

УДК: 619:616-076

DOI:10.52419/issn2072-2419.2025.2.215

АДАПТАЦИЯ ИФА НАБОРА ПРОДОКСИН-АФЛАТОКСИН В₁ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ АФЛАТОКСИНА В₁ В ОРГАНАХ СВИНЕЙ

Панковец Е.М.* – магистр ветеринар. наук, асс. каф. анатомии животных (ORCID 0000-0001-8482-700X); **Лях А.Л.** – канд. ветеринар. наук, зав. каф. анатомии животных (ORCID 0000-0003-1255-4863).

УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия
ветеринарной медицины»

* pankovec.evgeniii@gmail.com

Ключевые слова: адаптация, микотоксины, афлатоксин В₁, иммуноферментный анализ.

Key words: adaptation, mycotoxins, aflatoxin В₁, enzyme immunoassay.

Финансирование: Материалы подготовлены в рамках научно-исследовательской работы по теме «Патоморфогенез микотоксикозной полиорганной недостаточности у свиней в онтогенезе».

Поступила: 25.03.2025

Принята к публикации: 06.06.2025

Опубликована онлайн: 20.06.2025



РЕФЕРАТ

Микотоксины являются группой биологически активных веществ, попадание которых в организм сельскохозяйственных животных невозможно предотвратить полностью. В статье приводятся результаты экспериментальных исследований по адаптации набора ПРОДОКСИН ИФА-Афлатоксин В₁ для определения концентрации афлатоксина В₁ в гомогенатах печени свиней. В процессе пробоподготовки, печень гомогенизировалась и случайным образом делилась на навески массой 5 грамм. Методика основана на постановке прямого конкурентного иммуноферментного анализа, принцип действия которого заключается в избирательном связывании специфического антигена с антителом, который под действием фермента, в составе связанного с антителами конъюгата, превращается в окрашенный продукт. Суть комплекса мероприятий по адаптации данного метода заключается в использовании методики по поиску антигенов не в заявленном в инструкции растительном сырье, а в органах свиней. В статье приводятся подробные данные по пробоподготовке органов к исследованию, расчетам дозирования афлатоксина В₁, вносимых в гомогенат печени, а также описываются этапы постановки иммуноферментного анализа. Полученные в ходе эксперимента данные, по адаптации ИФА-набора для определения концентрации афлатоксина В₁ не только в растительном сырье, но и в гомогенатах печени свиней, позволяют сделать ряд выводов, где прямой конкурентный ИФА может быть использован в составе комплексной диагностики микотоксикозов в условиях сельскохозяйственных предприятий как экспресс метод для качественной (афлатоксин В₁ есть в органе/афлатоксина В₁ в органе нет) оценки

наличия афлатоксина В₁ в органах свиней. Так же учитывая погрешность измерения от 0 до 28% данный метод позволяет дать полуколичественную оценку содержания афлатоксина В₁ в гомогенате печени свиней. Так же мы отметили, чем ниже объем Афлатоксина В₁, вносимый в гомогенат печени, тем меньше погрешность при определении данных концентраций методом прямого конкурентного ИФА.

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Микотоксины являются группой биологически активных веществ, попадание которых в организм сельскохозяйственных животных невозможно предотвратить полностью. Современные технологии кормозаготовки позволяют снизить концентрацию микотоксинов, а в случае обнаружения их в кормах специализированными диагностическими тестами, такими как иммуноферментный анализ (ИФА), высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) и другие, минимизировать неизбежный ущерб за счет введения сорбентов [1]. Во многих странах, в том числе в Республике Беларусь разработаны нормативные документы, в которых установлены предельно допустимые уровни (ПДУ) самых часто встречаемых микотоксинов в кормах. Однако данные нормативные документы не являются совершенными, так как регулируют довольно узкий спектр известных микотоксинов, а ПДУ данных микотоксинов не учитывают время поступления того или иного микотоксина в организм животных. Учитывая ряд вышенаписанных особенностей регулирования содержания микотоксинов в кормах, а также уже известные биологические особенности влияния микотоксинов на организм животных (кумулятивный эффект, синергизм и потенцирование патологических эффектов различных микотоксинов, термостабильность и практически полное отсутствие патогномоничных клинических симптомов при хроническом воздействии низких доз микотоксинов), существует высокая потребность в поиске новых диагностических возможностей [2]. Действительно, на протяжении последних лет отечественными учеными предпринимались попытки определения клинических, патологоанатомических и биохимических изменений в организме животных под действием микотоксинов [3,4]. Однако, определение

