

Обзорная статья/Review article

УДК 615.91:619:632.4

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-124-137

Ольга Константиновна Ермолаева<sup>1✉</sup>, Лилия Евгеньевна Матросова<sup>2</sup>,

Светлана Анатольевна Танасева<sup>3</sup>, Наиля Наримановна Мишина<sup>4</sup>, Элина Илгизовна Идрисова<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Республика Татарстан, Россия

<sup>1</sup>ermolao@list.ru

<sup>2</sup>m.lilia.Evg@yandex.ru

<sup>3</sup>s-tanaseva@mail.ru

<sup>4</sup>mishinanailyan@yandex.ru

<sup>5</sup>elina.idrisova82@mail.ru

## ГРИБЫ РОДА *ALTERNARIA*: ТОКСИГЕННОСТЬ, ТАКСОНОМИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ

Цель исследования – обзор современных публикаций отечественных и зарубежных ученых, посвященных микроскопическим грибам рода *Alternaria*. Задачи: отбор и анализ литературных данных с использованием баз данных Google академия, Elabrary, Sciencedirect, PubMed и др., посвященных микроскопическим грибам *Alternaria* sp. Всего проанализировано более 60 работ отечественных и зарубежных ученых. *Alternaria* – это повсеместно распространенный гриб, включающий эндофитные, фитопатогенные и сапрофитные роды. Грибы рода *Alternaria* содержат более 360 видов, вызывают заболевания важнейших продовольственных культур и продуцируют широкий спектр вторичных токсичных метаболитов – альтернариотоксинов (альтернариол, монометилловый эфир альтернариола, альтенуен, тентоксин, тенуазоновая кислота). В представленном материале затронута таксономия и распространение грибов рода *Alternaria*, представлены морфологические свойства. Показана опасность грибов *Alternaria* для сельскохозяйственных культур. Грибы данного рода преимущественно поражают листья, способны также инфицировать семена и плоды. Некоторые виды *Alternaria* spp., паразитирующие на сорных растениях, рассматриваются в качестве биогербицидов. Освещены вопросы токсичности и распространенности метаболитов грибов рода *Alternaria*. Большинство метаболитов рода *Alternaria* по химической природе ксантолы, антрахиноновые пигменты, циклические пептиды, ненасыщенные кислоты. Метаболиты грибов рода *Alternaria* – альтернариотоксины не регламентированы в Российской Федерации, проявляют цитотоксичность и генотоксичность. Микотоксины *Alternaria* (особенно тенуазоновая кислота и альтернариол) часто обнаруживаются в пищевых и сельскохозяйственных продуктах, что представляет большую опасность для здоровья человека и животных. Представлены современные физико-химические методы идентификации альтернариотоксинов.

**Ключевые слова:** микромицеты, *Alternaria*, альтернариотоксин, альтернариол, тенуазоновая кислота, контаминация

**Для цитирования:** Ермолаева О.К., Матросова Л.Е., Танасева С.А., и др. Грибы рода *Alternaria*: токсигенность, таксономия и распространение // Вестник КрасГАУ. 2026. № 5. С. 124–137. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-124-137.

**Olga Konstantinovna Ermolaeva<sup>1</sup>, Liliya Evgenyevna Matrosova<sup>2</sup>, Svetlana Anatolyevna Tanaseva<sup>3</sup>, Nailya Narimanovna Mishina<sup>4</sup>, Elina Ilgizovna Idrisova<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3,4,5</sup>Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia

<sup>1</sup>ermolao@list.ru

<sup>2</sup>m.lilia.Evg@yandex.ru

<sup>3</sup>s-tanaseva@mail.ru

<sup>4</sup>mishinanailyan@yandex.ru

<sup>5</sup>elina.idrisova82@mail.ru

FUNGUS GENUS *ALTERNARIA*: TOXICITY, TAXONOMY, AND DISTRIBUTION

The aim of the study is to review modern publications by Russian and foreign scientists on microscopic fungi of the genus *Alternaria*. Tasks: selection and analysis of literature data using databases Google academy, Elibrary, Sciencedirect, PubMed, etc., devoted to microscopic fungi *Alternaria* sp. In total, more than 60 works of Russian and foreign scientists were analyzed. *Alternaria* is a ubiquitous fungus that includes endophytic, phytopathogenic and saprophytic genera. The genus *Alternaria* contains more than 360 species that cause diseases in important food crops and produce a wide range of secondary toxic metabolites, including alternariotoxins (alternariol, alternariol monomethyl ether, altenuen, tentoxin, and tenuazonic acid). The presented material discusses the taxonomy and distribution of fungi of the genus *Alternaria*, and presents their morphological and cultural properties. The article highlights the potential threat of *Alternaria* fungi to agricultural crops. These fungi primarily infect leaves, but they can also infect seeds and fruits. Some species of *Alternaria* spp. that parasitize weeds are considered as bioherbicides. The article also explores the toxicity and prevalence of metabolites produced by fungi of the genus *Alternaria*. Most metabolites of the *Alternaria* genus are chemically xanthols, anthraquinone pigments, cyclic pentapeptides, and unsaturated acids. The metabolites of fungi of the genus *Alternaria*, alternariotoxins, are unregulated in the Russian Federation and exhibit cytotoxicity and genotoxicity. *Alternaria* mycotoxins (especially tenuazonic acid and alternariol) are often found in food and agricultural products, which poses a great danger to human and animal health. Modern physical and chemical methods for identifying alternariotoxins are presented.

**Keywords:** micromycetes, *Alternaria*, alternariotoxin, alternariol, tenuazonic acid, contamination

**For citation:** Ermolaeva OK, Matrosova LE, Tanaseva SA, et al. Fungus genus *Alternaria*: toxicity, taxonomy, and distribution. *Bulletin of KSAU*. 2026. N 5. P. 124–137. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-124-137.

**Введение.** Микроскопические грибы широко распространены в окружающей среде и играют важную роль в круговороте веществ в природе, способствуя разложению растительных и животных остатков. Микромицеты представляют интерес для прикладных и фундаментальных исследований, в частности их используют для производства ферментов, органических кислот и других биологически активных веществ. При определенных условиях микроскопические грибы могут вызывать заболевания у растений, животных и человека [1].

Вторичные метаболиты плесневых грибов – микотоксины – обладают сильными токсическими свойствами. Микотоксины вызывают снижение общего иммунитета организма, повреждают почки, печень, нервную систему, кровеносную и желудочно-кишечную системы [2, 3]. В случае накопления одного или нескольких микотоксинов (или сочетания микотоксина с загрязнителем другой природы) их токсическое воздействие на организм еще больше усиливается [4].

Наиболее опасными микроскопическими грибами являются представители родов *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*.

Грибы рода *Alternaria* являются патогенами растений и сапрофитами, которые могут загряз-

нять широкий спектр сельскохозяйственных культур и сырья. Они продуцируют множество разнообразных по структуре вторичных токсичных метаболитов, включая не только несколько дибензо- $\alpha$ -пиронов и периленихинонов, но и целый спектр токсичных метаболитов с различной структурой [5].

**Цель исследования** – обзор современных публикаций отечественных и зарубежных ученых, посвященных микроскопическим грибам рода *Alternaria*.

**Задачи:** отбор и анализ литературных данных с использованием баз данных Google Академия, Elibrary, Sciencedirect, PubMed, посвященных микроскопическим грибам *Alternaria* sp.

**Объекты и методы.** Обзор литературы выполнен с использованием опубликованных материалов отечественных и зарубежных ученых по рассматриваемой тематике в базах данных Google Академия, Elibrary, Sciencedirect, PubMed и др. Всего проанализировано более 30 работ отечественных и зарубежных ученых.

**Результаты и их обсуждение.** *Alternaria* – это повсеместно распространенный гриб, включающий эндофитные, фитопатогенные и сапрофитные роды. Грибы рода *Alternaria* (класс Дотидеомицеты, семейство Pleosporaceae) со-

держат более 360 видов, в т. ч. *Alternaria alternata*, *A. tenuissima*, *A. arborescense*, *A. brassicicola*, *A. infectoria* и *A. solani*, разделенных на 29 секций. Они вызывают различные заболевания растений (более 4000 растений-хозяев), приводящие к серьезным экономическим потерям, а также к послеуборочной гнили и порче сельскохозяйственной продукции [6].

Грибы данного рода преимущественно поражают листья, способны также инфицировать семена и плоды. Некоторые виды *Alternaria spp.*, паразитирующие на сорных растениях, рассматриваются в качестве биогербицидов [7–9].

