды

Первичный анализ элементного состава шерсти с холки коров спустя 60 суток после включения в рацион свежей барды выявил пониженные, относительно физиологической нормы, концентрации кальция, цинка, марганца, селена, избыток был установлен для фосфора и токсических - свинца и стронция (рис. 2).

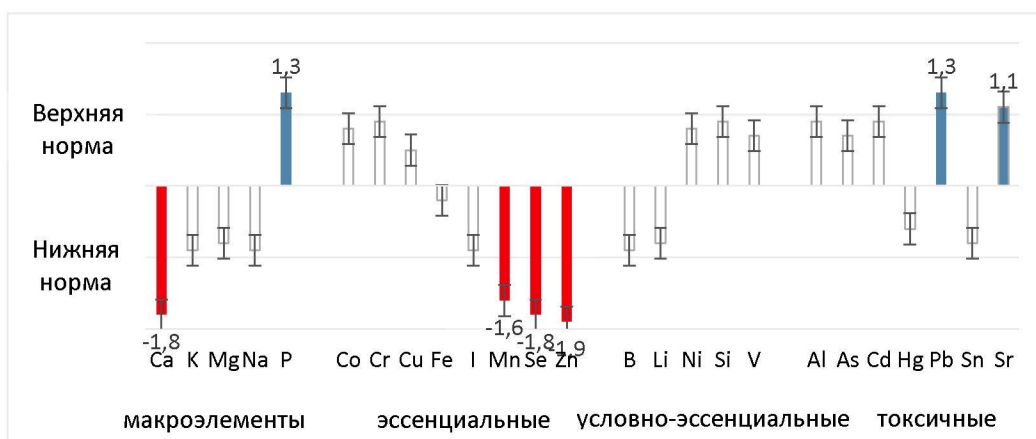


Рисунок 2. Кратность отклонений концентраций химических элементов в шерсти коров симментальской породы от значений физиологической нормы после 60 суток скармливания пшеничной барды.

Выявленное в нашем эксперименте превышение установленных норм по фосфору, могло быть следствием значительного содержания фосфора в потребляемых рационах около 181,4-183,9 г/гол в сутки, при норме 53-146 г/сутки. Увеличение обменного пула фосфора в организме животных оцененное по составу шерсти, может объяснять причину дисэлементоза по кальцию. 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 является влияние периода лактации (30-55 сутки после отёла). Период раздоя коров сопряжён с повышенной мобилизацией этого элемента из депо в костях (Maldonado-Vega M. et al., 1996).

Анализ полученных данных с учётом методологии разработанной нами технологии позволил предложить рецепт минерального премикса для коррекции элементного статуса животных – увеличение уровней потребления недостающих и элиминации избыточных концентраций элементов.

Результаты эксперимента свидетельствуют, что четырёхмесячный курс коррекции минеральным премиксом привёл к «нормализации» показателей элементного статуса животных опытной группы по всем корректируемым элементам (Ca, Zn, Mn, Se), а так же свинцу и стронцию. Исключение составил только фосфор, концентрация которого в шерсти превышала значения верхней границы нормы в 1,7 раза (рис. 3).

В целом средние значения концентраций элементов в шерсти достоверно повысились по отношению к началу эксперимента для кальция ($P \leq 0,001$), калия ($P \leq 0,05$), цинка ($P \leq 0,001$), марганца ($P \leq 0,001$), селена ($P \leq 0,001$), йода ($P \leq 0,05$), фосфора ($P \leq 0,05$) и понизились для стронция ($P \leq 0,05$) и свинца ($P \leq 0,05$).

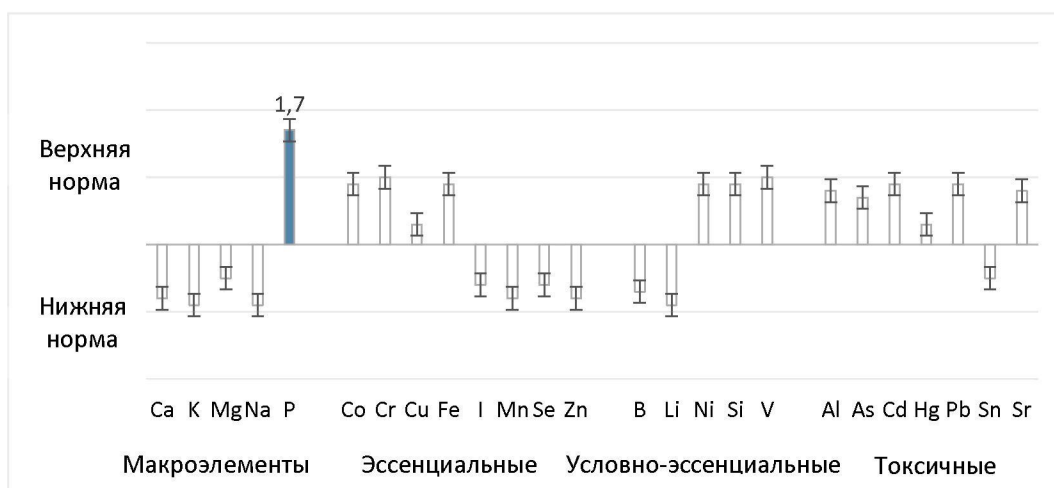


Рисунок 3. Кратность отклонений концентраций химических элементов в шерсти коров опытной группы от значений физиологической нормы после 4-месячного курса коррекции.

Оценка элементного статуса коров контрольной группы после четырёх месяцев эксперимента и последующая интерпретация полученных данных к границам физиологических норм позволила установить, что скармливание свежей пшеничной барды, привело не только к усугублению выявленных ранее элементозов по кальцию, цинку, марганцу и селену, но и сопровождалось развитием дисэлементоза по йоду (рис. 4). Концентрация последнего к концу эксперимента фиксировалась на уровне ниже границы 25 перцентиля нормы в 1,1 раза.

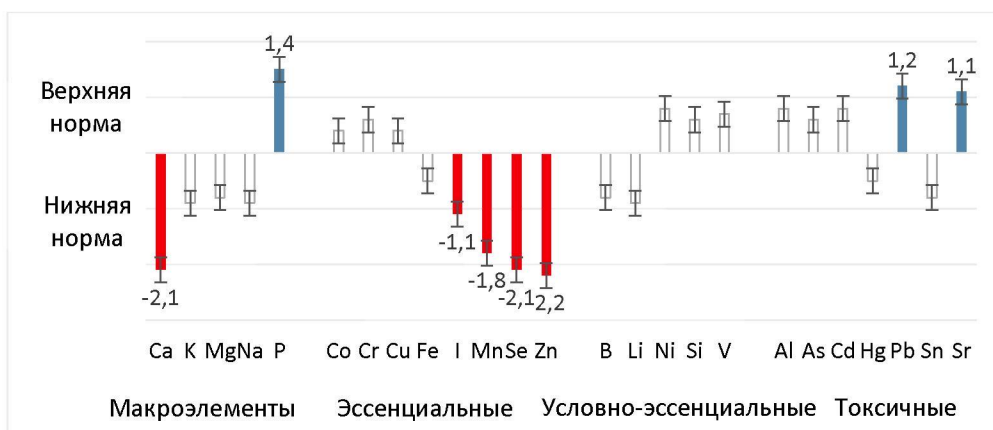


Рисунок 4. Кратность отклонений концентраций химических элементов в шерсти с холки коров контрольной группы от значений физиологической нормы в конце эксперимента

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 20,0 %; $P \leq 0,05$), 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 % ($P \leq 0,05$).

Результаты биохимического исследования сыворотки крови показали, что в группе коров получающих корректирующую добавку содержание общего белка и альбуминов увеличилось на 8,8 % ($P \leq 0,05$) и 10,4 % ($P \leq 0,05$) соответственно по отношению к началу эксперимента.

К концу эксперимента в сыворотке крови коров опытной группы произошло снижение общего билирубина на 16,8 % ($p \leq 0,05$). Если рассматривать соотношение прямого и непрямого билирубина, то к концу эксперимента у коров опытной группы оно составило 1:5, а в контроле 1:7, что указывает на оптимизацию процесса детоксикации организма коров опытной группы при нормализации элементного статуса.

После окончания курса коррекции коровы опытной группы превосходили контрольных аналогов по концентрациям эритроцитов и гемоглобина на 16,2 % ($P \leq 0,05$) и 19,7 % ($P \leq 0,05$) соответственно. Возможной причиной выявленной закономерности, является восполнение дефицита цинка через дополнительное введение в составе корректирующей добавки. Цинк считается важным фактором для эритропоэза в дополнение к железу, витамину B₁₂ (Hayden S.J. et al., 2012), что позволяет рекомендовать добавки этого элемента в сочетании с железом для восстановления уровня гемоглобина (Alarcon K. et al., 2004).

В эксперименте установлен факт увеличения продуктивности коров (табл. 7).

Таблица 7. Молочная продуктивность коров симментальской породы содержащихся на рационах с добавлением пшеничной барды за 305 суток лактации

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Удой 1 % по жиру молока, кг	16026±1470	17190±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	146,9,1±15,88
Содержание СОМО в молоке, %	8,66±0,329	8,43±0,352
Выход СОМО, кг	376,1±20,14	376,4±23,63

Разность достоверна при: * – $p \leq 0,05$

При анализе полученных результатов было установлено, что животные опытной группы превосходили сверстниц из контрольной группы по среднему удою 1 % молока и выходу молочного жира на 7,2 % ($P \leq 0,05$).

Возможной причиной повышения молочной продуктивности коров опытной группы при «нормализации» уровней недостающих элементов, можно рассматривать физиологическую функцию цинка, марганца и селена (Michalska-Mosiej M. et al., 2016) в процессе построения и функционирования ведущих антиоксидантных соединений. Подтверждением этого является повышение активности первичного фермента антиоксидантной защиты –

супероксиддисмутазы в крови коров опытной группы в конце эксперимента по отношению к началу на 6,6 % ($P \leq 0,05$), которое фиксировалось на фоне снижения уровня малонового диальдегида на 21,24 % ($P \leq 0,05$).

После окончания курса коррекции, в молоке коров опытной группы содержалось больше лизина и тирозина на 42,5 % ($P \leq 0,01$) и 19,8 % ($P \leq 0,05$).

