

Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 2. С. 85-111.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2023. Vol. 106, no 2. P. 85-111.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА КОРМЛЕНИЯ

Обзорная статья

УДК 636.085:577.17

doi:10.33284/2658-3135-106-2-85

Макро- и микроэлементы в питании животных: многообразие веществ и форм

Анастасия Павловна Иванищева¹, Елена Анатольевна Сизова^{2,3}, Айна Маратовна Камирова⁴, Лера Ленуровна Мусабаева⁵, Максим Владимирович Соловьёв⁶

^{1,2,4,5,6}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

³Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

¹nessi255@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8264-4616>

^{2,3}Sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

⁴ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

⁵musabaeva_1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0199-1013>

⁶fncbst@mail.ru

Аннотация. Актуализация проблемы нормирования макро- и микроэлементов в животноводстве с целью оптимизации здоровья и продуктивности животных при одновременном обеспечении экологической устойчивости и безопасности потребителей пищевых продуктов – важная задача на современном этапе развития зоотехнии. Ранее рационы крупного рогатого скота нормировались только по 8 микроэлементам, к 1996 году на сессиях National Research Council (NRC) включили ещё два элемента, но без установленных требований. Далее содержание не менялось, лишь на 20 % увеличились цифры нормирования Co, Cu. При этом приведённые нормы потребности в элементах следует считать сугубо ориентировочными. Несмотря на большое число публикаций по вопросам минерального обмена, информация относительно действительных размеров усвоения макро- и микроэлементов из различных типов рационов весьма приближительна. На практике недостаток микроэлементов компенсируется введением в рацион химических неорганических соединений. Наиболее широко для этих целей используются минеральные соли. Популярность данная форма вещества приобрела благодаря доступности и бюджетной стоимости. Среди неорганических микроэлементов сульфатные и хлоридные формы, как правило, являются наиболее биодоступными. Между тем неорганическая форма вещества имеет ряд недостатков, такие как высокая токсичность, низкая биодоступность по сравнению с другими формами.

Таким образом, среди многообразия зарегистрированных минеральных кормовых добавок в качестве ингредиентов встречаются разные формы микроэлементов, как неорганические, так и органические. Рациональный подход их использования должен учитывать в том числе сведения о их биодоступности.

Ключевые слова: животноводство, крупный рогатый скот, минеральная питательность, микроэлементы, питание сельскохозяйственных животных

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 22-26-00254.

Для цитирования: Макро- и микроэлементы в питании животных: многообразие веществ и форм (обзор) / А.П. Иванищева, Е.А. Сизова, А.М. Камирова, Л.Л. Мусабаева, М.В. Соловьёв // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 2. С. 85-111. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-85>

THEORY AND PRACTICE OF FEEDING

Review article

Macro- and microelements in animal nutrition: a variety of substances and forms

**Anastasia P Ivanishcheva¹, Elena A Sizova^{2,3}, Anna M Kamirova⁴, Lyra L Musabayeva⁵,
Maxim V Solovyov⁶**

^{1,2,4,5,6}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

³Orenburg State University, Orenburg, Russia

¹nessi255@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8264-4616>

^{2,3}Sizova.L78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

⁴ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

⁵musabaeva_l@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0199-1013>

⁶fncbst@mail.ru

Abstract. Actualization of the problem of rationing macro- and microelements in animal husbandry, in order to optimize the health and productivity of animals while ensuring environmental sustainability and safety of food consumers, is an important task at the present stage of the development of animal science. Previously, the diets of cattle were normalized only according to 8 trace elements, but by 1996, two more elements were included at the sessions of the National Research Council (NRC), but without the established requirements. Further, its content did not change. The figures for rationing Co, Cu increased by 20%. At the same time, the given standards of the need for elements should be considered purely orienting. Despite the large number of publications on mineral metabolism, information about the actual size of the assimilation of macro and microelements from various types of diets is very approximate. In practice, the lack of trace elements is compensated by the introduction of chemical inorganic compounds into the diet. Mineral salts are most widely used for these purposes. This form of substance has gained popularity due to its availability and budget cost. Among inorganic trace elements, sulfate and chloride forms are usually the most bioavailable. Meanwhile, the inorganic form of the substance has a number of disadvantages, high toxicity, low bioavailability compared to other forms.

Thus, among the variety of registered mineral feed additives different forms of trace elements, both inorganic and organic, are found as ingredients. A rational approach to their use should take into account, among other things, information about their bioavailability.

Keywords: animal husbandry, cattle, mineral nutrition, trace elements, nutrition

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-26-00254.

For citation: Ivanishcheva AP, Sizova EA, Kamirova AM, Musabayeva LL, Solovyov MV. Macro- and microelements in animal nutrition: variety of substances and forms (review). *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(2):85-111. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-2-85>

Введение.

Максимальная реализация генетического потенциала и сохранение продуктивного долголетия сельскохозяйственных животных является ключевой задачей для зоотехнии в XXI веке. В этом контексте большое значение имеет питание животных. Эффективность, с которой организм способен преобразовывать кормовую массу в продукцию и обеспечить экономическую результативность производства продуктов животного происхождения, определяется не только основными нутриентами рациона: белками, жирами и углеводами, витаминами, но значительный вклад несёт минеральная составляющая. Причём значение имеет не только фактическое удовлетворение потребности, но и форма вещества (Niemann H et al., 2011, Gerber PJ et al., 2013, Windisch W et al., 2013).

Общеизвестно, что недостаточное обеспечение макро- и микроэлементами приводит к ухудшению состояния животных, отрицательно влияя на продуктивность, иммунитет и воспроизводство (Suttle NF, 2010). Исторически сложилось так, что во всём мире были выявлены геохими-

ческие провинции, отличающиеся повышенным или пониженным содержанием одного или нескольких химических элементов (Underwood EJ and Mertz W, 1987; McDowell LR, 2003). Следовательно, потребность в минеральной составляющей рациона по данным элементам в таких областях должна быть скорректирована (Pandey AK et al., 2019). Наряду с этим, цепочкой факторов, определяющих различия в потребности элементов, являются: возраст, физиологическое состояние, уровень продуктивности, интенсивность роста (Thornton PK, 2010). При этом, ориентируясь на доказанное расхождение усвояемости элементов организмом из различных форм, во внимание следует принимать химическую структуру используемого в кормлении минерального вещества (Holst B and Williamson G, 2008). В этом контексте, имея гарантированную норму ввода в рацион и низкую биодоступность, минеральные соли могут накапливаться в окружающей среде, негативно влияя на растения и животных (López-Alonso M, 2012), затрагивать пищевые цепи (Hashemi M, 2018) и, в конечном итоге, обеспечивать проявление признаков острой или хронической токсичности (Jena SK et al., 2016; Glawischnig W et al., 2021).

Хорошо известно, что концентрация токсических элементов в мясе напрямую связана с содержанием таковых в кормах (Elliott S et al., 2017). Их высокий уровень, часто превышающий нормативные пределы, обнаруживается в мясных продуктах в неблагополучных районах (Orisakwe OE et al., 2017). Кроме того, подобное обстоятельство может нарушить гомеостаз и влиять на абсорбцию других эссенциальных элементов, например, Cd-Cu и Cd-Zn (Goff JP, 2018).

За последние десять лет большое количество исследований было посвящено изучению минерального питания сельскохозяйственных животных и особенностям формирования потребности в элементах в зависимости от различных факторов. Поисковый запрос по ключевым словам «*mineral elements, farm animal*» в системе «PubMed» показывает, что количество публикаций по проблеме превышает 350 тысяч. Подавляющая часть этих исследований сосредоточена на изучении доза-эффектов применения для стимулирования обменных процессов и продуктивности животных (Yatoo MI et al., 2013). При этом такие особенности, как порода, возраст, пол, физиологическое состояние (Aluc Y and Ekici H, 2019; Miranda M et al., 2018), технология производства (Juszczak-Czasnojc M and Tomza-Marciniak A, 2021), антагонизм между элементами (Hartman SJ et al., 2018), санитарно-гигиенические условия содержания, а также качество окружающей среды (Canty MJ et al., 2014; Nawrocka A et al., 2020; Skalny AV et al., 2019) могут оказывать существенное влияние на потребность и накопление этих элементов в тканях животных.

Таким образом, актуализация проблемы нормирования макро- и микроэлементов в животноводстве с целью оптимизации здоровья и продуктивности животных при одновременном обеспечении экологической устойчивости и безопасности потребителей пищевых продуктов – важная задача на современном этапе развития зоотехнии (Mackenzie JS and Jeggo M, 2019).

Цель исследования.

Анализ и обобщение информации по проблеме минерального питания в животноводстве.

Нормирование минерального питания животных.

Важным фактором, ответственным за формирование мясной продуктивности молодняка крупного рогатого скота в онтогенезе, является уровень и качество минерального питания (Горлов И.Ф. и др., 2013). Многочисленные исследования показали, что только полноценные минеральные добавки в рационе животных обладают высокой биологической и экономической эффективностью. Действуя как катализаторы метаболических процессов в организме, биоактивные вещества способствуют снижению затрат энергии на производство продукции и, как следствие, повышают эффективность использования кормов (Suganya T et al., 2016; Алиев М.М. и Гулиева К.А., 2018; Кочиш И.И. и др., 2020).

Мясному скоту требуется не менее 17 различных минеральных элементов в рационе (Зубкова А.С. и др., 2019). Особенно пристальное внимание уделяется сбалансированности питания по

цинку, меди, марганцу, железу, кобальту, йоду, селену и другим питательным веществам (Горлов И.Ф. и др., 2014; Корочкина Е.А., 2016).

Ранее кормление крупного рогатого скота нормировалось только по 8 микроэлементам, включая Co, Cu, I, Fe, Mn, Mo, Se и Zn (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016). Однако список был расширен на шестой (1984) и седьмой (1996) сессиях National Research Council (NRC) за счёт включения Ni и Cr, но без установленных требований. Далее содержание не менялось (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2016) (табл. 1).

Таблица 1. Изменения потребности мясного скота в микроэлементах в период 1984-2016 гг.

Table 1. Changes in the demand of beef cattle for trace elements in the period 1984-2016

Минерал / Mineral	6-й NRC, 1984 г. / 6th NRC, 1984	7-й NRC, 1996-2000 гг. / 7th NRC, 1996-2000	8-й NRC, 2016 г. / 8th NRC, 2016	Предельно допустимая концентрация, мг/кг / Maximum permissible concentration, mg/kg
Хром / Chrome	-	-	-	1000
Кобальт / Cobalt	0,10	0,10	0,15	25
Медь / Copper	8	10	10	40
Йод / Iodine	0,50	0,50	0,50	50
Железо / Iron	50	50	50	500
Марганец / Manganese	40	40	40	1000
Молибден / Molybdenum	-	-	-	5
Никель / Nickel	-	-	-	50
Селен / Selenium	0,20	0,10	0,10	5
Цинк / Zinc	30	30	30	500

Среди этих 10 обязательных микроэлементов особое внимание уделяют селену, меди, цинку, марганцу, йоду и кобальту, ввиду того что их концентрации в почве сельхозугодий, а следовательно, и кормах могут варьировать в широких пределах – от недостаточных до токсичных. Так, например, имеет место определённая дихотомия в отношении селена (López-Alonso M, 2012). Фуражные рационы для крупного рогатого скота чаще всего дефицитны по этому элементу, но в тоже время в некоторых регионах селен эффективно аккумулируется растениями. Текущие рекомендации NRC утвердили безопасную концентрации селена в количестве 0,1 и 0,3 мг/кг сухого вещества для мясного и молочного скота соответственно.

Потребность в меди у мясного скота была увеличена с 8 до 10 мг/кг сухого вещества в шестую и седьмую сессии NRC и осталась неизменной в настоящее время (Arthington JD et al., 2002).

Марганец обычно включается в рацион мясного скота, его потребность составляет 40 мг/кг сухого вещества для племенного скота и 20 мг/кг сухого вещества – для выращивания и откорма крупного рогатого скота. Концентрация марганца в организме животных редко бывает токсичной, возможно, это связано с низкой скоростью всасывания марганца в кишечнике и способностью печени выделять избыток с желчью (Stangl GI et al., 2000).

Кобальт необходим для синтеза витамина B₁₂ в рубце. В 2016 году NRC увеличила потребность в кобальте с 0,10 до 0,15 мг/кг сухого вещества (Tiffany ME et al., 2006; Stangl GI et al., 1999). Недостаточное потребление кобальта негативно влияет на метаболизм витамина B₁₂, который, в свою очередь, нарушает липидный обмен (McDowell LR, 2003). Токсичность кобальта у крупного рогатого скота встречается редко (Arthington JD and Swenson CK, 2004).

Йод участвует в энергетическом обмене организма благодаря своей роли в синтезе гормонов щитовидной железы. Потребность в йоде оставалась неизменной с 1984 по 2016 гг. и составляла 0,5 мг/кг сухого вещества. В современных производственных системах дефицит йода встречается

ся редко вследствие обогащения соли йодом, что удовлетворяет потребность животных в данном элементе (Iannaccone M et al., 2019).

