

УДК 636.39.034, 637.12.04/.07

Научная статья



DOI: 10.32634/0869-8155-2024-389-12-153-157

О.А. Воронина

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, Подольск, Московская обл., Россия

✉ voroninaok-senia@inbox.ru

Поступила в редакцию: 25.07.2024
Одобрена после рецензирования: 08.11.2024
Принята к публикации: 22.11.2024

© Воронина О.А.

Research article



DOI: 10.32634/0869-8155-2024-389-12-153-157

Oksana A. Voronina

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Podolsk, Moscow region, Russia

✉ voroninaok-senia@inbox.ru

Received by the editorial office: 25.07.2024
Accepted in revised: 08.11.2024
Accepted for publication: 22.11.2024

© Voronina O.A.

Множественные регрессионные модели для оценки содержания Zn в молоке коров

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Регулярный ветеринарно-санитарный контроль безопасности и качества продукции животного происхождения не подразумевает исследование цинка. Хотя роль и значимость данного элемента во многом обусловлены его количеством. При этом содержание цинка в молоке непостоянно и обусловлено его содержанием в почвах и кормах, физиологией молочной коровы. После продолжительных исследований цинка в молоке мы рассчитали ряд уравнений множественной регрессии для прогнозирования уровня цинка по данным его биохимического анализа в целях минимизации затрат.

Методы. Анализ биохимических показателей молока коров выполнен с помощью системы MilkoScan 7 / Fossomatic 7 DC (Дания). Исследование цинка — на атомно-абсорбционном спектрометре с дейтериевой и Зеемановской коррекцией ZEEnit 650 P.

Результаты. Среднее содержание цинка в молоке установлено на уровне 3017,7 мкг/л. Степень влияния данных биохимического анализа на результирующую переменную (Zn) показала высокую значимость массовой доли жира, температуры замерзания и pH ($p = 0,006; 0,0001; 0,00003$ соответственно). Уравнение характеризуется высоким коэффициентом множественной корреляции (0,92) и значимо по F-критерию = 5,41E-43, скорректированное значение $R^2 = 0,83$, что можно считать хорошим результатом. Работа с регрессионными моделями прогнозирования позволяет провести предварительную оценку уровня цинка в молоке по данным его биохимического анализа без дополнительной финансовой нагрузки на производство и лучше контролировать его содержание в молоке.

Ключевые слова: молочное животноводство, молоко, цинк, регрессионный анализ

Для цитирования: Воронина О.А. Множественные регрессионные модели для оценки содержания Zn в молоке коров. *Аграрная наука*. 2024; 389(12): 153–157.
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-153-157>

Multiple regression models for estimating the Zn content in cow's milk

ABSTRACT

Relevance. Regular veterinary and sanitary control of the safety and quality of animal products does not imply zinc testing. Although the role and importance of this element is largely due to its quantity. At the same time, the zinc content in milk is not constant and is due to its content in soils and feeds, and the physiology of a dairy cow. After extensive studies of zinc in milk, we calculated a number of multiple regression equations to predict zinc levels based on its biochemical analysis in order to minimize costs.

Methods. The analysis of biochemical parameters of cow's milk was performed using the MilkoScan 7 / Fossomatic 7 DC system (Denmark). Zinc was studied using an atomic absorption spectrometer with deuterium and Zeeman correction ZEEnit 650 P.

Results. The average zinc content in milk was set at 3017.7 mcg/l. The degree of influence of the biochemical analysis data on the resulting variable (Zn) showed the high importance of the variable's fat mass fraction, freezing point and pH ($p = 0.006, 0.0001, 0.00003$, respectively). The equation is characterized by a high multiple correlation coefficient (0.92) and is significant according to the F-criterion = 5,41E43, the adjusted value of $R^2 = 0.83$, which can be considered a good result. Working with regression forecasting models allows for a preliminary assessment of the zinc level in milk according to its biochemical analysis, without additional financial burden on production and better control of its content in milk.