Грибы рода *Alternaria* образуют быстрорастущие колонии, окраска которых изменяется от серовато-оливковой до черной; поверхность имеет замшевую текстуру (рис.). Гифы с перегородками, от светлого до темно-коричневого цвета. Конидии обратнобулавидные, с вытянутым носиком, бледно-коричневого цвета, состоят из множества клеток и снабжены многочисленными продольными и поперечными перегородками. Конидии располагаются одиночно или цепочками, по 3–8 и более штук. Конидиеносцы коричневого цвета, длиной 50 мкм. Оптимальные среды для культивирования: картофельно-декстрозный и картофельно-морковный агары.



Колония *Alternaria alternata* на агаре Чапека (из коллекции лаборатории микотоксинов)  
*Alternaria alternata* colony on wort agar (from the collection of the mycotoxin laboratory)

*A. alternata*, вездесущий сапрофитный гриб, широко распространен в окружающей среде. Этот вид вызывает черную пятнистую гниль на различных фруктах и овощах, что приводит к значительным экономическим потерям. На процесс заражения растений *A. alternata* влияет множество факторов, таких как патогенность, условия окружающей среды и защитные механизмы плодов. *A. alternata* выделяет гидролитический фермент, генерируя активные формы кислорода, вырабатывает токсины для подавления защитной реакции плодов.

Исторически таксономия *Alternaria* прошла несколько этапов с момента ее первого описания Nees в 1816 г. Вначале *Alternaria* и родственные ей виды путали. Несмотря на попытки исследователей определить их таксономический статус, проблемы с номенклатурой и границами родов сохранялись долгое время. Впо-

следствии таксономия *Alternaria* была пересмотрена на основе новых сведений о споруляции и морфологии конидий.

С появлением методов полногеномного секвенирования и транскриптомного секвенирования, а также метода многолокусной филогении, был проведен полный анализ таксономии *Alternaria*.

На основе комплексного анализа морфологических характеристик и многолокусного филогенетического исследования J. Li, et al. описали три новых вида *Alternaria* (*A. oryzicola* sp. nov., *A. roae* sp. nov. и *A. zaeae* sp. nov.) с двух разных зерновых культур (*O. sativa* и *Z. mays*) [10].

Проведенный многолокусный филогенетический анализ позволил выявить шесть новых видов, принадлежащих к секции рода *Alternaria*, как: *A. muriformispora* sp. nov., *A. obpyriconidia* sp. nov., *A. ovoidea* sp. nov., *A. pseudoInfectoria*

*sp. nov.*, *A. rostroconidia sp. nov.* и *A. torilis sp. nov.* Исследователи неоднократно указывали на сложности точной видовой идентификации возбудителя вследствие огромного числа видов патогена, отсутствия подробных определителей и фенотипической изменчивости гриба в зависимости от условий культивирования [11].

Для рода *Alternaria* оптимальны температура 25–28 °С (максимум – 32 °С) и высокая влажность; при этом виды устойчивы к низким температурам. Рост частоты тяжелых форм альтернариозов на разнообразных культурах в России, вероятно, коррелирует с повышением среднегодовых температур вследствие глобального потепления.

Грибы рода *Alternaria* распространены на цветочных, плодовых, ягодных и злаковых культурах [12–15].

Серьезное заболевание пшеницы – черная пятнистость вызывается различными видами *Alternaria* (*A. alternata*, *A. infectoria* и *A. tenuissima*), при этом *A. alternata* встречается чаще [16].

На фруктах и овощах, пораженных альтернарией, обычно видны гнилые участки, например черная плесень на томатах. На злаковых культурах альтернария вызывает заболевание, известное как черная головня, которое характеризуется обесцвечиванием зародыша и семени. Однако при некоторых альтернариозных заболеваниях, таких как сердцевинная гниль яблок и черная гниль цитрусовых, видимые симптомы проявляются только внутри растения, но микотоксины распространяются по всем частям растения, вызывая неблагоприятные последствия для здоровья животных и людей при употреблении в пищу [17].

*A. triticina* считается еще одним важным патогеном, вызывающим пятнистость листьев пшеницы [18]. Фитопатоген *Alternaria alternate* вызывает бурю пятнистость цитрусовых, приводящую к значительным экономическим потерям. Грибы рода *Alternaria spp.* вызывают тяжелые заболевания у экономически важных пасленовых культур.

*A. alternata*, *A. tenuissima*, *A. burnsii* и неклассифицированный вид *Alternaria sp.* были идентифицированы как возбудители пятнистости листьев кукурузы в Китае [19].

На рисе *A. padwickii* (син. *Trichoconis padwickii*) часто обнаруживается в качестве возбудителя болезни зерна риса. Альтернариозная гниль голубики сопровождается появлением на поверхности ягод мягких тканей с беловатым

воздушным мицелием, через 2–3 сут гифы набухают и становятся оливково-зелеными, коричневыми или черными [20].

