

## ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Обзорная статья

УДК 637.074

### Исследование проблемы контаминации пищевых продуктов токсигенными микотоксинами

**Антонида Викторовна Чернова<sup>1</sup>, Анастасия Вячеславовна Петроченкова<sup>2</sup>, Елизавета Олеговна Демиденко<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
Владивосток, Россия

<sup>1</sup>Chernova.av@dgtru.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8143-7228>

<sup>2</sup>nastya-petrochenkova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0520-3045>

<sup>3</sup>deo28@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9448-7088>

**Аннотация.** Рассматривается вопрос влияния микотоксинов, содержащихся в пищевых продуктах, на организм человека. Приведен перечень грибов и продуцируемых ими токсинов. Представлены предельно допустимые уровни содержания микотоксинов в пищевых продуктах согласно мировым и российским регламентам. Дан анализ существующим методам определения содержания микотоксинов в пищевых продуктах.

**Ключевые слова:** микотоксины, контаминация, пищевые продукты, плесневые грибы, афлатоксины, охратоксины

**Для цитирования:** Чернова А.В., Петроченкова А.В., Демиденко Е.О. Исследование проблемы контаминации пищевых продуктов токсигенными микотоксинами // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 63, № 1. С. 28–35.

## FOOD SYSTEMS

Review article

### Investigation of the problem of contamination of food products with toxigenic mycotoxins

**Antonida V. Chernova<sup>1</sup>, Anastasia V. Petrochenkova<sup>2</sup>, Elizaveta O. Demidenko<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

<sup>1</sup>Chernova.av@dgtru.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8143-7228>

<sup>2</sup>nastya-petrochenkova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0520-3045>

<sup>3</sup>deo28@bk.ru

**Abstract.** The article deals with the issue of the effect of mycotoxins contained in food products on the human body. The list of fungi and the toxins produced by them is given. The maximum

permissible levels of mycotoxins in food products, according to international and Russian regulations, are presented. Methods of mycotoxin content in food products have been studied.

**Keywords:** mycotoxins, contamination, food products, mold fungi, aflatoxins, ochratoxins

**For citation:** Chernova A.V., Petrochenkova A.V., Demidenko E.O. Investigation of the problem of contamination of food products with toxigenic mycotoxins. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2023; 63(1):28–35. (in Russ.).

## Введение

Микотоксины – это токсичные вторичные метаболиты, вырабатываемые некоторыми нитевидными плесневыми грибами. Эти низкомолекулярные соединения встречаются в природе, являясь естественными загрязнителями зерновой и другой пищевой продукции.

Микотоксины привлекают внимание из-за их воздействия на здоровье человека, а также огромных экономических потерь для пищевой промышленности из-за снижения урожайности сельскохозяйственных культур, потери доходов от торговли и болезней скота. В основном зерновые являются наиболее чувствительными культурами к колонизации токсигенных видов грибов. Они могут накапливаться в созревающей кукурузе, злаках, соевых бобах, сорго, арахисе и других пищевых и кормовых культурах в полевых условиях и в зерне во время транспортировки и хранения. Злаки, зерновые, орехи, семена масличных культур, фрукты, сухофрукты, овощи, какао и кофейные зерна, травы и специи являются основными источниками попадания микотоксинов в пищевой рацион человека, поскольку потребляются ежедневно большой массой.

Потребление продуктов питания или кормов, загрязненных микотоксинами, может спровоцировать хроническую токсичность. Микотоксикоз – это отравление, связанное с воздействием микотоксинов. Симптомы зависят от типа микотоксина, концентрации и продолжительности воздействия, а также возраста, состояния здоровья и пола человека, подвергшегося воздействию.

В дополнение к опасениям по поводу неблагоприятных последствий прямого употребления продуктов питания и кормов, загрязненных микотоксинами, существует также обеспокоенность общественного здравоохранения по поводу возможного употребления пищевых продуктов животного происхождения, таких как мясо, молоко или яйца, содержащих метаболиты микотоксинов.

Целью данной работы является исследование проблемы контаминации пищевых продуктов токсигенными микотоксинами.

