

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 73-85.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No 4. P. 73-85.

Научная статья
УДК 636.5:636.087.7
doi:10.33284/2658-3135-108-4-73

Влияние гуминовой добавки на элементный гомеостаз цыплят-бройлеров

Ксения Сергеевна Нечитайло¹, Елена Анатольевна Сизова², Кристина Владимировна Рязанцева³, Даниил Евгеньевич Шошин⁴, Татьяна Николаевна Холодилина⁵

^{1,2,3,4,5}Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹k.nechit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8755-414X>

²sizova.l78@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

³reger94@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5134-0396>

⁴daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

⁵xolodilina@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3946-8247>

Аннотация. Исследование проводили с целью изучения элементного статуса цыплят-бройлеров кросса Арбор-Айкрес при введении в рацион гуминового комплекса в дозировке 0,01 мл на 1 кг живой массы. Элементный состав тканей анализировали методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. Результаты исследования показали, что введение добавки привело к значительным изменениям элементного статуса организма цыплят. В частности, в печени наблюдалось увеличение содержания меди на 14,3 % ($P \leq 0,01$) и железа – на 47,08 % ($P \leq 0,05$), при этом уровень марганца, кадмия и хрома снизился. В мышечной ткани было отмечено увеличение доли железа на 56,13 % ($P \leq 0,05$), кремния – на 48,4 % ($P \leq 0,05$) и цинка – на 6,53 % ($P \leq 0,05$), тогда как уровень кальция и меди снизился. В периферических тканях выявлено увеличение концентрации железа и селена при снижении хрома, магния и алюминия. Скорость накопления элементов, таких как медь, цинк и железо, увеличилась, что свидетельствует о повышении их биодоступности. Таким образом, гуминовая добавка способствует улучшению элементного статуса цыплят-бройлеров, повышая биодоступность эссенциальных микроэлементов и снижая уровень токсичных металлов. Однако для оптимизации применения гуминовых веществ необходимы дальнейшие исследования, включая изучение их влияния на костную ткань и разработку рекомендаций условий использования. Полученные данные подтверждают перспективность использования гуминовых добавок в птицеводстве для повышения продуктивности и безопасности продукции.

Ключевые слова: элементный состав, цыплята-бройлеры, гуминовые вещества, гумины, гуминовые кислоты, микроэлементы, макроэлементы

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2024-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2024-0002).

Для цитирования: Влияние гуминовой добавки на элементный гомеостаз цыплят-бройлеров / К.С. Нечитайло, Е.А. Сизова, К.В. Рязанцева, Д.Е. Шошин, Т.Н. Холодилина // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 4. С. 73-85. [Nechitailo KS, Sizova EA, Ryazanseva KV, Shoshin DE, Kholodilina TN. The effect of humic additive on the elemental homeostasis of broiler chickens. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(4):73-85. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-73>

Original article

The effect of humic additive on the elemental homeostasis of broiler chickens

**Ksenia S Nechitailo¹, Elena A Sizova², Kristina V Ryazantseva³, Daniil E Shoshin⁴,
Tatyana N Kholodilina⁵**

^{1,2,3,4,5}Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹k.nechit@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8755-414X>

²sizova.178@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5125-5981>

³reger94@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5134-0396>

⁴daniilshoshin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3086-681X>

⁵xolodilina@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3946-8247>

Abstract. The research was conducted to study the elemental status of broiler chickens of the Arbor-Aykres cross when a humic complex was introduced into the diet at a dosage of 0.01 ml per 1 kg of live weight. The elemental composition of the tissues was analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry. The results of the study showed that the introduction of the supplement led to significant changes in the elemental status of the chickens. In particular, the liver showed an increase in copper content by 14.3% ($P \leq 0.01$) and iron by 47.08% ($P \leq 0.05$), while the levels of manganese, cadmium and chromium decreased. In muscle tissue, there was an increase in iron fraction by 56.13% ($P \leq 0.05$), silicon by 48.4% ($P \leq 0.05$) and zinc by 6.53% ($P \leq 0.05$), while the levels of calcium and copper decreased. The feather sample showed an increase in concentration of iron and selenium with a decrease in chromium, magnesium and aluminum. The accumulation rate of elements such as copper, zinc and iron has increased, indicating an increase in their bioavailability. Thus, the humic additive helps to improve the elemental status of broiler chickens, increasing the bioavailability of essential trace elements and reducing the level of toxic metals. However, further research is needed to optimize the use of humic substances, including studying their effect on bone tissue and developing recommendations for use conditions. The data obtained confirm the prospects of using humic additive in poultry farming to increase productivity and product safety.

Keywords: elemental composition, broiler chickens, humic substances, humins, humic acids, microelements, macronutrients

Acknowledgments: the study was performed in accordance to the plan of research works for 2024-2026 FSBRI FRC BST RAS (No. FNWZ-2024-0002).

For citation: Nechitailo KS, Sizova EA, Ryazanseva KV, Shoshin DE, Kholodilina TN. The effect of humic additive on the elemental homeostasis of broiler chickens. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(4):73-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-4-73>

Введение.

Мясо цыплят-бройлеров, печень и другие субпродукты являются важными компонентами здорового питания, благодаря высокому содержанию белка, низкой калорийности и относительно невысокой стоимости (Korish MA and Attia YA, 2020). По прогнозам, к 2031 году мировое производство мяса составит 377 млн тонн, а к 2032 году потребление мясопродуктов птицы увеличится на 15 %. В ближайшее десятилетие на птицеводство придется 48 % от общего объема производства мяса и 41 % – от доли белка животного происхождения (OECD/FAO, 2023). Продукция птицеводства содержит целый комплекс макро- и микроэлементов, необходимых для поддержания метаболической активности организма (Рязанцева К.В. и др., 2021). С другой стороны, живые организмы регулярно подвергаются воздействию широкого спектра факторов, включая высокую антропогенную нагрузку (Aljohani AS, 2023). В продукции животноводства могут накапливаться токсичные элементы, что вызывает беспокойство относительно их влияния на безопасность пищевых

продуктов и потенциальные риски для здоровья населения (Korish MA and Attia YA, 2020; Hossain E et al., 2023).

