

УДК 619:615.9:581.192.6

DOI 10.30914/2411-9687-2023-9-2-178-183

ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И СОРБЕНТА НА ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНОЕ КАЧЕСТВО МЯСА ПРИ КОНТАМИНАЦИИ КОРМОВ КАДМИЕМ**С. Н. Потапова, И. Р. Кадиков, Е. И. Куршакова, Г. Ш. Закирова***Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Российская Федерация*

Аннотация. Введение. Кадмий является одним из самых опасных загрязнителей окружающей среды. При попадании в организм человека и животных он вызывает ряд необратимых нарушений со стороны иммунной, репродуктивной, нервной систем, способствует изменению генетического аппарата и появлению новообразований. Основным источником поступления кадмия является потребление загрязненных пищевых продуктов, поэтому так важно следить за безопасностью мясной и молочной продукции. В ранее проведенных исследованиях нами была установлена эффективность некоторых эссенциальных элементов, сорбентов и серосодержащих аминокислот в отношении кадмия на лабораторных животных. **Цель** – изучить безопасность мяса овец, подвергшихся воздействию кадмия, на фоне применения цинка, магния, селена, метионина и Альфасорба. **Материалы и методы.** Для этого 9 овец методом случайной выборки были распределены на 3 группы по 3 животных в каждой. Первая группа была биологическим контролем, вторая – получала кадмий (CdCl_2) – 0,12 мг/кг живой массы, третья – кадмий (CdCl_2) – 0,12 мг/кг живой массы, цинк (ZnCl_2) – 125 мг/кг корма, магний ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) – 50 мг/кг корма, селен (Na_2SeO_3) – 150 мкг/литр питьевой воды, метионин 50 мг/кг корма и Альфасорб 1 % от рациона. Полученные результаты подтверждают развивающееся ухудшение качества мяса животных на фоне воздействия кадмия. Таким образом, применение цинка, магния, селена, метионина и сорбента «Альфасорб» овцам, подвергшимся воздействию кадмия, обеспечивает получение доброкачественного и безопасного мяса.

Ключевые слова: кадмий, эссенциальные элементы, сорбент, аминокислота, мясо

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Влияние биологически активных веществ и сорбента на ветеринарно-санитарное качество мяса при контаминации кормов кадмием / С. Н. Потапова, И. Р. Кадиков, Е. И. Куршакова, Г. Ш. Закирова // 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>

THE EFFECT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES AND SORBENT ON THE VETERINARY AND SANITARY QUALITY OF MEAT UNDER CADMIUM FEED CONTAMINATION**S. N. Potapova, I. R. Kadikov, E. I. Kurshakova, G. Sh. Zakirova***Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russia*

Abstract. Introduction. Cadmium is one of the most dangerous environmental pollutants. When ingested in humans and animals, it causes a number of irreversible immune, reproductive, nervous system disorders, contributes to changes in the genetic apparatus and neoplasms appearance. The main source of cadmium intake is the consumption of contaminated food products. It is therefore so important to monitor the safety of meat and dairy products. In previous studies, we have established the effectiveness of some essential elements, sorbents and sulfur-containing amino acids against cadmium in laboratory animals. **The purpose** of the research is to study the safety of cadmium-exposed sheep meat when using zinc, magnesium, selenium, methionine and Alfasorb. **Materials and methods.** Experimentally 9 sheep were randomly divided into 3 groups of 3 animals each. The first group was biological control, the second group received cadmium (CdCl_2) – 0.12 mg/kg, the third group – cadmium (CdCl_2) – 0.12 mg/kg of body weight, zinc (ZnCl_2) – 125 mg/kg of feed, magnesium ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) – 50 mg/kg of feed, selenium (Na_2SeO_3) – 150 µg/l of drinking water, methionine 50 mg/kg of feed and Alfasorb 1% of the diet. The results confirm the developing deterioration of meat quality under cadmium exposure. The use of zinc, magnesium, selenium, methionine and the sorbent "Alfasorb" to sheep exposed to cadmium, provides the high-quality and safe meat production.

Keywords: cadmium, essential elements, sorbent, amino acid, meat

The authors declare no conflict of interest.