Задачи:

1. Исследовать факторы, влияющие на выработку микотоксинов в пищевых продуктах.
2. Рассмотреть разновидности грибов и продуцируемые ими микотоксины, а также предельно допустимые уровни их содержания в пищевых продуктах.
3. Дать анализ существующим методам определения микотоксинов.

## Результаты и их обсуждение

Микотоксины являются естественными загрязнителями. Они вырабатываются различными штаммами плесневых грибов, особенно в тропических странах. Из-за значительной торговли зерновыми культурами люди в странах с умеренным климатом также могут подвергаться воздействию микотоксинов. Наиболее распространенным путем воздействия микотоксинов является прием внутрь, но он может также включать кожный, респираторный и парентеральный пути, последний из которых связан со злоупотреблением наркотиками. Помимо острого и хронического токсического воздействия на здоровье человека, называемого микотоксикозом, некоторые микотоксины являются доказанными или предполагаемыми

канцерогенами для человека. Также микотоксины могут вызывать экономические потери на всех уровнях производства (включая растениеводство и животноводство) пищевых продуктов и животных кормов.

Факторами, влияющими на рост плесени и выработку микотоксинов в пищевых продуктах, являются температура и относительная влажность при хранении, используемые удобрения, взаимодействие между колонизирующими токсигенными видами грибов, факторы антропогенного питания, географическое положение произрастания, заражение вредными насекомыми.

В мире идентифицировано более 400 микотоксинов. Наиболее часто в пищевых продуктах обнаруживаются такие токсины, как афлатоксины, трихотецены, зеараленон, фумонизины, охратоксины, патулин. Микотоксины вырабатываются различными штаммами грибов, и каждый штамм может продуцировать более одного микотоксина. Основными производителями микотоксинов являются представители трех родов грибов: *Aspergillus*, *Fusarium* и *Penicillium* [1, 2]. Каждый род грибов продуцирует несколько видов микотоксинов (табл. 1) [3].

Таблица 1

### Разновидность грибов и продуцируемые ими микотоксины

Table 1

#### Fungal species and their mycotoxins

Род грибов	Вырабатываемые микотоксины	Продукты питания	Оказываемые действия
<i>Aspergillus</i>	Охратоксин А Афлатоксины В <sub>1</sub> (AFB <sub>1</sub> ), В <sub>2</sub> (AFB <sub>2</sub> ) Циклопиазоновая кислота Стеригматоцистин	Зерновые, корма, семена маслических культур и мякоть, кокос	Мутагенное, тератогенное, гепатоканцерогенное, нефротоксичное
<i>Fusarium</i>	<b>Трихотецены группы А:</b> - диацетоксисцирпенол; - токсин Т-2 и токсин НТ-2 <b>Трихотецены группы В:</b> - дезоксиниваленол; - ниваленол; - фумонизины (В <sub>1</sub> , В <sub>2</sub> , В <sub>3</sub> , В <sub>4</sub> ); - зеараленон; - монилиформин	Зерновые, кукуруза, корма, силос, бобовые, фрукты и овощи	Нефротоксичное, иммуносупрессивное, канцерогенное
<i>Penicillium</i>	Ацитринин Охратоксин Патулин	Силос, пшеница, корма, яблоки, виноград, персики, груши, абрикосы, оливки, злаки	Мутагенное, тератогенное, гепатоканцерогенное, нефротоксичное

*Aspergillus* и *Penicillium*, являясь складскими грибами, чаще всего поражают сырье на этапе хранения. Грибы рода *Fusarium* развиваются непосредственно на растениях в вегетационный период. Технически их можно разделить на две группы: первая – это рост плесени в полевых условиях, вторая – на этапе хранения.

Вследствие нарастания беспокойства потребителей, связанного с риском употребления некачественной пищевой продукции, в 2001 г. была организована работа Объединенного Комитета Экспертов ФАО/ ВОЗ по пищевым добавкам с целью исследования данных загрязнителей.

Особый интерес в рассмотрении микотоксинов был направлен на изучение афлатоксина В<sub>1</sub>, G и М<sub>1</sub>, охратоксина А и др. (табл. 2) [2].