Ранее на основе знаний об обмене и отложении элементов в организме крупного рогатого скота были определены ориентировочные данные о потребности растущих животных в некоторых макроэлементах (Георгиевский В.И. и др., 1979) (табл. 2).

Таблица 2. Ориентировочные нормы потребности растущего крупного рогатого скота в макроэлементах, г/кг сухого вещества рациона
Table 2. Approximate norms of the needs of growing cattle in trace elements, g/kg of dry matter of the diet

Масса тела, кг / Body weight, kg	Суточный привес, кг / Daily weight gain, kg	Суточное потребление корма, кг / Daily feed intake, kg	Элементы / Elements			
			Ca	P	Mg	Na
При выращивании тёлочек для ремонта стада / Rearing heifers for replacement						
50	0,5	1,0	9,6	6,2	0,6	1,5
100	0,65	2,8	7,0	3,5	0,7	0,9
200	0,7	5,2	4,5	3,0	1,4	0,8
300	0,6	7,2	4,0	3,0	1,5	0,8
400	0,6	8,8	4,0	3,0	1,6	0,8
500	0,4	9,6	4,0	3,0	1,7	0,9
Откорм телят мясного направления / Fattening of beef calves						
150	1,0	4,5	6,8	3,5	1,1	0,8
200	1,2	6,0	6,0	3,0	1,4	0,8
300	1,1	8,0	4,5	3,0	1,4	0,8
400	1,0	10,	4,5	3,0	1,4	0,8
500	1,0	11,0	4,5	3,0	1,6	0,8

Однако действующие рекомендуемые нормы по минеральному питанию крупного рогатого скота существенно отличаются от ранее представленных. Нормы кальция и фосфора для некоторых возрастных групп телят в 1,5-2 раза ниже современных норм, принятых в России, они близки к нормам Великобритании и в 1,5-2 раза и более выше нормативов действующих в США (Георгиевский В.И. и др., 1979). Для лактирующих коров нормы ввода кальция и фосфора оказались приблизительно на 15-25 % (Финляндия, США) ниже утверждённых и действующих норм в России (Sukhanova SF et al., 2019) (табл. 3).

Таблица 3. Потребность растущего крупного рогатого скота в макроэлементах, г/сут
(Ващекин Е.П., 2011)

Table 3. The demand of growing cattle for trace elements, g/day (Vashchekin EP, 2011)

Масса тела, кг / Body weight, kg	Ca	P	Mg	Na
1	2	3	4	5
Привес 0,4 кг/сут / Weight gain 0,4 kg/day				
50	8	5	0,6	1,4
100	13	7	1,6	2,2
200	17	12	7,0	3,9

Продолжение таблицы 3				
1	2	3	4	5
300	21	16	10,0	5,6
400	29	23	13,4	7,3
500	38	31	16,6	9,0
Привес 0,8 кг/сут / <i>Weight gain 0,8 kg/day</i>				
50	15	10	0,8	1,9
100	23	11	2,0	2,8
200	26	15	7,6	4,5
300	30	20	10,8	6,2
400	39	27	14,1	7,9
500	50	35	17,2	9,6
Привес 1,2 кг/сут / <i>Weight gain 1,2 kg/day</i>				
50	21	14	1,0	2,5
100	33	16	2,4	3,3
200	36	18	8,3	5,0
300	40	24	11,4	6,7
400	50	30	14,7	8,4
500	62	39	17,8	10,1

Имеются большие расхождения в оценке потребности крупного рогатого скота в натрии (табл. 3). Например, потребность лактирующих коров массой 500 кг и суточным удоем 20 кг в натрии (с учётом поступления элемента с кормом и в виде поваренной соли) по отечественным нормам приблизительно равна 100 г. Согласно нормам, принятым в зарубежных странах (табл. 4), такая корова должна получать с рационом суммарно 21-32,5 г натрия в сутки. Опубликованы убедительные экспериментальные данные, указывающие на возможность уменьшения норм натрия и для растущего молодняка крупного рогатого скота. Снижение норм скармливания поваренной соли, по-видимому, достаточно обосновано (Кокорев В.А. и др., 2013).

Таблица 4. Потребность сухостойных и лактирующих коров (масса тела – 500 кг, суточный удой – 20 кг) в макроэлементах по нормам разных стран, г/сутки (Козина Е.А. и Полева Т.А., 2020).

Table 4. The need of dry-hardy and lactating cows (body weight 500 kg, daily milk yield 20 kg) in macronutrients according to the norms of different countries, g/ day (Kozina EA and Poleva TA, 2020).

Страны / <i>Countries</i>	Лактирующие коровы / <i>Lactating cows</i>				Сухостойные коровы / <i>Dry cows</i>	
	Ca	P	Mg	Na	Ca	P
Швеция / <i>Sweden</i>	52-92	61-66	-	-	49	34
Дания / <i>Denmark</i>	65-70	59-64	-	24	30	39
Норвегия / <i>Norway</i>	56-70	60	-	22	34	30
Финляндия / <i>Finland</i>	75	51	-	25	35	25
США / <i>USA</i>	76	55	15,2-19,2	28,5-32,5	34	24
Англия / <i>England</i>	74	60	20,1	21,1	33	34
ФРГ / <i>FRG</i>	74	50	-	-	69	42
ГДР / <i>GDR</i>	65	52	20	24	-	-
Россия / <i>Russia</i>	105	75	-	-	90	50
Рекомендуемые / <i>Recommended</i>	99	66	26	21	58	40

В заключение необходимо повторить, что приведённые нормы макроэлементов следует считать сугубо ориентировочными. Несмотря на большое число публикаций по вопросам минерального обмена, информация относительно действительных размеров усвоения кальция, фосфора, магния из различных типов рационов весьма приблизительна. На уровень потребности в минеральных веществах может оказывать влияние сезонная изменчивость в усвоении и обмене элементов, характер сдвигов в метаболизме минеральных веществ в течении лактации и беременности, влияние на процессы обмена макро- и микроэлементов новых технологий кормления и содержания.

Кормовые добавки на основе микро- и макроэлементов.

Неорганические формы.

Минеральные комплексы играют важную роль в улучшении показателей роста животных, повышении антиоксидантной способности и иммунитета, становления кишечной флоры (Naz S et al., 2016; Bortoluzzi C et al., 2020).

На практике недостаток микроэлементов компенсируется введением в рацион химически-неорганических соединений. Наиболее широко для этих целей используются минеральные соли. Популярность данная форма вещества приобрела благодаря доступности и бюджетной стоимости. Среди неорганических микроэлементов сульфатные и хлоридные формы, как правило, являются наиболее биодоступными (Greene LW, 2000).

Между тем неорганическая форма вещества имеет ряд недостатков: высокая токсичность, низкая биодоступность по сравнению с другими формами (Шипилов В. и Переслегина И., 1999; Егоров И. и Селина Н., 2004), особенно оксидов меди и железа, что сопряжено с выделением большого количества металлов с помётом и загрязнением окружающей среды (Егоров И.А., 2014).

Минеральные соли в желудочно-кишечном тракте способны образовывать нерастворимые соединения, которые осаждаются на стенках кишечника или естественным путём выводятся из организма (Егоров И. и Селина Н., 2004; Егоров И. и Папазян Т., 2007). Другим существенным недостатком использования минеральных солей является развитие дисбиозов и формирование антибиотикорезистентности микрофлоры кишечника (Yazdankhah S et al., 2014). Введение сульфатов сопровождается гидролизом в желудке, в результате чего образуется свободная серная кислота, воздействие которой приводит к нежелательным изменениям внутренних органов (Иванов И.С. и др., 2016).

Неорганические соли микроэлементов, такие как сульфаты, оксиды, карбонаты и хлориды, широко доступны и представляют собой недорогую форму добавок. Однако ионная связь часто диссоциирует во время прохождения через желудочно-кишечный тракт, позволяя взаимодействовать с другими молекулами, что снижает их всасывание и, как следствие, биодоступность (Spears JW, 2003). Молочная продуктивность и усвояемость питательных веществ может зависеть от формы введения минеральной добавки: сульфат или гидроксид (Miller MD et al., 2020).

Органические формы.

Начиная с середины 1990-х годов, вопрос оптимизации нормирования минерального питания становился одним из первостепенных на фоне растущей стоимости минеральных премиксов и их составляющих при низкой эффективности потребления. Таким образом, одним из путей повышения экономической эффективности могло стать снижение нормы ввода препарата за счёт повышения биодоступности новых источников микроэлементов, а именно органических (Arthington D and Ranches J, 2021).

Органические формы микроэлементов – это семь различных комплексов: металлов и аминокислот, хелатов металлов и аминокислот, протеинатов металлов, полисахаридов металлов, пропионатов металлов и производных дрожжей (Gayathri SL and Panda N, 2018). Добавление органических источников обеспечивает достаточное количество микроэлементов для утилизации рубцовыми микроорганизмами, способствуя перевариванию клетчатки и ферментации (Galbraith ML et al., 2016).

Введение лактирующим коровам селенизированных дрожжей приводило к повышению концентрации летучих жирных кислот и доли пропионата, а также к снижению отношения ацетата к пропионату (Wang C et al., 2009).

Частичная замена солей микроэлементов (Co, Cu, Mn и Zn) органическими источниками положительно влияла на производство молока (Osorio JS et al., 2016; Nocek JE et al., 2006).

Эффект от скармливания органических форм можно добиться не только на прямую – вводом в рацион молодняку, но и через матерей-коров. Так, скармливание матерям органических комплексов Cu, Mn, Co и Zn на поздних сроках беременности положительно влияет на постнатальный рост и здоровье телят, живая масса которых на 11 % выше, чем у телят, не получавших дополнительных органических минералов (Marques RS et al., 2016).

Наряду с позитивным действием на потомство, скармливание органической формы микроэлементов положительно влияет на уровень стельности при искусственном осеменении (Aholo JK et al., 2004).

Органические формы микроэлементов обладают лучшей биодоступностью по сравнению с неорганическими солями (Rider SA et al., 2010). В период с 2006 по 2009 гг. Европейская комиссия по добавкам, продуктам и веществам, используемым в кормах для животных (FEEDAP), дала заключение о безопасном применении кормовых добавок для откорма животных, в том числе селенизированных дрожжей, МНА-Zn (Zn-хелат с гидроксипроксианалогом метионина) (Min YN et al., 2018), МНА-Cu и МНА-Mn (хелаты Cu и Mn гидроксипроксианалога из метионина) (Sun Q et al., 2012; Meng T et al., 2021) и Met-Cr(III) (Cr(III) метионина) (табл. 5). Данное обстоятельство привело к популяризации применения подобных органических форм микроэлементов, как компонентов кормовых добавок, в частности комплексов металлов с аминокислотами, полученных путём взаимодействия солей микроэлементов с очищенным гидролизатом (Rao SVR et al., 2012).

Органические соединения оксида хрома (III) используют для нивелирования стресса и улучшения мясной продуктивности (Mantovani A et al., 2006), повышения эффективности перевариваемости кормов (Guyot H et al., 2009).

Таблица 5. Органо-минеральные кормовые добавки
Table 5. Organo-mineral feed additives

Элементы / Elements	Форма / Form	Максимально допустимые концентрации в корме / Maximum permissible concentrations in feed	Виды животных / Types of animals	Ссылка / Link
1	2	3	4	5
Cr(III)	Met-Cr(III) (Комплекс Cr(III) метионина) / Met-Cr(III) (Cr(III) Methionine complex)	0,4-1,6 мг/кг корма / 0.4-1.6 mg/kg of feed	Все виды / All types	Ly NH et al., 2015
Cu	МНА-Cu (Хелат с гидроксипроксианалогом метионина) / МНА-Cu (Chelate with methionine hydroxyanalogue)	телятам крупного рогатого скота, 15 мг/кг; прочего крупного рогатого скота, 35 мг/кг / cattle calves, 15 mg/kg; other cattle, 35 mg/kg	Все виды / All types	Sun Q et al., 2012

Продолжение таблицы 5				
1	2	3	4	5
Mn	МНА-Mn (Хелат с гидроксипаналогом метионина) / МНА-Mn (Bathrobe with methionine hydroxyanalogue)	150 мг/кг корма / 150 mg/kg of feed	Все виды / All types	Meng T et al., 2021
Se	Селенизированные дрожжи / Selenized yeast	0,5 мг/кг корма / 0.5 mg/kg of feed	Все виды / All types	Polatajko A et al., 2004
Zn	МНА-Zn (Хелат с гидроксипаналогом метионина) / МНА-Zn (Bathrobe with methionine hydroxyanalogue)	200 мг/кг корма для молочных пород; / 200 mg/kg of feed for dairy breeds; 250 мг/кг для всех животных / 250 mg/kg for all animals	Все виды / All types	Min YN et al., 2018

Zn-Met представляет собой разновидность хелата с уникальной кольцевой структурой, образованной неорганическим Zn и метионином в определённых условиях реакции (Burrell AL et al., 2004; Torres CA, 2018). Добавление 150 мг/кг Zn-Met может значительно увеличить относительную численность *Verrucomicrobia* и *Akkermansia* жвачных животных, предполагая, что Zn-Met может способствовать секреции кишечного муцина.