For citation: Potapova S. N., Kadikov I. R., Kurshakova E. I., Zakirova G. Sh. The effect of biologically active substances and sorbent on the veterinary and sanitary quality of meat under cadmium feed contamination. *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>

Введение

Уровень развития современных технологий не позволяет перейти к полностью экологически чистому производству, поэтому загрязненность окружающей среды тяжелыми металлами стала по-настоящему глобальной проблемой, и ее решению посвящено множество исследований во всем мире [4; 7].

Тяжелые металлы, в частности кадмий, способны не только к интенсивной аккумуляции, но и миграции [6; 10]. Данное утверждение подтверждают превышения кадмия в образцах почвы, воды, растений, а также продуктов питания в регионах с низкой промышленной активностью [4; 8]. У сельскохозяйственных животных при контаминации кормов кадмием снижается продуктивность, ухудшается качество продукции и фиксируются превышения содержания кадмия в мясе и молоке. Потребление таких продуктов не является безопасным.

Механизм действия кадмия в основном связан с блокированием сульфгидрильных и дисульфидных групп биологических структур, при этом провоцируется инактивация антиоксидантных ферментов и усиленное образование активных форм кислорода [11; 14]. Такие нарушения ведут к ряду серьезных последствий в организме, сопровождающиеся патологиями иммунной, репродуктивной и нервной систем [3; 12; 13]. Наши предыдущие исследования на лабораторных животных были посвящены защитной роли некоторых эссенциальных элементов, сорбентов и серо-содержащих аминокислот против основных нарушений, индуцированных кадмием [1; 2; 5; 9].

Целью настоящего исследования явилось изучение влияния солей цинка, магния, селена, метионина и сорбента «Альфасорб» на ветеринарно-санитарное качество мяса сельскохозяйственных животных при контаминации кормов кадмием.

Материал и методика исследований

Исследования были проведены в лаборатории техногенных экотоксикантов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» в течение 30 дней. Для этого 9 овец породы прекос методом случайной выборки были распределены на 3 группы по 3 животных в каждой. Первая группа была биологическим контролем, вторая – получала кадмий (CdCl_2) – 0,12 мг/кг живой массы, третья – кадмий (CdCl_2) – 0,12 мг/кг живой массы, цинк (ZnCl_2) – 125 мг/кг корма, магний ($\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$) – 50 мг/кг корма, селен (Na_2SeO_3) – 150 мкг/литр питьевой воды, метионин 50 мг/кг корма и Альфасорб 1 % от рациона.

Для оценки качества мяса овец использовали органолептические и физико-химические методы исследования мяса¹. При органолептическом исследовании учитывали внешний вид, запах, цвет, степень обескровления, консистенцию мышечной ткани, состояние мышц на разрезе, прозрачность и аромат бульона. Из физико-химических показателей определяли pH мясной вытяжки, коэффициент кислотности-окисляемости, активность фермента пероксидазы, реакцию с формалином, сернокислой медью и на аммиак. Бактериологическое исследование заключалось в микроскопии мазков-отпечатков с поверхности тушек, которых окрашивали по Граму.

Количество кадмия в мясе определяли методом атомной абсорбции на анализаторе ААС Perkin Elmer Analyst 200. Эвтаназию и хирургические вмешательства провели в соответствии с требованиями, изложенными в Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях.

¹ Правила ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов: утв. Минсельхозом СССР 27.12.1983 URL: <https://legalacts.ru/doc/pravila-veterinarnogo-osmotra-uboinykh-zhivotnykh-i-veterinarno-sanitarnoi> (дата обращения 09.08.2022).

Обработку цифрового материала проводили методом вариационной статистики с применением критерия достоверности по Стьюденту.

Результаты исследований и их обсуждение

В течение опыта видимых изменений в поведении животных не наблюдали. При проведении ветеринарно-санитарной экспертизы было выявлено, что мясо во всех группах бледно-красного цвета, со специфическим запахом, свойственным мясу данного вида животного. Консистенция – упругая и плотная, ямка при надавливании быстро выравнивалась. Жировая ткань желтого цвета. Проба варкой показала прозрачный бульон с приятным запахом без посторонних примесей.

