

УДК 543.544.53+636.085.3

DOI 10.30914/2411-9687-2023-9-2-162-167

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОРМОВ АФЛАТОКСИНОМ В1

А. З. Мухарлямова

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

Аннотация. Введение. Афлатоксин В1 является одним из распространенных и наиболее токсичных микотоксинов, присутствующим в кормах и пищевых продуктах, который оказывает канцерогенное, тератогенное, эмбриотоксичное, мутагенное и иммуносупрессивное действие. Возможность перехода загрязняющих соединений из кормов в животноводческую продукцию является одной из главных проблем, в связи с чем необходимо осуществлять контроль кормов для сельскохозяйственных животных. **Цель** – установление уровня загрязнения кормов афлатоксином В1. **Материалы и методы.** Для исследований был отобран 41 образец комбикорма, из которых 14 предназначены для кормления свиней, 19 – для птицы и 8 – для крупного рогатого скота. Пробоподготовку образцов осуществляли методом QuEChERS с применением солей хлорида натрия и сульфата магния. На стадии очистки экстракта использовали обращенно-фазовый сорбент С18. Идентификацию афлатоксина В1 проводили методом ВЭЖХ-МС/МС. **Результаты исследований.** В ходе исследования установили значительную разницу в содержании исследуемого токсина в кормах для разных видов животных. Из 41 проанализированного образца 6 проб оказались положительными. Наибольший процент загрязненных образцов приходился на корм, предназначенный для продуктивной птицы, на втором месте – корм для свиней. Следует отметить, что содержание афлатоксина в исследуемых кормах не превышало МДУ. Отметим, что в кормах, предназначенных для КРС, афлатоксина не обнаружено.

Ключевые слова: микотоксины, афлатоксин В1, корма, высокоэффективная жидкостная хроматография, масс-спектрометрия

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Для цитирования: Мухарлямова А. З. Определение уровня загрязнения кормов афлатоксином В1 // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2023. Т. 9. № 2. С. 162–167. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-162-167>

DETERMINATION OF THE LEVEL OF FEED CONTAMINATION WITH AFLATOXIN B1

A. Z. Mukharlyamova

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

Abstract. Introduction. Aflatoxin B1 is one of the most common and the most toxic mycotoxins present in feed and food products, which has carcinogenic, teratogenic, embryotoxic, mutagenic and immunosuppressive effects. The possibility of the transfer of polluting compounds from feed to livestock products is one of the main problems, and therefore it is necessary to control feed for farm animals. **The purpose** is to determine the level of contamination of feed with aflatoxin B1. **Materials and methods.** 41 samples of compound feed were selected for research, of which 14 are intended for feeding pigs, 19 for poultry and 8 for cattle. Sample preparation was carried out by the QuEChERS method using sodium chloride and magnesium sulfate salts. At the stage of extract purification, a reversed-phase sorbent C18 was used. Identification of aflatoxin B1 was carried out by HPLC-MS/MS. **Research results, discussion.** The study found a significant difference in the content of the studied toxin in feed for different animal species. Six samples out of 41 were positive. The largest percentage of contaminated samples was for feed intended for productive poultry, in second place was feed for pigs. It should be noted that the aflatoxin content in the studied feeds did not exceed MAL. It was noted that aflatoxin was not detected in the feed intended for cattle.

Key words: mycotoxins, aflatoxin B1, feed, high-performance liquid chromatography, mass spectrometry

The author declares no conflict of interest.

For citation: Mukharlyamova A. Z. Determination of the level of feed contamination with aflatoxin B1. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*, 2023, vol. 9, no. 2, pp. 162–167. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2023-9-2-162-167>

Введение

Одной из глобальных проблем в животноводстве является плесневение и порча кормов, наиболее частыми причинами которых являются микроскопические грибы и продуцируемые ими микотоксины. Микотоксины загрязняют сельскохозяйственную продукцию на протяжении всего этапа производства (выращивание, уборка, хранение, переработка и транспортировка)¹ [1; 3; 6].

