

УДК 619:615.9:616-085

DOI 10.30914/2411-9687-2023-9-2-148-154

**БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОЛИКОВ ПРИ ИММУНОТЕРАПИИ МИКОТОКСИКОЗОВ****Н. Н. Мишина, Э. И. Семенов, З. Х. Сагдеева, А. Р. Валиев***Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,  
г. Казань, Российская Федерация*

**Аннотация.** Т-2 токсин является самым токсичным и распространенным фузариотоксином в регионах России и Европы с умеренным климатом. Он обладает политоксическим действием и приводит к апоптозу гепатоцитов, других клеток внутренних органов и изменению биохимических параметров сыворотки крови. **Цель** – оценка эффективности специфической (иммунной) терапии при микотоксикозе кроликов с использованием биохимических маркеров функциональной способности внутренних органов. **Материалы и методы.** Для постановки эксперимента сформировали 4 группы самцов кроликов по 5 животных в каждой. Первая группа была отрицательным контролем. Рацион кроликов второй, третьей и четвертой групп состоял из комбикорма, контаминированного Т-2 токсином в дозе 0,3 мг/кг корма. Кроликам третьей группы проводили курс пассивной иммунизации лечебной сывороткой, содержащей поликлональные антитела к конъюгату Т-2 токсина с полилизиним в начале опыта и повторно на 7 и 14 сут. эксперимента. Животным четвертой группы проводили курс активной иммунизации до введения токсина конъюгатом Т-2 токсина с полилизиним. На 21 сут эксперимента у животных брали сыворотку крови для определения сывороточной мочевины, общего белка, глюкозы, холестерина и активности аспартатаминотрансферазы, аланинаминотрансферазы и щелочной фосфатазы. **Результаты исследований.** В результате эксперимента продемонстрировано, что применение специфической терапии в виде лечебной сыворотки, содержащей поликлональные антитела к конъюгату Т-2-полилизина, обеспечивает защиту при микотоксикозе животных. При предварительной (активной) иммунизации кроликов конъюгатом Т-2 полилизина также происходит нейтрализация действия Т-2 токсина, но эффект меньше, чем при терапии пассивной иммунизации.

**Ключевые слова:** Т-2 токсин, биохимические показатели, кролик, иммунотерапия, поликлональные антитела

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

**Для цитирования:** Биохимические показатели кроликов при иммунотерапии микотоксикозов / Н. Н. Мишина, Э. И. Семенов, З. Х. Сагдеева, А. Р. Валиев // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2023. Т. 9. № 2. С. 148–154. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-148-154>

**BIOCHEMICAL INDICATORS OF RABBITS UNDER IMMUNOTHERAPY OF MYCOTOXICOSIS****N. N. Mishina, E. I. Semenov, Z. Kh. Sagdeeva, A. R. Valiev***Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation*

**Abstract. Introduction.** T-2 toxin is the most toxic and widespread fusariotoxin in temperate regions of Russia and Europe. It has a polytoxic effect and leads to apoptosis of hepatocytes, other cells of internal organs and changes in the biochemical parameters of blood serum. **The purpose** of the study was to evaluate the effectiveness of specific (immune) therapy for rabbit mycotoxicosis using biochemical markers of the functional capacity of internal organs. **Materials and methods.** For the experiment, 4 groups of male rabbits were formed, 5 animals each. The first group was a negative control. The diet of rabbits of the second, third and fourth groups consisted of combined fodder contaminated with T-2 toxin at a dose of 0.3 mg/kg of feed. Rabbits of the third group underwent a course of passive serum immunization containing polyclonal antibodies to the conjugate of T-2 toxin with polylysine at the beginning of the experiment and again on 7th and 14th days of the experiment. Animals of the fourth group underwent a course of active immunization before the introduction of the toxin with the conjugate of T-2 toxin with polylysine. On the 21st day of the experiment, blood serum was taken from animals to determine serum urea, total protein, glucose, cholesterol, and the activity of aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, and alkaline phosphatase. **Research results, discussion.** As a result of the experiment, it was demonstrated that specific therapy in the form of therapeutic serum containing

polyclonal antibodies to T-2-polylysine conjugate provides protection against mycotoxicosis of animals. With preliminary (active) immunization of rabbits with T-2 polylysine conjugate, the action of T-2 toxin is also neutralized, but the effect is less than with the first therapy.

