

А. С. Митюков¹, А. А. Токбаева², Н. В. Баракова², Д. Нсенгумуремый²

Поиск новых решений в борьбе с микотоксинами

Аннотация. Микотоксины представляют собой группу вторичных метаболитов, образующихся в грибах, обладающих токсичным действием. Под влиянием факторов окружающей среды разнообразности микотоксинов постоянно увеличивается. Из растительного сырья микотоксины переходят в организм млекопитающих и накапливаются в нем. Борьба с микотоксинами ведется в двух направлениях. Одно из них включает в себя стандартные физические, биологические и химические методы, направленные на повышение устойчивости растений к патогенам и удаление микотоксинов из растительного сырья или подавление их роста. Второе направление борьбы — добавление в питательный рацион препаратов сорбционного действия, которые нейтрализуют негативное влияние микотоксинов на организм в процессе пищеварения. Препараты сорбционного действия должны обладать селективностью действия к микотоксинам, стабильностью при различных значениях pH и термоустойчивостью, а также в меньшей степени связывать витамины, микро- и макроэлементы. В число данных препаратов входят естественные или технические адсорбенты, сорбционными свойствами обладают и гуминовые вещества. Наличие в их составе карбоксильной, гидроксильной и карбонильной групп в комплексе с ароматическими структурами способствует активному участию в сорбционных процессах. Обозначенные факторы позволяют гуминовым веществам и препаратам, полученным на их основе, выступать в качестве природных детоксицирующих веществ. Перспективным препаратом в борьбе с микотоксинами является ультрадисперсная гумато-сапропелевая суспензия, содержащая гуминовые вещества и полученная по технологии, разработанной в Институте озераведения РАН методом щелочной экстракции из сапропеля под воздействием ультразвуковой кавитации. Опыты, проведенные с применением этой суспензии на зернах ячменя и послеспиртовой барде, доказали снижение концентрации грибов и бактерий в исследуемых образцах, что свидетельствует о фунгицидных и бактерицидных свойствах препарата. Получены достоверно положительные результаты при использовании суспензии при выращивании телок молочной чернопестрой породы. Дальнейшие исследования необходимо направить на установление адсорбирующей роли ультрадисперсной гумато-сапропелевой суспензии и выявление их способности к детоксикации различных микотоксинов без связывания полезных минерально-витаминных комплексов. Положительные результаты исследования послужат основой для создания препарата, который будет решать задачу детоксикации микотоксинов в обоих обозначенных направлениях.

Ключевые слова: микотоксины, детоксикация кормов, адсорбция, гуминовые вещества, ультрадисперсные гумато-сапропелевые суспензии.

Авторы:

Митюков Алексей Савельевич — доктор сельскохозяйственных наук; e-mail: mitals@yandex.ru;

Токбаева Асемгуль Амамбаевна — магистрант; e-mail: asematok@gmail.com;

Баракова Надежда Васильевна — кандидат технических наук; e-mail: n.barakova@mail.ru;

Нсенгумуремый Даниель — аспирант; e-mail: nsedanco@yahoo.fr.

¹ Институт озераведения РАН, 196105, Россия, Санкт-Петербург, Севастьянова, 9;

² Университет ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9.

Характеристика микотоксинов и причины их образования. Микотоксины представляют группу вторичных метаболитов, образующихся в грибах, оказывающих токсическое действие на организм человека и сельскохозяйственных животных, вследствие чего происходит угнетение жизненно важных процессов [1].

Наиболее встречающимися опасными группами микотоксинов являются афлатоксины, кото-

рые обладают сильными канцерогенными свойствами. Афлатоксины синтезируются штаммами видов грибов: *Aspergillus flavus* (Link.) и *A. parasiticus* (Spear) [2]. Охратоксин А, продуцентом которого является *Penicillium verruculosum* (Peyronel), часто обнаруживают в кукурузе, зернах ячменя и овса. К числу других важных микотоксинов, ассоциируемых с заболеваниями от пищи, относятся цитринин, пенитрем А, ксантомегнины [1].

Хмара И. Н. и др. (2013) установлено, что плотность микотоксинов не зависит от погодных-климатических условий, но их изменчивость и вариативность обусловлены сезонами года [3].