Полученные данные по аминокислотному скору молока свидетельствуют, что для коров как контрольной, так и опытной групп лимитирующей аминокислотой оказался лизин, аминокислотный скор которого составил 71,8 и 62,0 % соответственно. Следует отметить, что к концу эксперимента скор лимитирующей аминокислоты – лизина увеличился у животных опытной группы на 26,4 %, на фоне снижения данного показателя у животных из контрольной группы на 12,2 %.

Результаты наших исследований показали, что скармливание корректирующей добавки лактирующим коровам содержащихся на рационах с добавлением пшеничной барды позволило повысить эффективность производства молока (табл. 8).

Таблица 8. Экономическая эффективность коррекции элементного статуса коров симментальской породы при содержании на рационах с включением пшеничной барды (в ценах 2018 г)

Показатели	Группа	
	контрольная	опытная
Удой за лактацию в пересчете на базисную жирность (3,4 %), кг	4713±251,1	5056±274,3**
Содержание жира в молоке, %	3,69±0,275	3,85±0,318
Количество жира в молоке, кг	160,3±15,9	171,9±14,7*
Производственные затраты, руб.	56428	57688
Себестоимость 1 ц. молока, руб.	1197	1141
Выручка от реализации, руб.	75408	80880
Прибыль, руб.	18980	23192
Уровень рентабельности, %	33,6	40,2

Разность достоверна при: * – $P \leq 0,05$

При оценке экономической эффективности производства молока было установлено, что прибыль полученная от реализации молока коров опытной группы была выше, чем от коров контрольной на 22,2 %, при этом уровень рентабельности производства молока у них был выше на 6,6 %.

3.3.3. Применение технологии для оценки продуктивности и элементного статуса молочных коров при различном уровне свинца в шерсти

Как показали исследования в шерсти животных I группы содержалось $0,036 \pm 0,007$ мг/кг Pb, что в 2,2 ($P \leq 0,001$) и в 5,3 раза ($P \leq 0,001$) меньше в сравнении со II и III группой. При этом диапазон концентраций Pb в шерсти коров I группы составил от 0,0245 до 0,0449 мг/кг, II от 0,0495 до 0,141 мг/кг, III группы от 0,145 до 0,247 мг/кг. Элементный состав шерсти сравниваемых групп, различался по содержанию ряда химических элементов (табл. 9).

Таблица 9. Содержание химических элементов в шерсти коров чёрно-пёстрой породы в зависимости от концентрации Pb, мг/кг ($M \pm STD$)

Элемент	Группа			Физиологическая норма	
	I	II	III	Интервал №1 ^a	Интервал №2 ^b
Al	2,47±1,38	3,61±2,16	5,3±3,42*	2,05-4,4	1,41-5,65
As	0,037±0,01	0,034±0,009	0,034±0,005	0,028-0,04	0,022-0,06
B	9,14±4,11	7,13±4,46	6,94±4,56	3,4-10,89	0,962-11,82
Ca	1999±596,4	1733±838,9	1805±1155	915-2386	434-4011
Cd	0,004±0,002	0,004±0,002	0,004±0,001	0,003-0,005	0,001-0,009
Co	0,033±0,014	0,04±0,009	0,063±0,018***	0,032-0,054	0,018-0,097
Cr	0,087±0,024	0,12±0,04*	0,180±0,096**	0,087-0,143	0,059-0,409
Cu	8,48±0,708	8,63±1,1	9,17±0,898	8,04-9,47	6,66-11,16
Fe	116,4±45,09	158,8±70	382,7±83,9*	100-217	47,36-1368
Hg	0,005±0,003	0,005±0,003	0,004±0,002	0,002-0,006	0,002-0,012
I	11,0±5,17	15,63±5,27*	20,86±17,49	10,12-19,56	4,99-65,93
K	3400±571,7	3655±1010	3995±995,6	3122-4154	1947-5583
Li	0,056±0,015	0,06±0,013	0,055±0,012	0,048-0,070	0,029-0,082
Mg	537,2±150,5	501,3±197,9	540±295,2	318-664	148-940
Mn	3,86±1,77	5,05±1,42	6,95±3,63*	3,51-6,49	1,97-14,94
Na	2252±545,8	2719±844,2	3573±2095	2196-3124	1450-8804
Ni	0,174±0,04	0,201±0,106	0,273±0,183	0,157-0,221	0,101-0,601
P	262,8±45,95	252,6±48	266,3±41,91	228-290	173-369
Se	1,06±0,25	0,883±0,256	0,977±0,192	0,754-1,13	0,556-1,55
Si	9,64±2,96	9,83±3,28	5,67±2,65**	6,28-11,47	1,46-15,66
Sn	0,062±0,089	0,039±0,074	0,025±0,015	0,014-0,04	0,007-0,345
Sr	2,87±0,89	2,68±1,03	3,47±2,24	1,82-3,68	0,716-7,23
V	0,016±0,006	0,021±0,008	0,026±0,01*	0,015-0,026	0,008-0,039
Zn	132±21,21	125,4±14,56	126,3±15,14	116-141	95,02-167

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$; *** $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

^a – интервалы физиологической нормы, рассчитанные в соответствии с рекомендациями Скальной М.Г. (2003); ^b – интервалы физиологической нормы, рассчитанные в соответствии с рекомендациями IUPAC (Friedrichs K.R., 2012).

Так, в шерсти коров I группы отмечена пониженная концентрация целого ряда химических элементов: Co на 90,9% ($P \leq 0,001$) относительно III группы; Cr на 37,9% ($P \leq 0,05$) относительно II и в 2,1 раза ($P \leq 0,01$) относительно III группы; Fe и Mn на 3,3 раза ($P \leq 0,05$) и 1,8 раза ($P \leq 0,05$) в сравнении с III; I на 41,8% ($P \leq 0,05$) относительно II; V на 62,5% ($P \leq 0,05$) относительно III группы. Исключением являлся только Si, концентрация которого в шерсти животных I группы превысила уровень III на 41,2% ($P \leq 0,01$).

При этом, самый высокий выход молочного жира, белка и сухого вещества отмечался в группе коров с содержанием Pb в шерсти ниже 25 перцентилля. По мере увеличения содержания Pb от минимального к максимальному в перцентильных интервалах 25-75 и больше 75 перцентилля происходило снижение

жира на 18,8 ($P \leq 0,05$) и 25,3 % ($P \leq 0,05$); белка на 9,7 ($P \leq 0,05$) и 10,7 % ($P \leq 0,05$); сухого вещества на 8,0 и 13,0 % ($P \leq 0,05$). Среднесуточный надой молока, скорректированный по 1 % жиру при этом понижался на 19,2 ($P \leq 0,05$) и 25,3 % ($P \leq 0,05$), (табл. 10).

Таблица 10. Показатели количества и качества молока в зависимости от процентильного интервала концентрации Pb в шерсти с холки коров чёрно-пёстрой породы, $M \pm STD$

Показатель	Группа		
	I	II	III
Выход жира, кг/сут	1,83±0,347	1,54±0,318*	1,46±0,208*
Выход белка, кг/сут	1,24±0,129	1,13±0,106*	1,12±0,07*
Выход лактозы, кг/сут	2,15±0,247	2,13±0,206	2,02±0,168
Выход сухого вещества, кг/сут	5,48±0,651	5,07±0,565	4,85±0,324*
Выход СОМО кг/сут	3,67±0,392	3,54±0,319	3,4±0,216
Средний дневной надой 1% молока, л/сут	183,1±34,74	153,6±31,8*	146,1±20,81*
Средний дневной надой, л/сут	43,8±5,19	40,65±4,23	38,08±3,4

Примечание: * $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$, *** $P \leq 0,001$ по сравнению с I группой

Расчёт коэффициентов ранговой корреляции Спирмена подтвердил отрицательную статистически значимую ($P \leq 0,05$) степень влияния уровня обменного пула Pb в организме на выход жира ($r = -0,50$), белка ($r = -0,37$), сухого вещества ($r = -0,48^*$) и скорректированного по 1 % жиру молока ($r = -0,50$) у обследуемых коров.

Оценка корреляций уровня токсических элементов в шерсти с содержанием эссенциальных микроэлементов выявила факт нарастания числа достоверных связей между элементами по мере роста концентрации свинца. Так, наибольшее число корреляционных связей – 15 зафиксировано нами в группе с максимальным уровнем свинца в шерсти. Ранее было доказано, что увеличение уровня свинца в организме сопряжено с изменением метаболизма других элементов, в частности железа (Wang Y. et al., 2011) селена (Alonso M.L. et al., 2004), кобальта и меди (Patra R.C. et al., 2001), марганца и цинка (Patra R.C. et al., 2008; Alonso M.L. et al., 2002), что в целом может сопровождаться нарушением элементного гомеостаза и развитием элементозов (Raikwar M.K., 2008).

В качестве возможного объяснения причины снижения молочной продуктивности коров с повышенным обменным пулом свинца, можно рассматривать негативное воздействие этого элемента на жизненно важные физиологические функции животных (Flora S.J., 2011), в том числе через инициацию окислительного стресса (Kapusta A. et al., 2018). Подтверждением данного предположения, является повышение уровня малонового диальдегида, как одного из надежных и широко применяемых индикаторов окислительного стресса (Halliwell B., Gutteridge J., 2007). Так, в нашем исследовании установлено, что по мере увеличения «обменного пула» свинца в организме коров

(концентрация свинца в шерсти) от самого низкого (I группа) до среднего (II группа) и высокого (III группа) происходило повышение уровня малонового диальдегида в сыворотке крови на 12,8 ($P \leq 0,05$) и 20,7 % ($P \leq 0,05$) соответственно.

Развитие окислительного стресса и накопление активных форм кислорода (Sordillo L.M., Aitken S.L., 2009) приводят к истощению антиоксидантной защиты (Karusta A. et al., 2018). Антиоксидантные реакции организма коров к окислительному стрессу требуют энергии, которая может быть использована для производства молока. Как следствие увеличение показателя ПОЛ, свидетельствующего о состоянии окислительного стресса, приводит к неблагоприятным изменениям товарных характеристик и питательной ценности молока. В частности, установлено существенное влияние концентрации малонового диальдегида на синтез молочного жира (Momcilović B., 1979).

Следует отметить, что при выполнении исследований животные сравниваемых групп на протяжении всего периода выращивания находились в одинаковых условиях кормления и содержания. Однако в шерсти животных II и III групп содержалась повышенная относительно коров I группы концентрация свинца.

