

Научная статья/Research Article

УДК 619:615.9:616.36

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-98-105

Евгения Юрьевна Тарасова<sup>1✉</sup>, Глеб Сергеевич Кашеваров<sup>2</sup>, Вадим Расимович Сайтов<sup>3</sup>,  
Лилия Евгеньевна Матросова<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань,  
Республика Татарстан, Россия

<sup>1</sup>evgenechka1885@gmail.com

<sup>2</sup>kaschewarow@mail.ru

<sup>3</sup>sinsavara@yandex.ru

<sup>4</sup>m.lilia.Evg@yandex.ru

### ОЦЕНКА ОБЪЕКТИВНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ МИТОХОНДРИЙ ГЕПАТОЦИТОВ КРЫС ПРИ СОЧЕТАННОМ МИКОТОКСИКОЗЕ НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

*Цель исследования – изучение ультраструктуры печени и морфометрических характеристик митохондрий белых крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения профилактических комплексов. Работа выполнена на 80 крысах массой 150–170 г, распределенных на 8 групп (n=10). Биологическим контролем служила первая группа крыс. Микотоксины крысам задавали с кормом (афлатоксин В<sub>1</sub> – 2,5 мг/кг; Т-2 токсин – 5 мг/кг; зеараленон – 2,0 мг/кг корма). Крысы 3–5-х групп дополнительно к токсичному рациону получали профилактические комплексы в дозе 0,25 % от рациона (профилактические комплексы № 1, 2, 3: 1 – β-глюканы, шрот расторопши, витамин Е, аскорбиновая кислота, левамизол; 2 – бентонит, янтарная кислота, метилурацил; витамин А, пробиотический препарат «Флорин»; 3 – галлуазит, метионин, β-глюканы, шрот расторопши). Крысы 6–8-х групп дополнительно к основному рациону получали соответственно профилактический комплекс № 1, 2 и 3 в дозировке, аналогичной таковой для 3–5-х групп. Ультроструктурные исследования печени проводили по стандартным электронно-микроскопическим методикам. Сочетанный микотоксикоз (группа № 2) на уровне ультраструктуры гепатоцитов проявляется нехарактерной формой ядер, перераспределением хроматина, деструктивными процессами в митохондриях и просветлением значительных участков цитоплазмы. Электронно-светлая цитоплазма имеет мало включений и фрагментарную эндоплазматическую сеть. Матрикс большинства митохондрий со средней электронной плотностью, кристы не визуализируются, некоторые митохондрии характеризуются разрушением мембран. В сравнительном аспекте группа токсического контроля по сравнению с биологическим характеризуется статистически значимым (в тесте Манна–Уитни с поправкой Бонферронир<0,0096) снижением всех значений морфометрических характеристик митохондрий (площади, периметра, сферичности и калиперометрического диаметра). Апробация профилактических комплексов при сочетанном микотоксикозе показала защитно-терапевтический эффект (наличие гликогена, достаточно плотная цитоплазма, сохранение целостности мембранных органелл).*

**Ключевые слова:** микотоксины, профилактика, печень, ультраструктура, гепатоциты, митохондрии, морфометрия

**Для цитирования:** Оценка объективных морфологических признаков митохондрий гепатоцитов крыс при сочетанном микотоксикозе на фоне применения профилактических комплексов / Е.Ю. Тарасова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 12. С. 98–105. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-98-105.