К истинным хелатным соединениям МНА (метионина гидроксипаналога) относятся кормовые добавки серии Mintrex Zn, Cu, Mn (Novus Int., США). Эта добавка способна компенсировать недостаточность в микроэлементах до 100 %, не растворяется в желудке и в неизменном виде всасывается в кишечнике. Учитывая все эти характеристики, компания «Novus» (США) в своих рекомендациях использует подход «снижения и замены»: снижение уровня вводимого микроэлемента и полная замена других источников микроэлементов (Yuan J et al., 2011).

Таким образом, опираясь на особенности химико-физических свойств и биологических особенностей органических форм микроэлементов, вопрос оптимизации нормирования минерального питания может быть решён с их использованием. Повышение экономической эффективности кормления можно достичь в том числе за счёт применения органических форм, снижения нормы ввода при повышении биодоступности.

Ультрадисперсные формы микроэлементов.

На смену минеральным и органическим источникам эссенциальных элементов приходят их аналоги в виде ультрадисперсной формы с более высокой биодоступностью и положительным метаболическим эффектом (Околелова Т.М. и др., 2000; Галиев Д.М., 2015), в частности препараты высокодисперсных частиц (ВДЧ) (Глушенко Н.Н. и др., 2007; Глушенко Н.Н. и Богословская О.А., 2009; Назарова А.А. и Полищук С.Д., 2009).

Нанотехнологические решения используются при производстве микроэлементов с размером в нанометровом диапазоне. В свою очередь продукты, полученные таким образом, востребованы как альтернативные источники микроэлементов для премиксов и комбикормов. Их применяют с целью улучшения переваривания и усвояемости (Гарипова Н.В. и др., 2019), как альтернативу антибиотикам – стимуляторам роста (Nechitailo KS et al., 2021), как источники микро- и макроэлементов (Камирова А.М. и Иванищева А.П., 2022) в качестве новых пищевых ингредиентов,

обладающих экологической и пищевой безопасностью (Кондакова К.С. и др., 2012; Лашкова Т.Б. и Петрова Г.В., 2022).

Находясь в постоянном развитии и совершенствовании, результаты нанотехнологических решений расширяют свой перечень, предлагая всё более разнообразные, специфичные, функциональные продукты – вещества, обладающие высоким потенциалом для применения в различных отраслях, в том числе в животноводстве (Курилкина М.Я. и др., 2019; Фролов А.Н. и др., 2019).

Ультрадисперсные формы железа, кобальта, меди, марганца, селена и других элементов обладают выраженными биологическими свойствами. Исследования, проведённые в последние годы, показали их эффективность в растениеводстве (Рахманова Г.Ф. и др., 2020), кормопроизводстве (Крюков В.И., 2011) и животноводстве (Сизова Е.А. и др., 2019).

Введение в рацион козлят Nano-Se приводит к увеличению массы тела с наименьшими затратами. При этом снижается рН в рубце (диапазон – 6,68-6,80), концентрация аммиака (диапазон – 9,95-12,49 мг/100 мл), улучшается переваримость кормов (Wu X et al., 2011).

Введение в рацион поросят хрома в виде нанокompозита (CrNano) в дозе 200 мкг значительно снижало жирность туши, уровни глюкозы, азота мочевины, триглицеридов, холестерина в сыворотке крови. При этом уровни общего белка, липопротеинов высокой плотности и липазной активности в сыворотке крови были значительно повышены. Эти результаты свидетельствуют о том, что добавка CrNano оказывает благотворное влияние на характеристики туши, качество мяса и способствует накоплению тканевого хрома в отдельных мышцах и органах (Кравченко А.В., 2017).

Доступность меди значительно улучшается при внесении в рацион добавки NanoCu по сравнению с животными, получавшими сульфат меди (CuSO_4), на фоне активизации переваримости сырого жира и энергии (Левахин Ю.И. и др., 2019).

Доказано, что некоторые наночастицы (серебро, диоксид титана, фуллерены, оксид цинка и оксид магния) обладают антибактериальной активностью. Бактерицидное действие наночастиц, вероятно, связано с ингибированием внутриклеточного энергетического обмена в результате их интернализации бактериальной клеткой (Сизова Е.А. и др., 2020). Определённые сомнения может вызвать тот факт, что не все взаимодействия с кишечной микробиотой изучены, а также остаётся неизвестным потенциальный переход наночастиц из кишечника в продукты животного происхождения.

Ультрадисперсные частицы оксида кремния оказывают положительное влияние на продуктивные качества крупного рогатого скота. Они обладают биотическим эффектом: стимулируют дыхательную функцию, увеличивают количество эритроцитов, повышают защитные свойства организма, уменьшают число лейкоцитов, увеличивают содержание белка в сыворотке крови, способствуют улучшению состояния микробиоценоза кишечника (Lebedev SV et al., 2019; Макаева А.М. и др., 2020).

Таким образом, наночастицы могут найти широкое применение в кормах для сельскохозяйственных животных, однако необходимы дальнейшие исследования для полноценного всестороннего понимания их эффектов (Сизова Е.А. и др., 2020).

Минеральные кормовые добавки.

Общеизвестно, что качество и питательность кормовых ресурсов при пастбищном содержании животных не всегда обеспечивают полноценность рациона. Основная потребность в минеральных веществах удовлетворяется за счёт коммерчески доступных премиксов и минеральных кормовых добавок. На сегодняшний день реестр кормовых добавок содержит 3649 наименований (<https://galen.vetr.ru/react/registry/feed/registry>), из них 1891 имеют назначение как минеральные. Множество представленных на рынке кормовых добавок – импортного производства, в связи с этим спрос на отечественные эффективные препараты в настоящее время высок.

Российские научные коллективы ведут активную работу по разработке и внедрению высокоэффективных кормовых добавок. Так, учёные Воронежского государственного аграрного университета и комбикормовой компании «Мегамикс» создали сорбционно-пробиотическую кормо-

вую добавку на основе местной природной бентонитовой глины, сухой живой пробиотической культуры дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) и искусственно высушенного растительного яблочного корма (Aristov A et al., 2021).

Сорбционно-пробиотическая кормовая добавка способствует повышению продуктивности и качества продукции животноводства за счёт использования в рационе натуральных и пробиотических стимуляторов сорбции. Такой результат достигается за счёт нормализации пищеварения, минимизации явлений ацидоза и кетоза, активации неспецифического иммунитета, усиления секреторных явлений и преобладания процессов ассимиляции (Semenov SN et al., 2020).

Высокая потребность в магнии наблюдается в период интенсивного роста животных, в неблагоприятные времена года и в период активной физической нагрузки. В это время запасы магния в организме животных необходимо пополнять. АгроМаг® от Brucite+ (бренд под управлением ООО «РГХО», Россия) представляет собой молотый минерал брусит с самым высоким содержанием магния по сравнению с другими минералами, который широко применяется как источник магния в производстве кормов и премиксов для крупного рогатого скота, свиней и кур-несушек (Эффективная кормовая добавка ..., 2022).

В отличие от низкоудойных, высокопродуктивные коровы потребляют большее количество сухого вещества корма и расходуют больше белков, жиров и углеводов в процессе лактации. Основная задача специалиста – восполнить эти потери и поддержать здоровье и продуктивность животного (Новая линейка премиксов ..., 2019). Для решения этой задачи в 2018 году «Мустанг Технологии Кормления» (Россия) разработал новую линейку премиксов для высокоудойных коров: «Кауфит Иммуно Фертил», «Кауфит Экстра» и «Кауфит Премиум». Введение кормовой добавки «Кауфит Драй плюс» в рацион глубоко сухостойных коров позволяет существенно снизить вероятность возникновения в послеродовом периоде родильного пареза, эндометрита, мастита, задержания последа (Герцева К.А. и др., 2020).

Кормовые добавки серии Mintrex (Novus, Северная Америка) актуальны для использования многим видам животных: свиньи (Liu Y et al., 2014; Zhao J et al., 2014; Ma YL et al., 2015), молочные коровы (Nemes LM et al., 2012; Wang F et al., 2012), мясной скот (Whitehurst WA et al., 2014), рыба (Mohseni M et al., 2012). Кормовая добавка В-Трахим Се (Pancosma Canada Inc., Канада) включает комплекс органического селена и низкомолекулярного гидролизата соевого белка. Использование В-Трахим Се при откорме эффективно повышает продуктивность, чем неорганические аналоги (Leeson S et al., 2008).

Таким образом, среди многообразия зарегистрированных минеральных кормовых добавок в качестве ингредиентов встречаются разные формы микроэлементов, как неорганические, так и органические. Рациональный подход их использования должен заключаться, в том числе с учётом сведений о их биодоступности.

Заключение.

Дефицит микроэлементов наблюдается, когда крупный рогатый скот полагается исключительно на корма для удовлетворения своих потребностей. Кроме того, присутствие антагонистов микроэлементов, которые обычно встречаются в корме, может усложнить успех программы добавок микроэлементов. Тем не менее, доступно несколько стратегий добавок микроэлементов, таких как обогащение энергетических и белковых добавок, биообогащение, инъекционные микроэлементы.

Независимо от вариантов, обогащённые микроэлементами соли на основе добавок являются наиболее распространённой стратегией. Эти добавки могут быть разработаны для удовлетворения потребностей крупного рогатого скота с использованием различных источников микроэлементов, которые сгруппированы в различные категории, такие как неорганические микроэлементы, органические и микроэлементы гидроксихлорида.

Анализ информационных ресурсов показал большое многообразие зарегистрированных минеральных кормовых добавок, в которых в качестве ингредиентов встречаются разные формы

микроэлементов, как неорганические, так и органические. Рациональный подход использования таких должен учитывать в том числе, сведения о их биодоступности.

Список источников

1. Алиев М.М., Гулиева К.А. Переваримость питательных веществ комплексного рациона с биоактивными веществами // Вестник АПК Ставрополя. 2018. № 1(29). С. 57-59. [Aliyev MM, Guliyeva KA. Digestibility of nutrients in a complex (integrated) ration with bioactive substances. Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2018;1(29):57-59. (In Russ.)].
2. Влияние жиросодержащей добавки Палматрикс обогатщенной наночастицами Си в составе рационов на гематологические показатели и естественную резистентность откармливаемых бычков / Ю.И. Левахин, Б.С. Нуржанов, Е.Б. Джуламанов, В.А. Рязанов // Биотехнологические аспекты управления технологиями пищевых продуктов в условиях международной конкуренции: сб. ст. по материалам Всеросс. (национальной) науч.-практ. конф. (г. Курган, 19 марта 2019 г.) / под общ. ред. С.Ф. Сухановой. Курган: Изд-во Курганской ГСХА. 2019. С. 147-152. [Levakhin YuI, Nurzhanov BS, Djulamanov EB, Ryazanov VA. the influence of fat-containing supplements pulmatrix enriched with si nanoparticles in the composition of the diet on hematological and natural resistance of fattened steers. (Conference proceedings) Biotehnologicheskie aspekty upravlenija tehnologijami pishhevyh produktov v usloviyah mezhdunarodnoj konkurencii: sb. st. po materialam Vseross. (nacional'noj) nauch.-prakt. konf. (g. Kurgan, 19 marta 2019 g.) pod obshh. red. Suhanovoj SF. Kurgan: Izd-vo Kurganskoj GSHA; 2019:147-152. (In Russ.)].
3. Влияние жомы стевии на организм высокопродуктивных коров и динамику рубцовой микрофлоры / С.Н. Семенов, А.В. Аристов, Н.П. Зуев, У.А. Круть, Е.Е. Зуева // Innovations in life sciences: сб. материалов II международного симпозиума (г. Белгород, 19-20 мая 2020 г.) / отв. ред. И.В. Спичак. Белгород: ИД «БелГУ» НИУ «БелГУ», 2020. С. 252-254. [Semenov SN, Aristov AV, Zuev NP, Krut' UA, Zueva EE. Vlijanie zhoma stevii na organizm vysokoproduktivnyh korov i dinamiku rubcovoij mikroflory (Conference proceedings) Innovations in life sciences: sb. materialov II mezhdunarodnogo simpoziuma (g. Belgorod, 19-20 maja 2020 g.) отв. red. Spichak IV. Belgorod: ID «BelGU» NIU «BelGU»; 2020:252-254. (In Russ.)].
4. Влияние микроэлементов Си, Со, Zn и Mn в органической форме на организм животных / И.С. Иванов, В.А. Руденок, Е.И. Трошин, А.Н. Куликов // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. 2016. № 4. С. 246-249. [Ivanov IS, Rudenok VA, Troshin EI, Kulikov AN. Influence of the organic form Cu, Co, Zn and Mn on the animal organism. Legal Regulation in Veterinary Medicine. 2016;4:246-249. (In Russ.)].
5. Влияние новой кормовой добавки на мясную продуктивность и убойные качества бычков / И.Ф. Горлов, М.Е. Дорохин, Д.А. Ранделин, Д.В. Николаев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 4(114). С. 68-72. [Gorlov IF, Dorokhin ME, Randelin DA, Nikolaev DV. Effect of a new feed supplement on beef performance and dressing yield of steers. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2014;4(114):68-72. (In Russ.)].
6. Галиев Д.М. Минеральные и сорбционные добавки в рационе цыплят-бройлеров // Аграрное образование и наука. 2015. № 1. С. 3. [Galiev DM. Mineral and sorption supplements in the diet of broiler chickens. Agrarian Education and Science. 2015;1:3. (In Russ.)].
7. Георгиевский В.И., Анненков Б.Н., Самохин В.Т. Минеральное питание животных. Москва: Колос, 1979. 471 с. [Georgievsky VI, Annenkov BN, Samokhin VT. Mineral'noe pitanie zhivotnyh. Moscow: Kolos; 1979:471 p. (In Russ.)].
8. Горлов И.Ф., Ранделин Д.А., Натыров А.К. Эффективность выращивания на мясо бычков специализированных мясных пород // Вестник калмыцкого университета. 2013. № 3 (19). С. 14-20. [Gorlov IF, Randelin DA, Natyrov AK. Effectiveness of specialized meat breedsbulls-calves breeding. Bulletin of Kalmyk University. 2013;3(19):14-20. (In Russ.)].

