

УДК 619:615.9:581.192.6

DOI 10.30914/2411-9687-2024-10-1-27-35

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, МЕТИОНИНА И АЛЬФАСОРБА ПРИ АНЕМИИ ЖИВОТНЫХ, ИНДУЦИРОВАННОЙ КАДМИЕМ

*С. Н. Потапова, И. Р. Кадиков, Е. И. Куршакова, Д. Р. Сагдеев*

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

**Аннотация. Введение.** В развитии железодефицитных анемий определенная роль отводится воздействию кадмия, загрязнение которым оказывает значительное влияние на окружающую среду и здоровье населения. Попадая в организм человека и животных, свободные ионы кадмия способствуют образованию активных форм кислорода, повреждая печеночную, почечную ткань. При этом нарушается метаболизм жизненно важных элементов, включая железо, синтез гема и выработку эритропоэтина. Дефицит железа, индуцированный кадмием, приводит к уменьшению его поступления в костный мозг, в результате чего нарушается синтез гемоглобина и эритроцитов, развивается анемия. **Материалы и методы.** Исследования проведены на 36 лабораторных крысах, которые были распределены на 3 группы по 12 особей в каждой. Первая группа являлась биологическим контролем, вторая – получала ежедневно  $\text{CdCl}_2$  с кормом из расчета 0,12 мг на кг массы тела (м.т.), третья –  $\text{CdCl}_2$  в той же дозе, что и животные второй группы, а также  $\text{ZnCl}_2$  в дозе 25 мг на кг м.т.,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  – 10 мг на кг м.т.,  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  – 150 мкг на литр питьевой воды, метионин – 10 мг на кг живой массы и Альфасорб – 1 % от рациона. **Результаты и обсуждение.** Исследование уровней эритроцитов, их среднего объема и гемоглобина в крови крыс, подвергшихся воздействию кадмия, выявило постепенное развитие анемии. В то время как у крыс третьей группы, которым дополнительно в рацион вводили соли цинка, магния, селена, метионин и Альфасорб, признаки анемии развивались менее выражено. При этом в крови животных снижился уровень малонового диальдегида, увеличилось количество сульфгидрильных групп. **Заключение.** В совокупности полученные данные свидетельствует о защитной роли применяемых компонентов против воздействия кадмия, характеризующиеся снижением поступления металла, его накопления во внутренних органах, а также предотвращением развития анемии.

**Ключевые слова:** кадмий, анемия, эссенциальные элементы, метионин, сорбент

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Потапова С. Н., Кадиков И. Р., Куршакова Е. И., Сагдеев Д. Р. Применение эссенциальных элементов, метионина и альфасорба при анемии животных, индуцированной кадмием // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2024. Т. 10. № 1. С. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-1-27-35>

## APPLICATION OF ESSENTIAL ELEMENTS, METHIONINE AND ALFASORB IN ANIMAL ANEMIA INDUCED BY CADMIUM

*S. N. Potapova, I. R. Kadikov, E. I. Kurshakova, D. R. Sagdeev*

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

**Abstract. Introduction.** In the development of iron deficiency anemia, a certain role is assigned to the effects of cadmium, whose pollution has a significant impact on the environment and public health. Once in the human and animal bodies, free cadmium ions contribute to the formation of reactive oxygen species, damaging liver and kidney tissue. This disrupts the metabolism of vital elements, including iron, heme synthesis and erythropoietin production. Cadmium-induced iron deficiency leads to a decrease in its intake into the bone marrow, as a result of which the synthesis of hemoglobin and erythrocytes is disrupted, anemia develops. **Materials and methods.** The studies were conducted on 36 laboratory rats, which were divided into 3 groups of 12 individuals each. The first group was a biological control, the second received  $\text{CdCl}_2$  daily with feed at the rate of 0.12 mg/kg of body weight (bw), the third received  $\text{CdCl}_2$  at the same dose as the animals of the second group, as well as  $\text{ZnCl}_2$  at a dose of 25 mg/kg of bw,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  – 10 mg/kg of bw,  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  – 150 mcg/l of drinking water, methionine – 10 mg/kg of bw and Alfisorb – 1 % of the diet. **Results and discussion.** A study of the levels of erythrocytes,

their average volume and hemoglobin in the blood of rats exposed to cadmium revealed the gradual development of anemia. While in the rats of the third group, which additionally received zinc, magnesium, selenium salts, methionine and Alfisorb in the diet, signs of anemia developed less pronounced. At the same time, the level of malondialdehyde in the blood of animals decreased, and the number of sulfhydryl groups increased. **Conclusion.** Taken together, the data obtained indicates the protective role of the components used against the effects of cadmium, characterized by a decrease in metal intake, its accumulation in internal organs, as well as the prevention of anemia.

**Keywords:** cadmium, anemia, essential elements, methionine, sorbent

The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Potapova S. N., Kadikov I. R., Kurshakova E. I., Sagdeev D. R. Application of essential elements, methionine and Alfisorb in animal anemia induced by cadmium. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2024, vol. 10, no. 1, pp. 27–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2024-10-1-27-35>

## Введение

По данным Всемирной организации здравоохранения анемией страдают около 1,9 млрд человек во всем мире. Одной из главных причин ее возникновения является недостаток железа в организме [1]. В развитии железодефицитных анемий определенная роль отводится воздействию солей тяжелых металлов, загрязнение которыми оказывает значительное влияние на окружающую среду и здоровье населения [2; 3].