Афлатоксин В1 относится к числу наиболее опасных и часто встречаемых микотоксинов во всем мире, вызывающих ухудшение качества кормов и снижение вкусовых свойств сельскохозяйственной продукции. Из загрязненного корма микотоксин может попадать в ткани животных. Поступая в организм, афлатоксин вызывает поражение печени, почек, репродуктивных органов, пищеварительного тракта, поджелудочной железы, иммунных органов и костей. Взаимодействуя с основными метаболическими путями клетки, исследуемый микотоксин нарушает самые важные ферментативные процессы, включая углеводный и липидный обмен и синтез белка [2; 4; 5; 11; 12]. Индикаторами афлатоксикоза считают следующие изменения биохимических параметров крови: снижение уровня общего белка, альбумина, кальция, фосфора, глобулина, содержания им-

муноглобулинов, также изменение ферментов печени, снижение отношения веса печени к массе тела [7; 8; 9; 10]. Для защиты здоровья человека и уменьшения уровня загрязнения афлатоксином продуктов животного происхождения установлены максимально допустимые уровни данного микотоксина в кормах для животных.

В настоящее время разработаны и применяются различные аналитические методы для контроля концентрации в продуктах питания и кормах остаточных количеств микотоксинов. К традиционным аналитическим подходам относят тонкослойную хроматографию (ТСХ), иммуноферментный анализ (ИФА), высокоэффективную жидкостную хроматографию (ВЭЖХ) в сочетании с ультрафиолетовыми и флуоресцентными детекторами, масс-спектрометрию и газовую хроматографию (ГХ) с детектированием электронного захвата и масс-спектрометрии.

Целью данной исследовательской работы стало установление уровня загрязнения кормов афлатоксином В1.

Материалы и методика исследований

Работа выполнена в лаборатории физико-химического и прецизионного анализа отделения токсикологии ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» (г. Казань). Для исследований был отобран 41 образец комбикорма, из которых 14 предназначены для кормления свиней, 19 – для птицы и 8 – для крупного рогатого скота (КРС). Пробоподготовку образцов осуществляли по следующему способу. В центрифужную пробирку отбирали 1 г гомогенизированного образца и добавляли 10 мл 1% раствора муравьиной кислоты и 10 мл ацетонитрила. Пробирку закрывали и встряхивали на шейкере в течение 30 минут. Затем добавляли 1 г хлорида натрия и 4 г сульфата магния. Пробирку встряхивали и центрифугировали 5 минут при 10000 об/мин. Отбирали 2 мл супернатанта в пробирку, содержащую 0,1 г сорбента С18 и 0,3 г сульфата магния. Встряхивали, центрифугировали и очищенный экстракт выпаривали досуха при температуре не выше 40 °С. К сухому остатку

¹ 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=iconneogis517337382> (дата обращения: 01.02.2023); Тарасова Е. Ю. Изыскание средств для лечения животных при Т-2 микотоксикозе : специальности 06.02.02. «Ветеринарная микробиология, вирусология, эпизоотология, микология с микотоксикологией и иммунология, 06.02.03. «Ветеринарная фармакология с токсикологией» : дис. ... канд. биол. наук / Тарасова Евгения Юрьевна : Федеральное государственное учреждение «Федеральный центр токсикологической и радиационной безопасности животных». Казань, 2010. 209 с. URL: www.dissercat.com/content/izyskanie-sredstv-dlya-lecheniya-zhivotnykh-pri-t-2-mikotoksikoze (дата обращения: 08.02.2023).

добавляли 1 мл 20 % раствора метанола. Непосредственно перед ВЭЖХ-МС/МС-анализом экстракт фильтровали через нейлоновый фильтр с диаметром 0,22 мкм.

Реагенты. Для исследования применяли аналитический стандарт афлатоксина В1 производства «Sigma-Aldrich» (США), ацетонитрил, метанол марки «для хроматографии» «Merck» (Германия), ацетат аммония, муравьиную кислоту марки «х.ч.», сульфат магния (безводный), хлорид натрия «х.ч.», сорбент С18 производства «Agilent», (США). Исходный раствор афлатоксина В1 (1 мг/мл) готовили в метаноле и хранили во флаконе из темного стекла при температуре минус 4 °С. Рабочие стандартные растворы готовили путем последовательного разбавления исходного раствора.

Аппаратура. Применяли жидкостной хроматограф «Dionex UltiMate 3000» «Thermo Fisher Scientific» (США), квадрупольный времяпролетный тандемный масс-спектрометрический (МС) детектор высокого разрешения «Bruker Impact II», электрораспылительный (ESI) источник ионизации «Appolo II» (Bruker Daltonics, Германия), колонку хроматографическую Poroshell 120 EC-C18 (4,6 мм × 100 мм, внутренний диаметр, 2,7 мкм) Agilent Technologies.