Evgenia Yurievna Tarasova<sup>1✉</sup>, Gleb Sergeevich Kashevarov<sup>2</sup>, Vadim Rasimovich Saitov<sup>3</sup>,  
Liliya Evgenievna Matrosova<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

<sup>1</sup>evgenechka1885@gmail.com

<sup>2</sup>kaschewarow@mail.ru

<sup>3</sup>sinsavara@yandex.ru

<sup>4</sup>m.lilia.Evg@yandex.ru

## EVALUATION OF OBJECTIVE MORPHOLOGICAL FEATURES OF RAT HEPATOCYTE MITOCHONDRIA WITH COMBINED MYCOTOXICOSIS ON THE BACKGROUND OF PREVENTIVE COMPLEXES USE

*The purpose of research is to study the ultrastructure of the liver and morphometric characteristics of mitochondria of white rats with combined mycotoxycosis against the background of the use of prophylactic complexes. The work was performed on 80 rats weighing 150–170 g, divided into 8 groups (n=10). The first group of rats served as biological control. Mycotoxins were given to rats with food (aflatoxin B1 – 2.5 mg/kg; T-2 toxin – 5 mg/kg; zearalenone – 2.0 mg/kg of feed). In addition to the toxic diet, rats of groups 3–5 received prophylactic complexes at a dose of 0.25 % of the diet (prophylactic complexes No. 1, 2, 3: 1 –  $\beta$ -glucans, milk thistle meal, vitamin E, ascorbic acid, levamisole; 2 – bentonite, succinic acid, methyluracil; vitamin A, probiotic preparation Florin; 3 – halloysite, methionine,  $\beta$ -glucans, milk thistle meal). Rats of groups 6–8, in addition to the main diet, received prophylactic complex № 1, 2, and 3, respectively, at a dosage similar to that for groups 3–5. Ultrastructural studies of the liver were performed according to standard electron microscopic techniques. Combined mycotoxycosis (group No. 2) at the level of the ultrastructure of hepatocytes is manifested by an uncharacteristic shape of nuclei, redistribution of chromatin, destructive processes in mitochondria, and clearing of significant areas of the cytoplasm. The electron-light cytoplasm has few inclusions and a fragmented endoplasmic reticulum. The matrix of most mitochondria has an average electron density, cristae are not visualized, some mitochondria are characterized by membrane destruction. In a comparative aspect, the toxic control group compared to the biological group is characterized by a statistically significant (in the Mann-Whitney test with Bonferroni correction  $p < 0.0096$ ) decrease in all values of the morphometric characteristics of mitochondria (area, perimeter, sphericity and caliperometric diameter). Approbation of prophylactic complexes in case of combined mycotoxycosis showed a protective and therapeutic effect (presence of glycogen, sufficiently dense cytoplasm, preservation of the integrity of membrane organelles).*

**Keywords:** mycotoxins, prevention, liver, ultrastructure, hepatocytes, mitochondria, morphometry

**For citation:** Evaluation of objective morphological features of rat hepatocyte mitochondria with combined mycotoxycosis on the background of preventive complexes use / E.Yu. Tarasova [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2022;(12): 98–105. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-12-98-105.

**Введение.** Микотоксины, как правило, обнаруживаются в продуктах питания, кормах, молочных продуктах и напитках, что впоследствии приводит к серьезным проблемам со здоровьем у людей и животных. Неудивительно, что загрязнение микотоксинами вызывает озабоченность во всем мире [1–4]. В связи с этим поиск эффективных средств профилактики микотоксикозов является актуальным.

Среди всех микотоксинов афлатоксины, зearаленон и Т-2 токсин привлекают особое внимание из-за вызываемых ими тяжелых последствий для здоровья людей и животных. Воздействие микотоксинов приводит к большим экономическим потерям из-за снижения производительности,

ухудшения конверсии корма, плодовитости и повышения восприимчивости к экологическим стрессам и инфекционным заболеваниям [5–6].

Т-2 токсин является одним из наиболее токсичных трихотеценовых микотоксинов типа А, наносящих серьезный вред клеткам иммунной системы, печени, почек и головного мозга. Он часто встречается в зерновых продуктах и кормах для животных [7–8].

Существует много афлатоксинов, но афлатоксин В<sub>1</sub> является наиболее токсичным. Это сильный канцероген (группа 1). Из-за своей распространенности и сильной токсичности афлатоксин В<sub>1</sub> часто рассматривается в качестве основного объекта исследования микотоксинов [9].