Кадмий относится к одним из самых опасных токсикантов среди тяжелых металлов. Его соединения относятся ко второму классу опасности, высокоопасным веществам [18]. Повышенные концентрации кадмия в воздухе, воде и почве могут возникать вблизи промышленных источников выбросов, особенно в горнодобывающей и металлообрабатывающей промышленности [4; 5]. Наиболее интенсивные источники загрязнения окружающей среды – металлургия и гальванотехника, производство и использование фосфатных удобрений, а также сжигание твердого и жидкого топлива. При попадании в организм человека и животных он связывается с внешними функциональными группами альбуминов и глобулинов, транспортируется в печень и перегруппировывается в комплекс с металлотioneином. Полученный комплекс поступает в почки и разрушается в лизосомах эпителия проксимальных почечных канальцев. Однако возможности металлотioneинов ограничены и при поступлении в высоких дозах кадмий накапливается в тканях [6; 7]. Свободные ионы кадмия способствуют образованию активных форм кислорода, повреждая печеночную, по-

чечную ткань. При этом нарушается метаболизм жизненно важных элементов, включая железо, синтез гема и выработка эритропоэтина. Дефицит железа, индуцированный кадмием, приводит к уменьшению его поступления в костный мозг, в результате чего нарушается синтез гемоглобина и эритроцитов, развивается анемия [8].

**Цель исследования** – изучение влияния солей цинка, магния, селена, метионина и Альфасорба на патогенез железодефицитной анемии, индуцированной воздействием кадмия.

## Материалы и методы исследований

Исследования проведены на 36 лабораторных крысах, которые были распределены на 3 группы по 12 особей в каждой. Первая группа являлась биологическим контролем, вторая – получала ежедневно  $\text{CdCl}_2$  с кормом из расчета 0,12 мг на кг массы тела (м.т.), третья –  $\text{CdCl}_2$  в той же дозе, что и животные второй группы, а также  $\text{ZnCl}_2$  в дозе 25 мг на кг м.т.,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  – 10 мг на кг м.т.,  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  – 150 мкг на литр питьевой воды, метионин – 10 мг на кг живой массы и Альфасорб – 1 % от рациона. Дозы компонентов были подобраны на основании данных предыдущих исследований [9–11]. Продолжительность опыта составила 30 дней.

Забор крови осуществляли из хвостовой вены до начала опыта, на 10, 20 и 30 дни опыта, гепатэктомию и нефрэктомию – на 30 день. Общий анализ крови осуществляли на автоматическом гематологическом анализаторе «Mindray BC-2800 Vet». Анализировали количество эритроцитов (RBC),

средний объем эритроцитов (MCV), уровень гемоглобина (Hgb). Интенсивность перекисного окисления липидов в организме отслеживали определением уровня малонового диальдегида (МДА) в гепаринизированной крови по реакции с тиобарбитуровой кислотой фотоколориметрическим методом, количество сульфгидрильных групп (SH-) – йодометрическим методом. Количество кадмия и железа определяли методом атомной абсорбции в печени и почках, мышцах и костях на анализаторе AAC Perkin Elmer AAnalyst 200.

Обработку цифрового материала проводили методом вариационной статистики с применением

критерия достоверности по Стьюденту на персональном компьютере с использованием программ Excel.

### Результаты и обсуждение

Как видно из рисунка 1, количество эритроцитов в группе крыс, подвергшихся воздействию кадмия (группа 2), снижалось на протяжении всего опыта, и к 30 дню было ниже исходных значений на 29 %. На фоне применения солей цинка, магния, селена, метионина и Альфасорба (группа 3) значительных изменений по данному показателю выявлено не было.

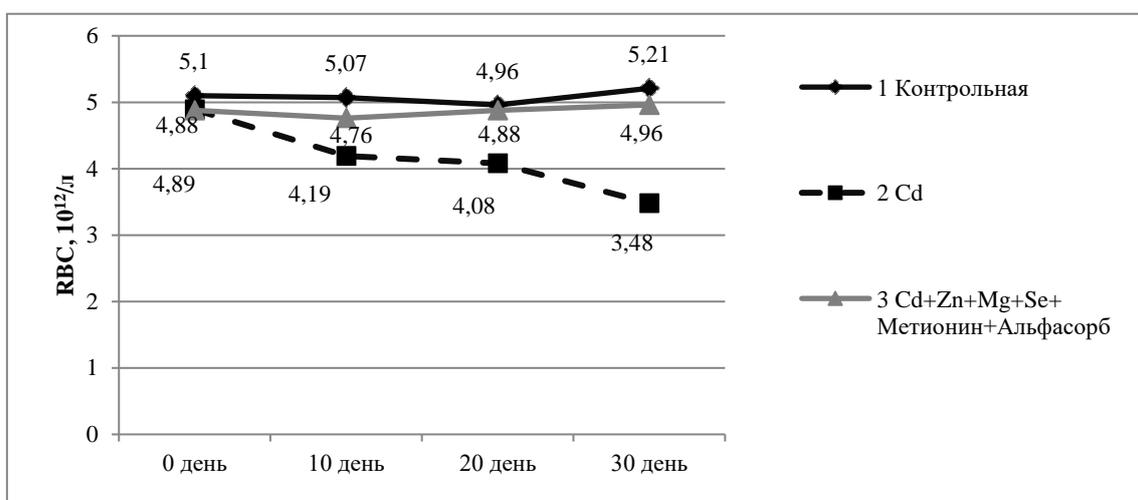


Рис. 1. Количество эритроцитов в крови крыс / Fig. 1. Amount of erythrocytes in rat blood