Условия хроматографического разделения. Скорость потока элюента составила 0,2 мл/мин.

Элюент А – 5 мМ ацетат аммония. Элюент Б – метанол. Градиентный режим элюирования: 0–1,5 мин – 5 % элюент Б, 1,5–4,5 мин – 100 % элюент Б, 4,5–5,5 мин – 100 % элюент Б, 5,5–8,5 мин – 5 % элюент Б. Для количественной оценки в режиме мониторинга множественных реакций устанавливали напряжение на капилляре равное 4500 В.

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследование направлено на изучение степени загрязнения кормов для животных афлатоксином В1. Уровни исследуемого вещества во всех образцах кормов определяли методом ВЭЖХ-МС/МС при положительном режиме ионизации. Для проведения калибровки отклика детектора жидкостной хроматографии в сочетании с тандемной масс-спектрометрией использовали стандартные растворы афлатоксина В1 в диапазоне концентраций 0,1–10 нг/мл. При применении данного метода хроматографирования калибровочная кривая оказалась линейной в диапазоне 0,5–10 нг/мл. Градуировочная зависимость (площадь аналитического сигнала – концентрация) для афлатоксина В1 представлена на рисунке 1.

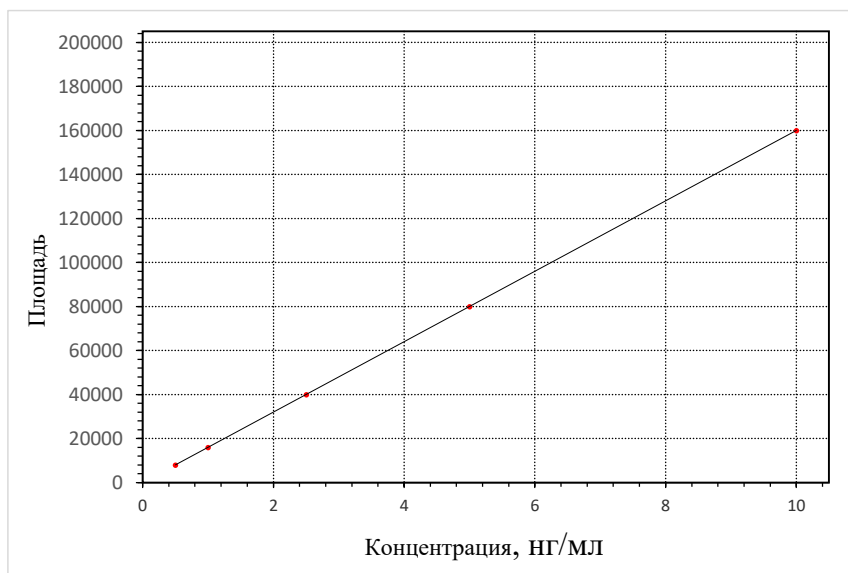


Рис. 1. Градуировочная зависимость для афлатоксина В1 / Fig. 1. Calibration dependence for aflatoxin В1

Предел количественного определения составил 0,15 нг/мл, что полностью удовлетворяет установленным максимально допустимым уровням. Ха-

рактеристики градуировочного графика для афлатоксина В1 представлены в таблице 1. Масс-спектр афлатоксина представлен на рисунке 2.

Таблица 1 / Table 1

Метрологические характеристики градуировочного графика афлатоксина В1 /
Metrological characteristics of the aflatoxin B1 calibration graph

Время удерживания, t_R , мин / Retention time, t_R , min	Ион-предшественник, $[M+H]^+$, $[M+Na]^+$, m/z / Ion-precursor, $[M+H]^+$, $[M+Na]^+$, m/z	Ион-фрагмент, m/z / Ion fragment, m/z	Уравнение градуировочного графика / Calibration graph equation	Коэффициент корреляции, r^2 / Correlation coefficient, r^2
6,3	313 335	285	$y = 837,65x + 38,76$	0,9996