Результаты физико-химического исследования представлены в таблице 1. Величина pH в вытяжке из мяса в опытных группах была близка к контрольным значениям. Коэффициент кислотности-окисляемости в мясе группы овец, подвергшихся воздействию кадмия (группа 2), составил 0,38, что свидетельствует о незначительной титруемой кислотности, при проведении реакции на фермент пероксидазу окраска появилась с опозданием, формольная реакция

сопровождалась образованием желеобразного сгустка, реакция с сернокислой медью была отрицательной, а количество амино-аммиачного азота составило 1,27 мг. В совокупности это говорит о наличии в мясе первичных продуктов распада.

Стоит отметить, что в группе овец, получавших цинк, магний, селен, метионин и Альфасорб (группа 3), коэффициент кислотности-окисляемости увеличился до 0,49, реакция на пероксидазу была положительной, а с сернокислой медью – отрицательной, при проведении формольной реакции бульон был прозрачным, а уровень амино-аммиачного азота в среднем составил 1,22 мг.

Полученные результаты характерны для свежего мяса здоровых животных и говорят об отсутствии первичных продуктов распада. При проведении бактериоскопического исследования мазков-отпечатков мяса во всех группах выявлены единичные кокки, что также свойственно свежему мясу от здоровых животных.

При исследовании мяса методом атомной абсорбции накопление кадмия (рис. 1) увеличилось в группе 2 до 0,09 мг/кг, а в группе 3 – снизилось до 0,04 мг/кг, что ниже предела обнаружения.

Таблица 1/ Table 1

Физико-химические показатели мяса овец /
Physico-chemical parameters of sheep meat

Показатель, единица измерения / Indicator, unit of measurement	Группа / Groups		
	1 Контрольная / Control	2 Cd	3 Cd+Zn+Mg+Se+ Метионин+Альфасорб / Cd+Zn+Mg+Se+Methionine+Alfasorb
pH	5,75±0,40	5,73±0,30	5,71±0,40
Коэффициент кислотности-окисляемости	0,52±0,03	0,38±0,07	0,49±0,05
Реакция на пероксидазу	Положительная реакция	Положительная реакция, окраска с опозданием	Положительная реакция
Формольная реакция	Однородная консистенция	Образование желеобразного сгустка	Однородная консистенция
Реакция с сернокислой медью	Прозрачный бульон	Прозрачный бульон с легким помутнением	Прозрачный бульон
Амино-аммиачный азот, мг	1,19±0,08	1,27±0,05	1,22±0,09
Микроскопия мазков	Единичные кокки, палочки	Единичные кокки, палочки	Единичные кокки, палочки

Примечание: * – p<0,05.

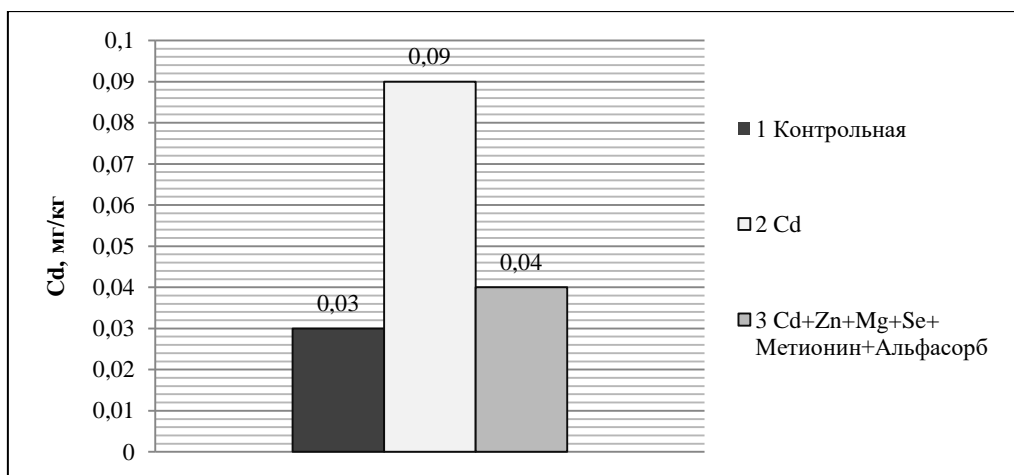


Рис. 1. Содержание кадмия в мясе овец / Fig. 1. Cadmium content in sheep meat

Заключение

Полученные результаты подтверждают развивающееся ухудшение качества мяса животных на фоне воздействия кадмия¹. Достигнутый положительный эффект в третьей группе животных предположительно связан с тем, что допол-

нительно введенные в рацион ионы цинка, магния и селена конкурируют с ионами кадмия за белки-переносчики [11]. Метионин является источником серы и предшественником цистеина, входящего в состав этих белков, а Альфасорб сорбирует кадмий в кишечнике.