Как видно из рисунка 2, средний объем эритроцитов в общем объеме пробы крови крыс второй группы снизился с 53,5 фл до 46,8 фл на 10 день, до 39,7 фл на 30 день опыта, то есть на

13 и 26 % соответственно. У животных третьей группы к 10 дню значения данного показателя снизились на 12 %, а к концу опыта восстановились до исходных величин.

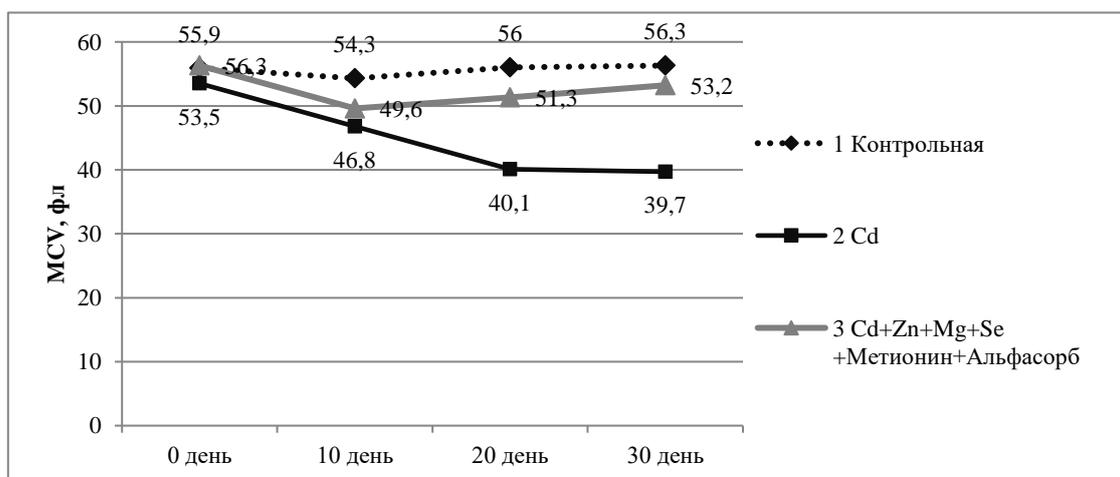


Рис. 2. Средний объем эритроцитов в общем объеме пробы крови крыс / Fig. 2. Average erythrocyte volume in total rat blood sample

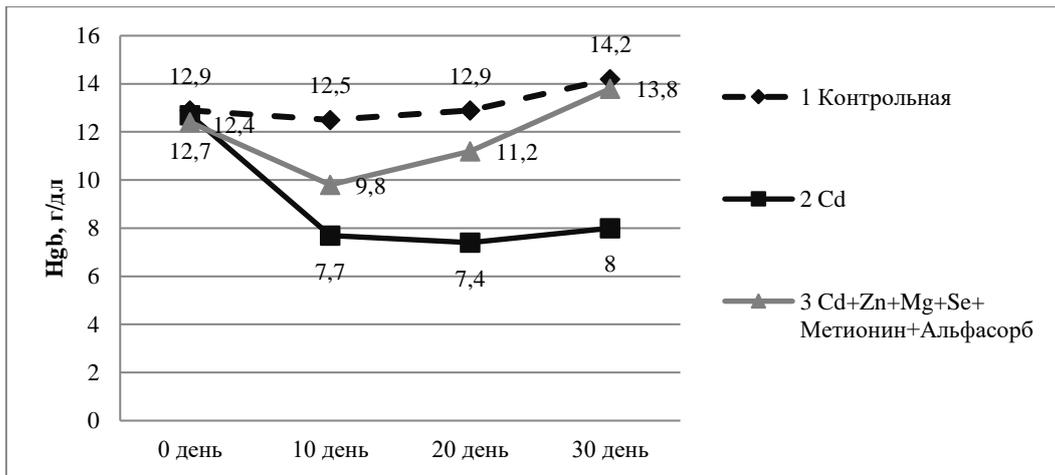


Рис. 3. Уровень гемоглобина в крови крыс / Fig. 3. Haemoglobin levels in rat blood

В то же время уровень гемоглобина (рис. 3) в крови крыс второй группы также уменьшался и достиг своего минимума на 20 день – 7,4 г/дл, а к концу опыта поднялся до 8 г/дл, что ниже исходных значений на 42 % и 37 % соответственно. У особей третьей группы значения гемоглобина в начале опыта уменьшались, достигнув минимального уровня к 10 дню (ниже исходных значений на 21 %), а затем постепен-

но увеличивались и были близки к контрольным значениям.

Уровень МДА (рис. 4) во второй группе крыс, получавших кадмий, повысился с 0,180 Нмоль/мл до 1,830 Нмоль/мл к 30 дню, что в итоге превысило верхнюю границу нормы на 0,330 Нмоль/мл. Стоит отметить, МДА в третьей группе оставался в диапазоне референсных значений и составил 0,850 Нмоль/мл.