Зеараленон приводит к нарушению синтеза эстрогена и гормонов гипофиза и функции половых желез. Его структура аналогична структуре  $17\beta$ -эстрадиола, что позволяет ему конкурентно связываться с рецепторами эстрогена. Репродуктивная токсичность зеараленона выражается в снижении овуляции, увеличении числа мертворождений, дистоций и т.д. [10].

Систематические экспериментальные исследования ультраструктурных и морфологических изменений, вызванных совместным присутствием в корме афлатоксина В<sub>1</sub>, Т-2 токсина и зеараленона в высоких дозах, отсутствуют, что обуславливает необходимость настоящего исследования.

Первым органом, в котором проявляются патологические морфологические изменения при микотоксикозах, является печень, что предопределило выбор именно этого органа в качестве объекта исследования. При этом митохондрии представляют собой органеллы, которые подвергаются самым критичным изменениям [11].

Важным вопросом в отношении микотоксинов является детальная характеристика их молекулярного механизма действия, что необходимо для создания эффективной стратегии профилактики и лечения микотоксикозов.

**Цель исследования** – изучение влияния разработанных нами профилактических комплексов, обладающих сорбционными, антиоксидантными и гепатопротекторными свойствами, на ультраструктуру печени и морфометрические

характеристики митохондрий крыс при одновременном попадании в организм сразу нескольких микотоксинов.

**Материалы и методы.** Работа выполнена на 80 белых крысах массой 150–170 г, распределенных на 8 групп по 10 крыс в каждой. Микотоксины добавляли в основной рацион путем ступенчатого перемешивания (афлатоксин В<sub>1</sub> – 2,5 мг/кг, Т-2 токсин – 5 мг/кг и зеараленон – 2,0 мг/кг корма) в течение трех недель. Дозы были выбраны исходя из принципа «наихудшего сценария» возможной контаминации микотоксинами в производственных условиях. Биологическим контролем служила первая группа крыс, токсическим контролем – вторая группа. Крысы 3–5-х групп дополнительно к токсичному рациону получали профилактические комплексы № 1, 2, 3 в дозе 0,25 % от рациона (№ 1 –  $\beta$ -глюканы, шрот расторопши, витамин Е, аскорбиновая кислота, левамизол; № 2 – бентонит, янтарная кислота, метилурацил; витамин А, пробиотический препарат «Флорин»; № 3 – галлуазит, метионин,  $\beta$ -глюканы, шрот расторопши). Крысы 6–8-х групп дополнительно к основному рациону получали соответственно профилактический комплекс № 1, 2 и 3 в дозировке, аналогичной таковой для 3–5-х групп.

Субмикроскопические исследования осуществлялись посредством метода ультратонких срезов [12]. Последовательность основных этапов проводки материала представлена в таблице.

#### Этапы подготовки материала для электронно-микроскопических исследований

Этап	Компонент
1	2
Фиксация	1 % раствор глутарового альдегида (Serva, ФРГ) на 0,1 М фосфатном буфере (рН = 7,4), при t = 4 °С, 12 ч
Промывка буфером	0,1 М фосфатный буфер (рН = 7,4), 2 раза по 10 мин
Фиксация	2 % тетраоксид осмия OsO <sub>4</sub> (Московский химзавод) на 0,1 М фосфатном буфере (рН = 7,4), при комнатной температуре, 2 ч
Промывка буфером	0,1 М фосфатный буфер (рН = 7,4) 2 раза по 10 мин
Дегидратация	Этиловые спирты восходящей концентрации – 30 %; 50; 70; 80; 96 % – 2 раза по 5 мин; абсолютные спирты 100(I), 100(II), 100(III) – 2 раза по 10 мин каждый; ацетон – 2 раза по 10 мин
Импregnация	Ацетон + эпоновые смолы, в течение 3 суток и 3 соотношений: (2:1); (1:1) (1:2)
Заливка в капсулы	Эпоновые смолы