Существует, по крайней мере, два объяснения этого явления. С одной стороны это связано с тем, что в период лактации у коров, наблюдается повышенное, до двух раз и более, усвоение свинца из потребляемых кормов и воды (Rabinowitz M., 1990). Главным же источником поступления свинца в организме млекопитающих в период лактации и беременности является депо этого элемента в скелете (Maldonado-Vega M et al., 1996). В некоторых случаях вовлечение свинца в обменные процессы из костей при беременности и лактации бывает настолько значительным, что может вызывать интоксикацию матери, что доказано в исследованиях проведённых на людях (Bellinger D. et al., 1987). На начальном этапе исследований у отдельных молочных коров в период раздоя (25-50 сутки после отёла) нами отмечалось превышение установленных физиологических норм по содержанию в шерсти свинца на величину до 30 раз.

Можно предположить, что выявленная в нашем эксперименте адаптационная реакция является общей для всех молочных коров с высокой продуктивностью. Однако результатом проявления этой реакции у отдельных животных может быть связано с падением продуктивности и снижением воспроизводительной способности у взрослых коров и проблемами со здоровьем у молодых особей (Robbins A.H. et al., 1991).

Вместе с тем следует признать тот факт, что на молочную продуктивность коров влияет большое число различных факторов. При этом свинец, как фактор внешней среды, не относится к числу наиболее существенных. Как показали результаты эксперимента, подобные различия в показателях молочной продуктивности коров были бы обнаружены при сравнительном анализе групп с различной концентрацией алюминия в шерсти. Поэтому в данном случае скорее уместно вести речь об общих нарушениях в метаболизме минеральных веществ у коров II и III групп, обусловленных относительно слабой эффективностью работы системы детоксикации и выведения из организма свинца и токсических

элементов у отдельных коров. Косвенно это подтверждается повышенным удельным содержанием токсичных элементов в шерсти животных III группы до 0,201 ммоль/кг, что достоверно выше аналогичного параметра в группе с наименьшим содержанием свинца в шерсти (табл. 11).

Таблица 11. Количество химических элементов в шерсти коров, ммоль/кг, (M±STD)

Элементы	Группа		
	I	II	III
Макроэлементы (Ca, K, Mg, Na, P)	265,3±43,59	283,7±77,2	333,4±140,8
Эссенциальные микроэлементы (Co, Cr, Cu, I, Fe, Mn, Se, Zn)	4,41±0,968	5,13±1,26	9,24±2,7*
Токсичные микроэлементы (Al, As, Cd, Hg, Pb, Sn, Sr)	0,126±0,05	0,152±0,05	0,201±0,068*

Примечание: * – $P \leq 0,05$ по сравнению с I группой

Помимо этого, о недостаточной работе системы детоксикации у молочных коров в наших исследованиях свидетельствует наличие отрицательной корреляции между уровнем свинца в шерсти коров III группы с содержанием свинца в кале ($r = -0,946$). При этом содержание свинца в молоке коров этой группы оказалась ниже уровня I группы на 45,5 % ($P \leq 0,05$), II группы на 63,6 % ($P \leq 0,05$). Таким образом, можно предположить, что повышенный пул свинца у некоторых животных внутри одной популяции является следствием низкого выделения этого металла из организма.

Анализ полученных данных позволил нам говорить о феномене «нагруженный метаболизм», который характеризуется превышением обменных пулов токсичных элементов в организме. Животные с «нагруженным метаболизмом» отличаются относительно низкой продуктивностью и значительными размерами обменных пулов токсичных элементов.

В числе физиологических причин феномена «нагруженного метаболизма» можно выделить недостаточно эффективную «работу» металлотеонеина (Wong D.L., et al., 2017), белка участвующих в детоксикации тяжелых металлов (Petering D.H. et al., 2009). Ранее S. Roggeman et al. уже указывали на различия в работе системы детоксикации и выведения токсических элементов у коров различной продуктивности (Roggeman S. et al., 2014).

Наиболее показательными в этой связи являются элементные профили коров с минимальной и максимальной продуктивностью за эксперимент (рис. 5,6). Для животного с минимальной продуктивностью характерно превышение физиологических норм по пяти токсическим элементам (мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, олово). Тогда как в элементном профиле самой высокопродуктивной коровы в наших исследованиях, напротив, только по мышьяку установлена верхняя граница нормы.

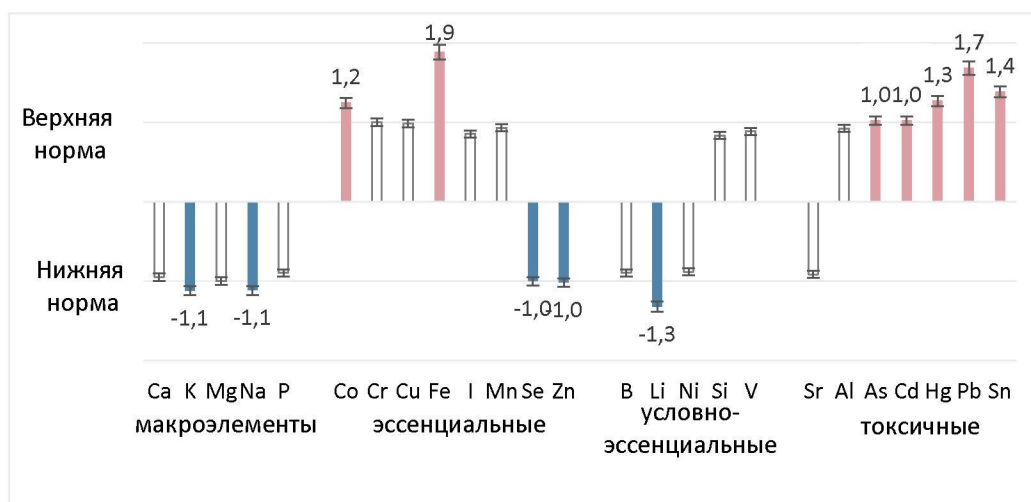


Рисунок 5. Кратность отклонений содержания химических элементов от физиологической нормы, в шерсти коровы чёрно-пёстрой породы с минимальной по стаду молочной продуктивностью в период раздоя (молочная продуктивность скорректированная по содержанию 1 % жира – 108,9 л/сут).

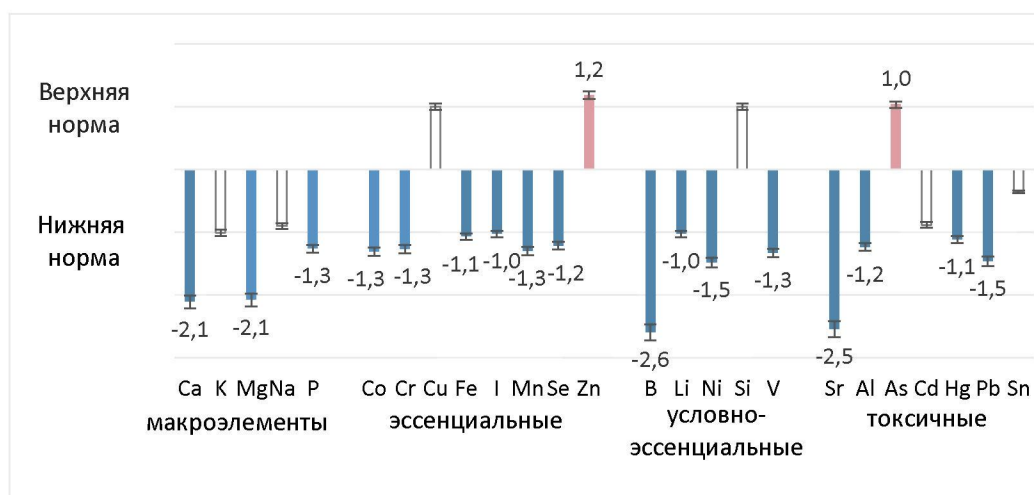


Рисунок 6. Кратность отклонений содержания химических элементов от физиологической нормы, в шерсти коровы чёрно-пёстрой породы с максимальной по стаду молочной продуктивностью в период раздоя (молочная продуктивность скорректирована по содержанию 1 % жира – 246 л/сут).

Анализ элементного статуса молочного скота различных регионов РФ показывает, что только в Вологодской области около 8% молочных коров характеризуется повышенным содержанием токсичных элементов в шерсти выше 75 перцентиля. Полученные данные указывают на снижение продуктивности молочных коров на 5 до 17 % с повышенным содержанием токсических металлов в шерсти на уровнях до клинического проявления токсического действия. Проведенные нами исследования позволили установить, что это сопряжено со значительными финансовыми потерями ввиду не допущенной продукции на сумму около 170 млн. рублей в год только в Вологодской области.

3.4.4. Применение технологии для оценки продуктивности и элементного статуса молочных коров при различном уровне стронция в шерсти

Интерпретация данных элементного состава шерсти коров с различным уровнем стронция в шерсти по отношению к границам установленной физиологической нормы позволила установить, что увеличение «обменного пула» стронция, выше 75 перцентиля, сопровождалось превышением физиологической нормы по содержанию в шерсти олова, кальция, калия, магния, натрия, селена, хрома, железа, никеля и бора, при этом уровень меди и цинка, снизился менее 25 перцентиля.

Фактические различия между группами молочных коров по концентрации химических элементов в шерсти в зависимости от перцентильного интервала концентрации Sr представлены в таблице 12.