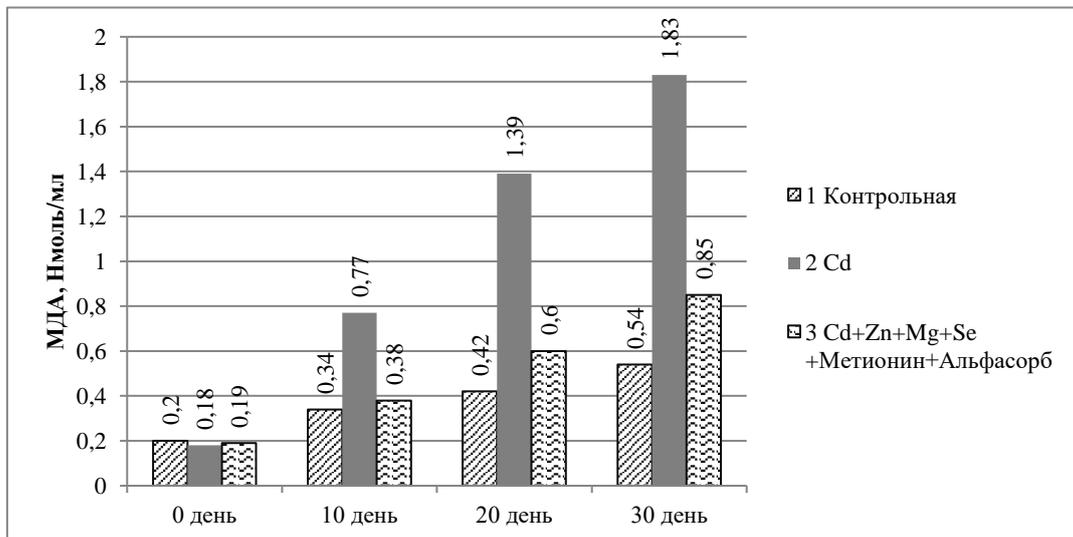


Рис. 4. Уровень МДА в крови крыс / Fig. 4. MDA levels in rat blood

Количество сульфгидрильных групп (рис. 5) в крови крыс второй группы по мере поступления кадмия снижалось в среднем на 8 % за 10 опытных дней, и к концу опыта разница с контрольной группой составила 22 %. На фоне применения эссенциальных элементов, аминокислоты и сорбента количество исследуемого показателя снижалось менее интенсивно, в

среднем на 5 % за 10 дней, причем разница с контрольной группой не превышала 14 %.

Уровень железа в печени (рис. 6) крыс второй группы к концу опыта составил 25,46 мг/кг, а в почках – 80,59 мг/кг. В то же время в третьей группе содержание железа в печени составило 69,18 мг/кг, в почках – 67,19 мг/кг.

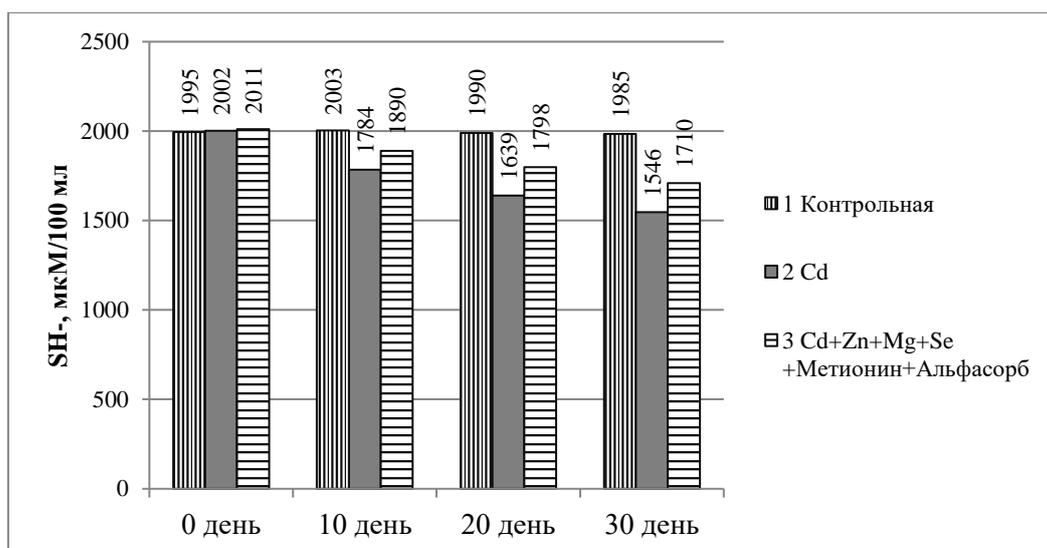


Рис. 5. Количество сульфгидрильных групп в крови крыс / Fig. 5. Amount of sulfhydryl groups in rat blood