Таблица 2

**Предельно допустимые уровни содержания микотоксинов, нормируемые в России и зарубежных странах**

Table 2

**Maximum permissible levels of mycotoxins, standardized in Russia and foreign countries**

Страна	Пищевой продукт	Максимальный допустимый уровень, мг/кг
1	2	3
<b>Афлатоксины</b>		
Европейский союз (ЕС)	Сухофрукты и продукты их переработки, орехи, крупы (для непосредственного употребления в пищу человеком) (Афлатоксин В <sub>1</sub> )	0,002
	Сырое и термически обработанное молоко, молоко-сырье (Афлатоксин М <sub>1</sub> )	<0,00005
	Детское питание, продукты на основе зерновых (Афлатоксин В <sub>1</sub> )	<0,0001
Европейский союз (ЕС)	Детская смесь для грудного ребенка и молоко (Афлатоксин М <sub>1</sub> )	<0,000025
Соединенные Штаты Америки (США)	Продукты питания, за исключением молочносодержащих продуктов (Суммарное количество афлатоксинов (В, G))	0,02
	Молоко и молочная продукция (Афлатоксин М <sub>1</sub> )	<0,0005
Российская Федерация (РФ)	Зерновые, зернобобовые, мучные изделия, кондитерские изделия, изделия из шоколада, какао, чай, кофе (Афлатоксин В <sub>1</sub> )	0,005
	Молочкосодержащие продукты (Афлатоксин М <sub>1</sub> )	0,0005
<b>Охратоксин А</b>		
Европейский союз (ЕС)	Зерновые культуры, не подвергшиеся обработке	0,005
	Продукты из переработанных зерновых культур	0,003
	Молочкосодержащие продукты, предназначенные для применения в медицинских целях	0,0005
Российская Федерация (РФ)	Грибной ферментный препарат молочносвертывающего действия	Не допускается (<0,0005)
	Масличные, зернобобовые, злаковые культуры	0,05
<b>Дезоксиниваленол</b>		
Европейский союз (ЕС)	Зерновые культуры, в том числе мука	0,75
	Хлебные и кондитерские изделия, мучные продукты, крупа для завтрака	0,5
Соединенные Штаты Америки (США)	Продукты питания, готовые к употреблению, полученные путем переработки зерновых культур (пшеницы)	1
Российская Федерация (РФ)	Масличные, зернобобовые, злаковые культуры	1
<b>Зеараленон</b>		
Европейский союз (ЕС)	Зерновые культуры, в том числе мука	0,075
	Хлебные и кондитерские изделия, мучные продукты, крупа для завтрака	0,05
Российская Федерация (РФ)	Масличные, зернобобовые, злаковые культуры	1
	Грибной ферментный препарат молочносвертывающего действия	Не допускается (<0,005)

Окончание табл. 2

1	2	3
Т-2 токсин		
Европейский союз (ЕС)	Масло кукурузное рафинированное, мука кукурузная, в том числе грубого помола	1
Российская Федерация (РФ)	Грибной ферментный препарат молокосвертывающего действия	Не допускается (<0,005)
	Масличные, зернобобовые, злаковые культуры	0,1

Устранение микотоксинов – довольно сложный процесс из-за их устойчивости к физическим, химическим и биологическим методам воздействия. Поэтому регламентируется их максимально допустимый уровень в техническом регламенте Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Для определения микотоксинов используется высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ), тонкослойная хроматография (ТСХ), газовая хроматография – масс-спектрометрия (ГХ-МС), а также метод иммуноферментного анализа (ИФА) и методы скрининга на основе биосенсоров. Например, ГОСТ 34140-2017 «Продукты пищевые, корма, продовольственное сырье. Метод определения микотоксинов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием» распространяется на пищевые продукты, продовольственное сырье (зерновые и масличные культуры, корм и кормовое сырье для животных, комбикорм) и определяет использование метода высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием (ВЭЖХ-МС/МС) с целью анализа содержания микотоксинов. Основа метода – экстракция микотоксинов из анализируемого образца, их идентификация и количественное определение по площадям пиков ион-продуктов с помощью градуировочной характеристики методом ВЭЖХ-МС/МС в режиме мониторинга выбранных реакций (МРМ).