Таблица 12. Содержание химических элементов в шерсти коров чёрно-пёстрой породы в зависимости от перцентильного интервала концентрации Sr, (мг/кг)

Элемент	Группа			Физиологическая норма	
	I	II	III	Интервал 1 ^а	Интервал 2 ^б
Al	4,17±2,89	3,47±1,98	3,79±3,35	2,05-4,4	1,41-5,65
As	0,040±0,008	0,036±0,008	0,028±0,004***	0,028-0,04	0,022-0,06
B	1,73±0,773	8,31±2,98***	11,83±2,83***	3,4-10,89	0,962-11,82
Ca	643,9±174,0	1974±541,5***	2629±589,4***	915-2386	434-4011
Cd	0,003±0,001	0,004±0,002**	0,004±0,002**	0,003-0,005	0,001-0,009
Co	0,041±0,012	0,041±0,012	0,053±0,026	0,032-0,054	0,018-0,097
Cr	0,121±0,040	0,113±0,041	0,159±0,108	0,087-0,143	0,059-0,409
Cu	9,61±0,779	8,56±0,857**	7,18±0,908**	8,04-9,47	6,66-11,16
Fe	165,0±72,90	155,4±75,46	337,3±405,5	100-217	47,36-1368
Hg	0,005±0,003	0,005±0,003	0,004±0,002	0,002-0,006	0,002-0,012
I	12,58±4,03	14,59±5,99	21,20±17,48	10,12-19,56	4,99-65,93
K	2913,2±656,9	3695±794,7*	4360±895,4**	3122-4154	1947-5583
Li	0,059±0,012	0,056±0,013	0,062±0,015	0,048-0,070	0,029-0,082
Mg	221,2±53,0	561,7±117,3***	718,9±143,9***	318-664	148-940
Mn	3,94±0,860	4,99±1,66	6,87±3,81*	3,51-6,49	1,97-14,94
Na	2520,7±945,8	2571,8±727,5	3596,2±2079,6	2196-3124	1450-8804
Ni	0,140±0,031	0,203±0,097	0,301±0,169*	0,157-0,221	0,101-0,601
P	212,0±25,41	266,9±39,47***	285,0±42,83***	228-290	173-369
Pb	0,111±0,060	0,073±0,051	0,126±0,080	0,045-0,141	0,025-0,247
Se	0,710±0,127	0,965±0,220**	1,15±0,202***	0,754-1,13	0,556-1,55
Si	8,90±3,87	9,39±3,24	7,42±3,56	6,28-11,47	1,46-15,66
Sn	0,057±0,108	0,031±0,024	0,051±0,096	0,014-0,04	0,007-0,345
Sr	1,32±0,322	2,80±0,521***	4,76±1,19***	1,82-3,68	0,716-7,23
V	0,020±0,008	0,019±0,007	0,024±0,011	0,015-0,026	0,008-0,039
Zn	142,1±11,81	126,3±14,20**	112,0±14,60***	116-141	95,02-167

* P≤0,05; ** P≤0,01, *** P≤0,001 по сравнению с I группой; ^а — интервалы физиологических норм рассчитанные в соответствии с рекомендациями Скальной М.Г. (2003); ^б — интервалы физиологической нормы рассчитанные в соответствии с рекомендациями IUPAC

В шерсти животных I группы содержалось 1,32 мг/кг Sr, что в 2,1 ($P \leq 0,001$) и в 3,5 раза ($P \leq 0,001$) меньше по сравнению со II и III группами. При этом диапазон концентраций Sr в шерсти коров I группы составил от 0,716 до 1,69 мг/кг, II - от 1,82 до 3,68 мг/кг, III группы от 3,81 до 7,23 мг/кг.

При сравнении концентраций химических элементов в шерсти обследованных групп было установлено, что увеличение содержания Sr, сопровождалось достоверным изменением уровней Ca, K, Mg, P, Se, Mn, Cd, Ni, В. При этом, по мере увеличения содержания Sr от минимального к максимальному в процентильных интервалах происходило, снижение концентрации Cu на 10,9-25,3 %; Zn – на 11,1-21,2 % и As – на 10,0-30,0 %.

Анализ полученных данных показал, что общей закономерностью для всех изучаемых групп являлось синхронное с уровнем Sr смещение элементного профиля. Так, если для коров с минимальными уровнями Sr шерсти были характерны пониженные концентрации по 8 изучаемым элементам, то у коров с максимальными уровнями, только по 2. При этом у коров с уровнем Sr в пределах 25-75 процентилей отклонений от нормы не наблюдалось.

Коровы с содержанием Sr в шерсти ниже 25 процентиля превосходили аналогов II и III групп по суточной продуктивности рассчитанной по надюю 1 %-молока на 32,8 ($P \leq 0,05$) и 32,3 % ($P \leq 0,01$) соответственно (табл. 13).

Таблица 13. Показатели количества и качества молока в зависимости от процентильного интервала концентрации Sr в шерсти с холки коров чёрно-пёстрой породы

Показатель	Группа		
	I	II	III
Выход жира, кг/сут	0,855±0,065	0,644±0,2*	0,646±0,113**
Выход белка, кг/сут	0,875±0,141	0,839±0,212	1,05±0,224
Выход СОМО кг/сут	2,32±0,318	2,18±0,536	2,63±0,532
Средний дневной надой 1% молока, л/сут	85,5±6,51	64,4±19,97*	64,6±11,29**
Средний дневной надой, л/сут	25,8±3,16	24,1±5,87	28,3±5,62

* $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ по сравнению с I группой

Одной из причин относительно низкой продуктивности коров с повышенным содержанием стронция в шерсти, является отрицательное воздействие токсичных элементов на организм животных через развитие окислительного стресса (Patra R.C., 2008). В рамках нашего эксперимента подтверждением развития окислительного стресса является повышение уровня малонового диальдегида в сыворотке крови, у коров II и III групп в 2,2 и 2,6 раз ($P \leq 0,05$) соответственно по отношению к особям I группы.

3.4.5. Влияние продолжительности продуктивного использования на элементный статус коров чёрно-пёстрой породы

В результате исследований установлено, что молодые коровы первой лактации отличались минимальными концентрациями в шерсти As, Hg, Cd, Sr.

С возрастом нами фиксировалось повышение уровня цинка в шерсти коров IV лактации ($P \leq 0,01$) по отношению I группе на фоне выраженного снижения концентрации меди ($P \leq 0,05$).

При этом оценка элементного статуса коров по отношению к границам физиологической нормы выявила нарастание числа отклонений от нормы по мере увеличения возраста продуктивного использования (рис.7-10). Так, если для коров I лактации были характерны отклонения от нормы только по двум элементам (Fe, Sn), то для коров IV лактации уже по 11 (Ca, Cu, I, B, Li, Ni, As, Cd, Hg, Sn).

Как следует из данных анализа элементного состава шерсти коров разного возраста, характерной особенностью при старении животных является накопление мышьяка, ртути, стронция и кадмия. В рамках нашего эксперимента повышение токсичных микроэлементов у коров с возрастом могло возникнуть вследствие внешнего воздействия и накопления металлов в организме животных. В пользу данной гипотезы говорят исследования демонстрирующие возрастную зависимость по содержанию тяжёлых металлов в волосах жителей крупных городов (Skalnaya M. G. et al., 2016).

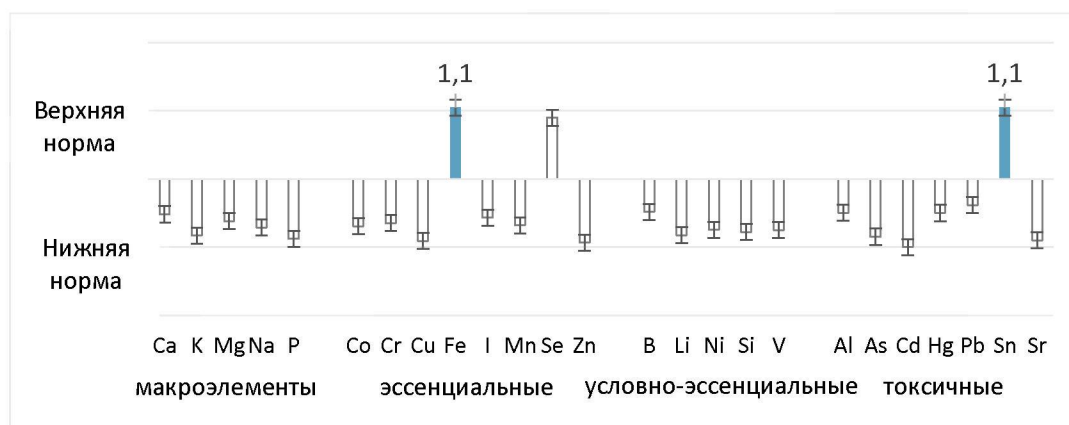


Рисунок 7. Кратность отклонений элементного состава шерсти коров чёрно-пёстрой породы I лактации от физиологической нормы

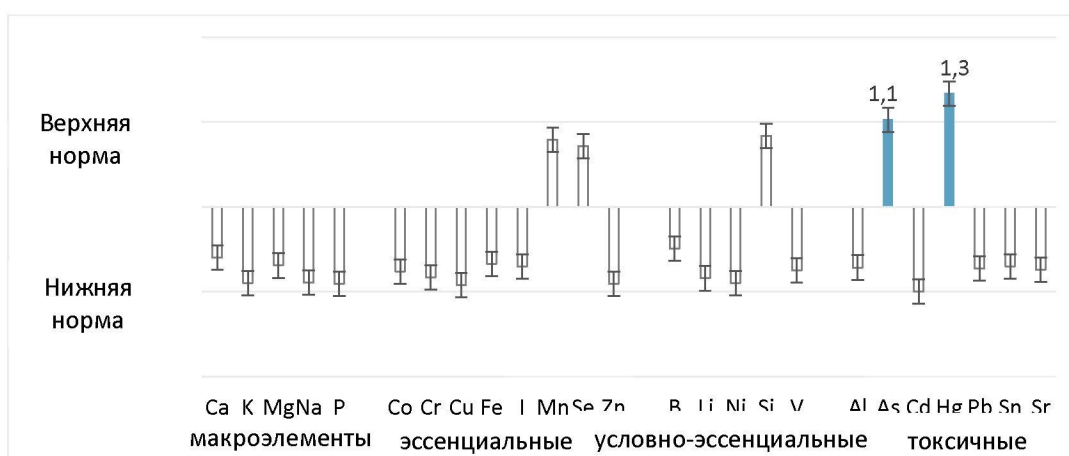


Рисунок 8. Кратность отклонений элементного состава шерсти коров чёрно-пёстрой породы II лактации от физиологической нормы