концентрации того или иного микотоксина только в корме и в последующем описание патологических изменений, выявленных в организме животного, которому этот корм скармливался, является недостаточной. Ведь не учитывается такой фактор как биодоступность, то есть какое именно количество микотоксина из общей концентрации воздействует на органы мишени, а сколько микотоксина выделилось из организма или инактивировалось в процессе метаболизма. Только выявляя концентрации микотоксинов в органах можно проследить стадийность патологоанатомических признаков, дозозависимые эффекты, а также определить, как влияют сверхнизкие концентрации микотоксинов поступающие в организм длительное время.

Для осуществления скрининговых исследований по определению микотоксинов в органах, наиболее подходящим из известных методов является ИФА, как менее дорогостоящий по сравнению с ВЭЖХ. Однако следует учитывать более низкую чувствительность и специфичность ИФА в сравнении с хроматографическими методиками. В зарубежных литературных источниках встречаются данные по определению отдельных микотоксинов в органах и биологических жидкостях с использованием ИФА в сравнении с ВЭЖХ, которые описывают возможность получения достоверных данных как при использовании хроматографических методов, так и ИФА [5,6]. При этом в Республике Беларусь не существует валидированной методики по проведению подобных исследований. Цель данной статьи показать результаты опыта по адаптации метода определения афлатоксина В₁ в комбикорме для определения афлатоксина В₁ в гомогенатах печени при помощи ИФА.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Адаптация метода – это комплекс мероприятий, позволяющих усовершенствовать определенную, уже существующую, лабораторную методику и использовать ее для выполнения других задач. В качестве лабораторного метода по определению микотоксинов в органах и тканях, был выбран прямой конкурентный иммуноферментный анализ, как более распространенный и доступный метод в большинстве лабораторий страны. Тесты проводились с использованием набора ПРОДОСКРИН ИФА-Афлатоксин В₁, предназначенный для детекции афлатоксина В₁ в комбикормах, разработанный институтом биоорганической химии НАН Беларуси (рисунок 1).



Рисунок 1 – Набор ПРОДОСКРИН
ИФА-Афлатоксин В₁.



Рисунок 2 – Образцы печени
в процессе пробоподготовки.

Основным исследуемым материалом являлся образец печени свиньи, так как именно печень является основным органом мишенью для афлатоксина В₁ [7]. Материал (печень целиком) отбирали от одного животного на убойном пункте. В процессе пробоподготовки, печень гомогенизировалась и случайным образом делилась на навески массой 5 грамм (рисунок 2).

После этого в каждый образец добавлялся стандарт афлатоксина В₁ (Trilogy 25 мкг\мл, с заявленной в инструкции погрешностью +/- 1,96 мкг\мл, объём 10 мл) (рисунок 3) в следующих объемах (таблица 1).

Вышеописанные концентрации стандарта были выбраны исходя из чувствительности данного метода (2 мкг\кг). Также проводилось тестирование набора сверх диапазона измерения (предел обнаружения Афлатоксина В₁ методом ИФА от 2 мкг\кг до 50 мкг\кг), указанного в инструкции (100 мкг\кг и 250 мкг\кг соответственно). Контролем выступали образцы гомогената печени без внесения стандарта, а также образец чистого стандарта в концентрации 50 мкг\кг без тканей печени. Необходимый объём вносимого стандарта Афлатоксина В₁ в гомогенат печени рассчитывали согласно следующей формулы:

Для концентрации 5 мкг\кг:

1 кг гомогената печени – 5 мкг афлатоксина В₁

0,005 кг гомогената печени (5 грамм) – **0,025 мкг** афлатоксина В₁

2) 1 мл (1000 мкл) стандарта – 25 мкг афлатоксина В₁

1 мкл стандарта – 0,025 мкг афлатоксина В₁

Чтобы получить концентрацию афлатоксина В₁ 5 мкг\кг в навеске печени 5 г, необходимо внести 1 мкл аналитического стандарта афлатоксина В₁ (рисунок 4). Для эмпирического создания в гомогенатах печени концентрации 25, 40, 50, 100 и 250 мкг\кг использовали аналогичные расчеты.