Микотоксины в низких концентрациях способны нарушить функционирование митохондрий, из-за этого ухудшается ионный гомеостаз. Впоследствии это приводит к изменению уровня АТФ в клетке и переходу к некротической гибели и лизису клеток при дальнейшем увеличении количества вторичных метаболитов [4].

Негативное воздействие отравлений, связанных с микотоксинами, различно и обусловлено дозой полученного токсина, продолжительности его поступления в организм, возраста, вида, пола, физиологии животного или человека.

По результатам проведенных исследований компании ООО «БИОТРОФ» в период с 2013 по 2016 гг. в хозяйствах Ленинградской области выявлено превышение предельно допустимой концентрации по содержанию отдельных микотоксинов в фуражном травостое и кормах в 21,1–91,7% [5].

Заражение фуражного зерна плесневыми грибами происходит вследствие широкого распространения беспашотной обработки почвы, а также из-за непостоянства погодных условий. Помимо этого, росту токсигенных микромицетов и накоплению микотоксинов в продуктах способствуют повышенные температура и влажность [1, 6].

Методы контроля и борьбы с микотоксинами.

В настоящее время борьба с микотоксинами ведется в двух направлениях. Первое из них включает в себя внешнее воздействие специальными методами на растительное сырье, второе — связано с удалением или выведением вторичных метаболитов из организма испытуемого, совместно с этим могут использовать биодобавки и адсорбирующие вещества.

К методам, направленным на повышение устойчивости растений к патогенам и удаление микотоксинов из растительного сырья или подавление их роста, относят: механические, физические и химические способы борьбы, для детоксикации токсинов активно применяют комбинации методов.

Механические способы очистки основаны на разделении зараженного корма с помощью электронно-колориметрических сортировщиков.

Физические методы подразделяются на традиционные и современные (нетепловые) методы. К традиционным методам относятся: сортировка, промывка, разделение, измельчение зерна и термическая обработка. Эти методы удаляют загрязненные микотоксинами части растений, но их использование увеличивает время обработки корма.

Другой тип детоксикации включает нетермические методы, которые связаны с облучением, озонированием и обработкой импульсным светом. Микотоксины способны флуоресцировать при воздействии длинноволнового ультрафиолетового излучения. Данное явление лежит в основе физико-химических методов их выявления и количественного определения [2, 7].

Химический метод предполагает обработку материала сильными окислителями [2]. Органические растворители, такие как хлороформ, ацетон, гексан и метанол, также могут быть использованы для дезактивации микотоксинов, но в настоящее время их почти не применяют, так как в высоких концентрациях они оказывают отрицательное влияние на питательность корма, нарушая его всасывание. Помимо этого, используются различные химические вещества, такие как уксусная кислота, газообразный аммиак, гидроксид кальция и др. [8, 9].

Обработка материала, прежде всего зерновок, фунгицидами поддерживает оптимальное хранение фуражного зерна после сбора урожая. Но их применение не всегда эффективно или же результативно только для определенных видов микромицетов [7], в некоторых случаях фунгициды приводят к стимуляции образования грибами микотоксинов [10].

Нужно отметить, что указанные методы обладают значительными недостатками: применение механо-физических методов не дает сильного эффекта, а химические методы приводят к разрушению не только микотоксинов, но и полезных питательных веществ в корме и нарушают их усвоение [2].

Способность микроорганизмов, таких как дрожжи, бактерии, водоросли, разрушать или ингибировать действие микотоксинов лежит в основе биологических методов. Преимущественное использование таких методов заключается в том, что они не оказывают дополнительного отрицательного воздействия на окружающую среду и основаны на трансформации, ферментативной деградации и модификации микотоксинов в менее токсичные вещества [11].

В исследовании В. Г. Джавахия и др. [12] установлено, что ряд природных и синтетических соединений способны блокировать у *Aspergillus flavus* образование афлотоксина В1. Обнаружено, что ловастатин, продуцентом которого является мутантный штамм *A. terreus* 45–50, можно использовать в качестве потенциального блокатора афлатоксиногенеза.

Ферментативные препараты и ряд микроорганизмов, которые их продуцируют, также обладают

способностью к нейтрализации микотоксинов, обусловленной воздействием ферментов, обладающих трансферазной, гидролитической и оксидоредуктазной активностью.