Key words: dairy farming, milk, zinc, regression analysis

For citation: Voronina O.A. Multiple regression models for estimating the Zn content in cow's milk. *Agrarian science*. 2024; 389(12): 153–157 (in Russian).
<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-389-12-153-157>

Введение/Introduction

Молоко и молочные продукты являются неотъемлемой частью питания человека [1, 2]. Его компоненты (белки, жиры, аминокислоты, незаменимые жирные кислоты (ЖК), витамины, макро- и микроэлементы, другие биологически активные соединения) составляют основное ядро биохимии обмена в организме [3–5]. При этом в ряде реакций ключевые роли остаются за макро- и микроэлементами [6]. Например, цинк в клетках эритроидного ряда работает как молекулярный переключатель, управляющий их развитием и жизнеспособностью, входит в состав каталитического центра или выступает структурным компонентом критически значимых металлопротеинов метаболизма эритроцитов, включая дегидратазу δ -аминолевулиновой кислоты (биосинтез гема) и супероксиддисмутазу 1 (антиоксидантная защита) [7].

Эффективность применения цинка доказана медицинскими исследованиями в профилактике и лечении [8]. В ветеринарных и зоотехнических науках, помимо этого, цинк применяют в качестве добавки для целей повышения продуктивности [10]. Исследования ряда авторов показали, что сульфат Zn в оболочке как дополнительный источник элемента стимулирует ферментацию в рубце, переваривание и повышает продуктивность молочных коров [9].

Применение цинка в форме оксида повышает качество молока для переработки, существенно снижает количество соматических клеток и повышает устойчивость липидов молока к окислению, что важно для хранения и переработки. По-видимому, отчасти это происходит за счет изменения в соотношении ЖК (снижения концентрации насыщенных, повышения ненасыщенных олеиновой, вакценовой, руменовых кислот), повышения концентрации карбоновых кислот, альдегидов и сложных эфиров [10].

Особенность метаболизма Zn заключается в том, что элемент плохо депонируется организмом и токсичен в избытке [11–13], что требует его регулярного поступления в оптимальных дозах [14–16]. Это важно в вопросах ветеринарно-санитарного контроля безопасности продукции животного происхождения и профилактики микроэлементозов молочных коров. При этом различные системы управления молочно-товарными фермами по-разному подходят к вопросам контроля микроэлементов. Безусловно, оптимально учитывать их состав во всех критически важных объектах хозяйственной деятельности — почве, урожае, кормах, организме и продукции [17–20], что учитывают и прогнозируют еще на этапе планирования, для чего с успехом применяются методы математического моделирования.

В работе авторы предлагают простую модель регрессионного анализа для регулярного мониторинга уровня Zn в молоке по данным о его пищевой ценности и физико-химических свойствах.

Модели регрессионного анализа успешно применяются при исследованиях в агропромышленном комплексе [21–23]. Например, методика линейного описания экстерьерных статей позволяет определять породные (индивидуальные) особенности телосложения животных молочного типа, что повышает качество

селекционной работы [21], генно-биометрические модели макроэкономических процессов в племенном животноводстве [22] используют в зонах рискованного земледелия [23]. Активно используются методы генного прогнозирования, в том числе для малонаследуемых репродуктивных признаков [24]. Опираясь на корреляционный анализ, установлены положительные корреляции для Pb-белка, Cr-протеина и Cd-лактозы [25].

Цель данной работы — прогнозирование содержания цинка в молоке с помощью модели уравнения множественной регрессии на базе данных по биохимическому составу.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Отбор образцов молока производили у здоровых коров второй лактации черно-пестрой породы из Племенного завода «Ладожское» (Краснодарский край, Россия) в 2022–2023 году.

Содержание привязное с выгулами в летнем лагере ($n = 110$).

Во время контрольных доек отбирали среднюю пробу молока согласно ГОСТ 26809.1¹.

Биохимический анализ показателей молока коров выполнен по ГОСТ 32255-2013² с помощью системы MilkoScan 7 / Fossomatic 7 DC (Дания).

Исследование цинка выполнено методом атомно-абсорбционной спектроскопии на анализаторе ZEE nit 650 P (Analytik Jena, Германия).

Статистическую обработку данных, корреляционный анализ и построение множественной регрессионной модели осуществляли в программе Microsoft Excel при помощи пакета «Анализ данных» (Microsoft, США).

Прогнозируемый показатель — содержание Zn в молоке коров; независимые переменные для прогноза — массовая доля жира (МДЖ), массовая доля белка истинного (МДБи), массовая доля белка общего (МДБо), лактоза (Л), сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО), сухое вещество (СВ), точка замерзания (ТЗ), кислотность (pH).