**Keywords:** T-2 toxin, biochemical parameters, rabbit, immunotherapy, polyclonal antibodies

The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Mishina N. N., Semenov E. I., Sagdeeva Z. Kh., Valiev A. R. Biochemical parameters of rabbits in immunotherapy of mycotoxicoses. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2023, vol. 9, no. 2, pp. 148–154. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-148-154>

## Введение

Микотоксины – вторичные грибковые метаболиты, присутствующие в широком спектре сырья, используемого в пищевых продуктах и кормах [6; 12]. Из-за их грибкового происхождения встречаемость микотоксинов значительно варьируется в зависимости от сырья, страны происхождения и года производства. Т-2 токсин является самым токсичным и распространенным фузариотоксином в регионах России и Европы с умеренным климатом [9]. К токсическим эффектам от корма, зараженного Т-2 токсином, относят отказ от корма, низкую конверсию корма, снижение прироста массы тела, повышение заболеваемости из-за подавления иммунитета и нарушение репродуктивной способности [1]. Все это приводит к большим экономическим потерям. Основным органом, в котором метаболизируются трихотецены, в том числе Т-2 токсин, является печень. Т-2 токсин вызывает патологические изменения в ткани печени, в том числе отек гепатоцитов, увеличение объема и увеличение количества гранул в цитоплазме, а также патологические изменения в селезенке, костном мозге и других органах [3; 7]. Это предполагает, что воздействие Т-2 приводит к апоптозу гепатоцитов [13], другим клеткам внутренних органов и изменению биохимических параметров сыворотки крови.

В настоящее время для лечения и профилактики Т-2 микотоксикоза используют сорбенты (глины, глюканы, уголь и др.), растительные экстракты, бактерии и ферменты, разлагающие микотоксины [5; 11]. Однако исследования по определению эффективности специфической (иммунной) терапии в виде пассивной и активной иммунизации для снижения негативных эффектов Т-2 токсина у животных единичны.

**Целью** исследования явилась оценка эффективности специфической (иммунной) терапии

при микотоксикозе кроликов с использованием биохимических маркеров функциональной способности внутренних органов.

## Материалы и методика исследований

Работа выполнена в лаборатории микотоксинов отделения токсикологии ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» (г. Казань). Исследование лечебной сыворотки при микотоксикозе животных проводили на кроликах породы Советская шиншилла, полученных из питомника ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ». Двадцать самцов кроликов со средней массой тела 2,5–2,7 кг были разделены на четыре равные группы (5 животных в каждой). Подопытных кроликов содержали индивидуально в клетках из оцинкованной металлической проволоки, снабженных кормушкой и поилками. Кроликов кормили полнорационным комбикормом, производимым ООО «Лабораторкорм». Продолжительность эксперимента составила 21 сут. Первая группа была отрицательным контролем, вторая группа – положительным контролем. Рацион кроликов состоял из комбикорма, контаминированного Т-2 токсином (производство «Sigma-Aldrich») в дозе 0,3 мг/кг корма. Комбикорм для кроликов третьей и четвертой групп также был контаминирован Т-2 токсином в аналогичной дозе. Лечебную сыворотку, содержащую поликлональные антитела к конъюгату Т-2 токсина с полилизинном, получали по схеме иммунизации, описанной в более ранних работах [2]. Кроликам третьей группы проводили курс пассивной иммунизации лечебной сывороткой в начале опыта и повторно на 7 и 14 сут. эксперимента. Животным четвертой группы проводили курс активной иммунизации: до введения токсина трехкратно иммунизировали конъюгатом Т-2 токсина с полилизинном по схеме, описанной в более ранних работах. В конце эксперимента у кроликов отбирали кровь в К<sub>3</sub>ЭДТА-пробирки с последующим

центрифугированием при 4000 g температуре 4 °C в течение 15 мин. Сыворотку отделяли и хранили при температуре минус 20 °C до анализа для определения сывороточной мочевины, общего белка, глюкозы, холестерина и активности аспаратаминотрансферазы (АСТ), аланинаминотрансферазы (АЛТ) и щелочной фосфатазы (ЩФ). Исследование биохимических показателей проводили с помощью биохимического анализатора «MicroLab 300» (Нидерланды).