9. Егоров И., Папазян Т. Современные тенденции в кормлении птицы // Птицеводство. 2007. № 8. С. 9-11. [Egorov I, Papazyan T. Sovremennye tendencii v kormlenii pticy. Ptitsevodstvo. 2007;8:9-11. (*In Russ.*)].
10. Егоров И., Селина Н. Новые тенденции в кормлении птицы // Комбикорма. 2004. № 6. С. 5. [Egorov I, Selina N. Novye tendencii v kormlenii pticy. Compound Feeds. 2004;6:5. (*In Russ.*)].
11. Егоров И.А. Современные подходы к кормлению птицы // Птицеводство. 2014. № 4. С. 11-16. [Egorov IA. Modern trends in poultry nutrition. Ptitsevodstvo. 2014;4:11-16. (*In Russ.*)].
12. Зубкова А.С., Давыдова М.Н., Мошкина С.В. Организация минерального питания коров и последствия несбалансированного минерального питания // Вклад университетской аграрной науки в инновационное развитие агропромышленного комплекса: материалы 70-й Междунар. науч.-практ. конф., (г. Рязань, 23 мая 2019 г.). Рязань: РГАТУ им. П.А. Костычева. 2019. С. 60-63. [Zubkova AS, Davydova MN, Moshkina SV. Organizacija mineral'nogo pitaniya korov i posledstviya nesbalansirovannogo mineral'nogo pitaniya (Conference proceedings) Vklad universitetskoj agrarnoj nauki v innovacionnoe razvitie agropromyshlennogo kompleksa: materialy 70-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (g. Rjazan', 23 maja 2019 g.). Rjazan': RGATU im. P.A. Kostycheva; 2019:60-63. (*In Russ.*)].
13. Изучение безопасности введения наночастиц меди с различными физико-химическими характеристиками в организм животных / О.А. Богословская, Е.А. Сизова, В.С. Полякова, С.А. Мирошников, И.О. Лейпунский, И.П. Ольховская, Н.Н. Глущенко // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 2(96). С. 124-127. [Bogoslovskaya OA, Sizova EA, Polyakova VS, Mirosnikov SA, Leipunsky IO, Olkhovskaya IP, Glushchenko NN. Studying of safety of copper nanoparticles introduction with different physical- chemical characteristics into animals' organism. Vestnik Orenburg State University. 2009;2(96):124-127. (*In Russ.*)].
14. Исследование структуры и функциональной активности наночастиц железа / Н.Н. Глущенко и др. // XVIII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: сб. тезисов. М.: Граница. 2007. С. 28-31. [Glushchenko NN, et al. Issledovanie struktury i funkcional'noj aktivnosti nanoplasticheskogo zheleza. XVIII Mendeleevskij s'ezd po obshhej i prikladnoj himii: sb. tezisov. Moscow: Granica; 2007:28-31. (*In Russ.*)].
15. Камирова А.М., Иванищева А.П. Определение переваримости «in vitro» при введении различных минеральных комплексов // Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации: сб. материалов X Междунар. науч.-практ. конф., (г. Москва, 15 дек. 2022 г.). Махачкала: Изд-во «Алеф», 2022. С. 243-246. [Kamirova AM, Ivanishcheva AP. Determination of digestibility "in vitro" with the introduction of various mineral complexes (Conference proceedings) Sovremennye tendencii razvitiya nauki i mirovogo soobshhestva v jepohu cifrovizacii: sb. materialov X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (g. Moscow, 15 dek. 2022 g.). Mahachkala: Izd-vo «Alef»; 2022:243-246. (*In Russ.*)]. doi: 10.34755/IROK.2022.16.16.050
16. Козина Е.А., Полева Т.А. Нормированное кормление животных: учебное пособие. Красноярск: КрасГАУ, 2020. 139 с. [Kozina EA, Poleva TA. Normirovannoe kormlenie zhivotnyh: uchebnoe posobie. Krasnojarsk: KrasGAU; 2020:139 p. (*In Russ.*)].
17. Кокорев В.А., Прытков Ю.Н., Гурьянов А.М. Вклад учеников профессора С.А. Лапшина в развитие теории и практики минерального питания животных // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. «Лапшинские чтения» (г. Саранск, 18-19 апр. 2013 г.). Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2013. С. 15-21. [Kokorev VA, Prytkov YuN, Guryanov AM. Vklad uchenikov professora S.A. Lapshina v razvitie teorii i praktiki mineral'nogo pitaniya zhivotnyh (Conference proceedings) Resur-soberegajushhie jekologicheski bezopasnye tehnologii proizvodstva i pererabotki sel'skohozjajstvennoj produkcii: materialy IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Lapshinskie chteniya» (g. Saransk, 18-19 apr. 2013 g.). Saransk: Nacional'nyj issledovatel'skij Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. Ogarjova NP; 2013:15-21. (*In Russ.*)].

18. Кондакова К.С., Дроздова Е.А., Япрынцева Е.В. Влияние различных видов обработки кормовых средств и добавок, содержащих микро-, наночастицы металлов, на способность бактерий рубца к адгезии // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1(33). С. 245-247. [Kondakova KS, Drozdova YeA, Yapryntseva YeV. Effect of different methods of treatment feed-stuffs and supplements containing micro-and metal nanoparticles on rumen bacteria capacity to adhesion. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2012;1(33):245-247. (In Russ.)].
19. Корочкина Е.А. Влияние микроэлементов цинка, кобальта, йода, селена, марганца, меди на здоровье и продуктивные качества животных // Генетика и разведение животных. 2016. № 3. С. 69-73. [Korochkina EA. The influence of trace elements zinc, cobalt, iodine, selenium, manganese, copper on the health and productive ability of animals. Genetics and Breeding of Animals. 2016;3:69-73. (In Russ.)].
20. Коррекция иммунофизиологического развития бычков биоактивными веществами в йодоселенодефицитном регионе / И.И. Кочиш, Р.А. Шуканов, А.А. Шуканов, Н.В. Алтынова // Адаптация и реактивность домашних животных: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию со дня основания кафедры физиологии животных, (г. Москва, 23-24 апр. 2020 г.). М.: Издательство ООО НПО «Сельскохозяйственные технологии», 2020. С. 106-109. [Kochish II, Shukanov RA, Shukanov AA, Altynova NV. Correction of the immunophysiological development of gobies with bioactive substances in the iodine-selenium-deficient region (Conference proceedings) Adaptacija i reaktivnost' domashnih zivotnyh: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvjashhennoj 100-letiju so dnja osnovanija kafedry fiziologii zivotnyh, (g. Moskva, 23-24 apr. 2020 g.). Moscow: Izdatel'stvo ООО NPO «Sel'skohozjajstvennye tehnologii»; 2020:106-109. (In Russ.)].
21. Кравченко А.В. Эффективность использования наночастиц хрома в рационах откармливаемых свиней // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы: сб. науч. тр. / под ред. В.К. Пестиса. Гродно: ГГАУ, 2017. Т. 37. С. 134-141. [Kravchenko AV. Efficiency of the use of chrome nanoparticles in rates of growing pigs. Sel'skoe hozjajstvo – problemy i perspektivy: sb. nauch. tr. pod red. V.K. Pestisa. Grodno: GGAU; 2017;37:134-141. (In Russ.)].
22. Крюков В.И. Нанотехнология: достижения и перспективы развития в пищевой промышленности и кормопроизводстве // Инновационные фундаментальные и прикладные исследования в области химии сельскохозяйственному производству: материалы IV Междунар. заочной науч.-практ. Интернет-конф., (г. Орел, 30 мая 2011 г.). Орел: ОГАУ им. Н.В. Парахина. 2011. С. 225-227. [Kryukov VI. Nanotehnologija: dostizhenija i perspektivy razvitija v pishhevoj promyshlennosti i kormoproizvodstve (Conference proceedings) Innovacionnye fundamental'nye i prikladnye issledovanija v oblasti himii sel'skohozjajstvennomu proizvodstvu: materialy IV Mezhdunar. zaочноj nauch.-prakt. Internet-konf., (g. Orel, 30 maja 2011 g.). Orel: OGAU im. Parahina NV; 2011:225-227. (In Russ.)].
23. Курилкина М.Я., Муслюмова Д.М., Атландерова К.Н. Высокодисперсные порошки металлов способствуют повышению продуктивных качеств бычков мясных пород // Состояние и перспективы увеличения производства высококачественной продукции сельского хозяйства: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., проводимой совместно с Томским сельскохозяйственным институтом - филиалом ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, (Уфа-Томск, 06-08 июня 2019 г.). Уфа: ФГБОУ ВО «Башкирский ГАУ», 2019. С. 57-59. [Kurilkina MYa, Muslyumova DM, Atlanderova KN. Vysokodispersnye poroshki metallov sposobstvujut povysheniju produktivnyh kachestv bychkov mjasnyh porod (Conference proceedings) Sostojanie i perspektivy uvelichenija proizvodstva vysokokachestvennoj produkcii sel'skogo hozjajstva: materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., provodimoj sovместno s Tomskim sel'skohozjajstvennym institutom - filialom FGBOU VO Novosibirskij GAU, (Ufa-Tomsk, 06-08 ijunja 2019 g.). Ufa: FGBOU VO «Bashkirskij GAU»; 2019:57-59. (In Russ.)].
24. Лашкова Т.Б., Петрова Г.В. Влияние ультра дисперсионной гумато-сапропелевой суспензии на биохимический состав крови телок // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 3(59). С. 199-202. [Lashkova TB, Petrova GV. Influence of ultra dispersion humato-sapropel suspension on biochemical composition of blood of

heifers. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022;3(59):199-202. (*In Russ.*). doi: 10.18286/1816-4501-2022-3-199-202

25. Назарова А.А., Полищук С.Д. Влияние нанокристаллического железа на минеральный обмен в организме животных // Сб. тезисов докладов участников Второго междунар. конкурса науч. работ молодых ученых в области нанотехнологий. М.: Государственная корпорация «Российская корпорация нанотехнологий». 2009. С. 790-792. [Nazarova AA, Polishchuk SD. Vliyanie nanokristallicheskogo zheleza na mineral'nyj obmen v organizme zhivotnyh. Sb. tezisov dokladov uchastnikov Vtorogo mezhdunar. konkursa nauch. rabot molodyh uchenyh v oblasti nanotehnologij. Moscow: Gosudarstvennaja korporacija «Rossijskaja korporacija nanotehnologij»; 2009:790-792. (*In Russ.*)].

26. Новая линейка премиксов для высокопродуктивных коров от «Мустанг технологии кормления» // Farm News. 2019. № 5. С. 38-39. [Novaja linejka premiksov dlja vysokoproduktivnyh korov ot «Mustang tehnologii kormlenija». Farm News. 2019;5:38-39. (*In Russ.*)].

27. Околелова Т.М., Кулаков А.В., Молоскин С.А. Витаминно-минеральное питание сельскохозяйственной птицы: монография. М., 2000. 78 с. [Okolelova TM, Kulakov AV, Moleskin SA. Vitamino-mineral'noe pitanie sel'skohozjajstvennoj pticy: monografija. Moscow; 2000:78 p. (*In Russ.*)].

28. Перспективность использования ультрадисперсной формы металлов в кормлении животных / Е.А. Сизова, К.С. Нечитайло, А.П. Иванищева, Н.И. Рябов // Животноводство и кормопроизводство. 2020. Т. 103. № 3. С. 177-189. [Sizova EA, Nechitailo KS, Ivanishcheva AP, Ryabov NI. The prospects of using ultra-dispersed forms of metals in animal feeding. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(3):177-189. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-177

29. Сизова Е.А., Нечитайло К.С., Иванищева А.П. Применение ультрадисперсных форм металлов в рационах, как минеральные кормовые добавки // Фундаментальные основы технологического развития сельского хозяйства: материалы российской науч.-практ. конф. с междунар. участием, (г. Оренбург, 24-25 окт. 2019 г.). Оренбург: ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН. 2019. С. 280-284. [Sizova EA, Nechitailo KS, Ivanishcheva AP. Primenenie ul'tradispersnyh form metallov v racionah, kak mineral'nye kormovye dobavki (Conference proceedings) Fundamental'nye osnovy tehnologicheskogo razvitija sel'skogo hozjajstva: materialy rossijskoj nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, (g. Orenburg, 24-25 okt. 2019 g.). Orenburg: FGBNU FNC BST RAN; 2019:280-284. (*In Russ.*)].