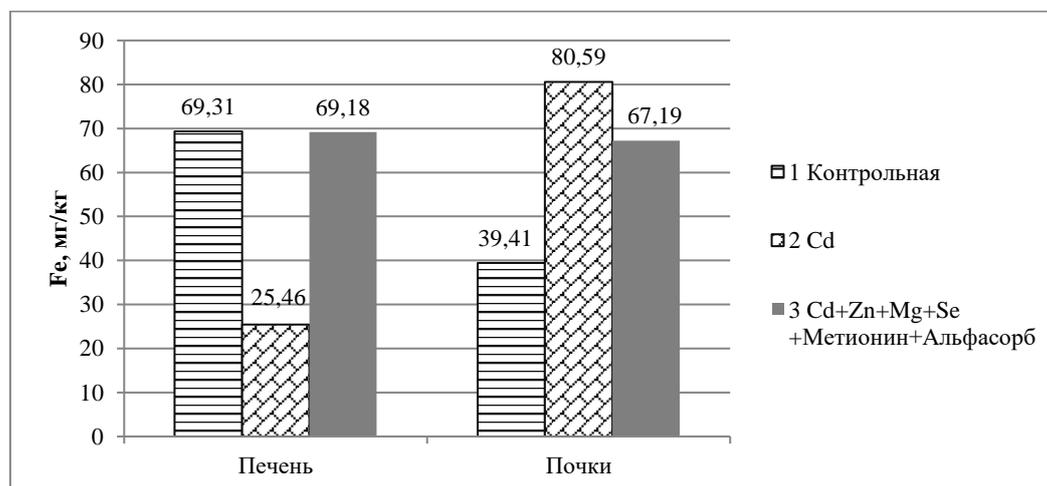


Рис. 6. Содержание железа в печени и почках крыс / Fig. 6. Iron content in rats' liver and kidneys

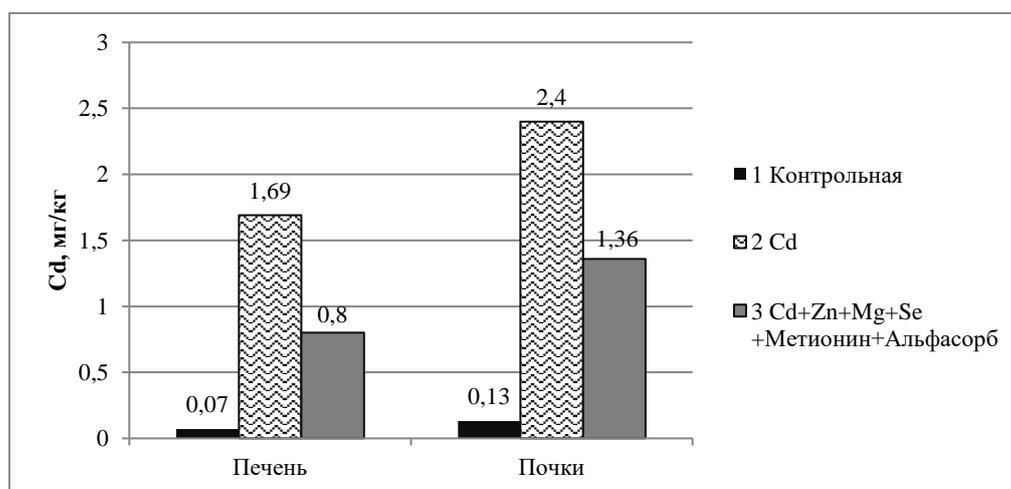


Рис. 7. Содержание кадмия в печени и почках крыс / Fig. 7. Cadmium content in rats' liver and kidneys

Содержание кадмия в печени (рис. 7) крыс второй группы увеличилось с 0,07 мг/кг до 1,69 мг/кг на 30 день, а в третьей группе до 0,80 мг/кг. Аналогичные изменения наблюдались и в почках крыс. Накопление кадмия крыс третьей группы уменьшилось на 43 %.

### Заключение

Исследование уровней эритроцитов, их среднего объема и гемоглобина в крови крыс, подвергшихся воздействию кадмия, выявило постепенное развитие анемии. В патогенезе кадмий индуцированных гематологических изменений лежит снижение антиоксидантной защиты эритроцитов, что в данном случае подтвердилось снижением количества сульфгидрильных групп и увеличением уровня малонового диальдегида. Кроме того, в организме происходит нарушение метаболизма железа, выявляющееся снижением его концентрации в печени и увеличением в почках, что также может служить одной из причин развития анемии. Установлено, что рацион с недостаточным содержанием железа также способствует резорбции кадмия, причем всасываемость увеличивается на 6 %. Это объясняется тем, что низкий уровень железа в крови стимулирует экспрессию DCT-1 (переносчика ионов металлов в желудочно-кишечном тракте), служащего воротами для резорбции кадмия, что чаще наблюдается у людей с анемией. Таким образом, развивающаяся анемия также будет усугублять патологическое воздействие кадмия.