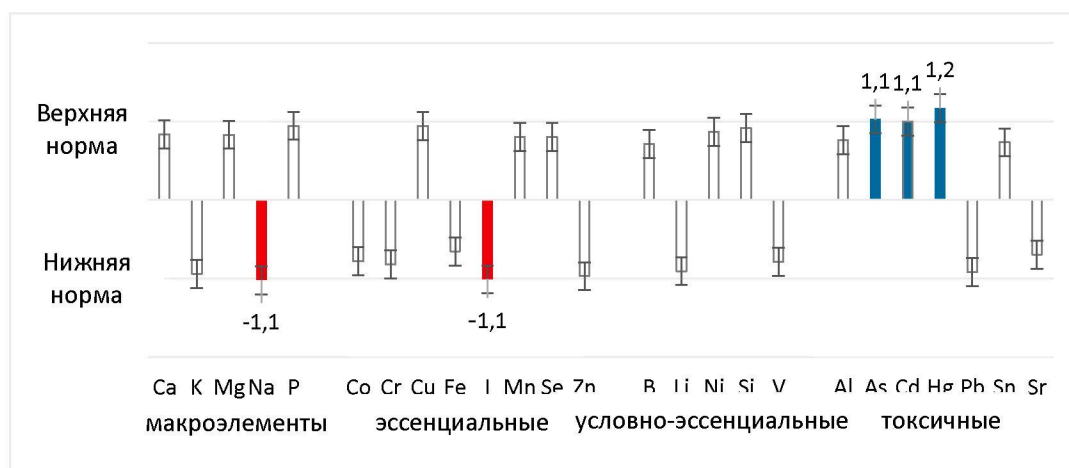


Рисунок 9. Кратность отклонений элементного состава шерсти коров чёрно-пёстрой породы III лактации от физиологической нормы

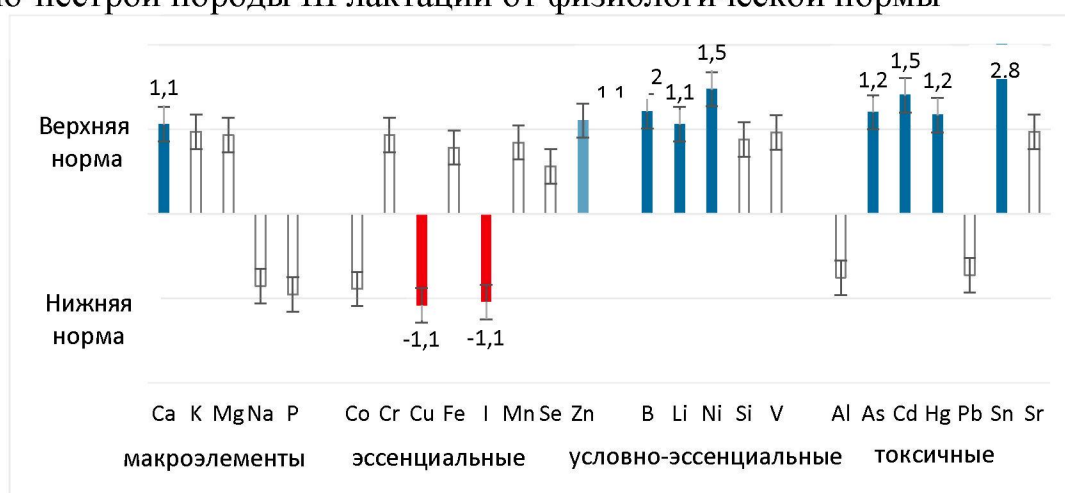


Рисунок 10. Кратность отклонений элементного состава шерсти коров чёрно-пёстрой породы IV лактации от физиологической нормы

Выявлено, что на фоне нарастания концентраций токсических элементов (As, Hg, Sr и Cd) отмечается повышение обменного пула их антагониста – цинка, что может указывать на состояние «преддефицита» по этому элементу (Skalnaya M.G., Demidov V.A., Skalny A.V., 2003). Увеличение обменного пула цинка у коров четвёртой лактации сопровождалось падением концентрации меди в шерсти животных ниже 25 перцентиля. Это указывает на истощение резервов организма животного и развитие гипозлементоза по меди, что хорошо вписывается в ранее известную антагонистическую взаимосвязь между медью и цинком (Bremner B.I., Beattie J.H. 1995). Классическим примером такого взаимодействия являются изменения элементного статуса человека при алкоголизме (Skalny A.V. et al., 2018).

Таким образом, увеличение продолжительности продуктивного использования молочных коров связано с отклонениями от нормы по концентрации ряда химических элементов в шерсти и в первую очередь токсичных элементов. Лучшее понимание возрастных изменений

элементного статуса организма может помочь в работе над повышением продуктивного долголетия.

3.4.6. Разработка способа оценки молочной продуктивности коров по элементному составу

Предлагаемый способ разработан на основе экспериментальных исследований, выполненных на клинически здоровых коровах чёрно-пёстрой породы (n=38) разводимых в условиях племенного завода ЗАО «Гатчинское» Ленинградская область. На первом этапе для определения силы взаимодействий между токсичными (Al, As, Sr, Pb, Sn, Cd, Hg) и эссенциальными (Zn, Fe, Cu, Mn, I, Se, Cr, Co) элементами были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена для опытных животных. В результате было установлено, наличие достоверных отрицательных корреляций между токсичным Pb и эссенциальными Zn (r=-0,54) и Se (r=-0,63). Учитывая вышеизложенное нами, была предложена формула для расчёта токсической нагрузки у молочных коров в период раздоя:

$$K = \frac{Pb}{Se+Zn} \times 100, \text{ где}$$

K – коэффициент токсической нагрузки, %;

Pb - количество свинца в шерсти с холки, ммоль/кг;

Se - количество селена в шерсти с холки, ммоль/кг;

Zn - количество цинка в шерсти с холки, ммоль/кг.

На втором этапе в соответствии с физиологическими нормами концентраций химических элементов в шерсти, установленными в ранее проведённых исследованиях, были рассчитаны значения коэффициента токсической нагрузки соответствующего, в нашем исследовании, уровню предельной напряженности механизмов детоксикации в организме лактирующих коров.

Расчёты коэффициента производились по следующей формуле:

$$K = \frac{0,00068}{0,014+2,16} \times 100 = 0,031, \text{ где}$$

0,00068 – значение верхней границы нормы (75 перцентиль) количества Pb в шерсти с холки, ммоль/кг;

0,014 – значение нижней границы нормы (25 перцентиль) количества Se в шерсти с холки, ммоль/кг;

2,16 – значение нижней границы нормы (25 перцентиль) количества Zn в шерсти с холки, ммоль/кг.

Таким образом, можно предположить, что коровы с коэффициентом токсической нагрузки ниже 0,031 %, должны отличаться повышенными показателями молочной продуктивности относительно животных с более высокими коэффициентами.

Для проверки достоверности разработанного способа из числа высокопродуктивных коров чёрно-пёстрой породы в период раздоя (30 сутки после отёла) были отобраны 40 голов. Для всех подопытных животных были

рассчитаны коэффициенты токсической нагрузки. В дальнейшем животные были распределены на две группы в зависимости от величины коэффициента токсической нагрузки: I группа – K ниже 0,031 % ($n=25$), II группа – K выше 0,031 % ($n=15$). Коровы подопытных групп сравнивались по показателям молочной продуктивности.

Показатели молочной продуктивности коров в зависимости от величин коэффициентов токсической нагрузки представлены в таблице 14.

Как видно из полученных результатов, коровы с уровнем коэффициентов токсической нагрузки ниже 0,031 % (I группа) опережали аналогов из II группы по выходу молочного жира и среднего дневного надоя 1 % молока на 17,3 % ($P \leq 0,01$), выходу сухого вещества – на 9,13 % ($P \leq 0,01$).

Таблица 14. Показатели молочной продуктивности коров чёрно-пёстрой породы в зависимости от величины коэффициента токсической нагрузки

Показатель	Группа	
	I ($K < 0,031$)	II ($K > 0,031$)
Выход жира, кг/сут	1,76±0,407	1,5±0,283**
Выход белка, кг/сут	1,19±0,124	1,13±0,085
Выход лактозы, кг/сут	2,17±0,218	2,05±0,216
Выход сухого вещества, кг/сут	5,38±0,654	4,93±0,517**
Выход СОМО кг/сут	3,64±0,354	3,44±0,3
Среднесуточный надой 1% молока, л/сут	176,2±40,67	150,2±28,32**

Приложение: ** $P \leq 0,01$ - по сравнению с I группой

Так же были рассчитаны коэффициенты корреляции между полученными коэффициентами и показателями молочной продуктивности для всей выборки животных. Полученные результаты показали наличие достоверной отрицательной корреляции между рассчитанными коэффициентами и выходом жира, белка, сухого вещества, СОМО и 1 % молока.

Таким образом можно сделать заключение, что предложенный способ может быть использован для оценки молочных коров по молочной продуктивности.

3.4.7. Разработка способа прогнозирования молочной продуктивности коров по элементному составу шерсти

Нами была поставлена задача - разработать способ прогнозирования молочной продуктивности коров по элементному составу шерсти. На первом этапе для определения силы взаимодействий между токсичными элементами и показателями молочной продуктивности коров, были рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции Спирмена для подопытных животных (табл. 15).

Таблица 15. Корреляция химических элементов в шерсти с холки коров чёрно-пёстрой породы (мг/кг) с показателями молочной продуктивности и качества молока, кг/сут.

Показатели	Al	As	Cd	Hg	Pb	Sr	Sn
Молочный жир	-0,2	0,0	-0,1	0,1	-0,6*	0,1	-0,1
Молочный белок	-0,2	0,3	-0,4*	0,3*	-0,4*	-0,1	0,1
Лактоза	-0,1	0,4*	-0,1	0,1	-0,4*	-0,2	-0,0
Сухое вещество	-0,2	0,2	-0,0	0,1	-0,6*	-0,0	-0,1
СОМО	-0,1	0,4*	-0,2	0,2	-0,4*	-0,2	0,1
Среднесуточный удой	-0,2	0,4*	-0,1	0,2	-0,4*	-0,3	-0,0

* Корреляция значима на уровне $P \leq 0,05$

В результате было установлено, наличие достоверных отрицательных корреляций показателей молочной продуктивности коров с концентрациями свинца и кадмия в шерсти. На основании данных о физиологической норме содержания свинца и кадмия в шерсти были рассчитаны молярные концентрации этих веществ соответствующих 25 и 75 перцентиллям, которые составили 0,254 и 0,695 ммоль/г, соответственно. Теоретически, увеличение количества свинца и кадмия в шерсти от минимального к максимальному в рассчитанных интервалах должно сопровождаться снижением показателей молочной продуктивности.

С целью подтверждения этой гипотезы нами были изучены показатели молочной продуктивности коров в зависимости от установленных перцентильных интервалов. Для этого были отобраны 39 голов коров чёрно-пёстрой породы. Животные были распределены на три группы в зависимости от распределения суммы молей свинца и кадмия в пределах установленных интервалов: I группа – менее 0,253 ммоль/г ($n=10$), II группа – в интервале с 0,254 по 0,695 ммоль/г ($n=19$), III группа более 0,695 ммоль/г ($n=10$).