Таблица 1 – Объем вносимого стандарта Афлатоксина В₁ и эмпирически получаемая концентрация микотоксина в гомогенате печени свиньи

Объем вносимого стандарта Афлатоксина В ₁ , мкл	Концентрация Афлатоксина В ₁ , эмпирически создаваемая в гомогенате печени массой 5 грамм, мкг\кг
1	5
5	25
8	40
10	50
20	100
50	250

Далее проводилась постановка прямого конкурентного ИФА согласно стандартной инструкции к набору: афлатоксин В₁ экстрагируют из гомогената раствором метанол/вода в соотношении 70/30. В лунки планшета для предварительного смешивания вносят конъюгат афлатоксина В₁ с пероксидазой из корней хрена, добавляют градуировочные растворы с известной концентрацией афлатоксина В₁ или подготовленные к анализу растворы проб и аликвоты полученной смеси переносят в лунки планшетного иммуносорбента. Во время последующей инкубации афлатоксин В₁ в составе градуировочного раствора или анализируемой пробы конкурирует с конъюгатом за связывание с антителами, иммобилизованными на внутренней поверхности лунок иммуносорбента. После промывки, в ходе которой из лунок удаляют не прореагировавшие с антителами микотоксины, добавляют хромоген-субстратный раствор, который под действием фермента в составе, связанного с антителами конъюгата превращается в окрашенный продукт. Интенсивность окраски обратно пропорциональна концентрации афлатоксина В₁ в анализируемом образце или градуировочном растворе, т.е. чем больше содержится афлатоксина В₁, тем меньше конъюгата связывается с антителами на твердой фазе. Затем добавляют стоп-реагент, останавливающий ферментативную реакцию и одновременно изменяющий окраску раствора с голубой на желтую. Интенсивность окрашивания раствора в лунках измеряют на многоканальном

планшетном фотометре как величину оптической плотности, выраженную в оптических единицах (о.е.), при длине волны 450 нм. На основании значений оптической плотности компьютерная программа строит градуировочный график и автоматически рассчитывает концентрации афлатоксина В₁ в исследуемых образцах [9].

Для оценки взаимосвязи между вносимым в гомогенат печени объемом микотоксина и получаемой концентрацией афлатоксина В₁ при помощи ИФА, был рассчитан коэффициент корреляции Пирсона (r) и p-значение.



Рисунок 3 – Стандарт Афлатоксина В₁, 25 мкг\мл, 10 мл.



Рисунок 4 – Этапы пробоподготовки. Внесение стандарта в гомогенат печени свиньи.

РЕЗУЛЬТАТЫ/ RESULTS

В таблице 2 представлены полученные концентрации Афлатоксина В₁ в гомогенатах печени в ходе проведения иммуноферментного анализа с добавлением заведомо известного количества микотоксина. Анализируя выявленные значения, следует отметить, что существует ряд определенных, статистически значимых закономерностей (рисунок 5).

Действительно, при повышении количества вводимого микотоксина в печень, повышаются определяемые ИФА значения, содержащиеся в полученных экстрактах исследуемой печени ($r = 0.98$, $p < 0.04$). Концентрация 250 мкг\кг не вошла в расчет линейной корреляции, т.к. получены недостоверные результаты измерений.

При этом существуют некоторые отклонения между внесенной и определяемой при помощи ИФА концентрацией афлатоксина В₁. При внесении в гомогенат печени 25, 40 и 50 мкг\кг афлатоксина В₁, получили 35, 51,2 и 56,9 мкг\кг соответственно, что на 28,6%, 21,9% и 12,1% превышает концентрацию вносимого стандарта. При оценке контрольного образца, такого как чистый гомогенат печени без добавления стандарта микотоксина получили 2,1 мкг\кг афлатоксина В₁. Другой контрольный образец, без тканей печени, показал 69,4 мкг\кг афлатоксина В₁, что на 28 % превышает исходную объем

вносимого стандарта 50 мкг\кг. Данные отклонения можно объяснить следующим образом:

1) Заявленной производителем погрешностью $\pm 1,96$ мкг\мл аналитического стандарта афлатоксина В₁ используемого в эксперименте, что составляет $\pm 7,84\%$ от 25 мкг\мл.

