

УДК 619:615.9:636.5

DOI 10.30914/2411-9687-2024-10-4-357-363

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ
В МЫШЦАХ И ПЕЧЕНИ ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ
ПРИ ОТРАВЛЕНИИ ТОКСИЧНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОРБЕНТОВ**

Е. Н. Майорова, И. Р. Кадиков, Э. И. Семёнов, А. А. Корчемкин

*Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Российская Федерация*

Аннотация. Введение. В условиях техногенеза весьма актуальной является проблема обеспечения населения экологически безопасной продукцией птицеводства. Проблема перехода тяжелых металлов по трофической цепи, в случае загрязнения комбикормов и кормового сырья токсичными элементами, образующимися в результате промышленных выбросов и повышенным естественным их содержанием в почвах, находится в центре внимания специалистов. **Цель исследования** – изучение содержания микроэлементов и тяжелых металлов в мышечной ткани и печени цыплят-бройлеров при включении в рационы кормления высокодисперсного шунгита и цеолита. **Материалы и методы.** С целью проведения эксперимента использовали 40 цыплят-бройлеров, сгруппированных по 5 голов в каждой группе. Содержание кадмия, свинца, железа, цинка и меди определяли по общепринятым методикам. **Результаты исследования, обсуждение.** Полученные результаты показывают, что применение цеолита и шунгита способствует значительной сорбции кадмия и свинца. Это приводит к снижению накопления токсичных элементов в печени цыплят-бройлеров до безопасного для питания уровня – 0,03 мг/кг для кадмия и 0,2 мг/кг для свинца. **Заключение.** Совместное применение изучаемых минералов в дозе по 0,5 % в рационах цыплят-бройлеров в отдельности или комбинированно при загрязнении комбикормов и кормового сырья кадмием и свинцом в концентрациях до 0,5 МДУ приводит к снижению накопления токсичных элементов в мышечной ткани и печени.

Ключевые слова: микроэлементы, тяжелые металлы, кадмий, свинец, токсичные элементы, цеолит, шунгит, минералы, цыплята-бройлеры

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Содержание тяжелых металлов и микроэлементов в мышцах и печени цыплят-бройлеров при отравлении токсичными элементами на фоне применения сорбентов / Е. Н. Майорова, И. Р. Кадиков, Э. И. Семёнов, А. А. Корчемкин // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2024. Т. 10. № 4. С. 357–363. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-4-357-363>

**THE CONTENT OF HEAVY METALS AND TRACE ELEMENTS
IN THE MUSCLES AND LIVER OF BROILER CHICKENS DURING POISONING
WITH TOXIC ELEMENTS AGAINST THE BACKGROUND OF THE USE OF SORBENTS**

E. N. Mayorova, I. R. Kadikov, E. I. Semenov, A. A. Korchemkin

¹Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation

Abstract. Introduction. In the conditions of technogenesis, the problem of providing the population with environmentally safe poultry products has become very urgent. The problem of the transfer of heavy metals along the trophic chain, in the case of contamination of compound feed and feed raw materials with toxic elements generated as a result of industrial emissions and their increased natural content in soils, is in the center of attention of specialists. **Purpose** – to study the content of microelements and heavy metals in meat and liver of broiler chickens when including highly dispersed shungite and zeolite in feeding diets. **Materials and methods.** For the purpose of the experiment, 40 broiler chickens were used, grouped with 5 heads in each group. The content of cadmium, lead, iron, zinc and copper was determined using generally accepted methods. **Results, discussion.** The obtained results show that the use of zeolite and shungite contributes to significant sorption of cadmium and lead. Thus, this leads to a decrease in the accumulation of toxic elements in the liver of broiler chickens to a level safe for nutrition – 0.03 mg/kg for cadmium and 0.2 mg/kg for lead. **Conclusion.**

The combined use of the studied minerals in a dose of 0.5 % in the diets of broiler chickens, separately or in combination, when feed is contaminated with cadmium and lead in concentrations up to 0.5 MDU leads to a decrease in the accumulation of toxic elements in organs.