Вид модели множественной регрессии линейный:

$$Zn = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n,$$

где: b_0 — сдвиг; b_1 – n — коэффициенты отклонения для переменных x_1 – n .

Распределение данных на нормальность определяли по критерию теста Харке — Бера³. Значения и оценка коэффициентов регрессии выполнены по методу наименьших квадратов. Проверку качества уравнения регрессии проводили по коэффициенту детерминации (R^2), F-статистики и ее вероятности.

Оценку значимости каждого фактора и достоверность коэффициентов линейной регрессии определяли с помощью t-статистики. Оценку мультиколлинеарности проводили по матрице корреляций и фактору инфляции дисперсии (ФИД)⁴ для каждого параметра в конкретном уравнении.

¹ ГОСТ 26809.1-2014 Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосодержащие продукты.

² ГОСТ 32255-2013 Молоко и молочные продукты. Инструментальный экспресс-метод определения физико-химических показателей идентификации с применением инфракрасного анализатора.

³ Заяц О.А. Прогнозирование объемов производства молока на основе сезонной ARIMA-модели. Фундаментальные исследования. 2019; (6): 61–66.

⁴ Курихара С., Маруяма А. Статистика в рисунках. М.: ДМК Пресс. 2021; 304.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты анализа первичных данных представлены в таблице 1.

Нормальность распределения данных подтвердили для всех показателей, кроме цинка по тесту Харке — Бера (табл. 1). Подбор модели прогнозирования уровня цинка проводили без исключения выбросов (уравнения 15).

Изначально при построении регрессионной модели для вычисления содержания Zn в молоке коров были учтены все данные биохимического анализа молока. Модель уравнения 1 включает константу и имеет коэффициент множественной корреляции ниже 0,50, хотя и значима по F-критерию. Полученные коэффициенты для константы, МДЖ, МДБи, МДБо, лактозы, СОМО и СВ — незначимы по t-критерию Стьюдента и имеют высокие (более 10) фактор инфляции дисперсии (ФИД), кроме переменных ТЗ и Рн.

$$Zn = -899 + 3893 \times \text{МДЖ} + 8516 \times \text{МДБи} - 9992 \times \text{МД} - \text{Бо} + 161 \times \text{Л} + 4635 \times \text{СОМО} - 3630 \times \text{СВ} - 67 \times \text{ТЗ} + 5233 \times \text{рН} \quad (1)$$

$p = 0,96; 0,14; 0,31; 0,31; 0,96; 0,25; 0,18; 0,001; 0,06$ соответственно

ФИД = 317,51; 723,62; 840,02; 17,39; 210,77; 491,68; 2,10; 1,64 соответственно

Модель уравнения 2 построена без константы. Это позволило повысить значение множественной корреляции на 0,47, нормированного R^2 — на 0,69 (табл. 1), подтвердило значимость по F-критерию и незначительно повлияло на параметры оценки переменных. При этом основная масса задействованных в расчетах переменных по-прежнему незначима.

$$Zn = 3958,7 \times \text{МДЖ} + 8538,1 \times \text{МДБи} - 10019,2 \times \text{МДБо} + 172,9 \times \text{Л} + 4709,4 \times \text{СОМО} - 3698,9 \times \text{СВ} - 67,4 \times \text{ТЗ} + 5121,6 \times \text{рН} \quad (2)$$

$p = 0,07; 0,30; 0,30; 0,95; 0,20; 0,11; 0,0002; 0,0004$ соответственно

ФИД = 227,70; 727,80; 844,74; 17,42; 179,15; 351,22; 1,55; 0,43 соответственно

Далее усовершенствование полученных моделей проводили решением проблемы мультиколлинеарности, исключив взаимосвязанные дублирующие факторы, находящиеся между собой в линейной зависимости, что определяли по коэффициенту корреляции (если $r \geq 0,7$, одну из переменных исключали).

Для переменных установили: МДЖ и СВ ($r = 0,91$); МДБи и МДБо ($r = 1,00$); СВ и МДБи/МДБо ($r = 0,67 / r = 0,67$); СОМО и МДБи/МДБо ($r = 0,91 / r = 0,92$). После исключения в модели остались: МДЖ, МДБи, лактоза, ТЗ, рН.