30. Способность повышения переваримости корма при включении в рацион бычков на откорме ультрадисперсных частиц диоксида кремния: пат. 2722730 Рос. Федерация / А.М. Макаева, К.Н. Атландерова, С.А. Мирошников, Е.А. Сизова, С.В. Лебедев, Б.Г. Рогачев, Д.Б. Косян, Е.В. Яушева. Заявл. 18.06.2019; опубл. 03.06.2020, Бюл. № 16. [Makaeva AM, Atlanderova KN, Miroshnikov SA, Syzova EA, Lebedev SV, Rogachev BG, Kosian DB, Yausheva EV. Method for increasing feed digestibility when introduction into the ration of bull calves in fattening ultrafine particles of silicon dioxide: pat. 2722730 Ros. Federatsiya. Zayavl. 18.06.2019; opubl.03.06.2020, Byul. № 16. (*In Russ.*)].

31. Справочные материалы по животноводству / Е.П. Ващекин, Г.Г. Нуриев, Л.Н. Гамко, Г.Ф. Подобай, И.В. Малявко, И.И. Артюков, С.И. Шепелев, В.Е. Подольников, Г.Д. Захарченко, Н.П. Базутко. Брянск: Изд-во Брянской ГСХА, 2011. 114 с. [Vashchekin EP, Nuriev GG, Gamko LN, Podobai GF, Malyavko IV, Artyukov II, Shepelev SI, Podolnikov VE, Zakharchenko GD, Bazutko NP. Spravochnye materialy po zhivotnovodstvu. Brjansk: Izdatel'stvo Brjanskoj GSHA; 2011:114 p. (*In Russ.*)].

32. Физические параметры микрочастиц железа и биологическая доступность при воздействии сверхвысокими частотами / Н.В. Гарипова, Т.Н. Холодилина, М.Я. Курилкина, В.В. Ваншин // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 2. С. 21-29. [Garipova NV, Kholodilina TN, Kurilkina MYa, Vanshin VV. Physical parameters of iron microparticles and bioavailability after exposure with very high frequency. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(2):21-29. (*In Russ.*)]. doi:10.33284/2658-3135-102-2-21

33. Фролов А.Н., Завьялов О.А., Харламов А.В. Изменение качественных характеристик молока герефордской породы при использовании инъекций микроэлементного препарата // Перспективные аграрные и пищевые инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф., (г. Волгоград, 06-07 июня 2019 г.) / под общ. ред. И.Ф. Горлова. Волгоград: ООО «Сфера».

2019. Ч. 1. С. 27-31. [Frolov AN, Zavyalov OA, Kharlamov AV. *Izmenenie kachestvennykh karakteristik moloka gerefordskoj porody pri ispol'zovanii in'ekcij mikrojelementnogo preparata (Conference proceedings) Perspektivnye agrarnye i pishhevye innovacii: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., (g. Volgograd, 06-07 ijunja 2019 g.) pod obshh. red. Gorlova IF. Volgograd: ООО «Sfera». 2019;1:27-31. (In Russ.)].*

34. Шипилов В., Переслегина И. Новое в кормлении птицы // *Птицеводство*. 1999. № 6. С. 30-31. [Shipilov V, Pereslegina I. *New in poultry feeding. Poultry Farming*. 1999;6:30-31. (In Russ.)].

35. Эффективная кормовая добавка для КРС, свиней и кур-несушек // *Аграрная наука*. 2021. № 3. С. 41-42. [Efficient feed additive for cattle, pigs and laying hens. *Agrarian Science*. 2021;(3):41-42. (In Russ.)].

36. Эффективность кормовой добавки «Кауфит драй плюс» при профилактике внутренних незаразных болезней у коров в послеродовой период / К.А. Герцева, Д.В. Дубов, А.В. Кадыров, Е.В. Киселева, А.В. Ситчихина // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*. 2020. № 1(45). С. 21-27. [Gertseva KA, Dubov DV, Kadyrov AV, Kiseleva EV, Sitchikhina AV. *The effectiveness of feed additives "Koupit dry plus" in the prevention of internal non-contagious diseases of the postpartum period in cows. Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2020;1(45):21-27. (In Russ.)]. doi: 10.36508/RSATU.2020.45.1.004

37. Эффективность предпосевной обработки семян ярового ячменя наноструктурной водно-фосфоритной суспензией / Г.Ф. Рахманова, И.М. Суханова, Е.А. Прищепенко, В.О. Ежков // *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*. 2020. Т. 244. № 4. С. 153-157. [Rakhmanova GF, Sukhanova IM, Prishchepenka EA, Ezhkov VO. *Efficiency of pre-sowing seed treatment of spring barley by nanostructured water-phosphorite suspension. Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2020;244(4):153-157. (In Russ.)]. doi: 10.31588/2413-4201-1883-244-4-153-157

38. Ahola JK, Baker DS, Burns PD, Mortimer RG, Enns RM, Whittier JC, Geary TW, Engle TE. Effect of copper, zinc, and manganese supplementation and source on reproduction, mineral status, and performance in grazing beef cattle over a two-year period. *J Anim Sci*. 2004;82(8):2375-2383. doi: 10.2527/2004.8282375x

39. Aluc Y, Ekici H. Investigation of heavy metal levels in blood samples of three cattle breeds in turkey. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2019;103(5):739-744. doi: 10.1007/s00128-019-02712-z

40. Aristov A, Semyonov S, Falkov M. Use of a sorption-probiotic feed additive in the diet of cows. *Med Weter*. 2021;77(12):594-598. doi: 10.21521/mw.6585

41. Arthington JD, Ranches J. Trace mineral nutrition of grazing beef cattle. *Animals*. 2021;11(10):2767. doi: 10.3390/ani11102767

42. Arthington JD, Rechcigl JE, Yost GP, McDowell LR, Fanning MD. Effect of ammonium sulfate fertilization on bahiagrass quality and copper metabolism in grazing beef cattle. *J Anim Sci*. 2002;80(10):2507-2512. doi: 10.2527/2002.80102507x

43. Arthington JD, Swensont CK. Effects of trace mineral source and feeding method on the productivity of grazing braford cows. *Prof Anim Sci*. 2004;20(2):155-161. doi: 10.15232/S1080-7446(15)31290-0

44. Bortoluzzi C, Vieira BS, Applegate TJ. Influence of dietary zinc, copper, and manganese on the intestinal health of broilers under eimeria challenge. *Front Vet Sci*. 2020;7:13. doi: 10.3389/fvets.2020.00013

45. Burrell AL, Dozier WA, Davis AJ, Compton MM, Freeman ME, Vendrell PF, Ward TL. Responses of broilers to dietary zinc concentrations and sources in relation to environmental implications. *Br Poult Sci*. 2004;45(2):225-263. doi: 10.1080/00071660410001715867

46. Canty MJ, Scanlon A, Collins DM, McGrath G, Clegg TA, Lane E, Sheridan MK, More SJ. Cadmium and other heavy metal concentrations in bovine kidneys in the Republic of Ireland. *Sci Total Environ*. 2014;485-486:223-231. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.065

47. Elliott S, Frio A, Jarman T. Heavy metal contamination of animal feedstuffs - a new survey. *J Appl Anim Nutr.* 2017;5:e8. doi: 10.1017/jan.2017.7
48. Galbraith ML, Vorachek WR, Estill CT, Whanger PD, Bobe G, Davis TZ, Hall JA. Rumen microorganisms decrease bioavailability of inorganic selenium supplements. *Biol Trace Elem Res.* 2016;171(2):338-343. doi: 10.1007/s12011-015-0560-8
49. Gayathri SL, Panda N. Chelated minerals and its effect on animal production: A review. *Agric Rev.* 2018;39(4):314-320. doi: 10.18805/ag.R-1823
50. Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G. Tackling climate change through livestock – a global assessment of emissions and mitigation. Italy, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2013:139.
51. Glawischnig W, Dengg H, Liftingner G. Case Report: Lead Intoxication of a calf due to environmental contamination from a previous mine. *Vet Med Austria.* 2021;108:229-236.
52. Goff JP. Invited review: mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid–base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J Dairy Sci.* 2018;101(4):2763-2813. doi: 10.3168/jds.2017-13112
53. Greene LW. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. *J Anim Sci.* 2000;77(SE):1-9. doi: 10.2527/jas2000.00218812007700ES0046x
54. Guyot H, Saegerman C, Lebreton P, Sandersen C, Rollin F. Epidemiology of trace elements deficiencies in Belgian beef and dairy cattle herds. *J Trace Elem Med Biol.* 2009;23(2):116-123. doi: 10.1016/j.jtemb.2009.02.006
55. Hartman SJ, Genther-Schroeder ON, Hansen SL. Comparison of trace mineral repletion strategies in feedlot steers to overcome diets containing high concentrations of sulfur and molybdenum. *J Anim Sci.* 2018;96(6):2504-2515. doi: 10.1093/jas/sky088
56. Hashemi M. Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018;154:263-267. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.02.058
57. Holst B, Williamson G. Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Current Opinion in Biotechnology.* 2008;19(2): 73-82. doi: 10.1016/j.copbio.2008.03.003
58. Iannaccone M, Ianni A, Elgendy R, Martino C, Giantin M, Cerretani L, Dacasto M, Martino G. Iodine supplemented diet positively affect immune response and dairy product quality in fresian cow. *Animals.* 2019;9(11):866. doi:10.3390/ani9110866
59. Jena CK, Gupta AR, Patra RC. Osteo-dental fluorosis in cattle reared in villages on the periphery of the aluminium smelter in Odisha, India. *Research report Fluoride.* 2016;49(4 Pt 2):503-508.
60. Juszczak–Czasnoję M, Tomza–Marciniak A. Ratio of selenium concentrations between soil, forage plants and blood serum of beef cattle studied in organic and conventional farms. *Arch Anim Nutr.* 2021;75(3):183-194. doi: 10.1080/1745039X.2021.1913930
61. Lebedev SV, Gavrish IA, Galaktionova LV, Korotkova AM, Sizova EA. Assessment of the toxicity of silicon nanooxide in relation to various components of the agrosystem under the conditions of the model experiment. *Environmental Geochemistry and Health.* 2019;41(2):769-782. doi: 10.1007/s10653-018-0171-3
62. Leeson S, Namkung H, Caston L, Durosoy S, Schlegel P. Comparison of selenium levels and sources and dietary fat quality in diets for broiler breeders and layer hens. *Poultry Science.* 2008;87(12):2605-2612. doi: 10.3382/ps.2008-00174
63. Liu Y, Ma YL, Zhao JM, Vazquez-Añón M, Stein HH. Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. *Journal of Animal Science.* 2014;92(8):3407-3415. doi: 10.2527/jas.2013-7080
64. López-Alonso M. Trace minerals and livestock: not too much not too little. *ISRN Veterinary Science.* 2012;2012:704825. doi: 10.5402/2012/704825.

65. Ly NH, Oh CH, Joo S-W. A submicromolar Cr(III) sensor with a complex of methionine using gold nanoparticles. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2015;219:276-282. doi: 10.1016/j.snb.2015.04.130
66. Ma YL, Zanton GI, Zhao J, Wedekind K, Escobar J and Vazquez-Añón M. Multitrial analysis of the effects of copper level and source on performance in nursery pigs. *Journal of Animal Science*. 2015;93(2):606-614. doi: 10.2527/jas.2014-7796
67. Mackenzie JS, Jeggo M. The one health approach—Why is it so important? *Trop Med Infect Dis*. 2019;4(2):88. doi: 10.3390/tropicalmed4020088
68. Mantovani A, Maranghi F, Purificato I, Macri A. Assessment of feed additives and contaminants: an essential component of food safety. *Ann Ist Super Sanita*. 2006;42(4):427-32.
69. Marques RS, Cooke RF, Rodrigues MC, Cappellozza BI, Mills RR, Larson CK, Moriel P, Bohnert DW. Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring. *J Anim Sci*. 2016;94(3):1215-1226. doi: 10.2527/jas.2015-0036
70. McDowell LR. *Minerals in Animal and Human Nutrition*. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2003;644 p.
71. Meng T, Gao L, Xie C, Xiang Y, Huang Y, Zhang Y, Wu X. Manganese methionine hydroxy analog chelated affects growth performance, trace element deposition and expression of related transporters of broilers. *Animal Nutrition*. 2021;7(2):481-487. doi: 10.1016/j.aninu.2020.09.005
72. Miller MD, Lanier JS, Kvidera SK, Dann HM, Ballard CS, Grant RJ. Evaluation of source of corn silage and trace minerals on lactational performance and total tract nutrient digestibility of Holstein cows. *J. Dairy Sci*. 2020;103(4):3147-3160. doi: 10.3168/jds.2019-17716
73. Min YN, Liu FX, Qi X, Ji S, Ma SX, Liu X, Wang ZP, Gao YP. Effects of methionine hydroxyl analog chelated zinc on laying performance, eggshell quality, eggshell mineral deposition, and activities of Zn-containing enzymes in aged laying hens. *Poultry Science*. 2018;97(10):3587-3593. doi: 10.3382/ps/pey203
74. Miranda M, Pereira V, Carbajales P, López-Alonso M. Importance of breed aptitude (beef or dairy) in determining trace element concentrations in bovine muscles. *Meat Sci*. 2018;145:101-106. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.005
75. Mohseni M, Park G-H, Lee J-H, Okorie OE, Browdy C, Bharadwaj A, Bai SC. Evaluation of toxicity of dietary chelated copper in juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*, based on growth and tissue copper concentration. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2012;43(4):548-559. doi: 10.1111/j.1749-7345.2012.00583.x
76. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 8th ed. Washington, DC: The National Academies Press; 2016:494. doi: 10.17226/19014
77. National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th ed. USA, DC, Washington: The National Academies Press; 1984:63 p. doi: 10.17226/19398
78. National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed., update 2000. USA, DC, Washington: The National Academies Press; 1996:248 p. doi: 10.17226/9791
79. Nawrocka A, Durkale M, Szkoda J, Filipek A, Kmiecik M, Żmudzki J, Posyniak A. Total mercury levels in the muscle and liver of livestock and game animals in Poland, 2009-2018. *Chemosphere*. 2020;258:127311. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127311
80. Naz S, Idris M, Khalique MA, Zia Ur R, Alhidary IA, Abdelrahman MM, et al. The activity and use of zinc in poultry diets. *Worlds Poultry Sci J*. 2016;1(2):159-167. doi: 10.1017/S0043933915002755
81. Nechitailo KS, Sizova EA, Shoshin DE. Concentration of trace elements in liver of broilers chickens after use of multienzyme feed composition in the diet. *Trace Elements and Electrolytes*. 2021;38(3):150.