Keywords: micronutrients, heavy metals, cadmium, lead, toxic elements, zeolite, shungite, minerals, broiler chickens

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Mayorova E. N., Kadikov I. R., Semenov E. I., Korchemkin A. A. The content of heavy metals and trace elements in the muscles and liver of broiler chickens during poisoning with toxic elements against the background of the use of sorbents. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2024, vol. 10, no. 4, pp. 357–3363. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-4-357-363>

Введение

В условиях техногенеза весьма актуальной является проблема обеспечения населения экологически безопасной продукцией птицеводства. Изменившиеся экологические условия ведения промышленного птицеводства, современные приемы технологии производства продукции птицеводства и хранения комбикормов и кормового сырья, промышленное загрязнение внешней среды различными токсичными веществами существенно повысили опасность контаминации организма аллогенными веществами через пищевые продукты [1; 5; 7].

Проблема перехода тяжелых металлов по трофической цепи «рацион – организм животных – продукция животноводства», в случае загрязнения комбикормов и кормового сырья токсичными элементами, образующимися в результате промышленных выбросов и повышенным естественным их содержанием в почвах, находится в центре внимания специалистов [2; 3].

Тяжелые металлы являются одними из весьма распространенных в окружающей среде токсичными элементами. Высокой степени токсичности являются соединения свинца и кадмия [4]. Обладая кумулятивными свойствами, токсичные элементы, поступающие с комбикормами и кормовым сырьем, как правило, не вызывают острого отравления животных [6; 8; 9; 10].

Ограничивающим фактором при отравлении цыплят-бройлеров токсичными элементами в относительно низких дозах является содержание их в мышечной ткани. Известна их способность накапливаться в органах и тканях, поэтому для оценки эффективности и безопасности применения адсорбентов, необходимо проводить опреде-

ление содержания токсичных элементов в мясе. Данный параметр служит показателем поглощающей способности потенциального сорбционного средства. Вышеизложенное представляет определенный интерес в исследовании содержания микроэлементов, как критерия влияния шунгита и цеолита на состав мышечной ткани, баланс рациона и потенциальной необходимости коррекции рационов при внесении данных минералов.

Цель исследования – изучение содержания микроэлементов и тяжелых металлов в мышечной ткани и печени цыплят-бройлеров при включении в рационы кормления высокодисперсного шунгита и цеолита.

Материалы и методы

С целью проведения эксперимента использовали 40 цыплят-бройлеров, сгруппированных по 5 голов в каждой группе. Схема (характеристика рациона): первая группа – основной рацион + 0,5 МДУ кадмий + 0,5 МДУ свинец; вторая группа – основной рацион + 0,5 МДУ кадмий + 0,5 МДУ свинец + 0,25 % шунгита + 0,25 % цеолита; третья группа – основной рацион + 0,5 МДУ кадмий + 0,5 МДУ свинец + 0,5 % шунгита + 0,5 % цеолита; четвертая группа – основной рацион + 0,5 МДУ кадмий + 0,5 МДУ свинец + 0,5 % шунгита; пятая группа – основной рацион + 0,5 МДУ кадмий + 0,5 МДУ свинец + 0,5 % цеолита; шестая группа – основной рацион + 0,5 % шунгита; седьмая группа – основной рацион + 0,5 % цеолита; восьмая группа – основной рацион – биологический контроль.

Для работы использовали: свинца ацетат – ГОСТ 4426 – 75 и кадмия хлорид – ГОСТ 4330 –

76; шунгит Жакогинского месторождения; цеолит Шатрашанского месторождения Республики Татарстан.

Опыт проведен с 14 по 42 сутки технологического цикла выращивания цыплят-бройлеров.

Содержание кадмия, свинца, железа, цинка, меди, марганца, кобальта и никеля определяли по общепринятым методикам.

Полученные экспериментальные данные подвергали математической обработке методом вариационной статистики с применением критерия достоверности по Стьюденту на персональном компьютере с использованием стандартных функций приложения Microsoft Excel.

Результаты исследования, обсуждение

Результаты изучения влияния введения в рационы цыплят-бройлеров высокодисперсных минералов на концентрацию металлов в печени и мышцах на фоне контаминации рационов кадмием и свинцом представлены в таблице 1.

В мышечной ткани цыплят-бройлеров биологического контроля, а также цыплят-бройлеров, получавших с основным рационом 0,5 % шунгита или цеолита, содержание кадмия было незначительным. Максимальное количество кадмия было в мясе цыплят-бройлеров первой группы. Во второй группе снижение концентрации кадмия составило, по сравнению с первой группой, 41,2 %, в третьей группе – 70,6 %, четвертой группе – 79,4 %, в пятой группе – 85,3 %.