Гуминовые вещества – это сложные органические соединения, которые образуются в результате разложения органических остатков в морской, пресноводной и почвенной средах (Нечитайло К.С. и др., 2021). В углеродном цикле процесс гумификации является вторым по значимости после фотосинтеза. Гуминовые вещества присутствуют в широком диапазоне сред (Hricikova S et al., 2023). Вещества с высокой долей гуминовых кислот (более 40 %) были классифицированы в 2013 году Европейской комиссией как сырье для кормовых добавок, которое может использоваться в кормлении животных (Marcinčák S et al., 2023). Их применение в животноводстве, особенно в птицеводстве, привлекает внимание благодаря потенциальным преимуществам для здоровья животных и их продуктивности. Было доказано, что гуминовые кормовые добавки значительно улучшают показатели роста, о чем свидетельствует увеличение массы тела и коэффициента конверсии корма (El-kelawy M et al., 2024).

Гуминовые вещества способны связываться с минералами и микроэлементами, повышая их биодоступность. Включение фульвогуматов в рацион может стать важным шагом к устойчивому развитию птицеводства. Однако применение данной добавки может привести к избыточной биоаккумуляции микроэлементов, включая токсичные (Лебедев С.В. и др., 2019). Существует значительная связь между обеспеченностью нутриентами и обменом химических элементов в организме (Иванищева А.П. и др., 2023). Дефицит или избыток элементов могут вызывать серьезные метаболические изменения у животных (Hossain E et al., 2023).

Цель исследования.

Оценить особенности элементного гомеостаза организма цыплят-бройлеров при добавлении гуминовой кормовой добавки в рацион.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Цыплята-бройлеры кросса Арбор-Айкрес (Авиаген).

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), протоколы Женевской конвенции и принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009), Руководство по работе с лабораторными животными (http://fncbst.ru/?page_id=3553). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными были выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

Схема эксперимента. Исследование проводили по методу пар-аналогов. Всего было сформировано две группы (n=30): контрольная и опытная. Условия содержания и кормления были идентичными в обеих группах. Перед поступлением цыплят помещение было тщательно очищено, дезинфицировано, проверена эффективность биобезопасности. Температура воздуха была установлена на уровне +30...+32 °С. Влажность поддерживалась в пределах 60-70 %. За 24 часа до поступления цыплят были установлены и заполнены кормушки и поилки. Температура воды составляла +18...+21 °С. Перед выпуском птицы проводили контроль условий: температуры, влажности, вентиляции – для обеспечения оптимальных условий выращивания. В первые дни (до 7 дней) световой режим был установлен на 23-24 часа, постепенно снижаясь до 4 часов темноты к 7-му дню. Интенсивность освещения в течение светового периода составляла 35 люкс. Высоту кормушек и поилок регулировали в соответствии с ростом птицы. За 12 часов до забоя корм был полностью убран, за 8 часов – вода. В ходе всего эксперимента постоянно контролировали микроклимат (температуру,

влажность, вентиляцию), физическое состояние птицы, потребление корма и воды. В ходе экспериментальных исследований проводилась оценка роста цыплят-бройлеров путем ежесуточных индивидуальных взвешиваний с последующим расчетом среднесуточного прироста. Ежедневно вели учет поедаемости корма и сохранности птицы.

Эксперимент продолжался 42 суток и состоял из двух этапов: подготовительного, который длился 7 суток, и учетного – 35. Основной рацион был составлен как унифицированная стандартная кормосмесь, сформированная в соответствии с нормами Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства (Егоров И.А. и др., 2018). Контрольная группа получала основной рацион, а опытная группа, помимо основного рациона, получала гуминовую кормовую добавку «Иван Овсинский»® КОРМ в дозировке 0,01 мл на 1 кг живой массы по рекомендации производителя.

Данная добавка представляет собой раствор гуминовых кислот, полученных методом щелочной экстракции из бурого угля, известного как леонардит. В ее составе содержатся соли гуминовых кислот в концентрации 40-60 г/л, а также фульвовая кислота в форме водно-спиртового раствора и растворимые соли кремниевой кислоты. Значение pH составляет 9-10 единиц (по данным производителя).

Корректировка дозировки добавки осуществлялась еженедельно на основе данных о средней живой массе птицы, полученных при взвешивании. Учитывая интенсивный рост живой массы у бройлеров в ходе эксперимента, пересчет суточной дозы проводился каждые 7 суток целью поддержания заданного уровня введения активного вещества. Это позволило обеспечить физиологически релевантное воздействие на протяжении всего периода выращивания. Добавка вводилась с питьевой водой через групповые индивидуальные поилки, установленные для каждой экспериментальной единицы. Ежедневно готовили свежий раствор добавки, объем которого рассчитывали, исходя из среднесуточного водопотребления птицы, количества особей в группе и текущей дозировки. Раствор заменялся дважды в день (утром и вечером) для предотвращения осаждения частиц и размножения микроорганизмов. Такой способ введения обеспечивал равномерное потребление добавки всеми особями группы при отсутствии систем автоматического дозирования.

Для анализа использовали маховые перья, выщипанные вручную из крыла птицы. Согласно методике (Лебедева С.В. и др., 2023), от каждого животного отбирали проксимальную часть стержня махового пера – участок, прилегающий к коже, длиной 2-3 см, массой не менее 0,4 г. С одной птицы брали одну пробу пера, представляющую собой объединенный образец от 3-5 маховых перьев одного крыла, что обеспечивало достаточную массу.