Для уравнения 3 константу вернули, для уравнения 4 исключили.

$$Zn = -13734,3 + 395,1 \times \text{МДЖ} + 468,1 \times \text{МДБи} + 624,5 \times \text{Л} - 59,3 \times \text{ТЗ} + 6431,8 \times \text{рН} \quad (3)$$

$p = 0,39; 0,01; 0,23; 0,48; 0,001; 0,01$ соответственно
ФИД = 1,25; 1,49; 1,87; 1,49; 4,02 соответственно

Модель уравнения 3 с константой имеет коэффициент множественной корреляции менее 0,50 и значима

по F-критерию. Полученные коэффициенты для МДЖ, ТЗ, рН значимы по t-критерию Стьюдента и имеют ФИД менее 10.

$$Zn = 394 \times \text{МДЖ} + 534,5 \times \text{МДБи} + 841,7 \times \text{Л} - 64,6 \times \text{ТЗ} + 4583,4 \times \text{рН} \quad (4)$$

$p = 0,01; 0,16; 0,31; 0,0001; 0,001$ соответственно
ФИД = 1,26; 1,44; 1,73; 1,30; 1,17 соответственно

Модель уравнения 4 построена без константы, что позволило повысить значение множественной корреляции на 0,58, нормированного R^2 — на 0,66 (табл. 1). Уравнение значимо по F-критерию, полученные коэффициенты для МДЖ, ТЗ и рН значимы по t-критерию Стьюдента и ФИД.

В модели 5 исключили незначимые переменные по t-критерию Стьюдента — МДБи и лактозу.

$$Zn = 420,4 \times \text{МДЖ} - 55,2 \times \text{ТЗ} + 4684,0 \times \text{рН} \quad (5)$$

$p = 0,006; 0,0001; 0,00003$ соответственно.
ФИД = 1,15; 0,97; 0,72 соответственно.

Уравнения 2, 4 и 5 равноценны при сравнении нормированного R^2 и значимы по F-критерию. Самое простое (с меньшим количеством переменных) — уравнение 5. Кроме того, после исключения незначимых

Таблица 1. Описательная статистика для данных физико-химических показателей молока и уровня цинка (n = 110)

Table 1. Descriptive statistics for data on physico-chemical parameters of milk and zinc levels (n = 110)

Ед. изм.	МДЖ	МДБи	МДБо	Л	СОМО	СВ	ТЗ	рН	Zn
	%	%	%	%	%	%			мкг/л
μ	3,33	3,09	3,26	4,89	8,94	12,12	529,61	6,58	3018,65
Se	0,08	0,04	0,04	0,02	0,04	0,10	0,88	0,01	137,45
Me	3,26	3,05	3,23	4,93	8,94	12,085	530,5	6,59	2938
Mo	3,06	3,46	3,04	4,97	8,77	13,41	534	6,6	3020
Q	0,9	0,4	0,4	0,2	0,5	1,0	9,2	0,1	1441,56
S_2	0,8	0,2	0,1	0,0	0,2	1,1	85,0	0,0	2 078 102,31
Ex	7,6	-0,5	-0,5	6,5	-0,4	0,7	0,1	1,1	0,99
As	1,4	0,3	0,3	-1,7	0,1	0,4	-0,8	0,1	0,82
Min	1,35	2,26	2,5	3,98	7,92	9,83	502	6,43	793,2
Max	8,14	4,19	4,27	5,35	10,17	15,75	545	6,79	8120
CV	26	13	12	4	5	9	2	1	48
Q1	2,84	2,74	2,96	4,83	8,59	11,32	524,25	6,55	2081,00
Q3	3,84	3,39	3,54	4,99	9,25	12,79	536,75	6,62	3620,00
R	6,79	1,93	1,77	1,37	2,25	5,92	43	0,36	7326,8
IQR	1,0	0,6	0,6	0,2	0,7	1,5	12,5	0,1	1539,0
lim	6,03	1,85	1,71	1,34	1,28	1,60	1,09	1,06	10,24
JB	2,75	0,02	0,01	0,36	0,01	0,07	1,19	0,00	234,86
p-value	0,25	0,99	0,99	0,83	1,00	0,97	0,55	1,00	0,00