Исходя из полученных данных, у крыс третьей группы, которым дополнительно в рацион вводили соли цинка, магния, селена, метионин и Альфасорб, признаки анемии развивались менее

выраженно. При этом в крови животных снизился уровень малонового диальдегида, увеличилось количество сульфгидрильных групп, что можно объяснить наличием антиоксидантных свойств цинка, селена, магния. Попадая в организм, они действуют как кофакторы антиоксидантных ферментов, участвуют в стабилизации мембран и ингибировании прооксидантного фермента (никотинамидадениндинуклеотидфосфатоксидазы). Ионы цинка индуцируют синтез металлотионеина, что подтвердилось увеличенным количеством сульфгидрильных групп [12–14]. Комплекс из цинка и металлотионеина, в свою очередь, активирует супероксиддисмутазу, которая является одним из основных антиоксидантных ферментов [15]. Метионин, являясь дополнительным источником серы, также входит в состав металлотионеина, являющегося естественным детоксикантом многих тяжелых металлов, включая кадмий [16; 17]. Он участвует в восстановлении гидроксильных радикалов и в связывании активных форм кислорода. Действие Альфасорба обусловлено тем, что диоксид кремния и янтарная кислота, входящая в его состав, связывают и выводят большое количество поступившего кадмия. Анализ основных органов-накопителей продемонстрировал снижение концентрации кадмия практически в два раза, а также увеличение содержания железа в печени с некоторым снижением в почках. В совокупности полученные данные свидетельствуют о защитной роли применяемого сочетания веществ при отравлении кадмием, характеризующуюся снижением его поступления и накопления во внутренних органах, а также предотвращением развития анемии.

1. Информированность по вопросам анемии матерей / М. Х. Салиева, У. М. Садикова, М. Н. Насыров, Н. О. Шамшиев // Вестник Омского государственного университета. 2021. Т. 1. № 5. С. 79–84. DOI: [https://doi.org/10.52754/16947452\\_2021\\_1\\_5\\_79](https://doi.org/10.52754/16947452_2021_1_5_79)

2. Роль тяжелых металлов в развитии анемий (обзор литературы) / Н. Н. Рыспекова, А. Н. Нурмухамбетов, А. Е. Аскарпова, А. А. Аканов // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2013. № 3–2. С. 46–51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tyazhelyh-metallov-v-razviti-anemiy-obzor-literatury> (дата обращения: 07.02.2024).

3. Cadmium induces iron deficiency anemia through the suppression of iron transport in the duodenum / Y. Fujiwara, Lee Jin-Y., H. Banno, S. Imai, M. Tokumoto, T. Hasegawa, Y. Seko, H. Nagase, M. Satoh // Toxicology Letters. 2020. Vol. 332. Pp. 130–139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.07.005>

4. 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 (11). Pp. 1–24. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>

5. Оценка эффективности модифицированного сорбента при отравлении животных экотоксикантами / З. Х. Сагдеева, Д. Р. Сагдеев, Л. Е. Матросова, Э. И. Семенов, О. К. Ермолаева, М. А. Ерохондина // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (51). С. 151–156. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54707340> (дата обращения 06.02.2024).

6. Металлотиионеины и их роль в адаптации к действию повреждающих факторов (обзор литературы) / Н. Н. Рыспекова, А. Н. Нурмухамбетов, М. К. Балабекова, А. А. Аканов // Вестник Казахского национального медицинского университета. 2014. № 1. С. 298–303. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30714653> (дата обращения: 07.02.2024).

7. Reis L. S., Pardo P. E., Camargos A. S., Oba E. Mineral element and heavy metal poisoning in animals // Journal of medicine and medical Sciences. 2010. Vol. 1. No. 12. Pp. 560–579. URL: [https://www.researchgate.net/publication/325229638\\_Mineral\\_element\\_and\\_heavy\\_metal\\_poisoning\\_in\\_animals](https://www.researchgate.net/publication/325229638_Mineral_element_and_heavy_metal_poisoning_in_animals) (дата обращения 06.02.2024).

8. Ткаченко Е. А., Дерхо М. А. Оценка антиоксидантного действия альфа-токоферола и наночастиц серебра при кадмиевом токсикозе // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 2 (58). С. 182–185. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-antitoksicheskogo-deystviya-alfa-tokoferola-i-nanochastits-serebra-pri-kadmievom-toksikoze?ysclid=ltwut8d26c718320988> (дата обращения: 07.02.2024).

9. Влияние цинка и магния на репродуктивную токсичность у крыс под воздействием кадмия / С. Н. Потапова, И. Р. Кадиков, А. А. Корчемкин, И. Ф. Вафин, Д. Р. Сагдеев // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 248. № 4. С. 178–181. DOI: <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-248-4-178-181>

10. 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-krysv-podverghshihsvyavozdeystviyu-kadmiya> (дата обращения: 07.02.2024).

11. Потапова С. Н., Корчемкин А. А., Сагдеев Д. Р., Закирова Г. Ш. Эффективность применения селенита натрия при поступлении кадмия в организм животных // Современные проблемы экспериментальной и клинической токсикологии, фармакологии и экологии: матер. международной научно-практической конференции (г. Казань, 09–10 сентября 2021 г.) / Казань: Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности. 2021. С. 47–51. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48022019> (дата обращения: 07.02.2024).

12. Vesey D. A. Transport pathways for cadmium in the intestine and kidney proximal tubule: focus on the interaction with essential metals // Toxicology Letters. 2010. Vol. 198. Pp. 13–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.05.004>

13. Maret W. The redox biology of redox-inert zinc ions // Free Radic. Biol. Med. 2019. Vol. 134. Pp. 311–326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.01.006>

14. Marreiro D., Cruz K., Morais J., Beserra J., Severo J., Soares de Oliveira A. Zinc and oxidative stress: current mechanisms // Antioxidants. 2017. Vol. 6 (2). P. 24. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox6020024>

15. Вольхина В. Е., Шафрановская Е. В. Супероксиддисмутазы: структура и свойства // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2009. Т. 8. № 4. С. 6–12. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13103027> (дата обращения: 07.02.2024).