82. Nemeč LM, Richards JD, Atwell CA, Diaz DE, Zanton GI, Gressley TF. Immune responses in lactating Holstein cows supplemented with Cu, Mn, and Zn as sulfates or methionine hydroxy analogue chelates. *Journal of Dairy Science*. 2012;95(8):4568-4577. doi: 10.3168/jds.2012-5404
83. Niemann H, Kuhla B, Flachowsky G. Perspectives for feed-efficient animal production. *J Anim Sci*. 2011;89(12):4344-4363. doi: 10.2527/jas.2011-4235
84. Nocek JE, Socha MT, Tomlinson DJ. The effect of trace mineral fortification level and source on performance of dairy cattle. *J Dairy Sci*. 2006;89(7):2679-2693. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72344-X
85. Orisakwe OE, Oladipo OO, Ajaezi GC, Udowelle NA. Horizontal and vertical distribution of heavy metals in farm produce and livestock around lead-contaminated goldmine in dareta and abare, Zamfara State, Northern Nigeria. *J Environ Public Health*. 2017;2017:3506949. doi: 10.1155/2017/3506949
86. Osorio JS, Trevisi E, Li C, Drackley JK, Socha MT, Looor JJ. Supplementing Zn, Mn, and Cu from amino acid complexes and Co from cobalt glucoheptonate during the periparturition period benefits postparturition cow performance and blood neutrophil function. *J Dairy Sci*. 2016;99(3):1868-1883. doi: 10.3168/jds.2015-10040
87. Pandey AK, Kumar P, Saxena MJ. Feed additives in animal health. In: Gupta R, Srivastava A, Lall R, editors. *Nutraceuticals in Veterinary Medicine*. Springer, Cham; 2019:345-362. doi: 10.1007/978-3-030-04624-8_23
88. Połatajko A, Śliwka-Kaszyńska M, Dernovics M, Ruzik R, Ruiz-Encinar J, Szpunar J. A systematic approach to selenium speciation in selenized yeast. *J Anal At Spectrom*. 2004;19(1):114-120. doi: 10.1039/b308756p
89. Rao SVR, Raju MVLN, Panda AK, Poonam NS, Murthy OK, Sunder GS. Effect of dietary supplementation of organic chromium on performance, carcass traits, oxidative parameters and immune responses in commercial broiler chickens. *Bio Trace Elem Res*. 2012;147(1-3):135-141. doi: 10.1007/s12011-011-9314-4
90. Rider SA, Davies SJ, Jha AN, Clough R, Sweetman JW. Bioavailability of co-supplemented organic and inorganic zinc and selenium sources in a white fishmeal-based rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2010;94(1):99-110. doi: 10.1111/j.1439-0396.2008.00888.x
91. Skalný AV, Salnikova EV, Burtseva TI, Skal'naya MG, Tinkov AA. Zinc, copper, cadmium, and lead levels in cattle tissues in relation to different metal levels in ground water and soil. *Sci Pollut Res*. 2019;26(1):559-569. doi: 10.1007/s11356-018-3654-y
92. Spears JW. Trace mineral bioavailability in ruminants. *J Nutr*. 2003;133(5):1506S-1509S. doi: 10.1093/jn/133.5.1506S
93. Stangl GI, Schwarz FJ, Kirchgeßner M. Moderate long-term cobalt-deficiency affects liver, brain and erythrocyte lipids and lipoproteins of cattle. *Nutrition Research*. 1999;19(3):415-427.
94. Stangl GI, Schwarz FJ, Müller H, Kirchgeßner M. Evaluation of the cobalt requirement of beef cattle based on vitamin B₁₂, folate, homocysteine and methylmalonic acid. *Br J Nutr*. 2000;84(5):645-653. doi: 10.1017/s0007114500001987
95. Suganya T, Varman M, Masjuki HH, Renganathan S. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016;55:909-941. doi: 10.1016/j.rser.2015.11.026
96. Sukhanova SF, Uskov GE, Lushnikov NA. Use of a mineral additive in cattle feeding. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 2019;341:012055. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012055
97. Sun Q, Guo Y, Li J, Zhang T, Wen J. Effects of methionine hydroxy analog chelated Cu/Mn/Zn on laying performance, egg quality, enzyme activity and mineral retention of laying hens. *The Journal of Poultry Science*. 2012;49(1):20-25. doi: 10.2141/jpsa.011055
98. Suttle NF. *Mineral nutrition of livestock*, 4th edition. UK, Wallingford: CABI; 2010:579.

99. Thornton PK. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2010;365(1554):2853-2867. doi: 10.1098/rstb.2010.0134
100. Tiffany ME, Fellner V, Spears JW. Influence of cobalt concentration on vitamin B₁₂ production and fermentation of mixed ruminal microorganisms grown in continuous culture flow-through fermentors. *J Anim Sci*. 2006;84(3):635-640. doi: 10.2527/2006.843635x
101. Torres CA, Korver DR. Influences of trace mineral nutrition and maternal flock age on broiler embryo bone development. *Poult Sci*. 2018;97(8):2996-3003. doi: 10.3382/ps/pey136
102. Underwood EJ, Mertz W. Introduction. In: Mertz W, editor. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition*. San Diego: Academic Press; 1987:1-19.
103. Wang C, Liu Q, Yang WZ, Dong Q, Yang XM, He DC, Zhang P, Dong KH, Huang YX. Effects of selenium yeast on rumen fermentation, lactation performance and feed digestibilities in lactating dairy cows. *Livest Sci*. 2009;126(1-3):239-244. doi: 10.1016/j.livsci.2009.07.005
104. Wang F, Li SL, Xin J, Wang YJ, Cao ZJ, Guo FC, Wang YM. Effects of methionine hydroxy copper supplementation on lactation performance, nutrient digestibility, and blood biochemical parameters in lactating cows. *Journal of Dairy Science*. 2012;95(10):5813-5820. doi: 10.3168/jds.2011-4182
105. Whitehurst WA, Paterson JA, Harbac MM, Petersen MK, Duff GC, Geary TW, Zanton GI and Wistuba TJ. Comparison of methionine hydroxy analogue chelated versus sulfate forms of copper, zinc, and manganese on growth performance and pregnancy rates in yearling beef replacement heifers. *The Professional Animal Scientist*. 2014;30(1):62-67. doi: 10.15232/S1080-7446(15)30084-X
106. Windisch W, Fahn C, Brugger D, Deml M, Buffler M. Strategies for sustainable animal nutrition. *Züchtungskunde*. 2013;85(1):40-53.
107. Wu X, Yao J, Yang Z, Yue W, Ren Y, Zhang C, Liu X, Wang H, Zhao X, Yuan S, Wang Q, Shi L, Shi L. Improved fetal hair follicle development by maternal supplement of selenium at nano size (Nano-Se). *Livestock Science*. 2011;142(1-3):270-275. doi:10.1016/j.livsci.2011.08.005
108. Yattoo MI, Saxena A, Deepa P, Habeab BP. Role of trace elements in animals: a review. *Veterinary World*. 2013;6(12):963-967. doi: 10.14202/vetworld.2013.963-967
109. Yazdankhah S, Rudi K, Bernhoft A. Zinc and copper in animal feed – development of resistance and co-resistance to antimicrobial agents in bacteria of animal origin. *Microb Ecol Health Dis*. 2014;25:25862. doi: 10.3402/mehd.v25.25862
110. Yuan J, Xu Z, Huang C, Zhou S, Guo Y. Effect of dietary Mintrex-Zn/Mn on performance, gene expression of Zn transfer proteins, activities of Zn/Mn related enzymes and fecal mineral excretion in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology*. 2011;168(1-2):72-79. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.03.011
111. Zhao J, Allee G, Gerlemann G, Ma L, Gracia MI, Parker D, Vazquez-Anon M, Harrell RJ. Effects of a chelated copper as growth promoter on performance and carcass traits in pigs. *Asian Australasian Journal of Animal Science*. 2014;27(7):965-973. doi: 10.5713/ajas.2013.13416

References

1. Aliyev MM, Guliyeva KA. Digestibility of nutrients in a complex (integrated) ration with bioactive substances. *Agricultural Bulletin of Stavropol Region*. 2018;1(29):57-59.
2. Levakhin YuI, Nurzhanov BS, Djulamanov EB, Ryazanov VA. The influence of fat-containing supplements pulmatrix enriched with Si nanoparticles in the composition of the diet on hematological and natural resistance of fattened steers. (Conference proceedings). Kurgan: Izd-vo Kurganskoj GSHA; 2019:147-152.
3. Semenov SN, Aristov AV, Zuev NP, Krut' UA, Zueva EE. The effect of stevia pulp on the body of highly productive cows and the dynamics of cicatricial microflora (Conference proceedings) *Innovations in life sciences: Materials of the II International Symposium (Belgorod, May 19-20, 2020)* edit. Spichak IV. Belgorod: ID «BelGU» NIU «BelGU»; 2020:252-254.

4. Ivanov IS, Rudenok VA, Troshin EI, Kulikov AN. Influence of the organic form Cu, Co, Zn and Mn on the animal organism. *Legal regulation in veterinary medicine*. 2016;4:246-249.
5. Gorlov IF, Dorokhin ME, Randelin DA, Nikolaev DV. Effect of a new feed supplement on beef performance and dressing yield of steers. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014;4(114):68-72.
6. Galiev DM. Mineral and sorption supplements in the diet of broiler chickens. *Agrarian Education and Science*. 2015;1:3.
7. Georgievsky VI, Annenkov BN, Samokhin VT. *Mineral'noe pitanie zhivotnyh*. Moscow: Kolos; 1979:471 p.
8. Gorlov IF, Randelin DA, Natyrov AK. Effectiveness of rearing beef bulls of specialized beef breeds. *Bulletin of Kalmyk University*. 2013;3(19):14-20.
9. Egorov I, Papazyan T. Modern trends in poultry feeding. *Poultry Farming*. 2007;8:9-11.
10. Egorov I, Selina N. New trends in poultry feeding. *Mixed Feed*. 2004;6:5.
11. Egorov IA. Modern trends in poultry nutrition. *Poultry Farming*. 2014;4:11-16.
12. Zubkova AS, Davydova MN, Moshkina SV. Organization of mineral nutrition of cows and the consequences of unbalanced mineral nutrition (Conference proceedings) Contribution of university agrarian science to the innovative development of the agro-industrial complex: materials of the 70th Intern. scientific-practical. conf., (Ryazan, May 23, 2019). Ryazan: RGATU im. P.A. Kostychev; 2019:60-63.
13. Bogoslovskaya OA, Sizova EA, Polyakova VS, Mirosnikova SA, Leipunsky IO, Olkhovskaya IP, Glushchenko NN. Study of safety of copper nanoparticles introduction with different physical and chemical characteristics into animals' organism. *Vestnik Orenburg State University*. 2009;2(96):124-127.
14. Glushchenko NN, et al. Study of the structure and functional activity of iron nanoparticles. XVIII Mendeleev Congress on General and Applied Chemistry: Sat. theses. Moscow: Granitsa; 2007:28-31.
15. Kamirova AM, Ivanishcheva AP. Determination of digestibility "in vitro" with the introduction of various mineral complexes (Conference proceedings) Modern trends in the development of science and the world community in the era of digitalization: coll. materials X Intern. Scientific-practical. conf., (Moscow, December 15, 2022). Makhachkala: Alef Publishing House; 2022:243-246. doi:10.34755/IROK.2022.16.16.050
16. Kozina EA, Poleva TA. Normalized feeding of animals: a textbook. Krasnoyarsk: KrasGAU, 2020:139 p.
17. Kokorev VA, Prytkov YuN, Guryanov AM. The contribution of students of Professor S.A. Lapshina in the development of the theory and practice of mineral nutrition of animals (Conference proceedings) Resource-saving environmentally safe technologies for the production and processing of agricultural products: materials of the IX Intern. scientific-practical. conf. "Lapshinsky Readings" (Saransk, April 18-19, 2013). Saransk: National Research Mordovian State University. N.P. Ogaryova, 2013:15-21.
18. Kondakova KS, Drozdova YeA, Yapryntseva YeV. Influence of various types of processing of feed products and additives containing micro-, nanoparticles of metals, on the ability of rumen bacteria to adhere. *Izvestiya of the Orenburg State Agrarian University*. 2012;1(33):245-247.
19. Korochkina EA. The influence of trace elements zinc, cobalt, iodine, selenium, manganese, copper on the health and productive ability of animals. *Genetics and Breeding of Animals*. 2016;3:69-73.
20. Kochish II, Shukanov RA, Shukanov AA, Altynova NV. Correction of the immunophysiological development of gobies with bioactive substances in the iodine-selenium-deficient region (Conference proceedings) Adaptation and reactivity of domestic animals: materials of the Intern. scientific-practical. Conf., dedicated to the 100th anniversary of the founding of the Department of Animal Physiology, (Moscow, April 23-24, 2020). Moscow: Publishing house LLC NPO Agricultural Technologies; 2020:106-109.