1	2
Полимеризация	Отверждение в термостате при $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , $t = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ по 24 ч при каждом из температурных режимов
Полутонкая резка	Микротом LKB-III 8800 (Швеция)
Ультратонкая резка	Микротом Reichert-Jung Ultracut-E 6524-01 (Австрия)
Контрастирование сеточек	Уранилацетат 2 ч при $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , цитрат свинца 1,5 мин в присутствии щелочи
Съемка на фотопленку	Электронный микроскоп JEM 100 CX-II («Jeol», Japan); фототехническая пленка Agfa orthochromatic
Оцифровка снимков	Сканер Epson perfection 4990 foto с разрешением 600 dpi

Морфометрическая обработка полученных снимков проводилась в программе с открытым исходным кодом FIJI/ImageJ [13]. В ходе эксперимента изучено влияние профилактических комплексов на ультраструктуру гепатоцитов с оценкой площади, периметра, калиперометрического диаметра (диаметра Фере) и сферичности ( $C = 4\pi(S/P^2)$ , где  $C$  – коэффициент сферичности;  $S$  – площадь;  $P$  – периметр) митохондрий.

Статистическая обработка выполнялась в программах MS Excel и Statistica 6.0 и включала вычисления среднего значения показателей ( $M$ ) и его стандартного отклонения ( $Sd$ ), а также последующего попарного сравнения групп тестом Манна – Уитни. Для нивелирования эффекта

множественности сравнений использовали поправку Бонферрони.

Проводили две серии попарных сравнений: группу биологического контроля сравнивали с остальными группами опыта; группу токсического контроля – также со всеми (кроме группы биологического контроля, так как это было сделано в первой серии сравнений).

Таким образом, исходя из количества проведенных тестов, уровень значимости  $\alpha = 0,05$  для всех тестов был скорректирован нами до  $\alpha \approx 0,0096$ .

**Результаты и их обсуждение.** Результаты статистического анализа полученных данных представлены на рисунке 1.

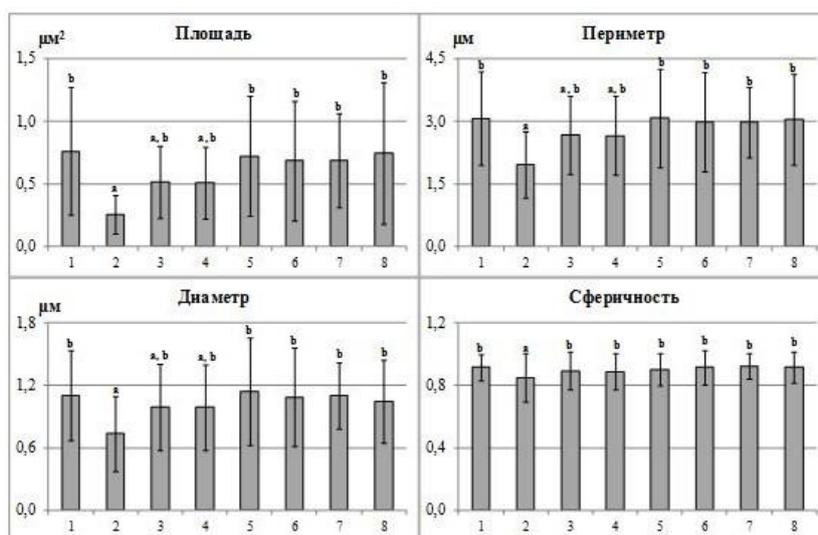


Рис. 1. Морфометрические характеристики митохондрий гепатоцитов крыс: вертикальная черта соответствует величине стандартного отклонения ( $\pm Sd$ ); верхние индексы показывают статистически значимые отличия с учетом поправки на влияние множественного сравнения:  $a$  – отличие от группы биологического контроля;  $b$  – отличие от группы токсического контроля