Пошаговое сравнение показателей молочной продуктивности коров выявило ряд статистически значимых различий в разрезе изучаемых групп (табл. 16).

Таблица 16. Показатели молочной продуктивности (кг/сут.) коров чёрно-пёстрой породы в зависимости от распределения суммы молей свинца и кадмия пределах 25 и 75 перцентильных интервалов

Показатель	Группа		
	I	II	III
Молочный жир	2,14±0,335	1,58±0,312***	1,43±0,204***
Молочный белок	1,26±0,107	1,14±0,116*	1,12±0,074**
Лактоза	2,24±0,244	2,12±0,209	1,99±0,156*
Сухое вещество	5,91±0,600	5,10±0,532**	4,79±0,294***
СОМО	3,80±0,370	3,53±0,334	3,37±0,213*
Среднесуточный удой	44,3±5,00	40,5±4,04	37,69±3,41**

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

Как видно из полученных результатов, коровы с уровнем суммы молей в интервале $< 0,253$ ммоль (I группа) опережали аналогов из II и III групп по

выходу молочного жира, белка, лактозы, сухого вещества и среднесуточному удою на 35,4 (P≤0,001) и 49,7 % (P≤0,001); 5,6 и 12,5 % (P≤0,05); 15,9 (P≤0,01) и 23,4 % (P≤0,001); 7,6 и 12,8 % (P≤0,05) и на 9,4 и 17,5 % (P≤0,01) соответственно.

Сравнение величин изучаемых показателей между животными II и III опытных групп достоверной разницы не выявило. Данный факт свидетельствует о том, что предельным уровнем токсической нагрузки на организм молочных коров является значение 25 перцентиля (0,253 ммоль/г) суммы молей свинца и кадмия в шерсти. Сравнительный анализ показал, что превышение этого значения сопровождается достоверным падением молочной продуктивности по выходу молочного жира на 39,9 % (P≤0,001), белка – на 11,5 % (P≤0,01), лактозы – на 7,7 %, сухого вещества - на 18,2 % (P≤0,001), СОМО – на 9,2 % (P≤0,05), среднесуточный удой молока при этом снижается на 11,7 % (P≤0,05) (табл. 17).

Таблица 17. Показатели молочной продуктивности коров чёрно-пёстрой породы в зависимости от распределения суммы молей свинца и кадмия пределах менее 25 и более 75 перцентилей концентрации в шерсти, кг/сут

Показатель	Группа	
	<25	>75
Молочный жир	2,14±0,335	1,53±0,288***
Молочный белок	1,26±0,107	1,13±0,104**
Лактоза	2,24±0,244	2,08±0,201
Сухое вещество	5,91±0,600	5,00±0,488***
СОМО	3,80±0,370	3,48±0,306*
Среднесуточный удой	44,29±5,00	39,65±4,02*

Разница достоверна при * P≤0,05; ** P≤0,01, *** P≤0,001

В качестве подтверждения результатов эксперимента, нами так же были рассчитаны коэффициенты корреляций между суммарным количеством свинца и кадмия с показателями молочной продуктивности для коров всех опытных групп.

Полученные результаты показали наличие статистически значимых связей между суммой молей свинца и кадмия с выходом молочного жира (r=-0,57), белка (r=-0,44), лактозы (r=-0,37), сухого вещества (r=-0,60), СОМО (r=-0,43) и среднесуточным удоём (r=-0,45).

3.4.8. Апробация разработанной технологии для повышения воспроизводительных качеств коров разводимых в условиях повышенной техногенной нагрузки

В начале эксперимента средние значения концентраций свинца и кадмия в шерсти коров двух групп превышали установленную норму в 3,4 и 1,5 раз, 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. 11).

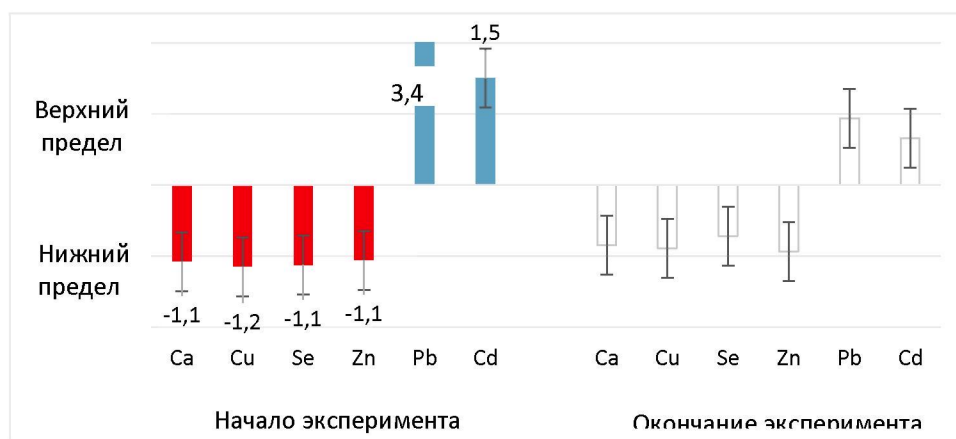


Рисунок 11. Кратность отклонения концентраций химических элементов в шерсти коров на начало эксперимента

На момент окончания эксперимента, после продолжительного периода скармливания опытной группе премикса содержащего смесь микроэлементов и сорбента установлено снижение по отношению к моменту постановки на опыт, обменного пула свинца на 72,3 % ($P \leq 0,001$), кадмия – на 56,1 % ($P \leq 0,01$), что имело место на фоне увеличения 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 в шерсти коров – на 13,6 % ($P \leq 0,01$).

К концу эксперимента содержание корректируемых элементов в шерсти у 97 % животных опытной группы вошли в пределы физиологической нормы. Курс коррекции элементного статуса коров сопровождался повышением воспроизводительной способности животных. В частности, оплодотворяемость коров контрольной группы была ниже аналогичного показателя установленного для коров опытной группы на 20 %, при этом продолжительность межотельного 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 %.

Выявленное в нашем исследовании повышение воспроизводительных способностей у коров опытной группы может быть объяснено понижением обменных пулов свинца и кадмия. Ранее аналогичные результаты были получены в исследованиях Н.В. Зайцевой и др., (2002); Н.С. Лодягиной и др., (2008).

Другой возможной причиной повышения воспроизводительных качеств коров опытной группы могло стать повышение уровня селена. Увеличение концентрации селена в крови положительно коррелирует с периодом анэструса (AlSaleh I. et al. 2014). В то время как дефицит селена повышает риск появления мертворожденных телят и может быть естественной причиной абортос (Kommisrud E., Osterås O., Vatn T., 2005). Наиболее вероятным механизмом abortивного действия дефицита селена является, сердечная недостаточность плода (Underwood E.J., Suttle N.F., 2004). Коррекция селенового статуса у глубокостельных коров способствует адекватной секреции гормона - прогестерона (Kamada H. et al., 2014) и способствует его послеродовому производству (Kamada H., 2017).

Таким образом, коррекция обменного пула свинца и кадмия, оценённого по концентрации в шерсти с холки, способствует нормализации минерального обмена в организме и повышает воспроизводительную способность коров.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Наиболее предпочтительным является отбор проб шерсти для исследования элементного состава этого биосубстрата с холки крупного рогатого скота, что подтверждается полученными данными. Так, по степени загрязнённости пробы с холки содержат наименьшее количество примесей: $8,14 \pm 1,02$ % в зимний и $4,80 \pm 0,83$ % в летний период, что сопоставимо или значительно ниже значений для других мест отбора проб. Максимальная скорость отрастания характерна для остевых волос с холки ($0,38 \pm 0,033$ мм/сут.), что на 79 % выше аналогичного показателя рассчитанного для области подгрудка и на 29 % для проекции первого хвостового позвонка. Среднестатистический элементный состав шерсти с поверхности тела животного по 24 из 25 химических элементов соответствует пробам шерсти с холки. Скорость отрастания шерсти следует учитывать при отборе проб этого биосубстрата для установления элементного статуса животных в определенные временные периоды.

2. Установленные в границах 25 и 75 перцентилей референтные значения физиологической нормы содержания 25 химических элементов в шерсти (мг/кг): Al (2,05-4,4); As (0,028-0,04); B (3,4-10,89); Ca (915-2386); Cd (0,003-0,005); Co (0,032-0,054); Cr (0,087-0,143); Cu (8,04-9,47); Fe (100-217); Hg (0,002-0,006); I (10,12-19,56); K (3122-4154); Li (0,048-0,07); Mg (318-664); Mn (3,51-6,49); Na (2196-3124); Ni (0,157-0,221); P (228-290); Pb (0,045-0,141); Se (0,754-1,13); Si (6,28-11,47); Sn (0,014-0,04); Sr (1,82-3,68); V (0,015-0,026); Zn (116-141) могут применяться для выявления элементозов сопряжённых со снижением молочной продуктивности и воспроизводительной способности у молочных коров.

3. Рассчитанные референтные интервалы (25-75 перцентиль) содержания химических веществ в молоке коров (мг/кг): Al (0,078-0,128), As (0,0009-0,0011), B (0,1615-0,2050), Ca (1 023 -1 134), Cd (0,0000-0,0002), Co (0,0018-0,002), Cr (0,087-0,102), Cu (0,023-0,065), Fe (4,13-4,69), Hg (0,0002-0,0005), I (0,0032-0,0087), K (1 523-1 730), Li (0,0140-0,0578), Mg (102,5-122,5), Mn (0,013-0,027), Na (406,5-468,5), Ni 0,041 (0,04-0,052), P (1 019,5-1 106), Pb (0,0006-0,0009), Se (0,021-0,028), Si (1,69-2,35), Sn (0,0001-0,0027), Sr (0,60-0,93), V (0,0082-0,0102), Zn (3,70-4,97), могут применяться для оценки минерального состава молочной продукции по основному перечню эссенциальных и токсичных элементов.

4. С повышением уровня токсической нагрузки ($K_{\text{нагруз}}$), рассчитанной по величине суммы коэффициентов тяжелых элементов (Mn, Fe, Cu, Zn, As, Sr, Pb, Cd, Hg), с 6,9 до 15,8 единиц наблюдается снижение молочной продуктивности коров по величине среднесуточного удоя на 21,8 %; по выходу молочного жира на 16,4%.