Таким образом, применение цинка, магния, селена, метионина и сорбента «Альфасорб» овцам, подвергшимся воздействию кадмия, обеспечивает получение доброкачественного и безопасного мяса.

¹ Технический регламент Таможенного союза «О безопасности мяса и мясной продукции» ТР ТС 034/2013: Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Консорциум Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050564> (дата обращения 10.08.2022).

1. Бикташев Р. У., Кадиков И. Р. Синтез металлотионеинов у свиней при контаминации рационов кадмием и свинцом на фоне применения сорбентов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2020. Т. 241, № 1. С. 31–34. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-metallotioneinov-u-sviney-pri-kontaminatsii-ratsionov-kadmiem-i-svintsom-na-fone-primeneniya-sorbentov> (дата обращения: 09.08.2022).

2. Влияние цинка и магния на репродуктивную токсичность у крыс под воздействием кадмия / С. Н. Потапова и др. // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 248. № 4. С. 178–181. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tsinka-i-magniya-na-reproduktivnyu-toksichnost-u-krysov-pod-vozdeystviem-kadmiya> (дата обращения: 09.08.2022).

3. Иванов В. А., Позднякова Е. А. Влияние выбросов тяжелых металлов от стационарных источников на первичную заболеваемость нервной системы населения // Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире матер. Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов (г. Казань, 18–19 марта 2021 г.), Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2021. С. 1360–1362. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48015495> (дата обращения: 09.08.2022).

4. 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://journal.bsau.ru/archive/renj_1_2019.pdf#page=56 (дата обращения: 10.08.2022).

5. Потапова С. Н. Влияние магния и цинка на организм крыс, подвергшихся воздействию кадмия // Ветеринарный врач. 2021. № 1. С. 44–50. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-magniya-i-tsinka-na-organizm-krysov-podverghshisya-vozdeystviyu-kadmiya> (дата обращения: 10.08.2022).

6. Решетняк О. С. Многолетняя изменчивость содержания соединений кадмия и свинца в речных экосистемах России / О. С. Решетняк, В. А. Брызгалов, Л. С. Косменко // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 71–80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28921858> (дата обращения: 11.08.2022).

7. Снежный покров как индикатор загрязнения атмосферного воздуха вблизи ТЭЦ мицелиальными грибами и тяжелыми металлами / Р. М. Потехина и др. // Ветеринарный врач. 2021. № 3. С. 39–45. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/snezhnyy-pokrov-kak-indikator-zagryazneniya-atmosferного-vozduha-vblizi-tets-mitseliальными-gribami-i-tyazhelymi-metallami> (дата обращения: 11.08.2022).

8. Сычев К. В., Низамов Р. Н. Накопление и распределение кадмия в организме пчел и продуктах пчеловодства в различных районах Республики Татарстан // Journal of Agriculture and Environment. 2022. № 2 (22). С. 13. URL: https://jae.cifra.science/media/legacy_articles/jae_16734.pdf (дата обращения: 11.08.2022).

9. Эффективность применения селенита натрия при поступлении кадмия в организм животных / С. Н. Потапова, А. А. Корчемкин, Д. Р. Сагдеев, Г. Ш. Закирова // Современные проблемы экспериментальной и клинической токсикологии, фармакологии и экологии: сб. тезисов докладов международной научно-практической конференции (г. Казань, 09–10 сентября 2021 г.). Казань : Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности Казань. 2021. С. 46. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48022019> (дата обращения: 12.08.2022).