2) Дополнительное содержание афлатоксина В₁ в гомогенате печени свиньи до внесения аналитического стандарта приводит к увеличению результатов при проведении ИФА.

3) Согласно свидетельству о метрологической пригодности методики выполнения измерений № 1064МПП/2017 «Определение массовой доли афлатоксина В₁ в зерне, зернобобовых и масличных культурах с использованием набора реагентов «ИФА-АФЛАТОКСИН»», относительная расширенная неопределенность (величина, которая характеризует разброс измеряемых значений относительной истинного показателя) составила от 16% до 26% в зависимости от группы продуктов.

Важным наблюдением является то, что более низкие объемы вносимого стандарта (близкие к нижнему порогу диапазона измерений от 2 до 50 мкг\кг), позволяют получать более точные измерения при постановке ИФА с минимальными отклонениями (при внесении в гомогенат печени 5 мкг\кг афлатоксина В₁, при измерении получили аналогичное значение 5 мкг\кг). Учитывая, что основной целью данного исследования являлся поиск новых диагностических возможностей при субклинических микотоксикозах, которые развиваются при длительном поступлении в организм сверхнизких доз микотоксинов, метод прямого конкурентного ИФА является перспективным в данном направлении.

Таблица 2 – Результаты эксперимента по адаптации ИФА метода по определению афлатоксина В₁ в гомогенате печени свиньи

№ п\п	Концентрация стандарта внесенная в гомогенат печени, мкг\кг	Масса пробы печени, г/объем вносимого стандарта, мкл	Фактически полученные значения после постановки ИФА, мкг\кг
1	5,0	5,0/1	5,0
2	25,0	5,0/5	35,0
3	40,0	5,0/8	51,2
4	50,0	5,0/10	56,9
4	100	5,0/20	99,7
4	250	5,0/50	98,9
4	Печень без стандарта	5,0/0	2,1
4	50,0 стандарта, без тканей печени	0/50	69,4

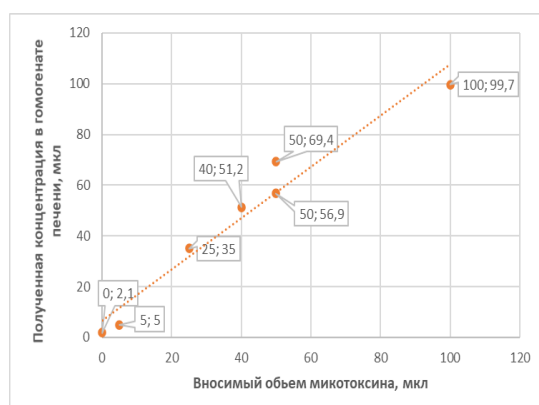


Рисунок 5 – Линейная зависимость определенной при помощи ИФА концентрации микотоксина, от введенного объема афлатоксина В₁ в гомогенат печени свиньи

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Полученные в ходе эксперимента данные, по адаптации ИФА-набора для определения концентрации афлатоксина В₁ не только в растительном сырье, но и в гомогенатах печени свиней, позволяют сделать ряд выводов:

1. Прямой конкурентный ИФА может быть использован в составе комплексной диагностики микотоксикозов в условиях сельскохозяйственных предприятий как экспресс метод для качественной (афлатоксин В₁ есть в органе\афлатоксина В₁ в органе нет) оценки наличия афлатоксина В₁ в органах свиней.

2. Учитывая погрешность измерения от 0 до 28% данный метод позволяет дать полуколичественную оценку содержания афлатоксина В₁ в гомогенате печени сви-

ней.

3. Чем ниже объем Афлатоксина В₁, вносимый в гомогенат печени, тем меньше погрешность при определении данных концентраций методом прямого конкурентного ИФА.

ADAPTATION OF THE PRODOX-IN-AFLATOXIN B₁ ELISA KIT FOR DETERMINING AFLATOXIN B₁ CONCENTRATION IN PIGS' ORGANS

Pankovets E.M.* – Master of Veterinary Sciences, Assistant of the Department of Animal Anatomy (ORCID 0000-0001-8482-700X); **Lyah A.L.** – Candidate of Veterinary Sciences, Head of the Department of Animal Anatomy (ORCID 0000-0003-1255-4863).