5. Использование свежей пшеничной барды в кормлении молочных коров сопряжено с развитием гипозементозов по кальцию, селену, цинку и марганцу, что фиксируется по химическому составу шерсти. Нормализация элементного статуса коров, через введение в рацион недостающих элементов, способствует изменениям морфологических и биохимических показателей крови, в частности, увеличению содержания общего белка на 8,8 %; альбуминов на 10,4 %; эритроцитов на 9,8 %; гемоглобина и 11,7 %. А так же сопряжено с увеличением молочной продуктивности коров и выхода молочного жира на 7,2 %, повышением содержания аминокислот лизина и тирозина в молоке на 42,5 и 19,8 %. При этом уровень рентабельности производства молока увеличивается на 7-8 %;

6. Содержание Pb в шерсти отрицательно коррелирует с параметрами молочной продуктивности коров с продуктивностью 8-10 тысяч литров молока. По мере увеличения содержания Pb в шерсти от минимального к максимальному в процентильных интервалах 25-75 и больше 75 процентиля происходит снижение суточного выхода жира молока на 18,8 и 25,3 %; белка на 9,7 и 10,7 %; сухого вещества на 8,0 и 13,0 %, соответственно. Среднесуточный удой молока, скорректированный по 1 % жиру при этом понижается на 19,2 и 25,3 %, соответственно. Элементный статус молочных коров с концентрацией свинца в шерсти в интервале до 25 процентиля характеризуется меньшей величиной общего пула токсичных элементов (Al, As, Cd, Hg, Pb, Sn, Sr), оцениваемых по составу шерсти на 20,6 % по отношению к группе со средними (25-75 процентиля) и на 59,5% по сравнению с высокими (>75 процентиля) значениями концентраций этого элемента. При этом увеличение концентраций эссенциальных элементов (Co, Cr, Cu, I, Fe, Mn, Se, Zn) составляет 14,0 и 52,3 %, соответственно.

7. Коровы с минимальным содержанием Sr в шерсти (<25 процентиля) превосходят аналогов со средней (25-75 процентиля) и высокой (>75 процентиля) концентрацией этого элемента по суточной продуктивности рассчитанной по удою 1 %-молока на 32,8 и 32,3 %, соответственно. Увеличения обменного пула Sr от минимального к максимальному сопряжено со снижением концентрации в шерсти Cu на 10,9-25,3 %; Zn – на 11,1-21,2 %; As – на 10,0-30,0 % и повышением уровня малонового диальдегида в сыворотке крови в 2,2 и 2,6 раз.

8. Реализация разработанных способов оценки и прогнозирования молочной продуктивности коров через введение коэффициента нагрузки и показателя суммы молей свинца и кадмия в шерсти в период раздоя позволяет отбирать для дальнейшего разведения коров с потенциально высокой молочной продуктивностью, превосходящей аналогов по величине среднесуточного удоя на 12-17 %; выходу молочного жира на 17-29 %, белка – на 5-12 %; сухого вещества – на 9-18 %, соответственно.

9. Превышение установленных норм по концентрациям свинца и кадмия в шерсти коров разводимых в условиях повышенной техногенной нагрузки сопряжено со снижением ниже установленных норм, значений обменных пулов кальция, меди, селена и цинка. Коррекция элементного статуса таких животных, через введение в корм сорбента тяжёлых металлов «Бифеж» в

комплексе с лимитированными эссенциальными элементами приводит к нормализации элементного статуса, что сопровождается повышением оплодотворяемости на 20 %, снижением продолжительности межотёльного периода на 4-5 %; сервис периода – на 21,5 %, выход телят при этом увеличивается на величину до 25 %.

10. Применение технологии оценки и коррекции элементного статуса в молочном скотоводстве экономически выгодно. Так применение технологии при коррекции рационов молочных коров с включением барды позволяет повысить прибыль на 4,0-4,2 тысячи рублей на голову, с ростом рентабельности на 6-7%. Окупаемость затрат по оценке и коррекции элементного статуса молочных коров составляет от 3 до 10 рублей на один рубль дополнительных затрат.

5. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. С целью повышения функциональных резервов и продуктивных качеств молочного скота целесообразно проведение многоэлементного анализа шерсти с холки для определения элементного статуса на индивидуальном и групповом уровне с обязательной интерпретацией полученных результатов в границах установленных «физиологических норм» по 25 химическим элементам: Al 2,05-4,4; As 0,028-0,04; B 3,4-10,89; Ca 915-2386; Cd 0,003-0,005; Co 0,032-0,054; Cr 0,087-0,143; Cu 8,04-9,47; Fe 100-217; Hg 0,002-0,006; I 10,12-19,56; K 3122-4154; Li 0,048-0,07; Mg 318-664; Mn 3,51-6,49; Na 2196-3124; Ni 0,157-0,221; P 228-290; Pb 0,045-0,141; Se 0,754-1,13; Si 6,28-11,47; Sn 0,014-0,04; Sr 1,82-3,68; V 0,015-0,026; Zn 116-141.

2. Оценка элементного статуса молочных коров по составу шерсти с последующим сопоставлением полученных данных с нормами позволяет выявлять дисэлементозы. Выраженные дефициты жизненно необходимых и избытки токсических элементов необходимо корректировать через дополнительное скармливания микроэлементов и/или сорбентов, что позволит увеличить продуктивность лактирующих животных. Так, скармливание минерального премикса (состав: мел кормовой в дозировке 90 г/гол; Биоплекс цинка – 600 мг/гол; Биоплекс марганца – 300 мг/гол; Сел-Плекс – 6 мг/гол), разработанного на основании изучения состава шерсти, лактирующим коровам содержащимся на рационах с добавлением пшеничной барды, способствует увеличению удоя молока и выхода молочного жира на 6-8 %. При этом увеличение уровня рентабельности производства молока может составить 7-8 %.

3. При оценке элементного статуса молочных коров необходимо учитывать уровень «нагруженности метаболизма» по содержанию свинца и кадмия в шерсти. В случае превышения уровня токсической нагрузки свинцом и кадмием, следует проводить коррекцию элементного статуса через введение сорбента тяжёлых металлов «Бифеж» (45 г/гол в сутки) в комплексе с лимитирующими эссенциальными элементами (мел кормовой 90 г/гол; Биоплекс Меди – 300 мг/гол; Биоплекс цинка – 600 мг/гол; Сел-Плекс – 6

мг/гол) за 60 суток до предполагаемой даты осеменения, что позволит повысить оплодотворяемость коров на 20 % и выход телят на 25 %.

4. Реализация разработанных способов оценки и прогнозирования молочной продуктивности коров через введение коэффициента нагрузки и показателя суммы молей свинца и кадмия в шерсти в период раздоя позволит отбирать для дальнейшего разведения коров с потенциально высокой молочной продуктивностью, превосходящей аналогов по величине среднесуточного удоя на 12-17 %; выходу молочного жира на 17,0 - 29,0 %, белка – на 5-12 %.

5. Применение технологии оценки и коррекции элементного статуса в молочном скотоводстве экономически выгодно. Анализ элементного статуса молочного скота показывает, что только в Вологодской области около 8% молочных коров характеризуется повышенным содержанием токсических элементов в шерсти выше 75 перцентиля, что сопряжено со снижением продуктивности на 5-17 %. Коррекция элементного статуса этих животных в совокупности с рядом других мероприятий позволяет рассчитывать на дополнительное получение продукции на сумму около 170 млн. рублей в год.

6. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Тема диссертационного исследования перспективна к дальнейшей разработке в части:

- установление референтных интервалов концентраций 25 химических элементов в шерсти быков-производителей различных пород, с целью разработки мероприятий по повышению их репродуктивных качеств;

- разработка решений по повышению продуктивности сельскохозяйственных животных разводимых на территориях отдельных биогеохимических, через введение региональных норм концентраций химических элементов в шерсти.

СПИСОК РАБОТ ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях из перечня, установленного ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации

1. Харламов, А.В. Информативность биосубстратов при оценке элементного статуса сельскохозяйственных животных (обзор) / А.В. Харламов, А.Н. Фролов, **О.А. Завьялов**, А.М. Мирошников // Вестник мясного скотоводства. – 2014. – № 4(87). – С. 53-58.

2. Мирошников, С.А. Региональные особенности элементного состава шерсти крупного рогатого скота (результаты пилотного исследования) / С.А. Мирошников, А.В. Харламов, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов // Вестник мясного скотоводства. – 2015. – № 2(90). – С. 7-10.

3. Мирошников, С.А. Особенности формирования элементного статуса крупного рогатого скота в связи с продуктивностью и принадлежностью к половозрастной группе / С.А. Мирошников, А.В. Харламов, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, А.В. Кудашева, А.Г. Зелепухин, А.Х. Заверюха, В.Г. Литовченко // Вестник мясного скотоводства. – 2015. – № 4(92). – С. 94-99.
4. Мирошников, С.А. Разработка метода выявления элементозов крупного рогатого скота / С.А. Мирошников, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, А.В. Харламов, Г.К. Дускаев, М.Я. Курилкина // Вестник мясного скотоводства. – 2016. – № 4(96). – С. 73-78.
5. Мирошников, С.А. Способ оценки элементного статуса организма крупного рогатого скота по химическому составу шерсти / С.А. Мирошников, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, А.В. Харламов, Г.К. Дускаев, М.Я. Курилкина // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 3(99). – С. 79-85.
6. Мирошников, С.А. Элементный состав шерсти как модель для изучения межэлементных взаимодействий в организме молочного скота / С.А. Мирошников, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, А.В. Харламов, Г.К. Дускаев, М.Я. Курилкина // Вестник мясного скотоводства. – 2017. – № 4(100). – С. 96-103.
7. Мирошников, С.А. Влияние коррекции статуса свинца и кадмия, оценённого по химическому составу шерсти, на воспроизводительные качества коров чёрно-пёстрой породы / С.А. Мирошников, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, М.Я. Курилкина // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101. – № 1. – С. 67-74.
8. Мирошников, С.А., **Завьялов, О.А.**, Фролов, А.Н. Влияние концентрации свинца в шерсти на межэлементное взаимодействие и молочную продуктивность голштинских коров // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102. – № 1. – С. 54-70. DOI: 10.33284/2658-3135-102-1-54
9. Мирошников, С.А. Феномен нагруженного метаболизма и продуктивность молочных коров / С.А. Мирошников, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, М.Я. Курилкина // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102. – № 2. – С. 30-45. DOI: 10.33284/2658-3135-102-2-30
10. Мирошников, С.А. Референтные интервалы концентраций химических элементов в шерсти молочных коров / С.А. Мирошников, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, М.Я. Курилкина, Е.А. Тяпугин, Х.Х. Тагиров // Животноводство и кормопроизводство. – 2019. – Т. 102. – № 3. – С. 33-45. DOI: 10.33284/2658-3135-102-3-33
11. **Завьялов, О.А.** Элементный статус и его изменения по отношению к границам «физиологической нормы» у коров голштинской породы разных лактаций // Животноводство и кормопроизводство. – 2020. – Т. 103. – № 1. – С. 65-74. DOI: 10.33284/2658-3135-103-1-65
12. Казакова, Т.В. Суммарное накопление тяжелых металлов – микроэлементов в шерсти в связи с молочной продуктивностью коров / Т.В. Казакова, О.В. Маршинская, С.А. Мирошников, С.В. Нотова, **О.А. Завьялов**,