Примечание: μ — среднее значение, Se — стандартная ошибка, Me — медиана, Mo — мода, Q — стандартное отклонение, S_2 — дисперсия выборки, Ex — эксцесс, As — асимметричность, Min — минимум, Max — максимум, CV — коэффициент вариации, Q1 — первый квартиль, Q3 — третий квартиль, R — размах, IQR — межквартильный размах, lim — лимит, JB — критерий теста Харке — Бера на нормальность распределения данных, p-value — оценка нормальности распределения показателей: если p-значение больше 0,05, принимаем нулевую гипотезу (распределение нормальное).

Note: μ is the average value, Se is the standard error, Me is the median, Mo is the mode, Q is the standard deviation, S_2 is the sample variance, Ex is the kurtosis, As is the asymmetry, Min is the minimum, Max is the maximum, CV is the coefficient of variation, Q1 is the first quartile, Q3 is the third quartile, R is the range, IQR is the quarterly range, lim is the limit, JB is the criterion of the Harkeber test for the normality of the data distribution, p-value is the assessment of the normality of the distribution of indicators: if the p-value is greater than 0.05, we accept the null hypothesis (the distribution is normal).

Таблица 2. Регрессионная статистика и данные дисперсионного анализа

Table 2. Regression statistics and variance analysis data

Вывод итогов	1	2	3	4	5
Регрессионная статистика					
Множественный R	0,45	0,92	0,43	0,92	0,92
R ²	0,21	0,85	0,19	0,85	0,85
Нормированный R ²	0,14	0,83	0,15	0,83	0,83
Стандартная ошибка	1334,33	1327,79	1329,72	1328,04	1332,66
Наблюдения	110	110	110	110	110
Значимость F	0,002	7,05E-39	0,0005	2,76E-41	5,41E-43

Примечание: 1 — модель без исключения дублирующих факторов с константой; 2 — модель без исключения дублирующих факторов, без константы; 3 — модель с исключением дублирующих факторов с константой; 4 — модель с исключением дублирующих факторов, без константы; 5 — модель с исключением дублирующих и незначимых факторов, без константы.

Note: 1 — a model without exclusion of duplicate factors with a constant; 2 — a model without exclusion of duplicate factors, without a constant; 3 — a model with exclusion of duplicate factors with a constant; 4 — a model with exclusion of duplicate factors, without a constant; 5 — a model with exclusion of duplicate and insignificant factors, without a constant.

по t-критерию Стьюдента переменных для МДЖ, ТЗ и рН остаются приемлемыми значения r и ФИД.

В таблице 2 приведены «меры согласия» для описанных выше моделей и оценка их взаимосвязи с исходными данными.

При апробации полученных уравнений и сопоставлении расчетных результатов с фактическими данными прибора статистически значимых различий не обнаружено ($p = 0,66$, $p = 0,86$, $p = 0,99$, $p = 0,89$, $p = 0,99$ для уравнений 1–5 соответственно), полученные методом расчетов данные ложатся в диапазон между первым (2081,0 мкг/л) и третьим (3620 мкг/л) квартилем фактически полученных результатов.

Все полученные модели регрессионного уравнения позволяют удовлетворительно описать среднее

значение уровня Zn в молоке для исследуемой популяции. Наиболее предпочтительно уравнение 5.

Выводы/Conclusion

Уровень Zn в молоке коров зависит от большого количества факторов — как внешних, так и внутренних. Межквартальный размах в группе по данному показателю составил 1539,0 мкг/л (коэффициент вариации (КВ) 48%). При этом данные биохимического анализа молока (МДБи, МДБо, лактоза и т. д.) более консервативны КВ для МДБи, МДБо, лактозы, СОМО, СВ, ТЗ, рН, менее 15%, за исключением МДЖ, где КВ составил 26%.

Выявление и ранжирование факторов биохимического анализа по степени их влияния на результирующую переменную (Zn) показали высокую значимость переменных МДЖ, ТЗ и рН в лучшей из полученных моделей регрессионного уравнения 5. Для этой же модели все полученные коэффициенты значимы по t-критерию Стьюдента. Во многом этому способствовало исключение дублирующих факторов при решении проблемы мультиколлинеарности после анализа матрицы коэффициентов корреляции и контроля по фактору инфляции дисперсии для каждой из переменных в разных вариантах уравнения.