В мышечной ткани цыплят-бройлеров, получавших с основным рационом 0,5 % шунгита или цеолита, содержание свинца было незначительным. Максимальное количество свинца было в мышечной ткани цыплят-бройлеров первой группы. Во второй группе цыплят бройлеров снижение концентрации свинца составило, по сравнению с первой группой, 50,0 %, в третьей группе – на 73,1 %, четвертой группе – на 92,3 %, в пятой группе – свинца практически не обнаруживался.

Таблица 1 / Table 1

Содержание кадмия и свинца в мышцах и печени цыплят-бройлеров /
Cadmium and lead content in the muscles and liver of broiler chickens

M±m (n=5)

Группы / Groups	Кадмий, мг/кг (мышцы/печень) / Cadmium, mg/kg (muscles/ liver)	Свинец, мг/кг (мышцы/печень) / Lead, mg/kg (muscles/ liver)
1	0,068 ± 0,01/0,07 ± 0,01	0,26 ± 0,05/0,34 ± 0,04
2	0,04 ± 0,02*/0,07 ± 0,02	0,13 ± 0,01*/0,17 ± 0,01*
3	0,02 ± 0,01*/0,04 ± 0,00*	0,07 ± 0,02*/0,13 ± 0,04*
4	0,014 ± 0,00*/0,04 ± 0,01*	0,02 ± 0,03*/0,09 ± 0,03*
5	0,01 ± 0,01*/0,03 ± 0,03*	0,00 ± 0,00*/0,22 ± 0,04
6	0,003 ± 0,00/0,02 ± 0,01	0,004 ± 0,00/0,04 ± 0,02
7	0,00 ± 0,0/0,005 ± 0,003	0,00 ± 0,00/0,03 ± 0,00
8	0,002 ± 0,01/0,017 ± 0,004	0,04 ± 0,01/0,26 ± 0,02

Примечание: * – P<0,05

Содержание кадмия в печени цыплят-бройлеров также претерпевало изменения, имеющие те же тенденции, что и содержание этих элементов в мышечной ткани. В печени цыплят-бройлеров группы биологического контроля и цыплят-бройлеров, получавших с основным рационом 0,5 % минералов, содержание кадмия было незначительным и не превышало МДУ. Максимальное количество кадмия отмечено в печени цыплят-бройлеров в первой группе.

В третьей опытной группе – снижение концентрации кадмия составило, по сравнению с первой группой, 42,9 %, четвертой группе – 42,9 %, в пятой группе – 57,1 %. Во второй группе снижение концентрации кадмия в печени не отмечалось, применение шунгита и цеолита в дозе 0,25 % не оказывало значительного влияния.

В печени цыплят-бройлеров групп биологического контроля и получавших с основным

рационом 0,5 % шунгита или цеолита содержание свинца было незначительным, при этом в группе цыплят-бройлеров биологического контроля содержание свинца превышало МДУ – содержание свинца было 0,26 мг/кг, при допустимом уровне 0,2 мг/кг. Максимальное количество свинца отмечено в печени цыплят-бройлеров первой группы. Во второй группе снижение концентрации кадмия составило, по сравнению с первой группой, 50,0 %, в третьей группе – 61,8 %, в четвертой группе – 73,5 %, в пятой группе – 35,3 %.

Полученные результаты свидетельствуют, что применение цеолита и шунгита способствует зна-

чительной сорбции кадмия и свинца и предотвращает накопление токсичных элементов в мышечной ткани цыплят-бройлеров до безопасного для питания уровня – 0,03 мг/кг для кадмия и 0,2 мг/кг для свинца¹. За исключением дозировки шунгита и цеолита в дозе 0,25 %. Такой концентрации минералов для получения безопасной по содержанию кадмия продукции недостаточно.