А.Н. Фролов, Е.С. Тяпугин // Животноводство и кормопроизводство. – 2020. – Т. 103. – № 2. – С. 8-23. doi: 10.33284/2658-3135-103-2-8

13. 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

Публикации в международных базах рекомендованных ВАК Минобрнауки (Scopus и Web of Science)

14. Miroshnikov, S. Method of sampling beef cattle hair for assessment of elemental profile / S. Miroshnikov, A. Kharlamov, **O. Zavyalov**, A. Frolov, G. Duskaev, I. Bolodurina, O. Arapova // Pakistan Journal of Nutrition. – 2015. – Т. 14. – Vol. 9. – P. 632-636.

15. **Zavyalov, O.A.**, Kurilkina, M.Ya. The effect of duration of the productive use on the element status of Holstein cows // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 341. 012074. doi:10.1088/1755-1315/341/1/012074

16. **Zavyalov, O.A.**, Kurilkina, M.Ya., 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

17. Miroshnikov, S. The content of toxic elements in hair of dairy cows as an indicator of productivity and elemental status of animals / S. Miroshnikov, **O. Zavyalov**, A. Frolov, I. Sleptsov, F. Sirazetdinov, M. Poberukhin // Environmental Science and Pollution Research. – 2019. – Vol. 26(18). – P. 18554-18564. doi: 10.1007/s11356-019-05163-5

18. Miroshnikov, S. The dependence of productivity and elemental status of dairy cows on the level of lead. / S. Miroshnikov, **O. Zavyalov**, A. Frolov, I. Gorlov // Ecology, Environment and Conservation. – 2019. – Vol. 25(2). – P. 336-347. ISSN 0971-765X

19. Miroshnikov, S.A. The Reference Values of Hair Content of Trace Elements in Dairy Cows of Holstein Breed / S.A. Miroshnikov, A.V. Skalny, **O.A. Zavyalov**, A.N. Frolov, A.R. Grabeklis // Biological Trace Element Research. – 2020. – Vol. 194(1). – P. 145-151. doi.org/10.1007/s12011-019-01768-6

Патенты РФ на изобретение

20. Мирошников, С.А. Способ отбора и подготовки проб шерсти крупного рогатого скота для исследования на элементный состав / С.А. Мирошников, А.В. Харламов, А.Н. Фролов, **О.А. Завьялов**, А.М. Мирошников, Г.К. Дускаев // Патент на изобретение RU 2607751, 10.01.2017. Заявка № 2014145406 от 11.11.2014.

21. Мирошников, С.А. Способ отбора образцов шерсти для исследования элементного статуса крупного рогатого скота в различные временные периоды / С.А. Мирошников, А.В. Харламов, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, Б.Г. Рогачев, Г.К. Дускаев, М.Я. Курилкина // Патент на изобретение RU 2611755, 28.02.2017. Заявка № 2015150158 от 23.11.2015.

22. Мирошников, С.А. Способ коррекции элементозов коров / С.А. Мирошников, А.В. Харламов, Г.К. Дускаев, А.Н. Фролов, **О.А. Завьялов**, М.Я. Курилкина, Б.Г. Рогачев, А.С. Ушаков, Л.Н. Павлов // Патент на изобретение RU 2630987 С от 15.09.2017. Заявка № 2016144635 от 14.11.2016.

23. Мирошников, С.А. Способ повышения воспроизводительной способности коров / С.А. Мирошников, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, А.В. Харламов, Б.Г. Рогачев, Г.К. Дускаев, М.Я. Курилкина, А.С. Ушаков // Патент на изобретение RU 2654573, 21.05.2018. Заявка № 2017132797 от 19.09.2017.

24. Мирошников, С.А. Способ коррекции элементного статуса молочных коров при использовании в рационе свежей барды / С.А. Мирошников, А.Н. Фролов, **О.А. Завьялов**, Г.К. Дускаев, Б.Г. Рогачев // Патент на изобретение RU 2694654, 16.07.2019. Заявка № 2018138481 от 30.10.2018.

25. Мирошников, С.А. Способ оценки молочной продуктивности коров по элементному составу шерсти / С.А. Мирошников, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, Б.Г. Рогачев, Г.К. Дускаев, М.Я. Курилкина, Л.Г. Сурундаева, А.И. Яшкевич // Патент на изобретение RU № 2705315 от 06.11.2019. Заявка 2018138421 от 30.10.2018.

26. Мирошников, С.А. Способ прогнозирования молочной продуктивности коров по элементному составу шерсти / С.А. Мирошников, С.В. Нотова, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, Б.Г. Рогачев, А.В. Егизарян, М.Я. Курилкина // Патент на изобретение RU № 2701350 от 25.09.2019. Заявка № 2019119954 от 25.06.2019.

Монографии и книги

27. Мирошников, С.А. Элементозы животных: новые технологии диагностики и коррекции / С.А. Мирошников, С.В. Нотова, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, А.В. Егизарян. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2018. Тираж – 500 экз.– 253 с. ISBN 978-5-4417-0752-7

28. Мирошников, С.А. Система устойчивого развития сельского хозяйства Оренбургской области / С.А. Мирошников, Г.И. Бельков, А.А. Зоров, Н.И. Воскобулова, А.А. Неверов, А.А. Мушинский, В.Ю. Хайнацкий, Е.А. Тяпугин, О.А. Завьялов, В.А. Панин, А.В. Харламов, А.Н. Фролов, В.И. Колпаков, Ш.Г. Рахматуллин, М.Г. Титов, Б.С. Нуржанов, Э.М. Берлин. Оренбург: Издательство: ООО Мегапринт, Иркутск, 2019. – 335с. – ISBN978-5-907095-99-1. – Тираж 2000 экз. – Усл. печ. л 42,88

Методические рекомендации

29. Мирошников, С.А. Выявление и коррекция элементозов крупного рогатого скота / С.А. Мирошников, С.В. Нотова, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов // Методические рекомендации. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2018. – 24 с. ISBN: 978-5-4417-0753-4

Публикации в других научных изданиях

30. **Завьялов, О.А.**, Фролов, А.Н., Харламов, А.В. Новые подходы к оценке элементного статуса сельскохозяйственных животных // Нивы России. – №4(137). – 2016. – С. 76-80.

31. Мирошников, С.А. Применение шерсти животного в качестве биосубстрата для оценки взаимодействия химических элементов в организме скота мясного направления продуктивности / С.А. Мирошников, **О.А. Завьялов**, А.Н. Фролов, А.В. Харламов, Г.К. Дускаев, М.Я. Курилкина // Мясное скотоводство – приоритеты и перспективы развития: материалы II международной научно-практической конференции, посвящённой памяти члена-корреспондента РАН В.И. Левахина. (г. Оренбург, 19-20 октября 2017 г.). Оренбург, 2017. – С. 3-7.

32. **Завьялов, О.А.**, Фролов, А.Н., Курилкина, М.Я. Неинвазивный метод оценки элементного статуса сельскохозяйственных животных // Мясное скотоводство - приоритеты и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции. под общей редакцией Мирошникова С.А. Оренбург, 2018. – С. 96-101.

33. Фролов, А.Н., **Завьялов, О.А.** Разработка способа коррекции элементного статуса молочных коров при использовании в рационе свежей барды // Фундаментальные основы технологического развития сельского хозяйства: материалы российской научно-практической конференции с международным участием. Оренбург, 2019. – С. 204-208.

34. **Завьялов, О.А.**, Фролов, А.Н., Курилкина, М.Я. Возрастные изменения элементного статуса молочного скота // Перспективные аграрные и пищевые инновации: материалы Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией И.Ф. Горлова. Волгоград, 2019. – С. 19-23.

35. Фролов, А.Н., **Завьялов, О.А.** Разработка способа коррекции элементного статуса молочных коров при использовании в рационе свежей барды // Фундаментальные основы технологического развития сельского хозяйства: материалы российской научно-практической конференции с международным участием. Оренбург, 2019. – С. 204-208.

36. **Завьялов, О.А.** Особенности минерального обмена крупного рогатого скота, в зависимости от токсической нагрузки свинцом / О.А. Завьялов, А.Н. Фролов, О.В. Кван, К.П. Мирошникова, С.С. Акимов // Фундаментальные основы технологического развития сельского хозяйства: материалы российской научно-практической конференции с международным участием. Оренбург, 2019. – С. 162-165.

37. Муслумова, Д.М., Курилкина, М.Я., **Завьялов, О.А.** Оценка влияния жирно-кислотного состава кормов на качество молока красной степной породы // Перспективы развития отрасли и предприятий АПК: отечественный и международный опыт: международная научно-практическая конференция. Омск, 2020. – С. 168-172.

38. **Завьялов, О.А.** Разработка способа прогнозирования молочной продуктивности коров по элементному составу шерсти // Состояние и перспективы увеличения производства высококачественной продукции сельского хозяйства: материалы VIII Международной научно-практической конференции / Башкирск. гос. аграр. ун-т, Томск. с.-х. ин-т [и др.]. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020 – 288 с. ISBN 978-5-94477-276-3

Завьялов Олег Александрович

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ
МОЛОЧНОГО СКОТА ПУТЁМ ОЦЕНКИ И КОРРЕКЦИИ
ЭЛЕМЕНТНОГО СТАТУСА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

доктора биологических наук

06.02.10 Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства

Подписано в печать 07.07.2020 г

Формат 60x90/16. Объём - 2,0 усл. печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ № 11

Издательский центр ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН.

460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29