Разработка и применение регрессионных уравнений могут стать существенным подспорьем при прогнозировании уровня обеспечения молочных коров Zn в среднем по стаду и поступления его в продукцию. Полученные модели могут быть доработаны и усовершенствованы при получении новых данных.

Поскольку уровень Zn будет в значительной степени зависеть от фактора кормления, коррекцию результатов анализа фактического и математического лучше проводить параллельно со сменой рациона или какого-либо из компонентов рациона, хотя вопросы кормления и не были затронуты в ходе работы.

Автор несет ответственность за работу и представленные данные.
Автор несет ответственность за плагиат.
Автор объявил об отсутствии конфликта интересов.

The author is responsible for the work and the submitted data.
The author is responsible for plagiarism.
The author declared no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания № 124020200032-4 (FGGN-2024-0016).

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of state task No. 124020200032-4 (FGGN-2024-0016).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khan I.T., Nadeem M., Imran M., Ullah R., Ajmal M., Jaspal M.H. Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*. 2019; 18: 41. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>
2. Clark S., García M.B.M. A 100-Year Review: Advances in goat milk research. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10026–10044. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13287>
3. Haenlein G.F.W. Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*. 2004; 51(2): 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.010>
4. Silanikove N., Leitner G., Merin U., Prosser C.G. Recent advances in exploiting goat's milk: quality, safety and production aspects. *Small Ruminant Research*. 2010; 89(2–3): 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.033>
5. Verruck S., Dantas A., Prudencio E.S. Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health. *Journal of Functional Foods*. 2019; 52: 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.017>
6. Olechnowicz J., Tinkov A., Skalny A., Suliburska J. Zinc status is associated with inflammation, oxidative stress, lipid, and glucose metabolism. *The Journal of Physiological Sciences*. 2018; 68(1): 19–31. <https://doi.org/10.1007/s12576-017-0571-7>
7. Kim J., Lee J., Ryu M.-S. Cellular Zinc Deficiency Impairs Heme Biosynthesis in Developing Erythroid Progenitors. *Nutrients*. 2023; 15(2): 281. <https://doi.org/10.3390/nu15020281>

REFERENCES

1. Khan I.T., Nadeem M., Imran M., Ullah R., Ajmal M., Jaspal M.H. Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*. 2019; 18: 41. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>
2. Clark S., García M.B.M. A 100-Year Review: Advances in goat milk research. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10026–10044. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13287>
3. Haenlein G.F.W. Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*. 2004; 51(2): 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.010>
4. Silanikove N., Leitner G., Merin U., Prosser C.G. Recent advances in exploiting goat's milk: quality, safety and production aspects. *Small Ruminant Research*. 2010; 89(2–3): 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.033>
5. Verruck S., Dantas A., Prudencio E.S. Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health. *Journal of Functional Foods*. 2019; 52: 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.017>
6. Olechnowicz J., Tinkov A., Skalny A., Suliburska J. Zinc status is associated with inflammation, oxidative stress, lipid, and glucose metabolism. *The Journal of Physiological Sciences*. 2018; 68(1): 19–31. <https://doi.org/10.1007/s12576-017-0571-7>
7. Kim J., Lee J., Ryu M.-S. Cellular Zinc Deficiency Impairs Heme Biosynthesis in Developing Erythroid Progenitors. *Nutrients*. 2023; 15(2): 281. <https://doi.org/10.3390/nu15020281>