Полученные экспериментальные данные обрабатывали общепринятым методом вариационной статистики с применением критерия досто-

верности по Стьюденту с использованием специальных программ.

### Результаты исследований и их обсуждение

Интерпретацию биохимических показателей сыворотки крови проводят с целью первичной диагностики функционирования печени, почек, поджелудочной железы и других органов, и по ним судят о метаболических процессах (липидный, белковый, углеводный обмен).

Для оценки состояния белкового обмена, а также функций отдельных органов провели определение общего белка и его фракций, мочевины (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Показатели белкового обмена кроликов при микотоксикозе на фоне проведения специфической терапии ( $M \pm m$ ,  $n=5$ ) / Indicators of protein metabolism in rabbits with mycotoxicosis against the background of specific therapy ( $M \pm m$ ,  $n=5$ )

| Показатель, единица измерения / Indicator, unit of measurement | Группа / Group |              |            |            |
|--|----------------|--------------|------------|------------|
|  | 1              | 2            | 3          | 4          |
| Общий белок, г/л / Total protein, g/l                          | 54,70±1,68     | 48,24±0,69*  | 52,40±1,65 | 52,50±1,57 |
| Альбумины, г/л / Albumins, g/l                                 | 35,60±1,35     | 27,80±2,03** | 34,04±1,88 | 33,83±1,68 |
| Глобулины, г/л / Globulins, g/l                                | 19,10±0,94     | 20,44±1,02   | 18,36±1,14 | 18,67±1,24 |
| Альбумин-глобулиновый коэффициент / albumin-globulin ratio     | 1,86±0,07      | 1,36±0,09**  | 1,85±0,06  | 1,81±0,06  |
| Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l                               | 3,8±0,15       | 5,78±0,25*** | 4,19±0,10  | 4,10±0,06  |

Примечание: \* -  $p < 0,05$  \*\*  $p < 0,01$  \*\*\*  $p < 0,001$

Как видно из таблицы 1, у кроликов, получавших Т-2 токсин, было обнаружено достоверное снижение уровня общего белка и альбумина, альбумин-глобулинового коэффициента в сыворотке крови на 11,8 %, 21,9 % и 27,3 % соответственно и увеличение мочевины на 52,1 % ( $p < 0,001$ ).

Альбумин и глобулины – два основных компонента сывороточных белков, которые играют ключевую роль в воспалительном процессе [4]. Снижение сывороточного альбумина и соотношение альбумин/глобулин в нашем эксперименте вместе с увеличением ферментов АСТ, АЛТ и ЩФ, специфичных для печени, указывает на снижение синтеза белка и повреждение печени при хроническом воспалении и отражает кумулятивное воздействие различных провоспалительных цитокинов<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Семенов Э. И. Фармако-токсикологические аспекты применения энтеросорбентов при сочетанных микотоксикозах : специальности 06.02.02. «Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология, 06.02.03. «Ветеринарная фармакология с токсикологией» : дис. ... д-ра ветеринар. наук / Семенов Эдуард Ильясович ; Казанская государственная академия ветеринарной медицины имени Н. Э. Баумана. Казань, 2019. 342 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43102116&ysclid=lconneoris517337382> (дата обращения: 25.12.2022).

Микотоксин и продукты метаболизма вызывают каскад окислительно-восстановительных реакций, что ведет к повреждению окислительными процессами клеток почек, нарушению функции почечных канальцев к увеличению потери белка и снижению общего уровня белка в крови [8]. Развивающаяся почечная недостаточность вкупе с гиповолемией, желудочно-кишечным кровотечением и повышенным катаболизмом привело к нарушению синтеза белка, снижению утилизации аминокислот и повышению уровня азота мочевины в сыворотке крови [10].

Проведение специфической терапии нивелировало токсическое действие Т-2 токсина на белковый обмен. Так, уровень общего белка, содержание альбуминов, глобулинов, альбумин-глобулиновый

коэффициент у кроликов третьей и четвертой групп находились на уровне контрольных значений.