Графические данные демонстрируют, что в сравнении с группой биологического контроля экспериментальная группа токсического контроля характеризуется снижением морфометрических характеристик митохондрий (рис. 1). Добавление в рацион опытных крыс профилактических комплексов (№ 1, № 2 и № 3) способствует восстановлению данных показателей во всех трех группах (значения существенно выше, чем во второй группе). Однако не все средства показали одинаково сильный эффект. Наиболее близкими к группе биологического контроля оказались показатели в группе, получавшей профилактический комплекс № 3 (статистические отличия в сравнении с группой биологического контроля не выявлялись ни по одному из морфометрических показателей). Обогащение рациона профилактическими комплексами № 1 и № 2 определенным образом отразилось на

значениях их морфометрических показателей, они были близки между собой. Все морфометрические показатели (кроме коэффициента сферичности митохондрий, который не показал отличий от биологического контроля) в группах, получавших эти профилактические комплексы, значимо отличались как от группы биологического контроля, так и от группы, получавшей токсический рацион.

Следует особо отметить, что введение в рацион профилактических средств № 1–3 без добавления микотоксинов не приводит к какому-либо статистически подтверждаемым изменениям морфометрических характеристик ультраструктур по сравнению с контрольной группой.

Примечательна в том числе и ультраструктурная организация гепатоцитов крыс, находившихся в эксперименте (рис. 2).

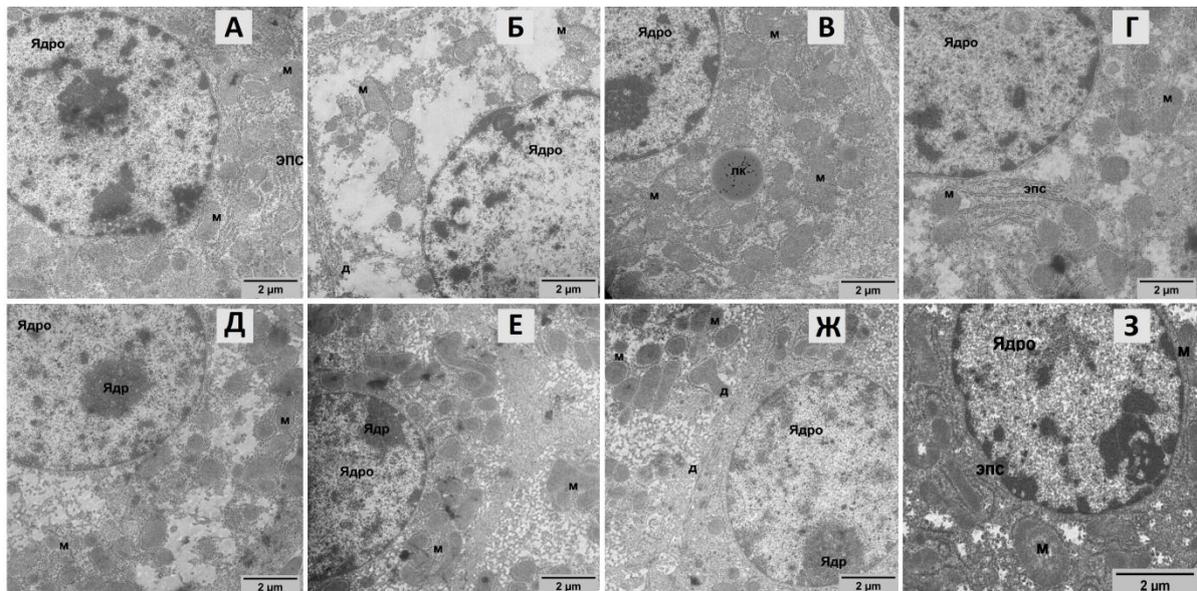


Рис. 2. Участки гепатоцитов белых крыс:

А – группа биологического контроля; Б – группа токсического контроля; В–Д – опытные группы (токсический рацион+профилактический комплекс № 1–3); Е–З – опытные группы контроля безвредности профилактических комплексов № 1–3; м – митохондрии; ЭПС – эндоплазматическая сеть; д – десмосомы; ядр – ядрышко; лк – липидные капли