Гликозилтрансферазы осуществляют деконтаминацию микотоксинов с активными формами глюкозы. В геноме растения *Arabidopsis thaliana* ((L.) Heynh.) содержится более 100 генов, ответственных за кодирование различных изоформ этого фермента. Эти гены наиболее активны в отношении дезоксиниваленола [7].

Для количественного определения микотоксинов в кормах и продуктах и для выявления разновидностей используют хроматографические методы. Как жидкостную, так и газовую хроматографии можно использовать в сочетании с масс-спектрометрией, данный способ наиболее часто используется для количественного определения микотоксинов. Но такой метод имеет недостаток в виде образования химических отходов. Иммунохимические способы наиболее быстрые, простые и специфичные. Они считаются наиболее перспективными для выявления микотоксинов [13].

Возможным подходом по уменьшению содержания микотоксинов в корме и их влияния на пищевую цепочку является использование микотоксиннейтрализующих препаратов. Быстрое связывание широкого спектра микотоксинов, стабильная работа при различных значениях pH, устойчивая термостабильность при гранулировании комбикорма и не связывание витаминов, микро- и макроэлементов — вот главные составляющие, которые должны включать такие препараты [14].

Наиболее эффективный метод нейтрализации микотоксинов в кормах — применение адсорбентов. Они увеличивают сохранность и среднесуточные привесы птицы [15], включение в рацион энтеросорбента повышает усвояемость, как отдельных питательных веществ рациона, так и сухого вещества корма в целом у свиней, у сельскохозяйственных животных в целом снижается риск микотоксикозов и происходит минимизация переноса микотоксинов из загрязненных кормов в продукты животного происхождения [16].

Нейтрализация микотоксинов адсорбентами. Применение адсорбирующих препаратов в кормах позволяет предотвратить всасывание микотоксинов в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), помимо этого адсорбенты также должны обладать высокими связывающими и ионообменными свойствами.

Основные механизмы действия энтеросорбентов: поглощение токсичных веществ из ЖКТ или диффундирующих в просвет кишечника из кро-

ви; связывание токсичных веществ; сорбционная модификация; фиксация и перенос на поверхности сорбентов физиологически активных веществ (ферментов, желчных кислот и т. д.) и изменение объема неперевариваемого остатка [20].

Существует также каталитический механизм действия энтеросорбентов, где на углеродной поверхности происходит разложение различных биологически активных веществ — гидро- и липоперекисей, креатинина и т. д. [17].

Действующей основой большинства адсорбентов являются природные минеральные комплексы — цеолиты, бентониты, кварциты, глина, сланцы и другие виды минералов. Помимо этого, применяют технические адсорбенты. Способностью к адсорбции обладают и пищевые клетчатка и пектин, также показана связывающая способность клеточной стенки дрожжей к зеараленону и Т2-токсину. Такие различные вещества используются для адсорбции микотоксинов *in vivo* и *in vitro* [15, 18].

Микотоксины существенно различаются по полярности и размеру молекул, по способности связываться с определенными адсорбентами. Методом адсорбции эффективно удаляются полярные микотоксины (в основном афлатоксины). В то же время неполярные токсины одними адсорбентами практически не сорбируются, а другими сорбируются недостаточно эффективно. Степень нейтрализации зависит и от адсорбционной емкости адсорбента. Этот показатель и степень пораженности корма определяют норму ввода адсорбента в корм [19].

Эффективность в связывании микотоксинов проявляется также при применении комплексных многокомпонентных препаратов, которые включают несколько сорбирующих веществ, позволяющих связывать разные группы токсичных веществ и оказывать лучшую перевариваемость корма [20].

Применение гуминовых веществ для детоксикации микотоксинов. Интересной находкой для расширения границ применимости адсорбционного препарата и улучшения его борьбы с микотоксинами является хорошая связывающая способность гуминовых веществ. Полимерные гуминовые вещества содержат различные сайты связывания, которые могут уменьшать концентрацию грибных эндотоксинов. Полимеры гуминовых веществ показали сильное сродство к связыванию различных веществ, в том числе различных микотоксинов, тяжелых металлов и других веществ [21].

Гуминовые вещества присутствуют во всех естественных средах. Неоднородный и сложный со-

став гуминовых веществ обуславливает отсутствие однозначной зависимости свойств от состава. Несмотря на это их классифицируют как класс природных органических высокомолекулярных гетерогенных азотсодержащих соединений. Наличие в их составе карбоксильной, гидроксильной и карбонильной групп в комплексе с ароматическими структурами способствует активному участию в сорбционных процессах [22].