В нашем эксперименте наблюдали усиление дисфункции печени, дегенерацию печеночных тканей и нарушение функции желчевыводящей системы при включении в рацион кроликов микотоксина Т-2. Повышение уровня активности АСТ, АЛТ и ЩФ в сыворотке указывает на повреждение клеток (гепатоцитов) в результате перекисного окисления липидов, вызванного микотоксином (рис. 1).

При определении активности АСТ, АЛТ и ЩФ в сыворотке крови кроликов второй группы установлено, что активность ферментов достоверно повышается на 34,6; 82,4 и 90,0 % соответственно. Применение специфической терапии в остальных группах способствовало меньшему повреждению гепатоцитов и выбросу ферментативных белков. Так, повышение АСТ, АЛТ и ЩФ у животных третьей группы составило 10,4 ( $p < 0,05$ ); 6,8 и 15,6 % ( $p < 0,05$ ), четвертой – 9,6; 5,0 и 12,6 % ( $p < 0,05$ ) соответственно.

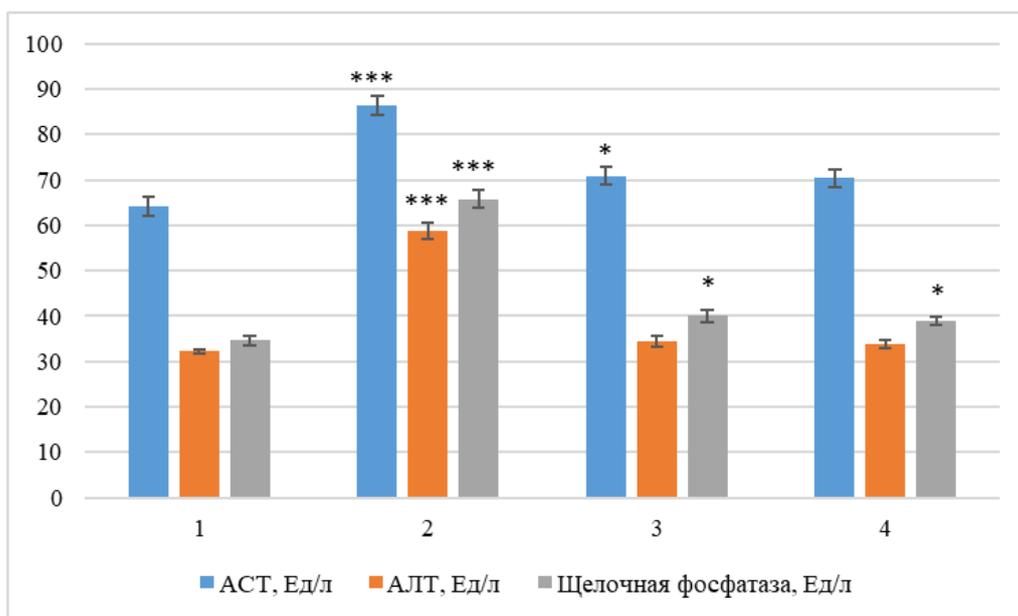


Рис. 1. Активность печеночных ферментов у кроликов при микотоксикозе на фоне проведения специфической терапии ( $M \pm m$ ,  $n=5$ ) / Fig. 1. Activity of liver enzymes in rabbits with mycotoxicosis against the background of specific therapy ( $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Аналогичная динамика прослеживалась при оценке уровня глюкозы и холестерина. Углеводный обмен в печени включает в себя регуляцию между синтезом и распадом гликогена, депонируемого в печени, и таким образом достигается обеспечение постоянства концентрации глюкозы в крови.

Холестерин поступает в организм с пищей, а также синтезируется в печени из ацетил-КоА. Так как холестерин в большом количестве содержится в оболочках гепатоцитов, то закономерно повышение холестерина в сыворотке крови при их разрушении.