Для группы биологического контроля (рис. 2, А) характерны ядра, имеющие типичную округлую форму, с хорошо просматривающимися ядерными порами, с равномерным по всему периметру перинуклеарным пространством и гетерохроматином, сосредоточенным на периферии ядра. Встречаются ядрышки. Митохондрии округлой и удлиненной формы имеют плотный матрикс, в

ряду органелл видны ламеллярные кристы. По всей цитоплазме встречается гликоген, пероксисомы отсутствуют. Хорошо видна эндоплазматическая сеть. Близкая по ультраструктуре картина (рис. 2, Е–З) наблюдается в группах, получавших профилактические комплексы № 1–3 в качестве добавки к основному рациону (контроль безвредности).

Выраженные деструктивные процессы характерны для группы токсического контроля (рис. 2, Б). Контур большинства ядер гепатоцитов имеет неровные очертания с изломами и впадинами. В ядрах визуализируется дезинтеграция хроматина, гетерохроматин слабо выражен. Цитоплазма электронно-светлая, практически лишена включений, в частности гликогена, пероксисом нет. Митохондрии имеют признаки деструкции мембран с просветленным матриксом, иногда средней электронной плотности. Кристы фактически не визуализируются. Эндоплазматическая сеть встречается редко и фрагментами.

Ядра гепатоцитов всех трех групп, получавших профилактические комплексы (рис. 2, В–Д) в дополнение к токсическому рациону, характеризуются равномерным, без деформаций, перинуклеарным пространством. Однако в группе, получавшей первый профилактический комплекс, выявляются изменения формы ядра, также не видно ядерных пор. Во всех трех группах ядра гепатоцитов имеют гетерохроматин, но в группе, получавшей профилактический комплекс № 1, он визуализируется в виде небольших фрагментов. Отмечается полиморфность митохондрий, имеющих средне- и плотно-электронный матрикс. Для ряда митохондрий группы, получавшей профилактический комплекс № 3, характерна визуализация крист.

Цитоплазма имеет среднюю электронную плотность. В группах, получавших профилактические комплексы № 2 и № 3, наличествуют включения (гликогенные гранулы и капли липидов). Хорошо визуализируется эндоплазматическая сеть.

Выявленные нами на субмикроскопическом уровне процессы изменений в митохондриях при воздействии микотоксинов в целом согласуются с информацией доступных научных источников. Так, зеараленон стимулирует изменения ультраструктур в митохондриях, аппарате Гольджи и шероховатом эндоплазматическом ретикулуме, тем самым влияя на процессы секреции и клеточного метаболизма. Авторами [14] доказано, что для эпителия проксимальных канальцев почек и гепатоцитов характерны наибольшие деструктивные проявления при воздействии микотоксинов.

**Заключение.** Наиболее близкие к биологическому контролю ультраструктурные характеристики гепатоцитов были свойственны животным,

получавшим дополнительно к токсическому рациону третий профилактический комплекс, в состав которого входят нанотрубки галлуазита с подтвержденной *in vitro* высокой адсорбционной способностью к афлатоксину В<sub>1</sub>, Т-2 токсину, зеараленону и охратоксину А; β-глюканы, способные связывать широкий спектр микотоксинов; шрот расторопши, богатый витаминами, минералами и антиоксидантными соединениями, стабилизирующими клеточные и субклеточные мембраны, а также метионин, участвующий в детоксикации микотоксинов в печени за счет повышения активности метильных групп [15]. Используемые в опыте первый и второй профилактические комплексы также оказали защитное действие на ультраструктуру гепатоцитов и морфометрические показатели митохондрий крыс, но выраженное в меньшей степени. Таким образом, для дальнейших исследований защитного эффекта при сочетанном микотоксикозе из предложенных нами комбинаций отобран наиболее эффективный третий комплекс препаратов.