8. Banaszak M., Górna I., Przysławski J. Zinc and the Innovative Zinc- α 2-Glycoprotein Adipokine Play an Important Role in Lipid Metabolism: A Critical Review. *Nutrients*. 2021; 13(6): 2023. <https://doi.org/10.3390/nu13062023>
9. Wang C. *et al.* Effects of zinc sulfate and coated zinc sulfate on lactation performance, nutrient digestion and rumen fermentation in Holstein dairy cows. *Livestock Science*. 2021; 251: 104673. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104673>
10. Ianni A., Innosa D., Martino C., Grotta L., Bennato F., Martino G. Zinc supplementation of Friesian cows: Effect on chemical-nutritional composition and aromatic profile of dairy products. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(4): 2918–2927. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15868>
11. Hill G.M., Shannon M.C. Copper and Zinc Nutritional Issues for Agricultural Animal Production. *Biological Trace Element Research*. 2019; 188(1): 148–159. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1578-5>
12. Burmistrov D.E. *et al.* Bacteriostatic and cytotoxic properties of composite material based on ZnO nanoparticles in PLGA obtained by low temperature method. *Polymers*. 2022; 14(1): 49. <https://doi.org/10.3390/polym14010049>
13. Gudkov S.V. *et al.* A mini review of antibacterial properties of ZnO nanoparticles. *Frontiers in Physics*. 2021; 9: 641481. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.641481>
14. Воронина О.А., Боголюбова Н.В., Зайцев С.Ю. Минеральные элементы в составе молока коров. Мини-обзор. *Сельскохозяйственная биология*. 2022; 57(4): 681–693. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.4.681rus>
15. Hassan A., Sada K.-K., Ketheeswaran S., Dubey A.K., Bhat M.S. Role of Zinc in Mucosal Health and Disease: A Review of Physiological, Biochemical, and Molecular Processes. *Cureus*. 2020; 12(5): e8197. <https://doi.org/10.7759/cureus.8197>
16. Дубовец Н.И., Казнина Н.М., Орловская О.А., Сычева Е.А. Проблема дефицита цинка в рационе питания населения и биотехнологические подходы к ее решению. *Молекулярная и прикладная генетика*. 2021; 31: 147–158. <https://doi.org/10.47612/1999-9127-2021-31-147-158>
17. Акимов С.С. Моделирование продуктивности хозяйства молочного животноводства. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2022; (1): 25–32. <https://doi.org/10.18137/RNU.V9I87.22.01.P.025>
18. Munir N. *et al.* Heavy metal contamination of natural foods is a serious health issue: a review. *Sustainability*. 2022; 14(1): 161. <https://doi.org/10.3390/su14010161>
19. Gudkov S.V. *et al.* Do iron oxide nanoparticles have significant antibacterial properties?. *Antibiotics*. 2021; 10(7): 884. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070884>
20. Kuramshina N. *et al.* Heavy metals content in meat and milk of Orenburg region of Russia. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(1): 1031–1035. <https://www.elibrary.ru/zsxhdf>
21. Конта А.Ф., Игнатиева Л.П. Многофакторный регрессионный анализ показателей типа телосложения коров-первотелок черно-пестрой голштинизированной породы Подмоховья. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020; (4): 226–231. <https://www.elibrary.ru/pohzqo>
22. Катков К.А., Скорых Л.Н., Паштетский В.С., Остапчук П.С., Кувейда Т.А. Математические методы в племенной оценке мелкого рогатого скота. *Юр России: экология, развитие*. 2019; 14(3): 101–110. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-3-101-110>
23. Бястинова Л.М. Использование многофакторных регрессионных моделей при прогнозировании в сфере сельского хозяйства Якутии. *Экономика и природопользование на Севере*. 2023; (4): 102–110. <https://doi.org/10.25587/2587-8778-2023-4-102-110>
24. Melnikova E. *et al.* Application of Genomic Data for Reliability Improvement of Pig Breeding Value Estimates. *Animals*. 2021; 11(6): 1557. <https://doi.org/10.3390/ani11061557>
25. Zhou X., Zheng N., Su C., Wang J., Soyeurt H. Relationships between Pb, As, Cr, and Cd in individual cows' milk and milk composition and heavy metal contents in water, silage, and soil. *Environmental Pollution*. 2019; 255(2): 113322. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113322>
8. Banaszak M., Górna I., Przysławski J. Zinc and the Innovative Zinc- α 2-Glycoprotein Adipokine Play an Important Role in Lipid Metabolism: A Critical Review. *Nutrients*. 2021; 13(6): 2023. <https://doi.org/10.3390/nu13062023>