Таблица 2 / Table 2

Содержание холестерина и глюкозы в сыворотке крови кроликов при микотоксикозе на фоне проведения специфической терапии ( $M \pm m$ ,  $n=5$ ) / The content of cholesterol and glucose in the blood serum of rabbits with mycotoxicosis against the background of specific therapy ( $M \pm m$ ,  $n=5$ )

| Показатель, единица измерения / Indicator, unit of measurement | Группа / Group |               |           |           |
|--|----------------|---------------|-----------|-----------|
|  | 1              | 2             | 3         | 4         |
| Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mmol/l                      | 1,74±0,06      | 2,38±0,08 *** | 1,88±0,05 | 1,88±0,05 |
| Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l                             | 3,83±0,13      | 3,06±0,08**   | 3,50±0,12 | 3,56±0,09 |

Примечание: \* -  $p < 0,05$  \*\* -  $p < 0,01$  \*\*\* -  $p < 0,001$

Как следует из данных таблицы 2, при поступлении микотоксина наблюдается достоверное увеличение содержания холестерина и глюкозы в сыворотке крови. В третьей и четвертой группах наблюдается восстановление содержания глюкозы и холестерина до нормального уровня.

### Заключение

Таким образом, в результате анализа биохимических маркеров функциональной способно-

сти внутренних органов, продемонстрировано, что применение специфической терапии в виде лечебной сыворотки, содержащей поликлональные антитела к конъюгату Т-2-полилизина, обеспечивает защиту при микотоксикозе животных. При предварительной (активной) иммунизации кроликов конъюгатом Т-2 полилизина также происходит нейтрализация действия Т-2 токсина, но эффект менее выражен, чем при терапии первыми.

1. Аналитика данных распространения Т-2 токсина в Республике Татарстан / И. Н. Штыров, Э. И. Семёнов, Л. Е. Матросова, С. А. Танасева, Е. Ю. Тарасова, Н. Н. Мишина // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 167–172. URL: <https://vetjournal.spbguvn.ru/jour/article/view/628> (дата обращения: 25.12.2022).
2. Мишина Н. Н., Семёнов Э. И., Папуниди К. Х. Применение конъюгата Т-2 токсина с полилизином для обнаружения Т-2 токсина в конкурентном ИФА // Ветеринарный врач. 2017. № 4. С. 33–40. URL: [clck.ru/34tNML](http://clck.ru/34tNML) (дата обращения: 25.12.2022).
3. Оценка качества мяса овец при Т-2 микотоксикозе на фоне применения антиоксидантов / Э. К. Папуниди, В. П. Коростелева, Е. Ю. Тарасова, С. Ю. Смоленцев // Мясная индустрия. 2014. № 5. С. 48–49. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21533229> (дата обращения: 25.12.2022).
4. Перфилова К. В., Мишина Н. Н., Семенов Э. И. Обоснование компонентного состава комплексного средства «Цеапиктокс» в отношении Т-2 токсина в опытах *in vitro* // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021. Т. 247. № 3. С. 208–212. URL: [clck.ru/34tPHu](http://clck.ru/34tPHu) (дата обращения: 25.12.2022).
5. Применение гумата железа для профилактики микотоксикоза / С. А. Семенова, С. Г. Гаврилов, И. Т. Хусаинов и др. // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2015. Т. 224. № 4. С. 192–195. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-gumata-zheleza-dlya-profilaktiki-mikotoksikoza> (дата обращения: 25.12.2022).
6. Сагдеев Д. Р. Токсичность свинца и Т-2 токсина при их совместном поступлении в организм животных // Ветеринарный врач. 2021. № 6. С. 61–65. URL: [clck.ru/34tPyS](http://clck.ru/34tPyS) (дата обращения: 25.12.2022).
7. Сочетанное действие диоксинов, микотоксинов и токсичных элементов на животных / И. Р. Кадиков, В. Р. Сайтов, К. Х. Папуниди, Трёмасов М. Я., Идиятов И. И. // Ветеринария. 2014. № 9. С. 47–51. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21916259&ysclid=iconv3laq4433186155> (дата обращения: 25.12.2022).
8. Abdel-Wahhab M. A., Nada S. A., Khalil F. A. Physiological and toxicological responses in rats fed aflatoxin-contaminated diet with or without sorbent materials // Animal Feed Science and Technology. 2002. Vol. 97. No. 3–4. Pp. 209–219. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00342-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00342-X) (дата обращения: 25.12.2022).
9. Gruber-Dorninger C., Jenkins T., Schatzmayr G. Global Mycotoxin Occurrence in Feed: A Ten-Year Survey // Toxins. 2019. Vol. 11 (7). Pp. 375–400. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11070375> (дата обращения: 25.12.2022).
10. Effects of dietary AflaDetox on performance, serum biochemistry, histopathological changes, and aflatoxin residues in broilers exposed to aflatoxin B1 / M. Denli J., C. Blandon, M. E. Guynot, S. Salado, J. F. Perez // Poult. Sci. 2009. Vol. 88. Pp. 1444–1451. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00341> (дата обращения: 25.12.2022).
11. M. J. Adegbeye et al. Mycotoxin toxicity and residue in animal products: prevalence, consumer exposure and reduction strategies – a review // Toxicon. 2020. Vol. 177. Pp. 96–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.01.007> (дата обращения: 25.12.2022).
12. Enterosorbent efficiency mineral attenuation during pig mycotoxicosis / L. E. Matrosova, N. N. Mishina, S. A. Tanaseva et al. // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD). 2020. Vol. 10. Pp. 1851–1856. URL: [clck.ru/34tLR7](http://clck.ru/34tLR7) (дата обращения: 25.12.2022).
13. Shinozuka J. Hepatotoxicity of T-2 toxin, trichothecene mycotoxin // Mycotoxins. 2006. No 4. Pp. 62–66. DOI: [https://doi.org/10.2520/myco1975.2006.Suppl4\\_62](https://doi.org/10.2520/myco1975.2006.Suppl4_62) (дата обращения: 25.12.2022).