16. Бикташев Р. У. Динамика синтеза металлотиионеина на фоне шунгита и цеолита в рационах цыплят-бройлеров, контаминированных кадмием и свинцом // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2019. Т. 239. № 3. С. 40–44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-sinteza-metallotioneina-na-fone-shungita-i-tseolita-v-ratsionah-tsyplyat-broylerov-kontaminirovannyh-kadmiem-i-svintsom?ysclid=ltwvsu4i41564224841> (дата обращения: 07.02.2024).

17. Буланкова С. Р., Бикташев Р. У. Динамика инициации синтеза металлотиионеина на фоне контаминации рационов тяжелыми металлами // Проблемы инновационного развития АПК: кадры, технологии, эффективность: сб. научных статей Международной научно-практической конференции, (г. Казань, 25–26 мая 2017 г.). Выпуск 11. Казань: Бриг. 2017. С. 329–336. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30533716&pff=1> (дата обращения: 07.02.2024).

18. Гомеостаз кроликов при сочетанном металлотоксикозе / С. Н. Потапова, Д. Р. Сагдеев, И. Р. Кадиков [и др.] // Ветеринарный врач. 2021. № 6. С. 56–60. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gomeostaz-krolikov-pri-sochetannom-metallotoksikoze?ysclid=ltww2zu3z7443551890> (дата обращения: 07.02.2024).

*Статья поступила в редакцию 09.02.2024 г.; одобрена после рецензирования 06.03.2024 г.; принята к публикации 11.03.2024 г.*

## Об авторах

### Потапова Светлана Николаевна

кандидат ветеринарных наук, 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/0000-0001-6204-3434>, [svetlana150895@yandex.ru](mailto:svetlana150895@yandex.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](mailto:cir6@yandex.ru)

**Куршакова Екатерина Ивановна**

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/0000-0002-6671-9355>, [keter-89@mail.ru](mailto:keter-89@mail.ru)

**Сагдеев Даниль Рустамович**

кандидат ветеринарных наук, 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/0000-0003-2947-0041>, [sagdeevdanil@mail.ru](mailto:sagdeevdanil@mail.ru)

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

1. Salieva M. Kh., Sadikova U. M., Nasyrov M. N., Shamshiev N. O. Informirovannost' po voprosam anemii materei [Mother's anemia awareness]. *Vestnik Oshskogo gosudarstvennogo universiteta* = Bulletin of Osh State University, 2021, vol. 1, no. 5, pp. 79–84. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.52754/16947452\\_2021\\_1\\_5\\_79](https://doi.org/10.52754/16947452_2021_1_5_79)
2. Ryspekova N. N., Nurmukhambetov A. N., Askarova A. E., Akanov A. A. Rol' tyazhelykh metallov v razvitiy anemii (obzor literatury) [Role of heavy metals in anemia (review)]. *Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo meditsinskogo universiteta* = Vestnik of Kazakh National Medical University, 2013, no. 3-2, pp. 46–51. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-tyazhelykh-metallov-v-razvitiy-anemiy-obzor-literatury> (accessed 02.07.2024). (In Russ.).
3. Fujiwara Y., Lee Jin-Y., Banno H., Imai S., Tokumoto M., Hasegawa T., Seko Y., Nagase H., Satoh M. Cadmium induces iron deficiency anemia through the suppression of iron transport in the duodenum. *Toxicology Letters*, 2020, vol. 332, pp. 130–139. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.07.005>
4. 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 (11), pp. 1–24. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
5. Sagdeeva Z. H., Sagdeev D. R., Matrosova L. E., Semenov E. I., Ermolaeva O. K., Erohondina M. A. Otsenka effektivnosti modifitsirovannogo sorbenta pri otravlenii zhyvotnykh ekotoksikantami [Evaluation of the efficiency of a modified sorbent in poisoning animals with ecotoxants]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU, 2023, no. 3 (51), pp. 151–156. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54707340> (accessed 02/06/2024). (In Russ.).
6. Ryspekova N. N., Nurmukhambetov A. N., Balabekova M. K., Akanov A. A. Metallotioneiny i ikh rol' v adaptatsii k deistviyu povrezhdayushchikh faktorov (obzor literatury) [Metallothioneins and their role in adaptation to damaging factors]. *Vestnik Kazakhskogo natsional'nogo meditsinskogo universiteta* = Vestnik of Kazakh National Medical University, 2014, no. 1, pp. 298–303. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30714653> (accessed 07.02.2024). (In Russ.).
7. Reis L. S., Pardo P. E., Camargos A. S., Oba E. Mineral element and heavy metal poisoning in animals. *Journal of Medicine and Medical Sciences*, 2010, vol. 1, no. 12, pp. 560–579. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/325229638\\_Mineral\\_element\\_and\\_heavy\\_metal\\_poisoning\\_in\\_animals](https://www.researchgate.net/publication/325229638_Mineral_element_and_heavy_metal_poisoning_in_animals) (accessed 06.02.2024). (In Eng.).
8. Tkachenko Ye. A., Derkho M. A. Otsenka antitoksicheskogo deistviya al'fa-tokoferola i nanochastits serebra pri kadmievom toksikoze [Assessment of toxic effect of alpha-tocopherol and silver nanoparticles in cadmium toxicosis]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Orenburg State Agrarian University, 2016, no. 2 (58), pp. 182–185. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-antitoksicheskogo-deystviya-alfa-tokoferola-i-nanochastits-serebra-pri-kadmievom-toksikoze>?ysclid=ltwut8d26c718320988 (accessed 02.07.2024). (In Russ.).
9. Potapova S. N., Kadikov I. R., Korchemkin A. A., Vafin I. F., Sagdeev D. R. Vliyanie tsinka i magniya na reproduktivnuyu toksichnost' u kryss pod vozdeistviem 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. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-248-4-178-181>
10. Potapova S. N. Vliyanie magniya i tsinka na organizm kryss, podvergshikhsya vozdeistviyu kadmiya [The effect of magnesium and zinc on rats treated with cadmium]. *Veterinarnyi vrach* = Veterinarian, 2021, no. 1, pp. 44–50. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-magniya-i-tsinka-na-organizm-kryss-podvergshikhsya-vozdeystviyu-kadmiya> (accessed 02.07.2024). (In Russ.).
11. Potapova S. N., Korchemkin A. A., Sagdeev D. R., Zakirova G. S. Effektivnost' primeneniya selenita natriya pri postuplenii kadmiya v organizm zhyvotnykh [The effectiveness of sodium selenite in the intake of cadmium into the animal body]. *Sovremennyye problemy eksperimental'noi i klinicheskoi toksikologii, farmakologii i ekologii* = Modern problems of experimental and clinical toxicology, pharmacology and ecology: materials 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. 47–51. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48022019> (accessed 02.07.2024). (In Russ.).