От каждой птицы отбирали каудальную часть правой доли печени – участок, наиболее однородный по структуре и минимально подверженный локальным метаболическим колебаниям. Масса пробы составляла 0,5-1,0 г. Использовали одну пробу на птицу. Для анализа мышечной ткани использовали смесь всех скелетных мышц после обвалки. От каждой птицы отбирали одну пробу массой 1,0-1,5 г.

Образцы предварительно высушивали и гомогенизировали. Минерализацию проводили в микроволновой системе TOPEX+ (PREEKEM, Китай): навеску 0,1-0,3 г помещали в контейнер из TFM, добавляли HNO_3 и разлагали по программе, оптимизированной для биологических матриц.

Определение элементного состава проводили на одноквадрупольном масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 ICP-MS (Agilent, США). При этом анализ V, Cr, Fe, Zn, Se и As осуществляли в гелиевом режиме с применением столкновительной ячейки. Разложение производили в микроволновой системе пробоподготовки TOPEX+ (PREEKEM, Китай) при соответствующей температуре (подбирается в зависимости от вида образца). Стандартные растворы были подготовлены из мультиэлементной смеси от компании Merck (Германия), с добавлением вручную приготовленного стандарта макроэлементов (K, Na, Mg, Ca).

Скорость накопления химических элементов в биосубстратах основывался на определении интенсивности прироста содержания элемента во времени с учетом массы ткани и длительности экспериментального периода (Лебедев С.В., 2009). Данный подход позволяет оценить не только конечное содержание элемента, но и динамику его депонирования, что особенно важно при изучении биодоступности микроэлементов.

Оборудование и технические средства. Исследование было проведено на базе Центра коллективного пользования ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>) с применением следующего оборудования: одноквадрупольный масс-спектрометр с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7900 ICP-MS (Agilent, США).

Статистическая обработка. Статистическая обработка экспериментальных данных была произведена с применением программы «Excel» («Microsoft», США) и обработкой данных в «Statistica 12.0» («StatSoft Inc.», США). Анализ нормальности распределения данных проводили в рамках критерия согласия Колмогорова-Смирнова. Статистическую значимость оценивали с помощью параметрического t-критерия Стьюдента для независимых групп, достоверными считали значения при $P \leq 0,05$.

Результаты исследования.

В ходе исследования было выявлено, что введение гуминовой кормовой добавки сопровождается изменением элементного статуса организма. На фоне применения исследуемой добавки, элементный профиль печени (табл. 1) характеризовался увеличением концентрации меди на 14,3 % ($P \leq 0,01$), железа – на 47,08 % ($P \leq 0,05$). При этом было выявлено снижение концентрации марганца на 10,92 % ($P \leq 0,01$), кадмия – на 39,54 % ($P \leq 0,05$) и хрома – на 45,32 % ($P \leq 0,05$). В отношении свинца, цинка и никеля была установлена тенденция к снижению. Таким образом, гуминовая добавка приводила к увеличению биодоступности железа и меди.

Таблица 1. Концентрация некоторых элементов в печени цыплят-бройлеров, мг/кг
Table 1. Elemental composition of broiler chickens' liver, mg/kg

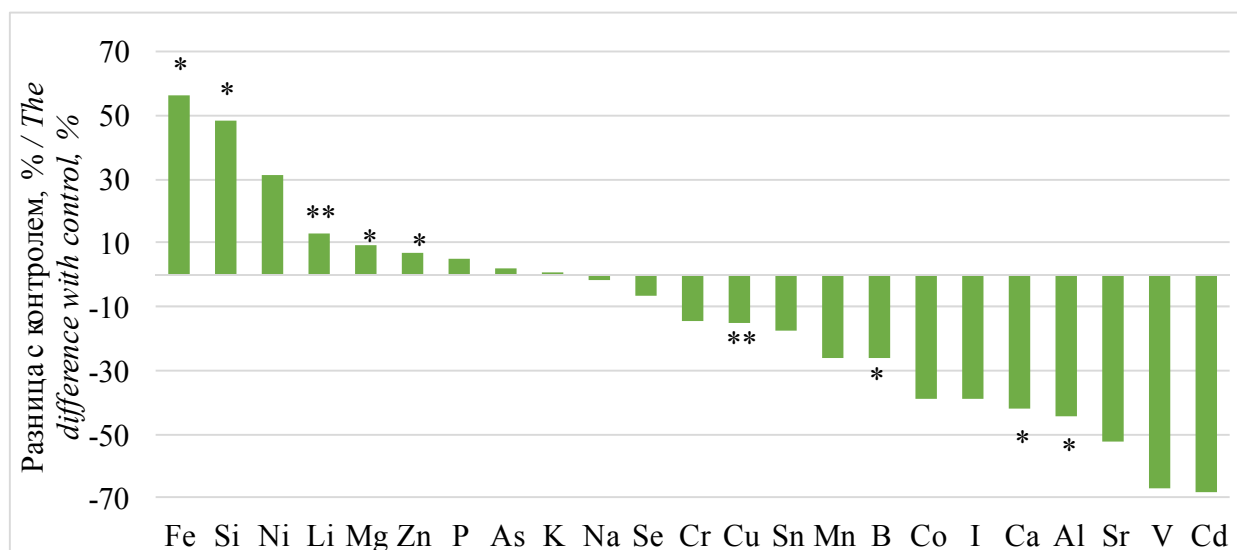
Показатель/ <i>Parametres</i>	Группы / <i>Groups</i>	
	контроль / <i>control</i>	опыт / <i>experiment</i>
Медь / <i>Copper</i>	2,99±0,0200	3,28±0,0130**
Марганец / <i>Manganese</i>	0,83±0,0050	0,71±0,0030**
Свинец / <i>Lead</i>	0,05±0,0040	0,03±0,0015
Кадмий / <i>Cadmium</i>	0,03±0,0002	0,02±0,0001*
Цинк / <i>Zinc</i>	23,33±1,1650	22,14±1,1890
Никель / <i>Nickel</i>	0,01±0,0005	0,01±0,0007
Хром / <i>Chrome</i>	0,24±0,0020	0,13±0,0010*
Железо / <i>Iron</i>	55,1±0,3610	77,66±0,3110*

Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$

Note: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$

В мышечной ткани (рис. 1) на фоне введения гуминовой добавки наблюдалось среди макроэлементов снижение уровня кальция на 16,45 % ($P \leq 0,05$), при этом концентрации калия, натрия и фосфора оставались на уровне контрольных показателей. Среди микроэлементов было выявлено снижение доли меди на 14,9 % ($P \leq 0,01$), бора – на 26,01 % ($P \leq 0,05$), алюминия – на 44,52 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контрольными значениями. Уровень железа был увеличен на 56,13 % ($P \leq 0,05$), кремния – на 48,4 % ($P \leq 0,05$), лития – на 12,83 % ($P \leq 0,01$), магния – на 9,29 % ($P \leq 0,05$) и цинка – на 6,53 % ($P \leq 0,05$) по отношению к контролю.

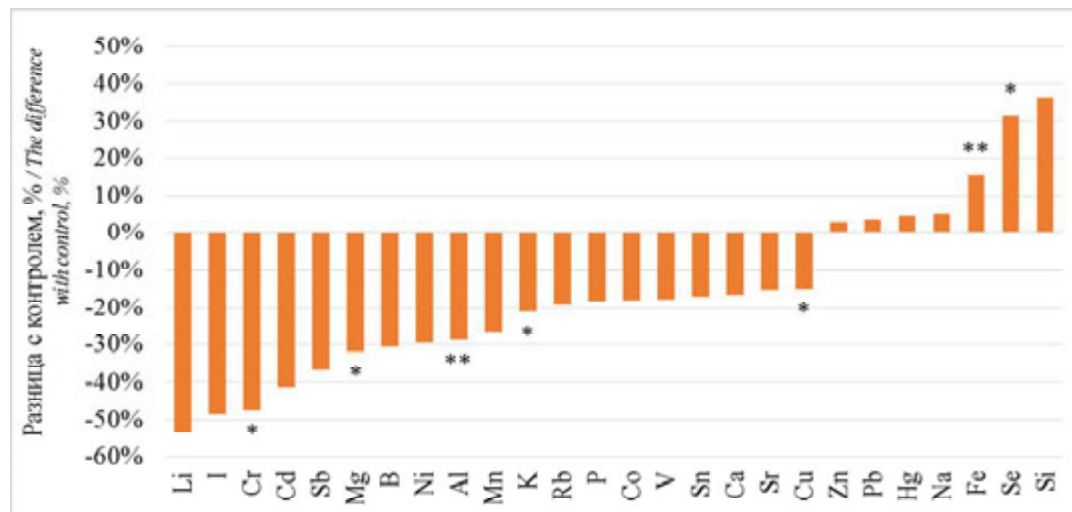
При анализе элементного профиля пера цыплят-бройлеров (рис. 2) была выявлена иная картина. Так, было установлено, что при введении исследуемой добавки наблюдалось увеличение в пере концентрации железа на 15,38 % ($P \leq 0,01$), селена – на 31,34 % ($P \leq 0,05$), при одновременном снижении хрома на 47,61 % ($P \leq 0,05$), магния – на 31,92 % ($P \leq 0,05$), алюминия – на 28,66 % ($P \leq 0,01$), калия – на 21,14 % ($P \leq 0,05$) и меди – на 14,84 % ($P \leq 0,05$) по сравнению с контрольными значениями. Исследования показали, что введение гуминовой добавки в рацион цыплят-бройлеров сопровождается увеличением уровня железа и селена, что может привести к улучшению качества пера и увеличению его устойчивости к внешним факторам.



Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$

Рисунок 1. Разница концентрации химических элементов в мышечной ткани цыплят-бройлеров опытной группы по отношению к контрольной (возраст 42 суток), %
Figure 1. The difference in the concentration of chemical elements in the muscle tissue of broiler chickens of the experimental group in relation to the control group (age 42 days), %

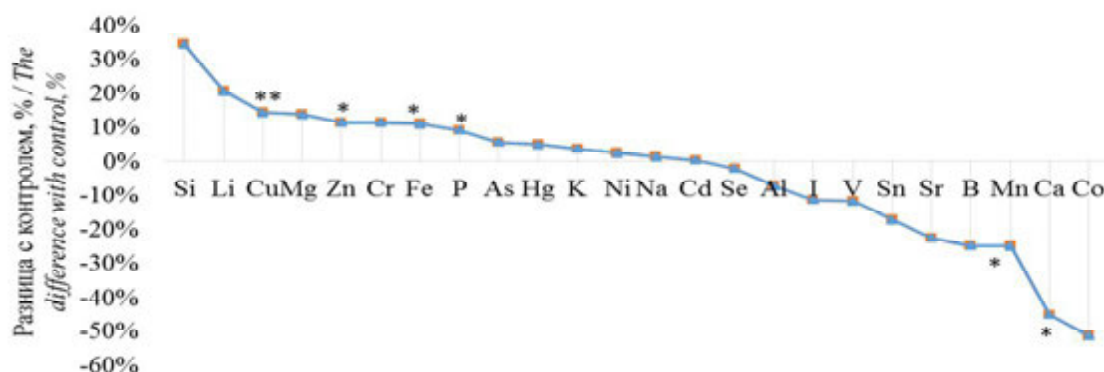


Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$

Рисунок 2. Разница концентрации химических элементов в пере цыплят-бройлеров опытной группы по отношению к контрольной (возраст 42 суток), %
Figure 2. The difference in the concentration of chemical elements in the feathers of broiler chickens of the experimental group in relation to the control group (age 42 days), %

Скорость накопления химических элементов (рис. 3) является важным и информативным показателем метаболических процессов в организме.