*Статья поступила в редакцию 28.04.2023 г.; одобрена после рецензирования 04.06. 2023 г.; принята к публикации 17.05.2023 г.*

### Об авторах

#### Мишина Наиля Наримановна

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории, заведующий лабораторией фармакологии лекарственных средств отделения токсикологии, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9312-0970>, [mishinanailyan@yandex.ru](mailto:mishinanailyan@yandex.ru)

**Семенов Эдуард Ильясович**

доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник, исполняющий обязанности заведующего отделением радиобиологии, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3029-7170>, [semyonovei@bk.ru](mailto:semyonovei@bk.ru)

**Сагдеева Зухра Халимовна**

младший научный сотрудник сектора по испытаниям на микотоксины Испытательного центра, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8670-1742>, [szh196@mail.ru](mailto:szh196@mail.ru)

**Валиев Алмаз Рафаильевич**

старший научный сотрудник сектора по испытаниям на микотоксины Испытательного центра, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7187-4328>, [elosval79@mail.ru](mailto:elosval79@mail.ru)

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

1. Shtyrov I. N., Semyonov E. I., Matrosova L. E., Tanaseva S. A., Tarasova E. Yu., Mishina N. N. Analitika dannykh rasprostraneniya T-2 toksina v Respublike Tatarstan [Analytics of T-2 toxin distribution data in the Republic of Tatarstan]. *Mezhdunarodnyi vestnik veterinarii = International Bulletin of Veterinary Medicine*, 2021, no. 1, pp. 167–172. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45633170> (accessed 25.12.2022). (In Russ.).

2. Mishina N. N., Semenov E. I., Papunidi K. Kh. Primenenie kon'yugata T-2 toksina s polilizinom dlya obnaruzheniya T-2 toksina v konkurentnom IFA [Application of T-2 toxin conjugate with polylysine for detection of T-2 toxin using competitive ELISA]. *Veterinarnyi vrach = The Veterinarian*, 2017, no. 4, pp. 33–40. Available at: [clck.ru/34tNML](http://clck.ru/34tNML) (accessed 25.12.2022). (In Russ.).

3. Papunidi E. K., Korosteleva V. P., Tarasova E. Yu., Smolentsev S. Yu. Otsenka kachestva myasa ovets pri T-2 mikotoksikoze na fone primeneniya antioksidantov [Assessment of meat quality of sheep with T-2 mycotoxicosis on the background of antioxidant use]. *Myasnaya industriya = Meat Industry*, 2014, no. 5, pp. 48–49. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21533229> (accessed 25.12.2022). (In Russ.).

4. Perfilova K. V., Mishina N. N., Semenov E. I. Obosnovanie komponentnogo sostava kompleksnogo sredstva "Tseapitoks" v otnoshenii T-2 toksina v opytakh in vitro [Substantiation of component composition of a complex preparation against T-2 toxin in vitro experiments]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. E. Baumana = Scientific Notes of Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 2021, vol. 247, no. 3, pp. 208–212. Available at: [clck.ru/34tPHY](http://clck.ru/34tPHY) (accessed 25.12.2022). (In Russ.).