Перспективным препаратом в борьбе с микотоксинами является ультрадисперсная гумато-сапропелевая суспензия (УДГСС), содержащая гуминовые вещества. На данный момент в Институте озерадения РАН разработана технология переработки сапропеля, который содержит гуминовые вещества, с помощью ультразвукового воздействия с получением частиц размером 86–89 нм. Установлено, что данные суспензии эффективно дезактивируют экотоксиканты различных тяжелых металлов и при использовании в рационе питания крупнорогатого скота приводят к увеличению среднесуточного прироста живой массы.

Первая опытная группа, получавшая УДГСС, дала прирост живой массы за весь период эксперимента на 18,1% (146 г) больше, чем контрольная группа [23].

Помимо этого, обнаружена способность выделенных УДГСС ингибировать рост микроорганизмов на зернах ячменя и сухой ячменной после-спиртовой барды. Под воздействием применяемых суспензий уменьшается количество КОЕ примерно в 30 раз по сравнению с необработанным сырьем. При дальнейшем хранении количество микроорганизмов не увеличивается [24].

Заключение. Дальнейшие исследования необходимо направить на установление адсорбирующей роли ультрадисперсной гумато-сапропелевой суспензии и выявление их способности к детоксикации различных микотоксинов без связывания полезных минерально-витаминных комплексов. Положительные результаты исследования послужат основой для создания препарата, который будет решать задачу детоксикации микотоксинов в обоих обозначенных направлениях.

Литература

1. Ефимочкина Н. Р. Токсигенные свойства микроскопических грибов / Н. Р. Ефимочкина, И. Б. Семенова, С. А. Шевелева и др. // Вестник Томского государственного университета. Биология. — 2019. — № 45. — С. 6–33.
2. Юсупов Р. Х. Сырье для хлебопекарного и кондитерского производств и методы его улучшения / Р. Х. Юсупов, Т. А. Толмачева, Г. Г. Юсупова // Моногр. — Челябин. Ин-т (фил) ГОУ ВПО «РГГЭУ». — Челябинск, 2004. — 156 с.
3. Хмара И. Н. Анализ зараженности зернового сырья микотоксинами / И. Н. Хмара, А. Г. Кацаев, А. В. Лунева и др. // Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. — 2013. — Т. 3. — №. 6. — С. 290–293.
4. Пазялова А. А. Влияние микотоксинов боверицина и энниатина на функциональные системы митохондрий / А. А. Пазялова // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. — 2007. — №. 7. — С. 300–307.
5. Ёылдырым Е. А. Изучение распространения микотоксинов в кормах собственной заготовки / Е. А. Ёылдырым, Л. А. Ильина, В. А. Филиппова и др. // Современные проблемы кормопроизводства и кормления: сборник научных трудов СКНИИЖ. — 2016. — Т 5. — № 2. — С. 181–185.
6. Буркин А. А. Причины контаминации производственных партий семян подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) микотоксинами / А.А. Буркин, М. И. Устюжина, Е. В. Зотова // Сельскохозяйственная биология. — 2018. — Т. 53. — №. 5. — С. 969–976.
7. Hojnik N. Mycotoxin decontamination of food: cold atmospheric pressure plasma versus «Classic» decontamination / N. Hojnik, U. Cvelbar, G. Tavčar-Kalcher // Toxins. — Vol. 9. — №. 5. — P. 151–169.
8. Vorster L. J. Etudes sur la de' detoxification des arachides contaminees par l'aflatoxine et destinees a l'huile / L. J. Vorster // Rev. Franc. Corps. Res. — 1985. — Vol. 13. — P. 7.
9. Hassan Y. I. Promising Detoxification Strategies to Mitigate Mycotoxins in Food and Feed / Y. I. Hassan, T. Zhou // Toxins. — 2018. — Vol. 10. — № 3. — P. — 116.
10. Ramirez M. L. Impact of environmental factors and fungicides on growth and deoxinivalenol production by *Fusarium graminearum* isolates from Argentinian wheat / M. L. Ramirez, S. Chulze, N. Magan // Crop Protection. — 2004. — Vol. 23. — № 2. — P. 117–125.
11. Hathout A. S. Biological detoxification of mycotoxins: A review / A. S. Hathout, S. E. Aly // Ann. Microbiol. — 2014. — Vol. 64. — No. 3. — P. 905–919.
12. Джавахия В. Г. Некоторые природные и синтетические соединения, блокирующие биосинтез афлатоксина В1 и меланина у *Aspergillus flavus* / В. Г. Джавахия, Т. М. Воинова, С. Б. Поплетаева и др. // Сельскохозяйственная биология. — 2016. — Т. 51. — №. 4. — С. 533–542.