Примечание: * – $P \leq 0,05$; ** – $P \leq 0,01$

Note: * – $P \leq 0.05$; ** – $P \leq 0.01$

Рисунок 3. Разница скорости накопления химических элементов в организме цыплят-бройлеров на фоне введения гуминовой добавки опытных групп по сравнению с контрольной, %

Figure 3. Change in the rate of accumulation of chemical elements in the body of broiler chickens against the background of the introduction of a humic additive, %

Так, в эксперименте было установлено, что скорость накопления ряда элементов, таких как калий, никель, натрий, кадмий, селен была схожа независимо от действия исследуемого фактора. При этом высокая скорость накопления на фоне введения добавки была выявлена в отношении меди (+14,3 %; $P \leq 0,01$), цинка (+11,3 %; $P \leq 0,05$), железа (10,9 %; $P \leq 0,05$) и фосфора (+9,1 %; $P \leq 0,05$). Снижение скорости аккумуляирования отмечено для марганца (-25,1 %; $P \leq 0,05$) и кальция (-45,1 %; $P \leq 0,05$).

Обсуждение полученных результатов.

Неравномерное распределение минералов представляет собой значительную опасность для здоровья и продуктивности сельскохозяйственных животных и птиц. Важно учитывать поступление как эссенциальных, так и токсичных химических элементов. Избыточное количество токсичных металлов может ослабить иммунную систему, вызывая окислительный стресс, что негативно сказывается на биохимических показателях, репродуктивной функции и общей продуктивности (Лебедев С.В. и др., 2019). В связи с этим стоит отметить, что во всех анализируемых нами образцах содержание тяжелых металлов не превышало установленные нормы согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Как известно, печень является центральным звеном детоксикации ксенобиотиков. Благодаря сложному каскаду ферментативных процессов, гепатоциты трансформируют химические вещества, способствуя их выведению (Gu X and Manautou JE, 2012). Кроме этого, печень участвует в синтезе и секреции гормонов, регуляции иммунных реакций, а также выступает в качестве депо микроэлементов (железа, меди и кобальта) (Алиджанова И.Э. и др., 2014). Определение уровня химических элементов в печени является одним из способов оценки биодоступности последних.

В исследовании Jad'uttová I с коллегами (2019) выявлено аналогичное представлению выше изменение уровня кальция на фоне введения гуминовых веществ 0,8 %. Взаимодействие между карбонатными и сульфатными группами гуминовых кислот и кальцием происходит посредством таких механизмов, как координация, ионный обмен и адсорбция. Ионы кальция, связываясь с функциональной группой, могут образовывать карбонатные осадки, особенно в щелочных условиях, что соответственно снижает биодоступность. Предпочтения катионов для карбоксильной группы следующие: кальций > магний > алюминий > натрий. Это указывает на то, что ионы кальция проявляют более высокое сродство к функциональным группам. Ионы кальция играют связующую роль в структуре органической сети, образуя крупные молекулярные сетевые структуры органиче-

ского вещества (Xue S et al., 2024). Однако, поскольку основная форма кальция представлена гидроксипатитом (99 %), а марганец содержится преимущественно в костной ткани (Ciosek Z et al., 2021), необходим анализ элементного состава данного биосубстрата, что станет основой для будущих исследований.

Гуминовые вещества, являясь высокомолекулярными гетерогенными соединениями, благодаря своему уникальному составу могут влиять на биохимические реакции организма, косвенно регулируя обмен химических элементов. Однако следует учитывать, что гуминовые кислоты, обладая высокой активностью, могут напрямую связывать катионы металлов. Они образуют молекулы трехмерной структуры, содержащие ароматические ядра с кислородными и азотными гетероциклами. В боковых цепях, связанных с ароматическим ядром, присутствуют гидроксильные, карбонильные, карбоксильные, аминные и сульфгидрильные группы (Zralý Z et al., 2008). Подобные структуры обладают высокой адсорбционной способностью, выступая в качестве лигандов и формируя множество комплексов. Присутствие нескольких ионов одного металла во внутри- и внеклеточной жидкости организма может влиять на их биоактивность. Таким образом, изменение концентрации химических элементов в биосубстратах при добавлении гуминовых веществ может быть связано с хелатирующим действием гуминовых кислот (Skalická M et al., 2021).

Как мощный хелатор металлов гумины дифференцированно действуют на ряд микроэлементов, таких как медь, цинк и железо, связывая внеклеточные ионы и транспортируя их внутрь клеток, минуя биологические мембраны, что вызывает повышение концентрации элементов в биосубстратах (Vašková J et al., 2015). При этом известно, что степень хелатирования меняется в условиях снижения pH, что делает целесообразным использование комбинаторных подходов. В эксперименте выявлено увеличение содержания меди в печени, но снижение в мышечной ткани и пере. В то же время, уровень железа увеличивается во всех исследуемых биосубстратах. Известно, что медь может положительно влиять на гомеостаз железа, а железо – препятствовать метаболизму меди. В частности, медь, с одной стороны, влияет на гепсидин, а с другой – на ДНК-связывающую активность факторов HIF, модулируя гомеостаз железа в кишечнике (Doguer C et al., 2018). Гепсидин вызывает деградацию экспортера железа ферропортина, контролируя поступление железа (Wang CY and Babitt JL, 2019).

Коллоидные свойства гуминовых кислот отражают их сильное сродство к потенциально токсичным металлам, что позволяет им действовать как детоксиканты и снижать уровень микроэлементов. Для данной группы веществ характерны селективные адсорбционные способности (Xue S et al., 2024). В частности, в эксперименте установлено снижение уровня алюминия в пере и мышечной ткани, что также связано с высоким сродством ионов алюминия к функциональным группам гуминовых кислот, особенно к карбоксильной.