Подсолнечник подвержен заболеваниям листьев, вызываемым видами *Alternaria*. Все грибы были идентифицированы на основе морфологической характеристики и многолокусной филогенетической оценки семи генов, включая внутренний транскрибируемый спейсер участка рДНК, глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназу, вторую по величине субъединицу РНК-полимеразы, фактор элонгации трансляции 1-α, ген основного аллергена *Alternaria*, ген эндополигалактуроназы и анонимный участок гена. В результате были обнаружены два новых вида *Alternaria* – *A. myanmarensis sp. nov.* и *A. yamethinensis sp. nov.*, а также известный вид *A. burnsii*, впервые обнаруженный на подсолнечнике [21].

Грибы рода *Alternaria* выделяют широкий спектр метаболитов, примерно 70 из которых относятся к категории микотоксинов. Они поражают растения на всех стадиях развития – от семян до зрелых растений и плодов. В нашей стране альтернариатоксины не подлежат нормативному регулированию, несмотря на их широкую распространенность и высокий потенциал угрозы для здоровья человека и животных. Отсутствие документов, устанавливающих допустимые уровни микотоксинов *Alternaria spp.* в пищевой продукции и кормах, во многом обусловлено дефицитом данных об их токсичности в условиях *in vivo*.

У большинства соединений грибов рода *Alternaria* обнаружены токсические свойства не только по отношению к растениям, но и к млекопитающим. Неочищенный экстракт из мицелия *Alternaria tenuis* в дозе 300 мг/кг живой массы вызывает гибель мышей и крыс.

Конидии мелкоспоровых видов *Alternaria* – одни из наиболее обильных аллергенов в воздухе на открытых пространствах и в помещениях. Описаны нейрофизиологические заболевания, связанные с проживанием в условиях с высокой концентрацией *A. alternata* в окружающей среде. Наличие альтернариатоксинов в пыли, образующейся при профессиональной обработке пищевых продуктов и кормовых ингредиентов, а также в загрязненных остатках сырья и отходов, представляет профессиональную опасность для работников сельского хозяйства из-за возможного кожного попадания токсинов [22–24].

К альтернариатоксинам относятся: альтернариол – метаболит дибензопиринового ряда, монометилловый эфир альтернариола, альтенуен, альтертоксины I, II и III, тенуазоновая кислота, изотенуазоновая кислота и тентоксин.

Альтернариатоксины могут содержаться как в свежих, так и в обработанных продуктах, в т. ч. в зерне и продуктах на его основе (наиболее часто), семенах и масле подсолнечника, томатах, фруктах и продуктах из них, а также в ферментированных напитках, таких как пиво и вино [25–27].

На людей и животных влияют тенуазоновая кислота, альтернариол и монометилловый эфир альтернариола, в то время как на растения – тентоксин, который ингибирует фотосинтетическое фосфорилирование, снижая активность фермента АТФазы в растительных клетках и приводя к хлорозу [28].

Наиболее мощными микотоксинами *Alternaria* с точки зрения токсичности являются альтернариол, монометилловый эфир альтернариола, альтенуен, тентоксин и тенуазоновая кислота. Эти токсины воздействуют в основном на различные части клеток, такие как митохондрии, хлоропласты, плазматическая мембрана, комплекс Гольджи. Токсины альтернаририи представляют опасность генетической и клеточной токсичности для людей и животных, обладают тератогенным, мутагенным и канцерогенным действием.

Тенуазоновая кислота наиболее распространена и проявила в опытах *in vitro* низкую токсичность и мутагенность. В исследованиях *in vivo* выявлена его острая токсичность и синергический эффект с другими токсинами.

Для идентификации альтернариотоксинов в различных злаках (пшеница, кукуруза, рис, ячмень и др.) используются метод полимеразной цепной реакции, иммуноферментный анализ, метод электрохимического сенсорирования, тонкослойная и высокоэффективная жидкостная хроматография [29–31]. Жидкостная хроматография-тандемная масс-спектрометрия (LC-MS/MS) обеспечивала превосходную селективность и чувствительность для анализа токсинов.