10. El Heni J., I. Messaoudi, F. Hamouda, A. Kerkeni Protective effects of selenium (Se) and zinc (Zn) on cadmium (Cd) toxicity in the liver and kidney of the rat: histology and Cd accumulation // Food Chem Toxicol. 2008. Vol. 46 (11). Pp. 3522–3527. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.08.037>

11. The effects of cadmium toxicity / G. Genchi, M. S. Sinicropi, G. Lauria, A. Carocci, A. Catalano // International journal of environmental research and public health. 2020. Vol. 17. No. 11. Pp. 3782. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>

12. Geng H. X., Wang L. Cadmium: Toxic effects on placental and embryonic development // Environ. Toxicol. Pharmacol. 2019. Vol. 67. Pp. 102–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.02.006>

13. Ninkov M. Toxicity of oral cadmium intake: impact on gut immunity / M. Ninkov, A. P. Aleksandrov, J. Demenesku, I. Mirkov, D. Mileusnic, A. Petrovic, I. Grigorov, L. Zolotarevski, M. Tolinacki, D. Kataranovski, I. Brceski, M. Kataranovski // Toxicology Letters. 2015. Vol. 237. Pp. 89–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2015.06.002>

14. Cellular mechanisms of cadmium- induced toxicity: a review / A. Rani, A. Kumar, A. Lal, M. Pant // Int J Environ Health Res. 2014. Vol. 24. Pp. 378–399. DOI: <https://doi.org/10.1080/09603123.2013.835032>

Статья поступила в редакцию 24.04.2023 г.; одобрена после рецензирования 01.06. 2023 г.; принята к публикации 28.06.2023 г.

Об авторах

Потапова Светлана Николаевна

кандидат ветеринарных наук, младший научный сотрудник, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6204-3434>, svetlana150895@yandex.ru

Кадиков Ильнур Равилевич

доктор биологических наук, заведующий лабораторией 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>, cirb@yandex.ru

Куршакова Екатерина Ивановна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), keter-89@mail.ru

Закирова Гульназ Шагинуровна

кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), svetlana150895@yandex.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

1. Biktashev R. U., Kadikov I. R. Sintez metallotioneinov u svinei pri kontaminatsii ratsionov kadmiem i svintsom na fone primeneniya sorbentov [Metallothionein synthesis in pigs at diet contamination by cadmium and lead at phone of sorbents using]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. E. Baumana* = Scientific Notes of Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine, 2020, vol. 241, no. 1, pp. 31–34. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-metallotioneinov-u-sviney-pri-kontaminatsii-ratsionov-kadmiem-i-svintsom-na-fone-primeneniya-sorbentov> (accessed 09.08.2022). (In Russ.)

2. Potapova S. N., Kadikov I. R., Korchemkin A. A., Vafin I. F., Sagdeev D. R. Vliyanie tsinka i magniya na reproduktivnyuyu toksichnost' u krysa pod vozdeystviem kadmiya [Effect of zinc and magnesium on reproductive toxicity in rats under the exposure of cadmium]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. E. Baumana* = Scientific Notes of Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine, 2021, vol. 248, no. 4, pp. 178–181. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-tsinka-i-magniya-na-reproduktivnyuyu-toksichnost-u-krysa-pod-vozdeystviem-kadmiya> (accessed 09.08.2022). (In Russ.)

3. Ivanov V. A., Pozdnyakova E. A. Vliyanie vybrosov tyazhelykh metallov ot stacionarnykh istochnikov na pervichnyuyu zabolevaemost' nervnoi sistemy naseleniya [Effect of heavy metal emissions from stationary sources on the primary morbidity of the nervous system of the population]. *Innovatsionnye tekhnologii zashchity okruzhayushchei sredy v sovremennom mire: materialy Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem molodykh uchemykh I spetsialistov (g. Kazan', 18–19 marta 2021 goda)* = Innovative technologies of environmental protection in the modern world: materials of the All-Russian scientific conference with international

participation of young scientists and specialists (Kazan, March 18–19, 2021), Kazan, Publ. house of Kazan National Research Technological University, 2021, pp. 1360–1362. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48015495> (accessed 09.08.2022). (In Russ.)

4. 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://journal.bsau.ru/archive/renj_1_2019.pdf#page=56 (accessed 10.08.2022). (In Russ.)

5. Potapova S. N. Vliyanie magniya i tsinka na organizm krysa, podvergnshikhsya vozdeistviyu kadmiya [The effect of magnesium and zinc on rats treated with cadmium]. *Veterinarnyi vrach* = The Veterinarian, 2021, no. 1, pp. 44–50. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-magniya-i-tsinka-na-organizm-krysa-podvergnshikhsya-vozdeistviyu-kadmiya> (accessed 10.08.2022). (In Russ.)