Что касается микроэлементов, изменение их концентрации в мышечной ткани и печени цыплят-бройлеров, несмотря на значительные колебания в процентном соотношении были, в рамках статистической погрешности (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Содержание микроэлементов в печени и мышцах цыплят-бройлеров /
The content of micronutrients in the liver and muscles of broiler chickens

M±m (n=5)

Группа / Groups	Металл, мг/кг (мышцы/печень) / Metal, mg/kg (muscles/ liver)					
	Cu	Zn	Fe	Mn	Co	Ni
1	4,07 ± 0,30/ 2,05 ± 0,12	20,30 ± 0,90/ 13,00 ± 1,20	63,90 ± 4,70/ 13,80 ± 2,99	1,57 ± 0,10/ 0,23 ± 0,08	< 0,02/ < 0,02	0,12 ± 0,02/ 0,36 ± 0,14
2	4,25 ± 0,31/ 1,76 ± 0,41	20,50 ± 0,40/ 10,70 ± 0,90	74,60±12,20/ 9,80 ± 2,20	1,56 ± 0,07/ 0,16 ± 0,03	< 0,02/ < 0,02	0,37 ± 0,11*/ 0,28 ± 0,04
3	4,60 ± 1,36/ 1,55 ± 0,09	20,0 ± 0,40/ 11,60 ± 2,20	65,50 ± 5,20/ 11,30 ± 2,51	1,67 ± 0,33/ 0,48 ± 0,12	< 0,02/ < 0,02	0,43 ± 0,14*/ 0,27 ± 0,08
4	4,23 ± 0,21/ 1,56 ± 0,16	19,20 ± 1,3/ 10,00 ± 0,90	64,90±10,20/ 11,60 ± 0,80	1,47 ± 0,14/ 1,15 ± 0,01	< 0,02/ < 0,02	0,26 ± 0,12*/ 0,31 ± 0,08
5	4,24 ± 0,33/ 1,49 ± 0,09	19,70 ± 1,00/ 11,10 ± 0,90	73,60±11,00/ 21,20 ± 5,00	1,48 ± 0,15/ 0,14 ± 0,01	< 0,02/ < 0,02	0,13 ± 0,05/ 0,35 ± 0,03
6	4,34 ± 0,78/ 1,53 ± 0,15	17,60 ± 1,20/ 12,30 ± 1,60	74,80±15,00/ 23,70 ± 7,80	1,59 ± 0,23/ 0,16 ± 0,01	< 0,02/ < 0,02	0,33 ± 0,13/ 0,39 ± 0,08
7	4,69 ± 0,65/ 1,82 ± 0,13	18,90 ± 1,70/ 11,90 ± 2,90	99,10 ± 40,0/ 16,60 ± 9,90	1,35 ± 0,03/ 0,13 ± 0,01	< 0,02/ < 0,02	0,33 ± 0,17/ 0,28 ± 0,16
8	4,28 ± 0,24/ 1,99 ± 0,25	19,20 ± 0,10/ 14,00 ± 0,20	69,40 ± 0,60/ 8,90 ± 0,80	1,97 ± 0,06/ 0,10 ± 0,02	< 0,02/ < 0,02	0,12 ± 0,01/ 0,26 ± 0,06

Вероятно, при большей выборке колебания были бы более стабильны. В печени групп цыплят-бройлеров, получавших шунгит, содержание никеля достоверно увеличивалось в 2,5–3 раза (относительно биологического контроля), но при этом не выходило за рамки рекомендуемых нормативов. Следует подчеркнуть, что в мышечной ткани такого значительного повышения никеля уже не регистрировали, никель в боль-

шинстве своем связывался в печени и не проникал в мышечную ткань.

Полученные результаты свидетельствуют, что применение цеолита и шунгита способствует значительной сорбции кадмия и свинца и снижает

¹ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Консорциум Кодекс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 11.06.2022).

накопление токсичных элементов в печени цыплят-бройлеров до безопасного для питания уровня – 0,03 мг/кг для кадмия и 0,2 мг/кг для свинца. За исключением дозировки шунгита и цеолита в дозе 0,25 %. Этой концентрации минералов для получения безопасной по содержанию кадмия продукции недостаточно.

Заключение

Таким образом, применение минералов – цеолита и шунгита в дозе по 0,5 % в рационах

цыплят-бройлеров при контаминации комбикормов и кормового сырья кадмием и свинцом в концентрациях до 0,5 МДУ приводит к снижению содержания этих токсичных элементов в печеночной и мышечной ткани. Длительное применение сорбентов не оказывает влияние на обмен микроэлементов в организме и, таким образом, способствует полному проявлению генетического потенциала продуктивности цыплят-бройлеров.