#### Список источников

1. Экспериментальный сочетанный микотоксикоз свиней на фоне инфекционной нагрузки / Э.И. Семенов [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2022. Т. 57, № 2. С. 371–383.
2. Баскова Е.Ю. Применение энтеросорбентов на основе нанотехнологий для борьбы с микотоксикозами животных // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2008. Т. 192. С. 234.
3. Козина Е.А., Табаков Н.А. Использование адсорбентов в рационах мышей при скормливании зерна, содержащего микотоксины // Вестник КрасГАУ. 2011. № 7 (58). С. 123–126.
4. Савкова М.Г., Цыренов С.О., Минина Л.А. Цеолиты Шивыртуйского месторождения в предотвращении отрицательного воздействия микотоксинов в рационе кур-несушек // Вестник КрасГАУ. 2010. № 5 (44). С. 86–90.
5. Трemasов М.Я., Матросова Л.Е., Тарасова Е.Ю. Опыт применения пробиотика при микотоксикозах // Вестник ветеринарии. 2009. № 3 (50). С. 38–41.
6. Папуниди Э.К., Трemasов М.Я., Тарасова Е.Ю. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса

- овец при остром и подостром Т-2 микотоксикозе на фоне применения лекарственных средств // Ветеринарный врач. 2010. № 2. С. 21–23.
7. Тарасова Е.Ю. Изыскание средств для лечения животных при Т-2 микотоксикозе: дис. ... канд. биол. наук: 06.02.03; 06.02.02. Казань, 2010. 209 с.
  8. Toxic mechanisms of the trichothecenes T-2 toxin and deoxynivalenol on protein synthesis / J. Li [et al.] // Food and Chemical Toxicology. 2022. № 164. 113044.
  9. Изучение сорбционной активности потенциальных средств профилактики микотоксинов в отношении афлатоксинов / Е.Ю. Тарасова [и др.] // Ветеринарный врач. 2020. № 2. С. 51–58.
  10. Zearalenone and the immune response / C.V. Bulgaru [et al.] // Toxins (Basel). 2021. № 13. P. 248.
  11. Kravchenko L.V., Khvyliya S.I., Levitskaia A.B. Hepatocyte ultrastructure in mice with chronic T-2 mycotoxicosis // Biulleten eksperimentalnoi biologii i meditsiny. 1986. Vol. 102 (10). P. 482–485.
  12. Методические рекомендации по электронно-микроскопическим исследованиям биологических объектов / А.В. Иванов [и др.]. М.: Росинформагротех, 2011. 67 с.
  13. Fiji: An open-source platform for biological-image analysis / J. Schindelin [et al.] // Nature Methods. 2012. № 9 (7). P. 676–682.
  14. Ultrastructural changes of ovarian follicle and corpus luteum after experimental zearalenone mycotoxicosis in bitch / M. Gajęcka [et al.] // Polish Journal of Veterinary Sciences. 2008. Vol. 11 (4). P. 327–337.
  15. Тарасова Е.Ю. Изучение сорбционной активности нанотрубок галлуазита по отношению к зearаленону и охратоксину А // Вестник Марийского государственного университета. Сер. «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2021. Т. 7, № 1. С. 71–76.
  2. Baskova E.Yu. Primenenie `enterosorbentov na osnove nanotehnologij dlya bor'by s mikotoksikozami zivotnyh // Uchenye zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny im. N.Е. Bauman. 2008. T. 192. S. 234.
  3. Kozina E.A., Tabakov N.A. Ispol'zovanie adsorbentov v racionah myshej pri skarmivanii zerna, soderzhaschego mikotoksiny // Vestnik KrasGAU. 2011. № 7 (58). S. 123–126.
  4. Savkova M.G., Cyrenov S.O., Minina L.A. Ceolity Shivyrtujnskogo mestorozhdeniya v predotvraschenii otricatel'nogo vozdejstviya mikotoksinov v racione kur-nesushek // Vestnik KrasGAU. 2010. № 5 (44). S. 86–90.
  5. Tremasov M.Ya., Matrosova L.E., Tarasova E.Yu. Opyt primeneniya probiotika pri mikotoksikozah // Vestnik veterinarii. 2009. № 3 (50). S. 38–41.
  6. Papunidi `E.K., Tremasov M.Ya., Tarasova E.Yu. Veterinarno-sanitarnaya `ekspertiza myasa ovec pri ostrom i podostrom T-2 mikotoksikoze na fone primeneniya lekarstvennyh sredstv // Veterinarnyj vrach. 2010. № 2. S. 21–23.
  7. Tarasova E.Yu. Izyskanie sredstv dlya lecheniya zivotnyh pri T-2 mikotoksikoze: dis. ... kand. biol. nauk: 06.02.03; 06.02.02. Kazan', 2010. 209 s.
  8. Toxic mechanisms of the trichothecenes T-2 toxin and deoxynivalenol on protein synthesis / J. Li [et al.] // Food and Chemical Toxicology. 2022. № 164. 113044.
  9. Izuchenie sorbcionnoj aktivnosti potencial'nyh sredstv profilaktiki mikotoksinov v otnoshenii aflatoksinov / E.Yu. Tarasova [i dr.] // Veterinarnyj vrach. 2020. № 2. S. 51–58.
  10. Zearalenone and the immune response / C.V. Bulgaru [et al.] // Toxins (Basel). 2021. № 13. P. 248.
  11. Kravchenko L.V., Khvyliya S.I., Levitskaia A.B. Hepatocyte ultrastructure in mice with chronic T-2 mycotoxicosis // Biulleten eksperimentalnoi biologii i meditsiny. 1986. Vol. 102 (10). P. 482–485.
  12. Metodicheskie rekomendacii po `elektronno-mikroskopicheskim issledovaniyam biologicheskikh ob`ektov / A.V. Ivanov [i dr.]. M.: Rosinformagroteh, 2011. 67 s.