Таким образом, использование гуминовой добавки в рационе цыплят-бройлеров оказывает положительное влияние на элементный статус их тканей, что впоследствии отразится на общем здоровье и эффективности выращивания. Однако для более полного понимания механизмов действия этих соединений необходимы дальнейшие исследования. Важно учитывать, что оптимальная дозировка и форма применения гуминовых веществ могут варьироваться в зависимости от условий содержания и рациона птицы. Гуминовые вещества представляют собой перспективный инструмент для повышения продуктивности и здоровья цыплят-бройлеров в современных системах птицеводства.

Заключение.

В ходе анализа элементного состава биосубстратов цыплят-бройлеров установлено, что введение гуминовой добавки сопровождается изменением уровня макро и микроэлементов. В частности, выявлено накопление железа, кремния, лития, магния, цинка, со снижением меди, бора, кальция и алюминия в мышечной ткани. В пере установлено снижение хрома, магния, алюминия, калия, меди на фоне накопления железа и селена. Элементный состав печени характеризовался аккумуляцией железа и меди.

Список источников

1. Алиджанова И.Э., Нотова С.В., Мирошников С.А. Элементный статус лабораторных животных как проявление адаптации к воздействию эндогенных факторов // Вестник мясного скотоводства. 2014. № 4(87). С. 96-100. [Alidzhanova IE, Notova SV, Miroshnikov SA. The elemental status of laboratory animals as a manifestation of adaptation to the effects of endogenous factors. Herald of Beef Cattle Breeding. 2014;4(87):96-100. (*In Russ.*)].
2. Биологические активные добавки для птицеводства на основе гуминовых комплексов (обзор) / К.С. Нечитайло, К.В. Рязанцева, Е.А. Сизова, В.Л. Королёв // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 1. С. 94-108. [Nechitailo KS, Ryazantseva KV, Sizova EA, Korolyov VL. Biologically active additives for poultry farming based on humic complexes (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(1):94-108. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-94
3. Возрастные особенности накопления эссенциальных и токсичных элементов в перьях цыплят-бройлеров (*Gallus gallus L.*) кросса Arbor Acres в условиях Южно-Уральской биогеохимической провинции России / С.В. Лебедев, О.А. Завьялов, А.Н. Фролов, М.Я. Курилкина, В.В. Гречкина // Сельскохозяйственная биология. 2023. Т. 58. № 2. С. 386-398. [Lebedev SV, Zavyalov OA, Frolov AN, Kurilkina MYa, Grechkina VV. Age-dependent accumulation of essential and toxic chemical elements in feather of arbor acres broilers (*Gallus gallus L.*) reared in the south ural biogeochemical province of Russia. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2023;58(2):386-398. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2023.2.386rus doi: 10.15389/agrobiology.2023.2.386eng
4. Лебедев С.В. Элементный статус, обмен энергии и продуктивность кур в условиях различной нутриентной обеспеченности: дис. ... д-ра биол. наук. Оренбург, 2009. 346 с. [Lebedev SV. Elementnii status, obmen energii i produktivnost kur v usloviyakh razlichnoi nutrientnoi obespechennosti. [dissertation] Orenburg; 2009:346 p. (*In Russ.*)].
5. Лебедев С.В., Харламов А.В., Курилкина М.Я. Выбор биоиндикаторов для оценки элементного статуса животных // Животноводство и кормопроизводство. 2019. Т. 102. № 1. С. 71-78. [Lebedev SV, Kharlamov AV, Kurilkina MYa. Selection of bioindicators to assess the elemental status of animals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(1):71-78. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-71
6. 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. [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.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-85
7. Руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы: метод. пособие / И.А. Егоров, В.А. Манукян, Т.Н. Ленкова, Т.А. Егорова, Т.М. Околелова, Е.Н. Андрианова, А.Н. Шевяков, Т.В. Егорова, Е.Ю. Байковская, Н.Н. Гогина, Л.И. Криворучко, И.Г. Сысоева (ФНЦ «ВНИТИП» РАН), И.Г. Панин, В.В. Гречишников, А.И. Панин, С.В. Кустова (КормРесурс), В.А. Афанасьев (ВНИИКП), Ю.А. Пономаренко (ООО «Фермент»); под общ. ред. академика РАН В.И. Фисинина и академика РАН И.А. Егорова. М.: ЛИКА, 2019. 215 с. [Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, Egorova TA, Okolelova TM, Andrianova EN, Shevyakov AN, Egorova TV, Baykovskaya EY, Gogina NN, Krivoruchko LI, Sysoeva IG. (FNTs «VNITIP» RAN), Panin IG, Grechishnikov VV, Panin AI, Kustova SV (KormResurs), Afanasiev VA (VNIKIP), Ponomarenko YA (ООО «Ferment»). Rukovodstvo po kormleniyu sel'skokhozyaistvennoi ptitsy: metod. posobie. pod obshch. red. akademika RAN V.I. Fisina i akademika RAN I.A. Egorova. Moscow: LIKA; 2019:215 p. (*In Russ.*)].
8. Рязанцева К.В., Нечитайло К.С., Сизова Е.А. Нормирование минерального питания цыплят-бройлеров (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 1. С. 119-137. [Ryazantseva KV, Nechitailo KS, Sizova EA. Broiler chickens mineral nutrition rationing (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(1):119-137. (*In Russ.*)]. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-119