13. Breidbach A. A. greener, quick and comprehensive extraction approach for LC-MS of multiple mycotoxins / A. A. Breidbach // *Toxins*. — 2017. — Vol. 9. — № 3. — P. 91.
14. Хилькевич И. С. Природные материалы как эффективный препарат против микотоксинов при кормлении КРС / И. С. Хилькевич // *Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. Сборник материалов ЛПИ Международной студенческой научно-практической Конференции/ГАУ Северного Зауралья. Часть 1 Тюмень: ГАУСЗ*. — 2019. — С. 134–136.
15. Терещенко В. А. Адсорбенты микотоксинов-важное направление в современном подходе к кормлению сельскохозяйственной птицы / В.А. Терещенко, О.В. Иванова // *Сборник научных трудов Всероссийского научно-исследовательского института овцеводства и козоводства*. — 2016. — Т. 1. — №. 9. — С. 589–592.
16. Sabater-Vilar M. In vitro assessment of adsorbents aiming to prevent deoxynivalenol and zearalenone mycotoxicoses / M. Sabater-Vilar, H. Malekinejad, M. H. J. Selman et. al. // *Mycopathologia*. — 2007. — Vol. 163. — № 2. — P. 81.
17. Николаев В. Г. Современные энтеросорбенты и механизмы их действия / В. Г. Николаев, С. В. Михаловский, Н. М. Гурина и др. // *Эфферентная терапия*. — 2005. — Т. 11. — №. 4. — С. 3–17.
18. Канарская З. А. Адсорбция микотоксинов техническими лигнинами / З. А. Канарская, А. В. Канарский, Ю.Г. Хабаров и др. // *Химия растительного сырья*. — 2011. — №. 1. — С. 59–63.
19. Шугалей И. В. Микотоксины — опасные экологические факторы и поиски новых путей их обезвреживания, в том числе и с использованием наноматериалов / И. В. Шугалей, М. А. Илюшин, А. М. Судариков // *Царскосельские чтения*. — 2012. — Т. 4. — №. XVI. — P. 106.
20. Крюков В. Микотоксины в молочном скотоводстве / В. Крюков // *Комбикорма*. — 2011. — №. 6. — С. 75–77.
21. Klavins M. Immobilized humic substances as sorbents / M. Klavins, L. Eglite, A. Zicmanis // *Chemosphere*. — 2006. — Vol. 62. — № 9. — P. 1500–1506.
22. Попов А. И. Биологическая активность и биохимия гуминовых веществ. Часть 1. Биохимический аспект (обзор литературы) / А. И. Попов, В. Н. Зеленков, Т. В. Теплякова // *Вестник РАЕН*. — 2016. — №. 1. — С. 11–18.
23. Митюков А. С. Использование природных продуктов из сапропеля в животноводстве / А. С. Митюков, Г. С. Ярошевич // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. — 2018. — № 4(53). — С. 138–144.
24. Нсенгумуремый Д. Влияние ультрадисперсных гумато-сапропелевых суспензий на микробиологическую обсемененность ячменя и послеспиртовой барды / Д. Нсенгумуремый, Н. В. Баракова, А. С. Митюков // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. — 2019. — №. 2(55). — С. 28–33.