1. Эффективность применения сорбентов в птицеводстве / Горбачев Р. А., Иванова Н. Н. [и др.] // Актуальные проблемы природопользования и природообустройства: сб. статей II Международной научно-практической конференции. Пенза: Пензенский ГАУ, 2019. С. 103–107. URL: <https://elibrary.ru/wkglwa?ysclid=m4axgbeu32150319348> (дата обращения: 11.06.2024).
2. Епимахов В. Г. Моделирование поступления кадмия, свинца, ртути и мышьяка в организм жвачных животных с рационом и перехода в продукцию животноводства // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. № 3. С. 138–146. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50403785> (дата обращения: 11.06.2024).
3. Епимахов В. Г. Нормирование кадмия, свинца, ртути и мышьяка в рационах жвачных животных // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 95-5. С. 91–94. DOI: <https://doi.org/10.18411/tmio-03-2023-242>
4. Македонская А. Н. Токсическое и канцерогенное воздействие тяжелых металлов на организм человека: литературный обзор // Студенческий. 2024. № 5-2 (259). С. 8–12. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60060933> (дата обращения: 11.06.2022).
5. Минигазимов Н. С., Хайдаршина Э. Т., Куантаева А. А. Оценка уровня загрязнения почв города Уфы // Российский электронный научный журнал. 2019. № 1 (31). С. 56. URL: <https://elibrary.ru/hzvyuu?ysclid=m4ay73p1g1793719985> (дата обращения: 11.06.2024).
6. Нотова С. В., Маршинская О. В. [и др.] Изучение влияния тяжелых металлов и их смесей на организм (обзор) // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105. № 3. С. 19–34. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-19>
7. Влияние биологически активных веществ и сорбента на ветеринарно-санитарное качество мяса при контаминации кормов кадмием / С. Н. Потапова, И. Р. Кадиков [и др.] // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2023. Т. 9. № 2. С. 178–183. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-178-183>
8. Гомеостаз кроликов при сочетанном металлотоксикозе / С. Н. Потапова, Д. Р. Сагдеев [и др.] // Ветеринарный врач. 2021. № 6. С. 56–60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47390633> (дата обращения: 11.06.2022).
9. Шапкина И. А. Физиологическое воздействие тяжелых металлов на организм человека // Инновационная наука. 2023. № 8-2. С. 95–98. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54315259> (дата обращения: 11.06.2022).
10. Влияние биологически активных веществ и сорбента на ветеринарно-санитарное качество мяса при контаминации кормов кадмием / Потапова С. Н., Кадиков И. Р. [и др.] // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2023. Т. 9. № 2. С. 178–183. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-178-183>

Статья поступила в редакцию 04.09.2024 г.; одобрена после рецензирования 15.11. 2024 г.; принята к публикации 23.11.2024 г.

Об авторах

Майорова Екатерина Николаевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории техногенных экотоксикантов, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок. д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2874-1498>, majorovaen83@mail.ru

Кадиков Ильнур Равилевич

доктор биологических наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник лаборатории техногенных экотоксикантов, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок. д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3184-7779>, cir6@yandex.ru

Семёнов Эдуард Ильясович

доктор ветеринарных наук, заведующий отделением, главный научный сотрудник лаборатории микотоксинов, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3184-7779>, semyonovei@bk.ru

Корчемкин Андрей Александрович

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории техногенных экотоксикантов, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2112-4080>, yzkiy@mail.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