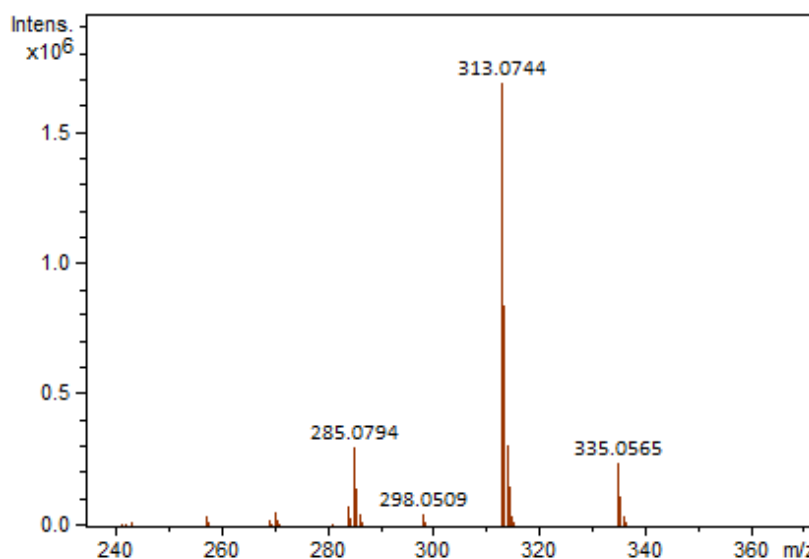


Рис. 2. Масс-спектр афлатоксина В1 / Fig. 2. Aflatoxin B1 mass spectrum

Концентрацию афлатоксина В1 в каждом образце экстракта анализировали в трех повторностях. Данные, представленные в таблице 2, выражены в виде средних значений трехкратных определений. Аналитические сигналы микоток-

синов, полученные при хроматографическом анализе экстрактов образцов кормов, были идентифицированы по времени удерживания и количеству иону со стандартным раствором афлатоксина.

Таблица 2 / Table 2

Результаты определения остаточных количеств афлатоксина В1
в кормах для животных методом ВЭЖХ-МС/МС / Results of determination of residual amounts
of aflatoxin B1 in animal feed by HPLC-MS/MS

Объект исследования / Object of study		Найдено, мг/кг / Found, mg/kg	МДУ, мг/кг / MAL, mg/kg
Корм для свиней	Образец № 6	$(0,41 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$	0,05
	Образец № 27	$(0,73 \pm 0,01) \cdot 10^{-2}$	
Корм для птицы	Образец № 3	$(0,52 \pm 0,01) \cdot 10^{-2}$	0,02
	Образец № 11	$(0,34 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$	
	Образец № 16	$(0,81 \pm 0,02) \cdot 10^{-3}$	
	Образец № 34	$(0,12 \pm 0,01) \cdot 10^{-2}$	

По результатам проведенных исследований выявили, что 14,6 % из всех исследуемых об-

разцов содержали остаточные количества афлатоксина В1. Установили, что наибольшее число

загрязненных образцов приходится на корм, предназначенный для птицы. Из 19 образцов афлатоксин был обнаружен в 21,1 % проб. Из 14 образцов корма для свиней афлатоксином были загрязнены 14,3 %. Следует отметить, что уровень токсина в исследуемых кормах не превышал установленные МДУ. В образцах корма, предназначенного для КРС, остаточных количеств афлатоксина не обнаружено.

Выявление афлатоксина в кормах, возможно, связано с грибковым поражением сельскохозяйственных культур или использованием в качестве кормовых компонентов заплесневелого зерна и фуража. При загрязнении кормов выше МДУ производитель, как правило, сталкивается с проблемой его утилизации либо проводит обработку загрязненного корма для снижения содержания токсичности до приемлемого уровня. Необходимо учитывать, что потребление животными кормов, загрязненными даже незначитель-

ными концентрациями афлатоксина В1, может привести к снижению конверсии корма, продуктивности и устойчивости к заболеваниям животных, и, как следствие, понижению качества животноводческой продукции.

Заключение

Проведено исследование экстрактов 41 образца корма для животных методом ВЭЖХ-МС/МС на наличие или отсутствие остаточных количеств афлатоксина В1. Выявили, что 14,6 % из исследуемых образцов оказались загрязнены данным микотоксином. Наибольшее количество загрязненных образцов приходится на корм, предназначенный для продуктивной птицы. При этом результаты настоящего исследования показали, что уровень микотоксина во всех образцах не превысил предел загрязнения, установленный нормативной документацией. В кормах, предназначенных для КРС, афлатоксин В1 не обнаружен.