Educational Establishment "Vitebsk

State Awarded the "Badge of Honor" Order
Veterinary Medicine Academy"

* Pankovec.evgeniii@gmail.com

Financing: *The materials were prepared as part of the research work on the topic "Pathomorphogenesis of mycotoxicosis multiple organ failure in pigs during ontogenesis".*

ABSTRACT

Mycotoxins are a group of biologically active substances, the penetration of which into the organism of farm animals cannot be completely prevented. The article presents the results of experimental studies on the adaptation of the PRODOSCREEN IFA-Aflatoxin B1 kit for determining the concentration of aflatoxin B1 in pig liver homogenates. The material (whole liver) was collected from one animal at a slaughterhouse. During sample preparation, the liver was homogenized and randomly divided into 5-gram portions. The technique is based on the formulation of a direct competitive enzyme immunoassay, the principle of which is the selective binding of a specific antigen to an antibody, which, under the action of an enzyme, as part of an antibody-bound conjugate, turns into a colored product. The essence of the set of measures for the adaptation of this method is to use the technique for searching for antigens not in the plant materials declared in the instructions, but in the organs of pigs. The article provides detailed data on the preparation of organ samples for the study, calculations of aflatoxin B1 dosages introduced into the liver homogenate, and describes the stages of setting up an enzyme immunoassay. The data obtained during the experiment on the adaptation of the ELISA kit for determining the concentration of aflatoxin B1 not only in plant materials, but also in pig liver homogenates, allow us to draw a number of conclusions where direct competitive ELISA can be used as part of a comprehensive diagnosis of mycotoxicoses in agricultural enterprises as an express method for qualitative (aflatoxin B1 is in the organ / aflatoxin B1 is not in the

organ) assessment of the presence of aflatoxin B1 in pig organs. Also, taking into account the measurement error from 0 to 28%, this method allows for a semi-quantitative assessment of the content of aflatoxin B1 in pig liver homogenate. We also noted that the lower the volume of Aflatoxin B1 introduced into the liver homogenate, the lower the error in determining these concentrations using the direct competitive ELISA method.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Науменко Н. В., Ботвинникова В. В., Сотникова В., Грживна Л., Белоглазова Н. В. Микотоксины и безопасность продуктов питания: явные и скрытые угрозы // Вестник ЮжноУральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2020. № 1. – С. 105-111. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikotoksiny-i-bezopasnost-produktov-pitaniya-yavnye-i-skrytye-ugrozy/viewer>
2. Солдатенко, Н. А. Роль микотоксинов в этиологии массовых заболеваний свиней / Н. А. Солдатенко, Л. Н. Фетисов, Н. В. Стрельцов, В. А. Русанов, А. В. Коваленко // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы ветеринарного обеспечения Российского животноводства». – Новочеркасск. – 2010. – С. 112-118.
3. Иваницкий М. Е., Ображей А. Ф., Рухляда В. В., Котик А. Н. Патоморфологическая диагностика микотоксикозов свиней // Материалы Всероссийской научно-методической конференции патологоанатомов ветеринарной медицины: Сб. науч. тр. / ОГМА. – Омск. – 2000. С. 85.
4. Григорян А. В., Карапетян А. Ф., Дживанян К. А. Об особенностях гистоморфологии печени при поступлении с кормом микотоксинов. // Успехи медицинской микологии. – Т.12. – Национальная академия микологии. – 2014. – С. 166-168.
5. Панковец, Е. М. Использование иммуноферментного анализа для определения концентрации микотоксинов в органах, тканях и биологических жидкостях (обзор) / Е. М. Панковец, А. Л. Лях // Актуальные проблемы лечения и профилак-

тики болезней молодняка: материалы Международной научно-практической конференции (Витебск, 2-4 ноября 2020 г.) / Витебская государственная академия ветеринарной медицины, Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии. – Витебск: ВГАВМ. – 2020. – С. 104-108. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44579081>

6. Сайфутдинов, А. М. Определение микотоксинов в органах и тканях животных методом хромато-масс-спектрометрии / А. М. Сайфутдинов, Д. Н. Бузюрова, И. М. Фицев // Современные проблемы экспериментальной и клинической токсикологии, фармакологии и экологии: Сборник тезисов докладов Международной научно-практической конференции, Казань, 09-10 сентября 2021 года. – Казань: Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности. – 2021. – С. 133-135. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48038786>

7. Чернова А.В., Петроченкова А.В. Современные методы определения контаминации молока афлатоксином М1 // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2022. – Т. 62, № 4. – С. 25-33.