21. Kravchenko AV. The effectiveness of the use of chromium nanoparticles in the diets of fattening pigs. Agriculture - problems and prospects: coll. scientific tr. ed. VC. Pestis. Grodno: GSAU; 2017;37:134-141.
22. Kryukov VI. Nanotechnology: achievements and prospects of development in the food industry and fodder production (Conference proceedings) Innovative fundamental and applied research in the field of chemistry for agricultural production: materials of the IV Intern. correspondence scientific-practical. Internet Conf., (Orel, May 30, 2011). Eagle: OGAU im. N.V. Parakhina; 2011:225-227.
23. Kurilkina MYa, Muslyumova DM, Atlanderova KN. Highly dispersed metal powders contribute to the improvement of the productive qualities of meat bulls (Conference proceedings) Status and prospects for increasing the production of high-quality agricultural products: materials of the VII Intern. scientific-practical. conf., held jointly with the Tomsk Agricultural Institute - a branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Novosibirsk State Agrarian University, (Ufa-Tomsk, June 06-08, 2019). Ufa: FGBOU VO "Bashkir State Agrarian University"; 2019:57-59.
24. Lashkova TB, Petrova GV. Influence of ultra dispersion humato-sapropel suspension on biochemical composition of blood of heifers. Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2022;3(59):199-202. doi: 10.18286/1816-4501-2022-3-199-202
25. Nazarova AA, Polishchuk SD. Influence of nanocrystalline iron on mineral metabolism in animals. Sat. abstracts of the participants of the Second Intern. scientific competition. works of young scientists in the field of nanotechnology. M.: State Corporation "Russian Corporation of Nanotechnologies"; 2009:790-792.
26. A new line of premixes for high-yielding cows from "Mustang feeding technology". Farm News. 2019;5:38-39.
27. Okolelova TM, Kulakov AB, Moleskin SA. Vitamin and mineral nutrition of poultry: monograph. Moscow; 2000:78 p.
28. Sizova EA, Nechitailo KS, Ivanishcheva AP, Ryabov NI. The prospects of using ultra-dispersed forms of metals in animal feeding. Animal Husbandry and Fodder Production. 2020;103(3):177-189. doi: 10.33284/2658-3135-103-3-177
29. Sizova EA, Nechitailo KS, Ivanishcheva AP. The use of ultra-dispersed forms of metals in diets as mineral feed additives. (Conference proceedings) Fundamental foundations of the technological development of agriculture: materials of the Russian scientific-practical. conf. with international participation, (Orenburg, October 24-25, 2019). Orenburg: Federal State Budget Scientific Institution FNTs BST RAS; 2019:280-284.
30. Makaeva AM, Atlanderova KN, Miroshnikov SA, Syzova EA, Lebedev SV, Rogachev BG, Kosian DB, Yausheva EV. The ability to increase the digestibility of feed when included in the diet of fattening bulls ultrafine particles of silicon dioxide: Pat. 2722730 Rus. Federation. Appl. 18.06.2019; publ. 03.06.2020, Bul. No. 16.
31. Vashchekin EP, Nuriev GG, Gamko LN, Podobai GF, Malyavko IV, Artyukov II, Shepelev SI, Podolnikov VE, Zakharchenko GD, Bazutko NP. Reference materials on animal husbandry. Bryansk: Publishing House of the Bryansk State Agricultural Academy;2011:114 p.
32. Garipova NV, Kholodilina TN, Kurilkina MYa, Vanshin VV. Physical parameters of iron microparticles and bioavailability after exposure with very high frequency. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(2):21-29. doi:10.33284/2658-3135-102-2-21
33. Frolov AN, Zavyalov OA, Kharlamov AV. Changes in the qualitative characteristics of milk of the Hereford breed when using injections of a microelement preparation (Conference proceedings) Perspective agrarian and food innovations: materials of the Intern. scientific-practical. conf., (Volgograd, June 06-07, 2019). under the general ed. I.F. Gorlov. Volgograd: Sfera LLC. 2019;1:27-31.
34. Shipilov V, Pereslegina I. New in poultry feeding. Poultry Farming. 1999;6:30-31.
35. Efficient feed additive for cattle, pigs and laying hens. Agrarian Science. 2021;(3):41-42.
36. Gertseva KA, Dubov DV, Kadyrov AV, Kiseleva EV, Sitchikhina AV. The effectiveness of feed additives "Koupit dry plus" in the prevention of internal non-contagious diseases of the postpartum

period in cows. Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev. 2020;1(45):21-27. doi: 10.36508/RSATU.2020.45.1.004

37. Rakhmanova GF, Sukhanova IM, Prishchepenko EA, Ezhkov VO. Efficiency of pre-sowing seed treatment of spring barley by nanostructured water-phosphorite suspension. Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2020;244(4):153-157. doi: 10.31588/2413-4201-1883-244-4-153-157

38. Ahola JK, Baker DS, Burns PD, Mortimer RG, Enns RM, Whittier JC, Geary TW, Engle TE. Effect of copper, zinc, and manganese supplementation and source on reproduction, mineral status, and performance in grazing beef cattle over a two-year period. J Anim Sci. 2004;82(8):2375-2383. doi: 10.2527/2004.8282375x

39. Aluc Y, Ekici H. Investigation of heavy metal levels in blood samples of three cattle breeds in turkey. Bull Environ Contam Toxicol. 2019;103(5):739-744. doi: 10.1007/s00128-019-02712-z

40. Aristov A, Semyonov S, Falkov M. Use of a sorption-probiotic feed additive in the diet of cows. Med Weter. 2021;77(12):594-598. doi: 10.21521/mw.6585

41. Arthington JD, Ranches J. Trace mineral nutrition of grazing beef cattle. Animals. 2021;11(10):2767. doi: 10.3390/ani11102767

42. Arthington JD, Rechcigl JE, Yost GP, McDowell LR, Fanning MD. Effect of ammonium sulfate fertilization on bahiagrass quality and copper metabolism in grazing beef cattle. J Anim Sci. 2002;80(10):2507-2512. doi: 10.2527/2002.80102507x

43. Arthington JD, Swensont CK. Effects of trace mineral source and feeding method on the productivity of grazing braford cows. Prof Anim Sci. 2004;20(2):155-161. doi: 10.15232/S1080-7446(15)31290-0

44. Bortoluzzi C, Vieira BS, Applegate TJ. Influence of dietary zinc, copper, and manganese on the intestinal health of broilers under eimeria challenge. Front Vet Sci. 2020;7:13. doi: 10.3389/fvets.2020.00013

45. Burrell AL, Dozier WA, Davis AJ, Compton MM, Freeman ME, Vendrell PF, Ward TL. Responses of broilers to dietary zinc concentrations and sources in relation to environmental implications. Br Poult Sci. 2004;45(2):225-263. doi: 10.1080/00071660410001715867

46. Canty MJ, Scanlon A, Collins DM, McGrath G, Clegg TA, Lane E, Sheridan MK, More SJ. Cadmium and other heavy metal concentrations in bovine kidneys in the Republic of Ireland. Sci Total Environ. 2014;485-486:223-231. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.03.065

47. Elliott S, Frio A, Jarman T. Heavy metal contamination of animal feedstuffs - a new survey. J Appl Anim Nutr. 2017;5:e8. doi: 10.1017/jan.2017.7

48. Galbraith ML, Vorachek WR, Estill CT, Whanger PD, Bobe G, Davis TZ, Hall JA. Rumen microorganisms decrease bioavailability of inorganic selenium supplements. Biol Trace Elem Res. 2016;171(2):338-343. doi: 10.1007/s12011-015-0560-8

49. Gayathri SL, Panda N. Chelated minerals and its effect on animal production: A review. Agric Rev. 2018;39(4):314-320. doi: 10.18805/ag.R-1823

50. Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Dijkman J, Falcucci A, Tempio G. Tackling climate change through livestock – a global assessment of emissions and mitigation. Italy, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2013:139.

51. Glawischnig W, Dengg H, Liftingner G. Case Report: Lead Intoxication of a calf due to environmental contamination from a previous mine. Vet Med Austria. 2021;108:229-236.

52. Goff JP. Invited review: mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. J Dairy Sci. 2018;101(4):2763-2813. doi: 10.3168/jds.2017-13112

53. Greene LW. Designing mineral supplementation of forage programs for beef cattle. J Anim Sci. 2000;77(SE):1-9. doi: 10.2527/jas2000.00218812007700ES0046x

54. Guyot H, Saegerman C, Lebreton P, Sandersen C, Rollin F. Epidemiology of trace elements deficiencies in Belgian beef and dairy cattle herds. *J Trace Elem Med Biol.* 2009;23(2):116-123. doi: 10.1016/j.jtemb.2009.02.006
55. Hartman SJ, Genther-Schroeder ON, Hansen SL. Comparison of trace mineral repletion strategies in feedlot steers to overcome diets containing high concentrations of sulfur and molybdenum. *J Anim Sci.* 2018;96(6):2504-2515. doi: 10.1093/jas/sky088
56. Hashemi M. Heavy metal concentrations in bovine tissues (muscle, liver and kidney) and their relationship with heavy metal contents in consumed feed. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2018;154:263-267. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.02.058
57. Holst B, Williamson G. Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficacy beyond antioxidants. *Current Opinion in Biotechnology.* 2008;19(2): 73-82. doi: 10.1016/j.copbio.2008.03.003
58. Iannaccone M, Ianni A, Elgendy R, Martino C, Giantin M, Cerretani L, Dacasto M, Martino G. Iodine supplemented diet positively affect immune response and dairy product quality in fresian cow. *Animals.* 2019;9(11):866. doi: 10.3390/ani9110866
59. Jena CK, Gupta AR, Patra RC. Osteo-dental fluorosis in cattle reared in villages on the periphery of the aluminium smelter in Odisha, India. *Research report Fluoride.* 2016;49(4 Pt 2):503-508.
60. Juszczak-Czasnojc M, Tomza-Marciniak A. Ratio of selenium concentrations between soil, forage plants and blood serum of beef cattle studied in organic and conventional farms. *Arch Anim Nutr.* 2021;75(3):183-194. doi: 10.1080/1745039X.2021.1913930
61. Lebedev SV, Gavrish IA, Galaktionova LV, Korotkova AM, Sizova EA. Assessment of the toxicity of silicon nanooxide in relation to various components of the agrosystem under the conditions of the model experiment. *Environmental Geochemistry and Health.* 2019;41(2):769-782. doi: 10.1007/s10653-018-0171-3
62. Leeson S, Namkung H, Caston L, Durosoy S, Schlegel P. Comparison of selenium levels and sources and dietary fat quality in diets for broiler breeders and layer hens. *Poultry Science.* 2008;87(12):2605-2612. doi: 10.3382/ps.2008-00174
63. Liu Y, Ma YL, Zhao JM, Vazquez-Añón M, Stein HH. Digestibility and retention of zinc, copper, manganese, iron, calcium, and phosphorus in pigs fed diets containing inorganic or organic minerals. *Journal of Animal Science.* 2014;92(8):3407-3415. doi: 10.2527/jas.2013-7080
64. López-Alonso M. Trace minerals and livestock: not too much not too little. *ISRN Veterinary Science.* 2012;2012:704825. doi: 10.5402/2012/704825.
65. Ly NH, Oh CH, Joo S-W. A submicromolar Cr(III) sensor with a complex of methionine using gold nanoparticles. *Sensors and Actuators B: Chemical.* 2015;219:276-282. doi: 10.1016/j.snb.2015.04.130
66. Ma YL, Zanton GI, Zhao J, Wedekind K, Escobar J, Vazquez-Añón M. Multitrial analysis of the effects of copper level and source on performance in nursery pigs. *Journal of Animal Science.* 2015;93(2):606-614. doi: 10.2527/jas.2014-7796
67. Mackenzie JS, Jeggo M. The one health approach—Why is it so important? *Trop Med Infect Dis.* 2019;4(2):88. doi: 10.3390/tropicalmed4020088
68. Mantovani A, Maranghi F, Purificato I, Macri A. Assessment of feed additives and contaminants: an essential component of food safety. *Ann Ist Super Sanita.* 2006;42(4):427-32.
69. Marques RS, Cooke RF, Rodrigues MC, Cappellozza BI, Mills RR, Larson CK, Moriel P, Bohnert DW. Effects of organic or inorganic cobalt, copper, manganese, and zinc supplementation to late-gestating beef cows on productive and physiological responses of the offspring. *J Anim Sci.* 2016;94(3):1215-1226. doi: 10.2527/jas.2015-0036
70. McDowell LR. *Minerals in Animal and Human Nutrition.* Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2003;644 p.
71. Meng T, Gao L, Xie C, Xiang Y, Huang Y, Zhang Y, Wu X. Manganese methionine hydroxy analog chelated affects growth performance, trace element deposition and expression of related transporters of broilers. *Animal Nutrition.* 2021;7(2):481-487. doi: 10.1016/j.aninu.2020.09.005