Mityukov A.¹, Tokbaeva A.², Barakova N.², D. Nsengumuremy²

The search for new solutions to fight mycotoxins

Abstract. *Mycotoxins are a group of secondary metabolites formed in fungi that have a toxic effect. Under the influence of environmental factors, the variety of mycotoxins is continuously increasing. From plant raw materials, mycotoxins pass into the mammalian body and accumulate in it. The fight against mycotoxins is conducted in two directions. One of them includes standard physical, biological and chemical methods aimed to increase plant resistance to pathogens and remove mycotoxins from plant raw materials or suppress their growth. The second direction is the addition of sorption substances on the nutritional diet, which neutralize the negative impact of mycotoxins on the body during digestion. Sorption substances should be selective to mycotoxins; stable at different pH values and high temperature. Besides, they should be less binding to vitamins and*

micro and macronutrients. These substances include natural or technical adsorbents, and humic substances possess sorption properties. The presence of carboxyl, hydroxyl and carbonyl groups in their composition in combination with aromatic structures contributes to active participation in sorption processes. These factors allow humic substances and preparations derived from them to act as natural detoxifying substances. A promising extract to fight against mycotoxins is an ultradisperse humic-sapropel suspension containing humic substances. The suspension was obtained using the technology developed at the Institute of lake science of the Russian Academy of Sciences, by the method of alkaline extraction from sapropel under the influence of ultrasonic cavitation. Experiments conducted with the use of this suspension on barley grains and distillers' grain proved a decrease in the concentration of fungi and bacteria in the samples under study. That indicates the fungicidal and bactericidal properties of the suspension. Reliable positive results were obtained when using the suspension for growing heifers of the dairy black and white breed and in crop production when growing wheat. Further research should be directed to establish the adsorbing role of ultradisperse humic-sapropel suspensions and identify its ability to detoxify various mycotoxins without binding useful mineral and vitamin complexes. The positive results of the study will serve as the basis for creating a substance, which will solve the problem of detoxification of mycotoxins in both directions.

Keywords: mycotoxins, feed detoxification, adsorption, humic substances, ultradisperse humic-sapropel suspensions.

Authors:

Mityukov A. — Dr. Habil. (Agr. Sci.); e-mail: mitals@yandex.ru;

Tokbaeva A. — master's student; e-mail: asematok@gmail.com;

Barakova N. — PhD (Tech. Sci.); e-mail: n.barakova@mail.ru;

Nsengumuremyi D. — postgraduate student; e-mail: nsedanco@yahoo.fr.

¹ Russian Academy of Science Institute of Limnology, Syevast'yanova str., 9, St. Petersburg, 196105, Russia;

² ITMO University, Lomonosov str., 9, St. Petersburg, 191002, Russia.

References

1. Efimochkina N. R. Toxigenic properties of mycotoxin-producing fungi / N. R. Efimochkina, I. B. Sedova, S. A. Sheveleva et. al. // Tomsk State University Journal of Biology. — 2019. — № 45. — P. 6–33.
2. Yusupov R. Kh. Raw Materials for Bakery and Confectionery Industries and Methods of Improvement / R. Kh. Yusupov, T. A. Tolmacheva, G. G. Yusupova // Chelyabinsk. — 2004. — 156 p.
3. Yyldyrym E. A. The study of the mycotoxins spread in farm produced feeds / E. A. Yyldyrym, L. A. Ilyina, V. A. Filippova et. al. // Sovremennye problemy kormoproizvodstva i kormleniya: sbornik nauchnyh trudov SKNIIZH. — 2016. — Vol. 5. — №. 2. — P. 181–185.
4. Hmara I. N. Mycotoxin contamination analysis of grain raw material / I. N. Hmara, A. G. Kashchaev, A. V. Luneva et.al. // Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva. — 2013. — Vol. 3. — № 6. — P. 290–293.
5. Burkin A. A. Reasons of contamination of production lots of sunflower (*Helianthus annuus* L.) seeds by mycotoxins / A. A. Burkin, M. I. Ustyuzhina, E. V. Zotova // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. — 2018. — Vol. 53. — № 5. — P. 969–976.
6. Pazyalova A. A. The effect of mycotoxins bovericin and enniatin on a functional mitochondrial systems / A. A. Pazyalova // Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. VG Belinskogo. — 2007. — № 7. — P. 300–307.
7. Hojnik N. Mycotoxin decontamination of food: cold atmospheric pressure plasma versus «Classic» decontamination / N. Hojnik, U. Cvelbar, G. Tavčar-Kalcher // Toxins — Vol. 9. — № 5. — P. 151–169.
8. Vorster L. J. E'tudes sur la de' detoxification des arachides contaminees par l'aflatoxine et destinees a l'huile / L. J. Vorster // Rev. Franc. Corps. Res. — 1985. — Vol. 13. — P. 7.
9. Hassan Y. I. Promising Detoxification Strategies to Mitigate Mycotoxins in Food and Feed / Y. I. Hassan, T. Zhou // Toxins. — 2018. — Vol. 10. — № 3. — P. — 116.
10. Ramirez M. L. Impact of environmental factors and fungicides on growth and deoxinivalenol production by *Fusarium graminearum* isolates from Argentinian wheat / M. L. Ramirez, S. Chulze, N. Magan // Crop Protection. — 2004. — Vol. 23. — № 2. — P. 117–125.
11. Hathout A. S. Biological detoxification of mycotoxins: A review / A. S. Hathout, S. E. Aly // Ann. Microbiol. — 2014. — Vol. 64. — № 3. — P. 905–919.