8. Sun L.H., Lei M.Y., Zhang N.Y., Gao X., Li C., Krumm C.S., Qi D.S. Individual and combined cytotoxic effects of aflatoxin B1, zearalenone, deoxynivalenol and fumonisin B1 on BRL 3A rat liver cells. *Toxicon*, – 2015, – P. 6-12. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25549941/>

9. Вашкевич И. И., Терентьева Т. В., Корнилович Г. С., Сухенко Л. Н., Шибeko А. И., Свиридов О. В. Новый набор реагентов для иммуноферментного определения афлатоксина в1 в кормах и пищевых продуктах // Вестник национальной академии наук Беларуси. Серия: Химические науки. – 2016. – № 2. – С. 69-76. Режим Доступа: https://vestichem.belnauka.by/jour/article/view/196?locale=ru_RU

REFERENCES

1. Naumenko N.V., Botvinnikova V.V., Sotnikova V., Grzhivna L., Beloglazova N.V.

Mycotoxins and food safety: obvious and hidden threats // Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. – 2020. No. 1. – P. 105-111. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikotoksiny-i-bezopasnost-produktov-pitaniya-yavnye-iskrytye-ugrozy/viewer> (in Russ.).

2. Soldatenko N.A. The role of mycotoxins in the etiology of mass diseases of pigs / N.A. Soldatenko, L.N. Fetisov, NV Streltsov, VA Rusanov, AV Kovalenko // Materials of the All-Russian Scientific Conference «Actual problems of veterinary support of Russian livestock». – Novocherkassk. – 2010. – P. 112-118

3. Ivanitsky M.E., Obrazhey A.F., Rukhlyada V.V., Kotik A.N. Pathomorphological diagnostics of mycotoxicoses in pigs // Proceedings of the All-Russian scientific and methodological conference of pathologists of veterinary medicine: Collection of scientific papers / OSMU. – Omsk. – 2000. – P. 85. (in Russ.).

4. Grigoryan A.V., Karapetyan A.F., Dzhivanyan K.A. On the features of liver histomorphology upon intake of mycotoxins with feed. // *Advances in Medical Mycology*. – V.12. – National Academy of Mycology, 2014. – P. 166-168. (in Russ.).

5. Pankovets, E. M. Use of enzyme-linked immunosorbent assay to determine the concentration of mycotoxins in organs, tissues and biological fluids (review) / E. M. Pankovets, A. L. Lyakh // Actual problems of treatment and prevention of diseases of young animals: materials of the International scientific and practical conference (Vitebsk, November 2-4, 2020) / Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, Russian Research Veterinary Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy. – Vitebsk: VGAVM, – 2020. – P. 104-108. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44579081> (in Russ.).

6. Saifutdinov, A. M. Determination of mycotoxins in animal organs and tissues by chromatography-mass spectrometry / A. M. Saifutdinov, D. N. Buzyurova, I. M. Fitsev // Modern problems of experimental and clinical toxicology, pharmacology and ecology: Collection of abstracts of reports of the In-

ternational scientific and practical conference, Kazan, September 9-10, – 2021. – Kazan: Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, – 2021. – P. 133-135. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48038786> (in Russ.).

7. Chernova A.V., Petrochenkova A.V. Modern methods for determining the contamination of milk with aflatoxin M1. Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. – 2022. – T. 62, № 4 – P. 25-33. (in Russ.).

8. Sun L.H., Lei M.Y., Zhang N.Y., Gao X., Li C., Krumm C.S., Qi D.S. Individual and combined cytotoxic effects of aflatoxin B1,

zearalenone, deoxynivalenol and fumonisin B1 on BRL 3A rat liver cells. Toxicon, 2015, – P. 6-12 URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25549941/>

9. Vashkevich I. I., Terentyeva T. V., Kornilovich G. S., Sukhenko L. N., Shibeko A. I., Sviridov O. V. New set of reagents for enzyme-linked immunosorbent assay of aflatoxin B1 in feed and food products // Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Series: Chemical Sciences. – 2016. – № 2. – P. 69-76. URL: https://vestichem.belnauka.by/jour/article/view/196?locale=ru_RU (in Russ.).