1. 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. 192–234. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-sorbtsionnoy-aktivnosti-biosorbentov-po-otnosheniyu-k-fumonizinu-v1> (дата обращения: 02.02.2023).

2. Грибы рода *Aspergillus* – возбудители болезней животных и птиц: монография / Р. М. Потехина, Е. Ю. Тарасова, Л. Е. Матросова и др. / Казань, 2020. 121 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44896529> (дата обращения: 02.02.2023).

3. Диагностика и ветеринарная помощь при отравлениях животных (Общие принципы) / А. М. Трemasова, И. И. Идиятов, Э. И. Семёнов, и др. / Казань, 2022. 236 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49911782>

4. Мухарлямова А. З., Трemasова А. М. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса поросят при афлатоксикозе и на фоне лечения // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2020. № 22. С. 474–476. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44611006_10794808.pdf (дата обращения: 01.02.2023).

5. Мухарлямова А. З. Определение уровня афлатоксина В1 и витамина А при афлатоксикозе кроликов // Вестник Марийского государственного университета. Серия: «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2020. Т. 6. № 2 (22). С. 187–193. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-187-192>

6. Случаи массового отравления животных, птиц и рыб в некоторых регионах российской федерации и стран СНГ / Семёнов Э. И., Трemasова А. М., Матросова Л. Е., и др. // Ветеринария. 2021. № 8. С. 39–44. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.8.39-44>

7. Bondy G. S., Pestka J. J. Immunomodulation by fungal toxins // Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B: Critical Reviews. 2000. Vol. 3 (2). Pp. 109–143. DOI: <https://doi.org/10.1080/109374000281113>

8. Fink-Gremmels J. The role of mycotoxins in the health and performance of dairy cows // Veterinary Journal. 2008. Vol. 176 (1). Pp. 84–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.034>

9. Mukharlyamova A. Z., Tremasova A. M., Balymova M. V., Tanaseva S. A., Saifutdinov A. M., Semenov E. I. Application of retinyl acetate in rabbit aflatoxicosis // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2019. Vol. 11. Pp. 545–548. URL: <https://www.jpsr.pharmainfo.in/Documents/Volumes/vol11issue02/jpsr11021951.pdf> (дата обращения: 07.02.2023).

10. Mukharlyamova A. Z., Tremasova A. M., Mukhammetshina A. G. et al. The Complex Effect of Retinyl Acetate and Zeolite on the Resistance of Rabbits With Aflatoxicosis // Systematic Reviews in Pharmacy. 2021. Vol. 12. No. 3. Pp. 251–253. DOI: <https://doi.org/10.31838/srp.2021.3.40>

11. Raju M. V., Rama Rao S. V., Radhika K., Panda A. K. Effect of amount and source of supplemental dietary vegetable oil on broiler chickens exposed to aflatoxicosis // Br. Poult. Sci. 2005. Vol. 46. Pp. 587–594. DOI: <https://doi.org/10.1080/00071660500255968>

12. Rashidi N., Khatibjoo A., Taherpour K., Akbari-Gharai M., Shirzadi H. Effects of licorice extract, probiotic, toxin binder and poultry litter biochar on performance, immune function, blood indices and liver histopathology of broilers exposed to aflatoxin-B(1) // Poult. Sci. 2020. Vol. 99. Pp. 5896–5906. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.034>

Статья поступила в редакцию 04.05.2023 г.; одобрена после рецензирования 07.06. 2023 г.; принята к публикации 14.06.2023 г.

Об авторах

Мухарьямова Айсылу Завдатовна

аспирант, научный сотрудник лаборатории физико-химического и прецизионного анализа, Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности (420075, Российская Федерация, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3847-2084>, muharlyamova82@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