6. Reshetnyak O. S., Bryzgalov V. A., Kosmenko L. S. Mnogoletnaya izmenchivost' soderzhaniya soedinenii kadmiya i svintsya v rechnykh ekosistemakh Rossii [Long-term variability in content of cadmium and lead compounds in river ecosystems of Russia]. *Geografiya i prirodnye resursy* = Geography and Natural Resources, 2017, no. 1, pp. 71–80. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28921858> (accessed 11.08.2022). (In Russ.)

7. Potekhina R. M., Makaeva V. I., Almitova L. I., Idiyatov I. I. et al. Snezhnyi pokrov kak indikator zagryazneniya atmosfernogo vozdukh vblizi TETs mitselial'nymi gribami i tyazhelymi metallami [Snow cover as an indicator of atmospheric air pollution near TPP with mycelial fungi and heavy metals]. *Veterinarnyi vrach* = The Veterinarian, 2021, no. 3, pp. 39–45. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/snezhnyy-pokrov-kak-indikator-zagryazneniya-atmosfernogo-vozduha-vblizi-tets-mitselialnymi-gribami-i-tyazhelymi-metallami> (accessed 11.08.2022). (In Russ.)

8. Sychev K. V., Nizamov R. N. Nakoplenie i raspredelenie kadmiya v organizme pchel i produktakh pchelovodstva v razlichnykh raionakh Respubliki Tatarstan [Accumulation and redistribution of cadmium in honeybees and apiary products in different areas of the Tatarstan Republic]. *Journal of Agriculture and Environment*, 2022, no. 2 (22), p. 13. Available at: https://jae.cifra.science/media/legacy_articles/jae_16734.pdf (accessed 11.08.2022). (In Russ.)

9. Potapova S. N., Korchemkin A. A., Sagdeev D. R., Zakirova G. S. Effektivnost' primeneniya selenita natriya pri postuplenii kadmiya v organizm zhivotnykh [The effectiveness of the use of sodium selenite when cadmium enters the body of animals]. *Sovremennye problemy eksperimental'noi i klinicheskoi toksikologii, farmakologii i ekologii: sb. tezisov dokladov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* = Modern problems of experimental and clinical toxicology, pharmacology and ecology: collection of abstracts of reports of the International scientific and practical conference (Kazan, September 09–10, 2021), Kazan, Publ. house of the Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, 2021, pp. 46. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48022019> (accessed 12.08.2022). (In Russ.)

10. El Heni J., Messaoudi I., Hamouda F., Kerkeni A. Protective effects of selenium (Se) and zinc (Zn) on cadmium (Cd) toxicity in the liver and kidney of the rat: histology and Cd accumulation. *Food and Chemical Toxicology*, 2008, vol. 46 (11), pp. 3522–3527. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.08.037>

11. Genchi G., Sinicropi M. S., Lauria G., Carocci A., Catalano A. The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 11, p. 3782. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>

12. Geng H. X., Wang L. Cadmium: Toxic effects on placental and embryonic development. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2019, vol. 67, pp. 102–107. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.02.006>

13. Ninkov M., Aleksandrov A. P., Demenesku J., Mirkov I., Mileusnic D., Petrovic A., Grigorov I., Zolotarevski L., Tolinacki M., Kataranovski D., Brceski I., Kataranovski M. Toxicity of oral cadmium intake: Impact on gut immunity. *Toxicology Letters*, 2015, vol. 237, pp. 89–99. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2015.06.002>

14. Rani A., Kumar A., Lal A., Pant M. Cellular mechanisms of cadmium - induced toxicity: a review. *International Journal of Environmental Health Research*, 2014, vol. 24, pp. 378–399. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1080/09603123.2013.835032>

The article was submitted 24.04.2023; approved after reviewing 01.06.2023; accepted for publication 28.06.2023.

About the authors

Svetlana N. Potapova

Ph. D. (Veterinary), Junior Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000000162043434>, svetlana150895@yandex.ru

Ilnur R. Kadikov

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

Ekaterina I. Kurshakova

Ph. D. (Biology), Senior Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), keter-89@mail.ru

Gulnaz Sh. Zakirova

Ph. Sci. (Veterinary), Leading Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), svetlana150895@yandex.ru

All authors have read and approved the final manuscript.