Используемый для анализа микотоксинов метод ВЭЖХ применяется в соответствии с разработанными стандартами для сельскохозяйственной и пищевой продукции (табл. 3) [4].

Таблица 3

**Нормативные документы, содержащие методы определения микотоксинов  
в сельскохозяйственной и пищевой продукции**

Table 3

**Regulatory documents containing methods for the determination of mycotoxins  
in agricultural and food products**

Стандарт	Введен в действие
1	2
ГОСТ 28001-88 «Зерно фуражное, продукты его переработки, комбикорма. Методы определения микотоксинов: токсина Т-2, зеараленона (Ф-2) и охратоксина А»	01.01.1990
ГОСТ 30711-2001 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения содержания афлатоксинов В <sub>1</sub> и М <sub>1</sub> »	01.07.2002
ГОСТ 31748-2012 «Продукты пищевые. Определение афлатоксина В <sub>1</sub> и общего содержания афлатоксинов В <sub>1</sub> , В <sub>2</sub> , G <sub>1</sub> и G <sub>2</sub> в зерновых культурах, орехах и продуктах их переработки. Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии»	01.07.2013
ГОСТ 31691-2012 «Зерно и продукты его переработки, комбикорма. Определение содержания зеараленона методом высокоэффективной жидкостной хроматографии»	01.07.2013

Окончание табл. 3

1	2
ГОСТ 31653-2012 «Корма. Метод иммуноферментного определения микотоксинов»	01.07.2013
ГОСТ 32587-2013 «Зерно и продукты его переработки, комбикорма. Определение охратоксина А методом высокоэффективной жидкостной хроматографии»	01.07.2015
ГОСТ 32251-2013 «Корма, комбикорма. Метод определения содержания афлатоксина В <sub>1</sub> »	01.07.2015
ГОСТ 33780-2016 «Продукты пищевые, корма, комбикорма. Определение содержания афлатоксина В <sub>1</sub> методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с применением очистки на оксиде алюминия»	01.07.2017
ГОСТ 34140-2017 «Продукты пищевые, корма, продовольственное сырье. Метод определения микотоксинов с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием»	01.07.2018

Хотя хроматографические методы и применяются достаточно широко, тем не менее они длительны, требуют дополнительной подготовки образцов и использования дорогостоящего оборудования. Работа с данными методами сложна и требует присутствия высококвалифицированных специалистов. Все это приводит к значительному ограничению использования хроматографических методов.

Наиболее быстрыми и удобными для проведения серийных анализов являются скрининг-методы. К ним относятся такие методы, как метод тонкослойной хроматографии (ТСХ), метод трехфазного иммуноферментного анализа (ИФА) и иммунохимические методы (ИХМ). Данные методы обладают высокой селективностью за счет применения специфических антител. Методы с использованием экспресс-тестов не столь точны, однако позволяют оперативно определять наличие микотоксинов [4]. ГОСТ 31653-2012 «Корма. Метод иммуноферментного определения микотоксинов» определяет иммуноферментный метод определения содержания микотоксинов (афлатоксина В<sub>1</sub>, роридина А, охратоксина А, стеригматоцистина, Т-2 токсина, зеараленона, фумонизина В<sub>1</sub>) в кормах. Основой иммуноферментного метода является определение содержания микотоксинов в пробах при использовании непрямого твердофазного конкурентного иммуноферментного анализа (ИФА) рабочих растворов экстрактов (рисунок).

Сущность непрямого ИФА заключается в способности микотоксинов взаимодействовать со специфичными антителами в условиях конкуренции с белковым конъюгатом микотоксина, нанесенным твердофазным антигеном на поверхность ячеек планшета. Аналитический сигнал (регистрируемое значение оптической плотности), характеризующий измерение степени взаимодействия антитела с антигеном, обратно пропорционален массовой концентрации микотоксина в рабочем растворе.