1. Baskova E. Yu. Primenenie enterosorbentov na osnove nanotekhnologii dlya bor'by s mikotoksikozami zivotnykh [Study of sorption activity of biosorbents in relation to fumonisin B1]. *Uchenye zapiski Kazanskoi gosudarstvennoi akademii veterinarnoi meditsiny im. N. E. Baumana* = Scientific notes of Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine, 2008, vol. 192, pp. 192–234. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-sorbtsionnoy-aktivnosti-biosorbentov-po-otnosheniyu-k-fumonizinu-v1> (accessed 02.02.2023) (In Russ.).
2. Potekhina R. M., Tarasova E. Yu., Matrosova L. E. et al. Griby roda *Aspergillus* – vzbuditeli boleznei zivotnykh i ptits: monografiya [Fungi of the genus *Aspergillus* – pathogens of animal and bird diseases: monograph]. Kazan, 2020, 121 p. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44896529> (accessed 02.02.2023). (In Russ.).
3. Tremasova A. M., Idiyatov I. I., Semenov E. I. et al. Diagnostika i veterinarnaya pomoshch' pri otravleniyakh zivotnykh (Obshchie printsipy) : monografiya [Diagnostics and veterinary care for animal poisoning (General principles): monograph]. Kazan, 2022. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49911782> (accessed 02.02.2023). (In Russ.).
4. Mukharlyamova A. Z., Tremasova A. M. Veterinarno-sanitarnaya ekspertiza myasa porosyat pri aflatoksikozе i na fone lecheniya [Veterinary and sanitary examination of piglet meat with aflatoxicosis and on the background of treatment]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaistva* = Topical issues of improving the technology of production and processing of agricultural products, 2020, no. 22, pp. 474–476. Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44611006_10794808.pdf (accessed 01.02.2023). (In Russ.).
5. Mukharlyamova A. Z. Opredelenie urovnya aflatoksina B1 i vitamina A pri aflatoksikozе krolikov [Determination of aflatoxin B1 and vitamin A levels in aflatoxicosis of rabbits]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskije nauki* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics". 2020, vol. 6, no. 2, pp. 187–192. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-187-192>
6. Semenov E. I., Tremasova A. M., Matrosova L. E., Kadikov I. R. et al. Sluchai massovogo otravleniya zivotnykh, ptits i ryb v nekotorykh regionakh rossiiskoi federatsii i stran SNG [Cases of mass poisoning of animals, birds and fish some regions of the Russian Federation and the CIS countries]. *Veterinariya* = Veterinary Medicine, 2021, no. 8, pp. 39–44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.8.39-44>
7. Bondy G. S., Pestka J. J. Immunomodulation by fungal toxins. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B: Critical Reviews*, 2000, vol. 3 (2), pp. 109–143. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1080/109374000281113>
8. Fink-Gremmels J. The role of mycotoxins in the health and performance of dairy cows. *Veterinary Journal*, 2008, vol. 176 (1), pp. 84–92. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.12.034>
9. Mukharlyamova A. Z., Tremasova A. M., Balyмова M. V., Tanaseva S. A., Saifutdinov A. M., Semenov E. I. Application of retinyl acetate in rabbit aflatoxicosis. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2019, vol. 11, pp. 545–548. (In Eng.). Available at: <https://www.jpsr.pharmainfo.in/Documents/Volumes/vol11issue02/jpsr11021951.pdf> (accessed 07.02.2023).
10. Mukharlyamova A. Z., Tremasova A. M., Mukhammetshina A. G. et al. The complex effect of retinyl acetate and zeolite on the resistance of rabbits with aflatoxicosis. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 2021, vol. 12, no. 3, pp. 251–253. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.31838/srp.2021.3.40>
11. Raju M. V., Rama Rao S. V., Radhika K., Panda A. K. Effect of amount and source of supplemental dietary vegetable oil on broiler chickens exposed to aflatoxicosis. *Br. Poult. Sci.*, 2005, vol. 46, pp. 587–594. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1080/00071660500255968>
12. Rashidi N., Khatibjoo A., Taherpour K., Akbari-Gharaei M., Shirzadi H. Effects of licorice extract, probiotic, toxin binder and poultry litter biochar on performance, immune function, blood indices and liver histopathology of broilers exposed to aflatoxin-B(1). *Poult. Sci.*, 2020, vol. 99, pp. 5896–5906. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.034>

The article was submitted 04.05.2023; approved after reviewing 07.06.2023; accepted for publication 14.06.2023.

About the authors

Aisylu Z. Mukharlyamova

Postgraduate student, Junior Researcher at the Laboratory of Physico-Chemical and Precision Analysis, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3847-2084>, muharlyamova82@mail.ru

The author has read and approved the final manuscript.