1. Gorbachev R. A., Ivanova N. N. [et al.] Effektivnost' primeneniya sorbentov v ptitsevodstve [Efficiency of application of sorbents in poultry farming]. *Aktual'nye problemy priro-dopol'zovaniya i prirodoobustroistva : sb. statei II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* = Actual problems of nature management and environmental management : sat. articles of the II International Scientific and Practical Conference, Penza, Penza State University, 2019, pp. 103–107. Available at: <https://elibrary.ru/wkglwa?ysclid=m4axg6eu32150319348> (accessed 11.06.2024). (In Russ.).
2. Epimakhov V. G. Modelirovanie postupleniya kadmiya, svintsya, rtuti i mysh'yaka v organizm zhvachnykh zhivotnykh s ratsionom i perekhoda v pro-duktsiyu zhivotnovodstva [Modeling of the intake of cadmium, lead, mercury and arsenic into the body of ruminants with a ration and the transition to animal products]. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice, 2023, vol. 9, no. 3, pp. 138–146. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50403785> (accessed 11.06.2024). (In Russ.).
3. Epimahov V. G. Normirovanie kadmiya, svintsya, rtuti i mysh'yaka v ratsionakh zhvachnykh zhivotnykh [Rationing of cadmium, lead, mercury and arsenic in ruminant diets]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* = Trends in the development of science and education, 2023, no. 95-5, pp. 91–94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18411/tmio-03-2023-242>
4. Makedonskaya A. N. Toksicheskoe i kantserogennoe vozdeistvie tyazhelykh metallov na organizm cheloveka: literaturnyi obzor [Toxic and carcinogenic impact of heavy metals on the human body: a literature review]. *Studencheskii* = Student, 2024, no. 5-2 (259), pp. 8–12. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60060933> (accessed 11.06.2022). (In Russ.).
5. Minigazimov N. S., Khydarshina E. T., Kuantaeva A. A. Otsenka urovnya zagryazneniya pochv goroda Ufy [Evaluation of pollution level of soils of the city of Ufa]. *Rossiiskii elektronnyi nauchnyi zhurnal* = Russian Electronic Scientific Journal, 2019, no. 1 (31), p. 56. Available at: <https://elibrary.ru/hzvyuu?ysclid=m4ay73p1g1793719985> (accessed 11.06.2024). (In Russ.).
6. Notova S., Marshinskaya O. Izuchenie vliyaniya tyazhelykh metallov i ikh smesei na organizm (obzor) [Study of the effect of heavy metals and their mixtures on the body]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal husbandry and feed production, 2022, vol. 105, no. 3, pp. 19–34. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-19>
7. Potapova S. N., Kadikov I. R. [et al.] Vliyanie biologicheskii aktivnykh veshchestv i sorbenta na veterinarno-sanitarnoe kachestvo myasa pri kontaminatsii kormov kad-miem [The effect of biologically active substances and sorbent on the veterinary and sanitary quality of meat under cadmium feed contamination]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2023, vol. 9, no. 2, pp. 178–183. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-178-183>
8. Potapova S. N., Sagdeev D. R. [et al.] Gomeostaz krolikov pri sochetannom metallotoksikoze [Homeostasis of the rabbits upon cadmium and lead exposure]. *Veterinarnyi vrach* = Veterinarian, 2021, n. 6, pp. 56–60. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47390633> (accessed 11.06.2022). (In Russ.).
9. Shapkina I. A. Fiziologicheskoe vozdeistvie tyazhelykh metallov na organizm cheloveka [Physiological effects of heavy metals on the human body]. *Innovatsionnaya nauka* = Innovation Science, 2023, no. 8-2, pp. 95–98. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54315259> (accessed 11.06.2022). (In Russ.).
10. Potapova S. N., Kadikov I. R., Kurshakova E. I., Zakirova G. Sh. Vliyanie biologicheskii aktivnykh veshchestv i sorbenta na veterinarno-sanitarnoe kachestvo myasa pri kontaminatsii kormov kadmiem [The effect of biologically active substances and sorbent on the veterinary and sanitary quality of meat under cadmium feed contamination]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki"* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2023, vol. 9, no. 2, pp. 178–183. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-178-183>

The article was submitted 04.09.2024; approved after reviewing 15.11.2024; accepted for publication 23.11.2024.

About the authors

Ekaterina N. Mayorova

Ph. D. (Biology), Senior Researcher at the Laboratory of Technogenic Ecotoxicants, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchny Gorodok St., Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2874-1498>, majorovaen83@mail.ru

Ilnur R. Kadikov

Dr. Sci. (Biology), Head of the Laboratory, Chief Researcher at the Laboratory of Technogenic Ecotoxicants, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchny Gorodok St., Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3184-7779>, cir6@yandex.ru

Eduard I. Semenov

Dr. Sci. (Veterinary), Chief Researcher, Head of the Toxicology Department, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2-Nauchny Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3029-7170>, semyonovei@bk.ru

Andrey A. Korchemkin

Ph. D. (Biology), Senior Researcher at the Laboratory of Technogenic Ecotoxicants, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchny Gorodok St., Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2112-408>, yzkiy@mail.ru

All authors have read and approved the final manuscript.