72. Miller MD, Lanier JS, Kvidera SK, Dann HM, Ballard CS, Grant RJ. Evaluation of source of corn silage and trace minerals on lactational performance and total tract nutrient digestibility of Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 2020;103(4):3147-3160. doi: 10.3168/jds.2019-17716
73. Min YN, Liu FX, Qi X, Ji S, Ma SX, Liu X, Wang ZP, Gao YP. Effects of methionine hydroxyl analog chelated zinc on laying performance, eggshell quality, eggshell mineral deposition, and activities of Zn-containing enzymes in aged laying hens. *Poultry Science.* 2018;97(10):3587-3593. doi: 10.3382/ps/pey203
74. Miranda M, Pereira V, Carbajales P, López-Alonso M. Importance of breed aptitude (beef or dairy) in determining trace element concentrations in bovine muscles. *Meat Sci.* 2018;145:101-106. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.06.005
75. Mohseni M, Park G-H, Lee J-H, Okorie OE, Browdy C, Bharadwaj A, Bai SC. Evaluation of toxicity of dietary chelated copper in juvenile Olive Flounder, *Paralichthys olivaceus*, based on growth and tissue copper concentration. *Journal of the World Aquaculture Society.* 2012;43(4):548-559. doi: 10.1111/j.1749-7345.2012.00583.x
76. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, 8th ed. Washington, DC: The National Academies Press; 2016:494. doi:10.17226/19014
77. National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 6th ed. USA, DC, Washington: The National Academies Press; 1984:63 p. doi: 10.17226/19398
78. National Research Council. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed., update 2000. USA, DC, Washington: The National Academies Press; 1996:248 p. doi: 10.17226/9791
79. Nawrocka A, Durkale M, Szkoda J, Filipek A, Kmiecik M, Żmudzki J, Posytniak A. Total mercury levels in the muscle and liver of livestock and game animals in Poland, 2009-2018. *Chemosphere.* 2020;258:127311. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127311
80. Naz S, Idris M, Khalique MA, Zia Ur R, Alhidary IA, Abdelrahman MM, et al. The activity and use of zinc in poultry diets. *Worlds Poultry Sci J.* 2016;1(2):159-167. doi: 10.1017/S0043933915002755
81. Nechitailo KS, Sizova EA, Shoshin DE. Concentration of trace elements in liver of broilers chickens after use of multienzyme feed composition in the diet. *Trace Elements and Electrolytes.* 2021;38(3):150.
82. Nemeč LM, Richards JD, Atwell CA, Diaz DE, Zanton GI, Gressley TF. Immune responses in lactating Holstein cows supplemented with Cu, Mn, and Zn as sulfates or methionine hydroxyl analogue chelates. *Journal of Dairy Science.* 2012;95(8):4568-4577. doi: 10.3168/jds.2012-5404
83. Niemann H, Kuhla B, Flachowsky G. Perspectives for feed-efficient animal production. *J Anim Sci.* 2011;99(12):4344-4363. doi: 10.2527/jas.2011-4235
84. Nocek JE, Socha MT, Tomlinson DJ. The effect of trace mineral fortification level and source on performance of dairy cattle. *J Dairy Sci.* 2006;89(7):2679-2693. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72344-X
85. Orisakwe OE, Oladipo OO, Ajaezi GC, Udowelle NA. Horizontal and vertical distribution of heavy metals in farm produce and livestock around lead-contaminated goldmine in daretta and abare, Zamfara State, Northern Nigeria. *J Environ Public Health.* 2017;2017:3506949. doi: 10.1155/2017/3506949
86. Osorio JS, Trevisi E, Li C, Drackley JK, Socha MT, Looor JJ. Supplementing Zn, Mn, and Cu from amino acid complexes and Co from cobalt glucoheptonate during the periparturient period benefits postparturient cow performance and blood neutrophil function. *J Dairy Sci.* 2016;99(3):1868-1883. doi: 10.3168/jds.2015-10040
87. Pandey AK, Kumar P, Saxena MJ. Feed additives in animal health. In: Gupta R, Srivastava A, Lall R, editors. *Nutraceuticals in Veterinary Medicine*. Springer, Cham; 2019:345-362. doi: 10.1007/978-3-030-04624-8_23
88. Połatajko A, Śliwka-Kaszyńska M, Dernovics M, Ruzik R, Ruiz-Encinar J, Szpunar J. A systematic approach to selenium speciation in selenized yeast. *J Anal At Spectrom.* 2004;19(1):114-120. doi: 10.1039/b308756p
89. Rao SVR, Raju MVLN, Panda AK, Poonam NS, Murthy OK, Sunder GS. Effect of dietary supplementation of organic chromium on performance, carcass traits, oxidative parameters

ters and immune responses in commercial broiler chickens. *Bio Trace Elem Res.* 2012;147(1-3):135-141. doi: 10.1007/s12011-011-9314-4

90. Rider SA, Davies SJ, Jha AN, Clough R, Sweetman JW. Bioavailability of co-supplemented organic and inorganic zinc and selenium sources in a white fishmeal-based rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2010;94(1):99-110. doi: 10.1111/j.1439-0396.2008.00888.x

91. Skalny AV, Salnikova EV, Burtseva TI, Skal'naya MG, Tinkov AA. Zinc, copper, cadmium, and lead levels in cattle tissues in relation to different metal levels in ground water and soil. *Sci Pollut Res.* 2019;26(1):559-569. doi: 10.1007/s11356-018-3654-y

92. Spears JW. Trace mineral bioavailability in ruminants. *J Nutr.* 2003;133(5):1506S-1509S. doi: 10.1093/jn/133.5.1506S

93. Stangl GI, Schwarz FJ, Kirchgessner M. Moderate long-term cobalt-deficiency affects liver, brain and erythrocyte lipids and lipoproteins of cattle. *Nutrition Research.* 1999;19(3):415-427.

94. Stangl GI, Schwarz FJ, Müller H, Kirchgessner M. Evaluation of the cobalt requirement of beef cattle based on vitamin B₁₂, folate, homocysteine and methylmalonic acid. *Br J Nutr.* 2000;84(5):645-653. doi: 10.1017/s0007114500001987

95. Suganya T, Varman M, Masjuki HH, Renganathan S. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2016;55:909-941. doi: 10.1016/j.rser.2015.11.026

96. Sukhanova SF, Uskov GE, Lushnikov NA. Use of a mineral additive in cattle feeding. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2019;341:012055. doi: 10.1088/1755-1315/341/1/012055

97. Sun Q, Guo Y, Li J, Zhang T, Wen J. Effects of methionine hydroxy analog chelated Cu/Mn/Zn on laying performance, egg quality, enzyme activity and mineral retention of laying hens. *The Journal of Poultry Science.* 2012;49(1):20-25. doi: 10.2141/jpsa.011055

98. Suttle NF. Mineral nutrition of livestock, 4th edition. UK, Wallingford: CABI; 2010:579.

99. Thornton PK. Livestock production: recent trends, future prospects. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.* 2010;365(1554):2853-2867. doi: 10.1098/rstb.2010.0134

100. Tiffany ME, Fellner V, Spears JW. Influence of cobalt concentration on vitamin B12 production and fermentation of mixed ruminal microorganisms grown in continuous culture flow-through fermentors. *J Anim Sci.* 2006;84(3):635-640. doi: 10.2527/2006.843635x

101. Torres CA, Korver DR. Influences of trace mineral nutrition and maternal flock age on broiler embryo bone development. *Poult Sci.* 2018;97(8):2996-3003. doi: 10.3382/ps/pey136

102. Underwood EJ, Mertz W. Introduction. In: Mertz W, editor. *Trace Elements in Human and Animal Nutrition.* San Diego: Academic Press; 1987:1-19.

103. Wang C, Liu Q, Yang WZ, Dong Q, Yang XM, He DC, Zhang P, Dong KH, Huang YX. Effects of selenium yeast on rumen fermentation, lactation performance and feed digestibilities in lactating dairy cows. *Livest Sci.* 2009;126(1-3):239-244. doi: 10.1016/j.livsci.2009.07.005

104. Wang F, Li SL, Xin J, Wang YJ, Cao ZJ, Guo FC, Wang YM. Effects of methionine hydroxy copper supplementation on lactation performance, nutrient digestibility, and blood biochemical parameters in lactating cows. *Journal of Dairy Science.* 2012;95(10):5813-5820. doi: 10.3168/jds.2011-4182

105. Whitehurst WA, Paterson JA, Harbac MM, Petersen MK, Duff GC, Geary TW, Zanton GI and Wistuba TJ. Comparison of methionine hydroxy analogue chelated versus sulfate forms of copper, zinc, and manganese on growth performance and pregnancy rates in yearling beef replacement heifers. *The Professional Animal Scientist.* 2014;30(1):62-67. doi: 10.15232/S1080-7446(15)30084-X

106. Windisch W, Fahn C, Brugger D, Deml M, Buffler M. Strategies for sustainable animal nutrition. *Züchtungskunde.* 2013;85(1):40-53.

107. Wu X, Yao J, Yang Z, Yue W, Ren Y, Zhang C, Liu X, Wang H, Zhao X, Yuan S, Wang Q, Shi L, Shi L. Improved fetal hair follicle development by maternal supplement of selenium at nano size (Nano-Se). *Livestock Science.* 2011;142(1-3):270-275. doi:10.1016/j.livsci.2011.08.005

108. Yatoo MI, Saxena A, Deepa P, Habeab BP. Role of trace elements in animals: a review. *Veterinary World.* 2013;6(12):963-967. doi: 10.14202/vetworld.2013.963-967

109. Yazdankhah S, Rudi K, Bernhoft A. Zinc and copper in animal feed – development of resistance and co-resistance to antimicrobial agents in bacteria of animal origin. *Microb Ecol Health Dis.* 2014;25:25862. doi: 10.3402/mehd.v25.25862

110. Yuan J, Xu Z, Huang C, Zhou S, Guo Y. Effect of dietary Mintrex-Zn/Mn on performance, gene expression of Zn transfer proteins, activities of Zn/Mn related enzymes and fecal mineral excretion in broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology.* 2011;168(1–2):72-79. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.03.011

111. Zhao J, Allee G, Gerlemann G, Ma L, Gracia MI, Parker D, Vazquez-Anon M, Harrell RJ. Effects of a chelated copper as growth promoter on performance and carcass traits in pigs. *Asian Australasian Journal of Animal Science.* 2014;27(7):965-973. doi: 10.5713/ajas.2013.13416

Информация об авторах:

Анастасия Павловна Иванищева, аспирант, специалист-техник центра «Испытательный центр» ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-987-843-5822.

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, руководитель центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29; профессор кафедры биологии и почвоведения, Оренбургский государственный университет, 460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13, тел.: 8-912-344-99-07.

Айна Маратовна Камирова, кандидат биологических наук, научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-922-548-44-89.

Лера Ленуровна Мусабеева, соискатель, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29, тел.: 8-912-343-59-85.

Максим Владимирович Соловьёв, магистрант 2 курса, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, д. 29.

Information about the authors:

Anastasia P Ivanishcheva, postgraduate student, specialist technician of the Testing Center of the Central Common Use Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-843-5822.

Elena A Sizova, Dr. Sci. (Biology), Head of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 January St., Orenburg, 460000; Professor of the Department of Biology and Soil Science, Orenburg State University, 13 Pobedy Ave., Orenburg, 460018, tel.: 8-912-344-99-07.

Ayna M Kamirova, Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-922-548-44-89.

Lera L Musabayeva, applicant Researcher of the Centre for Nanotechnologies in Agriculture, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-343-59-85.

Maxim V Solovyov, Master's student 2 courses, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Статья поступила в редакцию 17.04.2023; одобрена после рецензирования 11.05.2023; принята к публикации 13.06.2023.

The article was submitted 17.04.2023; approved after reviewing 11.05.2023; accepted for publication 13.06.2023.