9. Wang C. *et al.* Effects of zinc sulfate and coated zinc sulfate on lactation performance, nutrient digestion and rumen fermentation in Holstein dairy cows. *Livestock Science*. 2021; 251: 104673. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104673>
10. Ianni A., Innosa D., Martino C., Grotta L., Bennato F., Martino G. Zinc supplementation of Friesian cows: Effect on chemical-nutritional composition and aromatic profile of dairy products. *Journal of Dairy Science*. 2019; 102(4): 2918–2927. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15868>
11. Hill G.M., Shannon M.C. Copper and Zinc Nutritional Issues for Agricultural Animal Production. *Biological Trace Element Research*. 2019; 188(1): 148–159. <https://doi.org/10.1007/s12011-018-1578-5>
12. Burmistrov D.E. *et al.* Bacteriostatic and cytotoxic properties of composite material based on ZnO nanoparticles in PLGA obtained by low temperature method. *Polymers*. 2022; 14(1): 49. <https://doi.org/10.3390/polym14010049>
13. Gudkov S.V. *et al.* A mini review of antibacterial properties of ZnO nanoparticles. *Frontiers in Physics*. 2021; 9: 641481. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.641481>
14. Voronina O.A., Bogolyubova N.V., Zaitsev S.Yu. Mineral composition of cow milk. A mini review. *Agricultural Biology*. 2022; 57(4): 681–693. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.4.681eng>
15. Hassan A., Sada K.-K., Ketheeswaran S., Dubey A.K., Bhat M.S. Role of Zinc in Mucosal Health and Disease: A Review of Physiological, Biochemical, and Molecular Processes. *Cureus*. 2020; 12(5): e8197. <https://doi.org/10.7759/cureus.8197>
16. Dubovets N.I., Kaznina N.M., Orlovskaya O.A., Sycheva E.A. Problem of zinc deficiency in a diet of the population and biotechnological approaches to its solution. *Molekulyarnaya i prikladnaya genetika*. 2021; 31: 147–158 (in Russian). <https://doi.org/10.47612/1999-9127-2021-31-147-158>
17. Akimov S.S. Modeling the productivity of the dairy livestock farm. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex systems: models, analysis, management*. 2022; (1): 25–32 (in Russian). <https://doi.org/10.18137/RNU.V9I87.22.01.P.025>
18. Munir N. *et al.* Heavy metal contamination of natural foods is a serious health issue: a review. *Sustainability*. 2022; 14(1): 161. <https://doi.org/10.3390/su14010161>
19. Gudkov S.V. *et al.* Do iron oxide nanoparticles have significant antibacterial properties?. *Antibiotics*. 2021; 10(7): 884. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10070884>
20. Kuramshina N. *et al.* Heavy metals content in meat and milk of Orenburg region of Russia. *International Journal of Pharmaceutical Research*. 2019; 11(1): 1031–1035. <https://www.elibrary.ru/zsxhdf>
21. Konte A.F., Ignatieva L.P. Multifactorial regression analysis of cow body type indicators of first calf of the Black-and-White Holsteinized breed of the Moscow region. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020; (4): 226–231 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pohzqo>
22. Katkov K.A., Skorykh L.N., Pashtetsky V.S., Ostapchuk P.S., Kuevda T.A. Mathematical methods in the breeding evaluation of small horned ruminants. *South of Russia: ecology, development*. 2019; 14(3): 101–110 (in Russian). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2019-3-101-110>
23. Byastinova L.M. The use of Multifactor Regression Models in Forecasting in the Agricultural Sector of Yakutia. *Economy and nature management in the North*. 2023;(4): 102–110 (in Russian). <https://doi.org/10.25587/2587-8778-2023-4-102-110>
24. Melnikova E. *et al.* Application of Genomic Data for Reliability Improvement of Pig Breeding Value Estimates. *Animals*. 2021; 11(6): 1557. <https://doi.org/10.3390/ani11061557>
25. Zhou X., Zheng N., Su C., Wang J., Soyeurt H. Relationships between Pb, As, Cr, and Cd in individual cows' milk and milk composition and heavy metal contents in water, silage, and soil. *Environmental Pollution*. 2019; 255(2): 113322. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113322>

ОБ АВТОРАХ

Оксана Александровна Воронина

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных
voroninaok-senia@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6774-4288>

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, Подольск, Московская обл., 142132, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Oksana Alexandrovna Voronina

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals
voroninaok-senia@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6774-4288>

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy settlement, Podolsk, Moscow region, 142132, Russia