9. TP TC 021/2011. О безопасности пищевой продукции: технический регламент Таможенного союза: утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 880 (с изменениями на 22 апреля 2024 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=mheexd7c30174038012> (дата обращения: 03.09.2025). [TR TS 021/2011. O bezopasnosti pishchevoj produkci: tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza: utv. Resheniem Komissii Tamozhennogo soyuza ot 09.12.2011 № 880 (s izmeneniyami na 22 aprelya 2024 goda). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=mheexd7c30174038012> (date of request: 03.09.2025) (*In Russ.*)].
10. Aljohani AS. Heavy metal toxicity in poultry: a comprehensive review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023;10:1161354. doi: 10.3389/fvets.2023.1161354
11. Ciosek Ż, Kot K, Kosik-Bogacka D, Łanocha-Arendarczyk N, Rotter I. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. *Biomolecules*. 2021;11(4):506. doi: 10.3390/biom11040506
12. Doguer C, Ha JH, Collins JF. Intersection of Iron and copper metabolism in the mammalian intestine and liver. *Comprehensive Physiology*. 2018;8(4):1433-1461. doi: 10.1002/cphy.c170045
13. El-kelawy M, Elnaggar AS, Enass AEK. The influence of supplementing broiler chickens with humic acid or biochar as natural growth promoters on their productive performance, nutrient digestibility, and physiological performance. *Egyptian Poultry Science Journal*. 2024;44(1):123-142. doi: 10.21608/epsj.2024.354787
14. Gu X, Manautou JE. Molecular mechanisms underlying chemical liver injury. *Expert Reviews in Molecular Medicine*. 2012;14:e4. doi: 10.1017/S1462399411002110
15. Hossain E, Nesha M, Chowdhury MAZ, Rahman SH. Human health risk assessment of edible body parts of chicken through heavy metals and trace elements quantitative analysis. *Plos one*. 2023;18(3):e0279043. doi: 10.1371/journal.pone.0279043
16. Hricikova S, Kožárová I, Hudakova N, Reitznerova A, Nagy J, Marcinčák S. Humic substances as a versatile intermediary. *Life*. 2023;13(4):858. doi: 10.3390/life13040858
17. Jaďutťová I, Marcinčáková D, Bartkovský M, Semjon B, Harčárová M, Nagyová A, Váczi P, Marcinčák S. The effect of dietary humic substances on the fattening performance, carcass yield, blood biochemistry parameters and bone mineral profile of broiler chickens. *Acta Veterinaria Brno*. 2019;88(3):307-313. doi: 10.2754/avb201988030307
18. Korish MA, Attia YA. Evaluation of heavy metal content in feed, litter, meat, meat products, liver, and table eggs of chickens. *Animals (Basel)*. 2020; 10(4):727. doi: 10.3390/ani10040727
19. Marcinčák S, Semjon B, Marcinčáková D, Reitznerová A, Mudroňová D, Vašková J, Nagy J. Humic substances as a feed supplement and the benefits of produced chicken meat. *Life*. 2023;13(4):927. doi: 10.3390/life13040927
20. OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. Paris: OECD Publishing, 2023. <https://doi.org/10.1787/08801ab7-en>
21. Skalická M, Naď P, Bujňák L, Marcin A. Impact of dietary humic substances supplementation on selected minerals in muscles of broiler chickens. *Folia Veterinaria*. 2021;65(3):51-59. doi: 10.2478/fv-2021-0027
22. Vašková J, Patlevič P, Žatko D, Vaško L, Marcinčák S. Impact of humic acids on trace element content under different conditions. *Folia Vet*. 2015;59:159-164.
23. Wang CY, Babitt JL. Liver iron sensing and body iron homeostasis. *Blood*. 2019;133(1):18-29. doi: 10.1182/blood-2018-06-815894
24. Xue S, Wang Y, Bo W, Wan K, Miao Z. Calcium-doped magnetic humic acid nano particles for the efficient removal of heavy metals from wastewater: the role of Ca. *Environmental Technology*. 2024;45(16):3228-3243. doi: 10.1080/09593330.2023.2213832
25. Zralý Z, Písaříková B, Navrátilová M. The effect of humic acid on mercury accumulation in chicken organs and muscle tissues. *Czech Journal of Animal Science*. 2008;53(1):472-478. doi: 10.17221/342-CJAS

References

1. Alidzhanova IE, Notova SV, Miroshnikov SA. The elemental status of laboratory animals as a manifestation of adaptation to the effects of endogenous factors. Herald of Beef Cattle Breeding. 2014;4(87):96-100.
2. Nechitailo KS, Ryazantseva KV, Sizova EA, Korolyov VL. Biologically active additives for poultry farming based on humic complexes (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(1):94-108. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-94
3. Lebedev SV, Zavyalov OA, Frolov AN, Kurilkina MYa, Grechkina VV. Age-dependent accumulation of essential and toxic chemical elements in feather of arbor acres broilers (*Gallus gallus L.*) reared in the south Ural biogeochemical province of Russia. Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]. 2023;58(2):386-398. doi: 10.15389/agrobiology.2023.2.386rus doi: 10.15389/agrobiology.2023.2.386eng
4. Lebedev SV. Elemental status, energy metabolism and productivity of chickens in conditions of different nutritional provision. [dissertation] Orenburg; 2009:346 p.
5. Lebedev SV, Kharlamov AV, Kurilkina MYa. Selection of bioindicators to assess the elemental status of animals. Animal Husbandry and Fodder Production. 2019;102(1):71-78. doi: 10.33284/2658-3135-102-1-71
6. 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. doi: 10.33284/2658-3135-106-2-85
7. Egorov IA, Manukyan VA, Lenkova TN, Egorova TA, Okolelova TM, Andrianova EN, Shevyakov AN, Egorova TV, Baykovskaya EY, Gogina NN, Krivoruchko LI, Sysoeva IG. (FRC «ARSRTIPF» RAS), Panin IG, Grechishnikov VV, Panin AI, Kustova SV (KormResurs), Afanasiev VA (ARSRICI), Ponomarenko YA (LLC «Ferment»). Guidelines for feeding poultry: a methodological guide, edited by Academician of RAS V.I. Fisinin and Academician of RAS I.A. Egorov. Moscow: LIKA; 2019:215 p.
8. Ryazantseva KV, Nechitailo KS, Sizova EA. Broiler chickens mineral nutrition rationing (review). Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(1):119-137. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-119
9. TR CU 021/2011. On food safety: technical regulations of the Customs Union: approved by the decision of the Customs Union Commission dated 09.12.2011 No. 880 (as amended on April 22, 2024). URL <https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=mheexd7c30174038012> (cited: 03.09.2025)
10. Aljohani AS. Heavy metal toxicity in poultry: a comprehensive review. Frontiers in Veterinary Science. 2023;10:1161354. doi: 10.3389/fvets.2023.1161354
11. Ciosek Ż, Kot K, Kosik-Bogacka D, Łanocha-Arendarczyk N, Rotter I. The effects of calcium, magnesium, phosphorus, fluoride, and lead on bone tissue. Biomolecules. 2021;11(4):506. doi: 10.3390/biom11040506
12. Doguer C, Ha JH, Collins JF. Intersection of Iron and copper metabolism in the mammalian intestine and liver. Comprehensive Physiology. 2018;8(4):1433-1461. doi: 10.1002/cphy.c170045
13. El-kelawy M, Elnaggar AS, Enass AEK. The influence of supplementing broiler chickens with humic acid or biochar as natural growth promoters on their productive performance, nutrient digestibility, and physiological performance. Egyptian Poultry Science Journal. 2024;44(1):123-142. doi: 10.21608/epsj.2024.354787
14. Gu X, Manautou JE. Molecular mechanisms underlying chemical liver injury. Expert Reviews in Molecular Medicine. 2012;14:e4. doi: 10.1017/S1462399411002110
15. Hossain E, Nesha M, Chowdhury MAZ, Rahman SH. Human health risk assessment of edible body parts of chicken through heavy metals and trace elements quantitative analysis. Plos one. 2023;18(3):e0279043. doi: 10.1371/journal.pone.0279043
16. Hricikova S, Kožárová I, Hudakova N, Reitznerova A, Nagy J, Marcinčák S. Humic substances as a versatile intermediary. Life. 2023;13(4):858. doi: 10.3390/life13040858