### References

1. `Eksperimental'nyj sochetannyj mikotoksikoz svinej na fone infekcionnoj nagruzki / `E.I. Semenov [i dr.] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2022. T. 57, № 2. S. 371–383.

13. Fiji: An open-source platform for biological-image analysis / J. Schindelin [et al.] // Nature Methods. 2012. № 9 (7). P. 676–682.
14. Ultrastructural changes of ovarian follicle and corpus luteum after experimental zearalenone mycotoxicosis in bitch / M. Gajęcka [et al.] // Polish Journal of Veterinary Sciences. 2008. Vol. 11 (4). P. 327–337.
15. Tarasova E.Yu. Izuchenie sorbcionnoj aktivnosti nanotrubok galluazita po odnosheniyu k zearalenonu i ohratoksinu A // Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. «Sel'skohozyajstvennye nauki. `Ekonomicheskie nauki». 2021. T. 7, № 1. S. 71–76.

Статья принята к публикации 20.10.2022 / The article accepted for publication 20.10.2022.

Информация об авторах:

**Евгения Юрьевна Тарасова**<sup>1</sup>, заведующая лабораторией ветеринарной санитарии, кандидат биологических наук

**Глеб Сергеевич Кашеваров**<sup>2</sup>, заведующий сектором ультраструктурных исследований, кандидат биологических наук

**Вадим Расимович Сaitов**<sup>3</sup>, старший научный сотрудник сектора ультраструктурных исследований, доктор биологических наук

**Лилия Евгеньевна Матросова**<sup>4</sup>, заведующая лабораторией микотоксинов, доктор биологических наук

Information about the authors:

**Evgenia Yurievna Tarasova**<sup>1</sup>, Head of the Laboratory of Veterinary Sanitation, Candidate of Biological Sciences

**Gleb Sergeevich Kashevarov**<sup>2</sup>, Head of the Ultrastructural Research Sector, Candidate of Biological Sciences

**Vadim Rasimovich Saitov**<sup>3</sup>, Senior Researcher, Ultrastructural Research Sector, Doctor of Biological Sciences

**Liliya Evgenievna Matrosova**<sup>4</sup>, Head of the Laboratory of Mycotoxins, Doctor of Biological Sciences