5. Semenova S. A., Gavrilov S. G., Khusainov I. T., Potekhina R. M., Kanarskaja Z. A., Mishina N. N., Semenov E. I. Primenenie gumata zheleza dlya profilaktiki mikotoksikoza [Application of iron humates prevention mycotoxicoses]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. E. Baumana = Scientific Notes of Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 2015, vol. 224, no. 4, pp. 192–195. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-gumata-zheleza-dlya-profilaktiki-mikotoksikoza> (accessed 25.12.2022). (In Russ.).

6. Sagdeev D. R. Toksichnost' svintsa i T-2 toksina pri ikh sovmestnom postuplenii v organizm zhivotnykh [Toxicity of lead and T-2 toxin at their combined administration into animals]. *Veterinarnyi vrach = The Veterinarian*, 2021, no. 6, pp. 61–65. Available at: [clck.ru/34tPyS](http://clck.ru/34tPyS) (accessed 25.12.2022). (In Russ.).

7. Kadikov I. R., Saitov V. R., Papunidi K. Kh., Tremasov M. J., Idiyatov I. I. Sochetannoe dejstvie dioksinov, mikotoksinov i toksichnykh jelementov na zhivotnykh [Sochetannoe dejstvie dioksinov, mikotoksinov i toksichnykh elementov na zhivotnykh]. *Veterinariya = Veterinary Medicine*, 2014, no. 9, pp. 47–51. (In Russ.). Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21916259&ysclid=iconv3laq4433186155> (accessed 25.12.2022).

8. Abdel-Wahhab M. A., Nada S. A., Khalil F. A. Physiological and toxicological responses in rats fed aflatoxin-contaminated diet with or without sorbent materials. *Animal Feed Science and Technology*, 2002, vol. 97, no 3–4, pp. 209–219. (In Eng.). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(01\)00342-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(01)00342-X)

9. Gruber-Dorminger C., Jenkins T., Schatzmayr G. Global mycotoxin occurrence in feed: a ten-year survey. *Toxins*, 2019, vol. 11 (7), pp. 375–400. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins11070375>

10. M. Denli J., Blandon J. C., Guynot M. E., Salado S., Perez J. F. Effects of dietary AflaDetox on performance, serum biochemistry, histopathological changes, and aflatoxin residues in broilers exposed to aflatoxin B1. *Poult. Sci.*, 2009, vol. 88, pp. 1444–1451. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2008-00341>

11. M.J. Adegbeye et al. Mycotoxin toxicity and residue in animal products: prevalence, consumer exposure and reduction strategies – a review. *Toxicon*, 2020, vol. 177, pp. 96–108. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.01.007>

12. Enterosorbent efficiency mineral attenuation during pig mycotoxicosis / Matrosova L. E., Mishina N. N., Tanaseva S. A. et al. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 2020, vol. 10, pp. 1851–1856. Available at: [clk.ru/34tLR7](http://clk.ru/34tLR7) (accessed 25.12.2022). (In Eng.).

13. Shinozuka J., Miwa S., Fujimura H., Toriumi W., Doi K. Hepatotoxicity of T-2 toxin, trichothecene mycotoxin. *Mycotoxins*, 2006, no 4, pp. 62–66, (In Eng.). DOI: [https://doi.org/10.2520/myco1975.2006.Suppl4\\_62](https://doi.org/10.2520/myco1975.2006.Suppl4_62)

*The article was submitted 28.04.2023; approved after reviewing 04.06.2023; accepted for publication 17.05.2023.*

#### About the authors

##### **Nailya N. Mishina**

Ph. D. (Biology), Leading Researcher of the Laboratory, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9312-0970>, [mishinanailyan@yandex.ru](mailto:mishinanailyan@yandex.ru)

##### **Eduard I. Semenov**

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

##### **Zukhra Kh. Sagdeeva**

Junior Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8670-1742>, [szh196@mail.ru](mailto:szh196@mail.ru)

##### **Almaz R. Valiev**

Senior Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7187-4328>, [elosval79@mail.ru](mailto:elosval79@mail.ru)

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