12. Vesey D. A. Transport pathways for cadmium in the intestine and kidney proximal tubule: focus on the interaction with essential metals. *Toxicology Letters*, 2010, vol. 198, pp. 13–19. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2010.05.004>
13. Maret W. The redox biology of redox-inert zinc ions. *Free Radic. Biol. Med.*, 2019, vol. 134, pp. 311–326. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.01.006>
14. Marreiro D., Cruz K., Morais J., Beserra J., Severo J., Soares de Oliveira A. Zinc and oxidative stress: current mechanisms. *Antioxidants*, 2017, vol. 6 (2), p. 24. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox6020024>
15. Volykhina V. E., Shafranovskaya E. V. Superoksididismutazy: struktura i svoystva [Superoxide dismutases: structure and properties]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta* = Vitebsk Medical Journal, 2009, vol. 8, no. 4, pp. 6–12. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13103027> (accessed 02.07.2024). (In Russ.).
16. Biktashev R. U. Dinamika sinteza metallothioneina na fone shungita i tseolita v ratsionakh tsyplyat-broilerov, kontaminirovannykh kadmiiem i svintsom [Dynamics of metallothionein synthesis on the phone of shungite and zeolite in chicken-broiler diets contaminated by cadmium and lead]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. E. Baumana* = Scientific Notes of Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine, 2019, vol. 239, no. 3, pp. 40–44. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-sinteza-metallotioneina-na-fone-shungita-i-tseolita-v-ratsionah-tsyplyat-broylerov-kontaminirovannyh-kadmiem-i-svintsom?ysclid=ltwvsu4i41564224841> (accessed 07.02.2024). (In Russ.).
17. Bulankova S. R., Biktashev R. U. Dinamika initsiatsii sinteza metallothioneina na fone kontaminatsii ratsionov tyazhelymi metallami [Initiation dynamics of metallothionein synthesis at phone of diets r.u. contamination by heavy metals]. *Problemy innovatsionnogo razvitiya APK: kadry, tehnologii, jeffektivnost'* = Problems of innovative development of agroindustrial complex: personnel, technologies, efficiency, Kazan, May 25–26, 2017, Volume Issue 11. Kazan, Brig 2017, pp. 329–336. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30533716&pff=1> (accessed 07.02.2024). (In Russ.).
18. Potapova S. N., Sagdeev D. R., Kadikov I. R., Korchemkin A. A., Vafin I. F. Gomeostaz krolikov pri sochetannom metallotoksikoze [Homeostasis of the rabbits upon cadmium and lead exposure]. *Veterinarnyi vrach* = The Veterinarian, 2021, no. 6, pp. 56–60. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/gomeostaz-krolikov-pri-sochetannom-metallotoksikoze?ysclid=ltww2zu3z7443551890> (accessed 07.02.2024). (In Russ.).

*The article was submitted 09.02.2024; approved after reviewing 06.03.2024; accepted for publication 11.03.2024.*

#### **About the authors**

##### **Svetlana N. Potapova**

Ph. D. (Veterinary), 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/0000-0001-6204-3434>, [svetlana150895@yandex.ru](mailto:svetlana150895@yandex.ru)

##### **lnur 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](mailto:cir6@yandex.ru)

##### **Ekaterina I. Kurshakova**

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/0000-0002-6671-9355>, [keter-89@mail.ru](mailto:keter-89@mail.ru)

##### **Danil R. Sagdeev**

Ph. D. (Veterinary), 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/0000-0003-2947-0041>, [sagdeevdanil@mail.ru](mailto:sagdeevdanil@mail.ru)

*All authors have read and approved the final manuscript.*