12. Dzhavahiya V. G. Some natural and synthetic compounds inhibiting the biosynthesis of aflatoxin B1 and melanin in *Aspergillus flavus* / V. G. Dzhavahiya, T. M. Voinova, S. B. Popletaeva et. al. // *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*. — 2016. — Vol. 51. — № 4. — P. 533–542.
13. Breidbach A. A. greener, quick and comprehensive extraction approach for LC-MS of multiple mycotoxins / A. A. Breidbach // *Toxins*. — 2017. — Vol. 9. — № 3. — P. 91.
14. Hil'kevich I. S. Natural materials as an efficient preparation against mycotoxins when feeding cattle / I.S. Hil'kevich // *Aktual'nye voprosy nauki i hozyajstva: novye vyzovy i resheniya. Sbornik materialov LIII Mezhdunarodnoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy Konferencii/GAU Severnogo Zaural'ya. CHast' 1 Tyumen': GAUSZ*. — 2019. — P. 134–136.
15. Tereshchenko V. A. Mycotoxin adsorbents is an important direction in the modern approach to the feeding of poultry / V. A. Tereshchenko, O. V. Ivanova // *Sbornik nauchnyh trudov Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva*. — 2016. — Vol. 1. — №9. — P. 589–592.
16. Sabater-Vilar M. In vitro assessment of adsorbents aiming to prevent deoxynivalenol and zearalenone mycotoxicoses / M. Sabater-Vilar, H. Malekinejad, M. H. J. Selman et. al. // *Mycopathologia*. — 2007. — Vol. 163. — № 2. — P. 81.
17. Nikolayev V.G. Modern enterosorbents and mechanisms of their action / V. G. Nikolayev, S. V. Mikhlovsky, N. M. Gurina // *Efferentnaya terapiya*. — 2005. — Vol. 11. — № 4. — P. 3–17.
18. Kanarskaya Z.A. Mycotoxin adsorption by technical lignins / Z. A. Kanarskaya, A. V. Kanarskij, Yu. G. Habarov et. al // *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. — 2011. — № 1. — P. 59-63.
19. Shugalej I. V. Mycotoxins — dangerous environmental factors and the search for new ways to neutralize them, including using nanomaterials / I. V. Shugalej, M. A. Ilyushin, A. M. Sudarikov // *Carskosel'skie chteniya*. — 2012. — Vol. 4. — № XVI. — P. 106.
20. Kryukov V. Mycotoxins in dairy farming / V. Kryukov // *Kombikorma*. — 2011. — № 6. — P. 75–77.
21. Klavins M. Immobilized humic substances as sorbents / M. Klavins, L. Eglite, A. Zicmanis // *Chemosphere*. — 2006. — Vol. 62. — № 9. — P. 1500–1506.
22. Popov A. I. Biological activity and biochemistry of humic substances. Part 1. Biochemical aspect (a review) / A. I. Popov, V. N. Zelenkov, T. V. Teplyakova // *Vestnik RAEN*. — 2016. — № 1. — P. 11–18.
23. Mityukov A. S. Use of natural products from sapropel in animal husbandry / A. S. Mityukov, G. S. Yaroshevich // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. — 2018. — № 4(53). — P. 138–144.
24. Nsengumuremyj D. The impact of ultradisperse humic sapropel suspensions on microbial contamination of barley and distillers dried grains / D. Nsengumuremyj, N. V. Barakova, A. S. Mityukov // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. — 2019. — № 2 (55). — P. 28–33.