L. Fang, et al. (2025) успешно внедрили метод LC-MS/MS в сочетании с онлайн-очисткой MAX SPE для одновременного количественного анализа альтернариотоксинов в различных злаках и продуктах на их основе. Из-за высокой чувствительности этого метода альтернариотоксины чаще всего обнаруживались в продуктах на ос-

нове злаков, а продукты на основе пшеницы были наиболее загрязнены. Тенуазоновая кислота была обнаружена в 87,5 % образцов на основе злаков в количестве до 201,51 мкг/кг. Пределы обнаружения тенуазоновой кислоты, альтернариола, тентоксина и монометилового эфира альтернариола для этого метода были определены как равные 0,3, 0,15, 0,06 и 0,02 мкг/кг соответственно [32].

Разработан мультимикотоксиновый метод QuEChERS (быстрый, простой, дешевый, эффективный, надежный и безопасный), позволяющий анализировать 24 (17 свободных и 7 модифицированных) токсина *Alternaria* и *Fusarium* в зерновых культурах с помощью сверхвысокопроизводительной жидкостной хроматографии и тандемной масс-спектрометрии (ВЭЖХ-МС/МС) [33].

*A. tenuissima*, *A. alternata* и *A. arborescens* способны к активному продуцированию альтернариола у популяций мелкоспоровых видов *Alternaria*, ассоциированных с зерновыми кормами [34].

По данным Г.П. Кононенко с соавт. (2023), в контаминации зерна овса может участвовать вид *Alternaria tenuissima*, известный как активный продуцент, и в меньшей степени – *A. arborescens* и комплекса '*A. infectoria*'. В зерне овса посевного (*Avena sativa* L.) сорта Яков, полученного от агропредприятия Московской области, степень зараженности *Alternaria* составила 36,0 %, содержание альтернариола – 630 мкг/кг [35].

Исследованиями Г.П. Кононенко с соавт. (2022) в семенах рапса (для него не свойственно присутствие токсичных метаболитов грибов родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Myrothecium* и ряда других), полученных при сборе в условиях повышенной температуры и влажности, выявлено присутствие альтернариола, в основном в малых количествах (от 8 до 32 мкг/кг) и реже с более выраженным накоплением (от 46 до 775 мкг/г). В одном из образцов ярового рапса, который дольше других хранили в недосушенном состоянии, выявили наибольшее загрязнение альтернариолом и интенсивное инфицирование грибом *A. tenuissima* с экспериментально подтвержденной способностью к токсинообразованию [36].

Альтернариол был обнаружен в горчице белой, причем содержание в процессе вегетации снижалось. Впервые установлено повышенное накопление токсина в листьях по сравнению со стеблями [37].

В масличных семенах подсолнечника основным контаминантом микогенного происхождения наряду с микофеноловой кислотой и эмодином является альтернариол. Альтернариол был обнаружен в вегетирующих растениях кукурузы в периоды листообразования и выметывания метелки, выращенных в условиях Московской области [38].

Обнаружено наличие альтернариола в дикорастущем растении кипрея узколистного (иванчай) и в коммерческих образцах сухого чая [39].

Альтернариол и монометиловый эфир альтернариола являются цитотоксичными и генотоксичными в микромолярных концентрациях [40].

Альтертоксины превосходят альтернариол и монометиловый эфир альтернариола по острой токсичности и мутагенности [41].

Несмотря на свое химическое разнообразие, токсины альтернариола обладают высококонсервативными механизмами биосинтеза. Ферменты, ответственные за производство большинства из этих соединений, кодируются кластерами биосинтетических генов [42]. Внутри этих кластеров основные ферменты биосинтеза ответственны за создание каркасов микотоксинов, включая поликетиды, нерибосомальные пептиды, терпены, индольные алкалоиды и гибриды [43]. Адаптирующие ферменты, кодируемые другими генами в том же кластере, модифицируют химическую основу посредством переноса функциональных групп или окислительно-восстановительных реакций. Эти кластеры также часто включают гены специфических факторов транскрипции, транспортеров и белков, устойчивых к токсинам [44].

Альтернариол – наиболее изученный альтернариотоксин, оказывающий цитотоксическое действие в опытах *in vitro* [45].

Цитотоксичность отдельных альтернариолевых токсинов во многом зависит от используемой клеточной линии и тестируемого токсина. Поскольку микотоксины обычно содержатся в продуктах питания и кормах в виде смесей, ситуация становится еще более сложной, поскольку необходимо определить воздействие смесей токсинов [46].