По сравнению со стандартными химико-аналитическими методами, такими как ВЭЖХ, метод ИФА имеет ряд преимуществ: простота пробоподготовки и проведения измерений, оперативность, низкая стоимость анализа в сравнении с хроматографическими методами.

### Заключение

Микотоксины представляют собой хорошо известный риск для безопасности пищевых продуктов, который представляет угрозу для здоровья людей и домашнего скота и имеет большое экономическое значение в пищевой промышленности. Микотоксигенные плесневые грибки трудно предотвратить и контролировать из-за их широкого распространения в природе. Загрязнение продуктов питания микотоксинами в настоящее время остается одной из важных проблем безопасности.



Основные этапы иммуноферментного метода определения микотоксинов  
 The main stages of the enzyme immunoassay method for the determination of mycotoxins

Условия окружающей среды, такие как высокая температура и влажность, повышают риск роста грибов и выработки микотоксинов. Также на загрязнение влияют используемые удобрения, взаимодействие с токсигенными видами грибов, место произрастания, вредные насекомые. Поэтому степень загрязнения будет зависеть от географического местоположения, методов ведения сельского хозяйства и восприимчивости товаров к проникающему влиянию грибов в период хранения.

Загрязнение продуктов питания микотоксинами неизбежно, и, так как пищевая и сельскохозяйственная продукция является неотъемлемой частью жизнедеятельности людей, следует контролировать содержание микотоксинов, используя различные методы их определения. В зависимости от имеющихся возможностей для анализа содержания микотоксинов используют методы: ВЭЖХ, ТСХ, ГХ-МС, ИФА – и методы скрининга на основе биосенсоров.

Микотоксины представляют значительную угрозу как для здоровья людей и животных, так и для продовольственной безопасности и питания в целом, ограничивая доступ людей к здоровой пище. Всемирная организация здравоохранения призывает национальные органы осуществлять мониторинг, чтобы уровни микотоксинов в пищевых продуктах были как можно более низкими и соответствовали как национальным, так и международным допустимым уровням, условиям и законодательству.

### Список источников

1. Цикуниб А.Д., Гринь И.А. Проблемы контаминации пищевых продуктов микроскопическими грибами и их токсинами // Наука: комплексные проблемы. 2015. № 2(6). С. 35–43.
2. Науменко Н.В., Ботвинникова В.В., Сотникова В., Грживна Л., Белоглазова Н.В. Микотоксины и безопасность продуктов питания: явные и скрытые угрозы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. № 1. С. 105–111.

3. Микотоксины [Электронный ресурс]. <https://www.syngenta.ru/crops/cereals/20141014-mycotoxins-aspergillus-penicillium-fusarium> (дата обращения: 29.01.2023).

4. Буклагин Д.С. Методы определения микотоксинов в сельскохозяйственной продукции и кормах // Техника и технологии в животноводстве. 2020. № 4(40). С. 57–67.

### References

1. Tsikunib A.D., Grin I.A. Problems of contamination of food products with microscopic fungi and their toxins // Nauka: complex problems. 2015. № 2(6). P. 35–43.

2. 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 biotechnologies. 2020. №. 1. P. 105–111.

3. Mycotoxins [Electronic resource]. <https://www.syngenta.ru/crops/cereals/20141014-mycotoxins-aspergillus-penicillium-fusarium> (date of access: 01.29.2023).

4. Buklugin D.S. Methods for the determination of mycotoxins in agricultural products and feed // Equipment and technologies in animal husbandry. 2020. №. 4(40). P. 57–67.

### Информация об авторах

А.В. Чернова – старший преподаватель кафедры «Управление техническими системами»;  
А.В. Петроченкова – студент;  
Е.О. Демиденко – студент.

### Information about the authors

A.V. Chernova – Senior Lecturer of the Department of Technical Systems Management;  
A.V. Petrochenkova – student;  
E.O. Demidenko – student.

Статья поступила в редакцию 21.02.2023, одобрена после рецензирования 19.03.2023, принята к публикации 22.03.2023.

The article was submitted 21.02.2023, approved after reviewing 19.03.2023, accepted for publication 22.03.2023.