17. Jaďuttová I, Marcinčáková D, Bartkovský M, Semjon B, Harčárová M, Nagyová A, Váczi P, Marcinčák S. The effect of dietary humic substances on the fattening performance, carcass yield, blood biochemistry parameters and bone mineral profile of broiler chickens. *Acta Veterinaria Brno*. 2019;88(3):307-313. doi: 10.2754/avb201988030307
18. Korish MA, Attia YA. Evaluation of heavy metal content in feed, litter, meat, meat products, liver, and table eggs of chickens. *Animals (Basel)*. 2020; 10(4):727. doi: 10.3390/ani10040727
19. Marcinčák S, Semjon B, Marcinčáková D, Reitznerová A, Mudroňová D, Vašková J, Nagy J. Humic substances as a feed supplement and the benefits of produced chicken meat. *Life*. 2023;13(4):927. doi: 10.3390/life13040927
20. OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. Paris: OECD Publishing, 2023. <https://doi.org/10.1787/08801ab7-en>
21. Skalická M, Naď P, Bujňák L, Marcin A. Impact of dietary humic substances supplementation on selected minerals in muscles of broiler chickens. *Folia Veterinaria*. 2021;65(3):51-59. doi: 10.2478/fv-2021-0027
22. Vašková J, Patlevič P, Žatko D, Vaško L, Marcinčák S. Impact of humic acids on trace element content under different conditions. *Folia Vet*. 2015;59:159-164.
23. Wang CY, Babitt JL. Liver iron sensing and body iron homeostasis. *Blood*. 2019;133(1):18-29. doi: 10.1182/blood-2018-06-815894
24. Xue S, Wang Y, Bo W, Wan K, Miao Z. Calcium-doped magnetic humic acid nano particles for the efficient removal of heavy metals from wastewater: the role of Ca. *Environmental Technology*. 2024;45(16):3228-3243. doi: 10.1080/09593330.2023.2213832
25. Zralý Z, Písaříková B, Navrátilová M. The effect of humic acid on mercury accumulation in chicken organs and muscle tissues. *Czech Journal of Animal Science*. 2008;53(1):472-478. doi: 10.17221/342-CJAS

Информация об авторах:

Ксения Сергеевна Нечитайло, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела физиологии, биохимии и морфологии животных, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург ул. 9 Января, 29, тел.: 89058935599.

Елена Анатольевна Сизова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, руководитель отдела физиологии, биохимии и морфологии животных, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург ул. 9 Января, 29, тел.: 89123449907.

Кристина Владимировна Рязанцева, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела физиологии, биохимии и морфологии животных, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург ул. 9 Января, 29, тел.: 89867759545.

Даниил Евгеньевич Шошин, аспирант, младший научный сотрудник отдела физиологии, биохимии и морфологии животных, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург ул. 9 Января, 29, тел.: 89659325367.

Татьяна Николаевна Холодилина, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий центром «Испытательный центр» ЦКП, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8(3532)77-39-97.

Information about the authors:

Ksenia S Nechitailo, Dr Sci. (Biology), Senior Researcher of the Department of Physiology, Biochemistry and Morphology of Animals, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 89058935599.

Elena A Sizova, Dr Sci. (Biology), Chief Researcher, Head of the Department of Physiology, Biochemistry and Morphology of Animals, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvary St., Orenburg, 460000, tel.: 89123449907.

Kristina V Ryazantseva, Dr Sci. (Biology), Researcher of the Department of Physiology, Biochemistry and Morphology of Animals, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvary St., Orenburg, 460000, tel.: 89867759545.

Daniil E Shoshin, post-graduate student, Junior Researcher of the Department of Physiology, Biochemistry and Morphology of Animals, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvary St., Orenburg, 460000, tel.: 89659325367.

Tatyana N Kholodilina, Cand. Sci. (Agriculture), Head of the Center «Testing Center» of the Central Common Use Center, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvary St., Orenburg, 460000, tel.: 8(3532)77-39-97.

Статья поступила в редакцию 23.09.2025; одобрена после рецензирования 23.10.2025; принята к публикации 15.12.2025.

The article was submitted 23.09.2025; approved after reviewing 23.10.2025; accepted for publication 15.12.2025.