Для этого требуются комбинированные исследования, чтобы понять, нужно ли учитывать аддитивность, антагонизм или синергизм при оценке рисков для здоровья. При совместном воздействии альтернариола и его метилового эфира (в соотношении 1 : 1) жизнеспособность клеток кишечника человека (НСТ116) снижалась

сильнее, чем при воздействии каждого из них по отдельности. Как по отдельности, так и в сочетании альтернариол и дезоксиниваленол значительно повышали трансепителиальное электрическое сопротивление в клетках Caco-2.

Bensassi et al. исследовали цитотоксичность альтернариола и его метилового эфира. Регистрировали снижение жизнеспособности клеток примерно на 30 % после 24 ч воздействия при индивидуальном тестировании, в то время как при совместном тестировании они снижали жизнеспособность примерно на 50 % [47].

Fernández-Blanco и др. сообщили о синергических цитотоксических эффектах в клетках Caco-2 после 24-часового воздействия альтернариола и его метилового эфира [48].

Применение комбинированной смеси альтернариола, альтернуена, тенуазоновой кислоты показало цитотоксические эффекты в зависимости от дозы на клеточных линиях WI-38 и PCS-200-014 [49].

Tran et al., 2020 обнаружили значительное снижение жизнеспособности клеток кишечного эпителия человека (Caco-2) при воздействии комбинации альтернариола и его метилового эфира, тенуазоновой кислоты. Обнаружен аддитивный эффект воздействия альтертоксина-II и альтернариола. Бинарные комбинации, особенно монометиловый эфир альтернариола и тенуазоновая кислота (соотношение 1 : 3), а также альтернариол и его метиловый эфир (соотношение 1 : 1), значительно повышали цитотоксичность по сравнению с отдельными соединениями [50].

На штаммах *Salmonella* (тест Эймса) выявлено мутагенное действие токсинов *Alternaria*. Мутагенная активность оценена и на клетках млекопитающих. Альтертоксин-II, выделенный из *Alternaria alternata*, как минимум в 50 раз более мощный мутаген в тесте HPRT, чем альтернариол и монометиловый эфир альтернариола: альтернариол вызывал дозозависимое увеличение частоты мутаций, начиная с 10 мкМ, в то время как монометиловый эфир альтернариола увеличивал частоту мутаций гена HPRT. Аналогичная мутагенная активность наблюдалась у STTX-III, который при концентрации выше 0,25 мкМ в тесте HPRT вызывал увеличение количества устойчивых мутантов [7].

Альтернариол и его метиловый эфир способны повреждать ДНК. Они также проявляют цитотоксическое, мутагенное, канцерогенное, генотоксичное и тератогенное действие.

Альтертоксины I, II и III обладают генотоксическими и мутагенными свойствами. Наиболее выраженную мутагенную активность проявляет альтертоксин III.

Замаскированные альтернариотоксины (АОЛ-3-сульфат и АМЕ-3-сульфат) образуются в чистой культуре, организме животных и растениях.

Альтернариол подвергается как окислительного-восстановительному метаболизму I фазы, так и конъюгативному метаболизму II фазы в исследованиях *in vivo* и *in vitro*. Через 2 часа после перорального введения 2000 мг/кг массы тела немеченого альтернариола мышам NMRI в крови были обнаружены три гидроксильированных метаболита: 2-ОН-альтернариол, 4-ОН-альтернариол и 10-ОН-альтернариол. Эти метаболиты, а также 8-ОН-альтернариол, были обнаружены в моче в течение 72 часов после ее сбора. У крыс породы спраг-доули, получавших экстракт культуры альтернариоза (50 мг/кг массы тела), содержащий 35 мг/кг массы тела альтернариол, метаболит фазы II альтернариол-3-О-S был обнаружен в плазме через 3 часа и в моче через 3 и 24 часа. Кроме того, через 24 часа в фекалиях был обнаружен 4-ОН-альтернариол, что составляет 1 % от принятого количества альтернариола [51].

Из всех микотоксинов рода *Alternaria* лишь тенуазоновая кислота демонстрирует выраженную острую токсичность: уровень ЛД<sub>50</sub> при приеме внутрь у мышей и крыс составляет от 81 до 186 мг/кг массы тела [52]. Тенуазоновая кислота вызывает рвоту и геморрагические желудочно-кишечные заболевания у животных.

Механизм действия тенуазоновой кислоты заключается в подавлении высвобождения свежесинтезированных белков из рибосом. Тенуазоновая кислота проявляет фитотоксические и антибактериальные свойства. Внутривенное введение тенуазоновой кислоты в количестве 2,50 мг/кг массы тела трехнедельным бройлерам в течение 3 недель привело к снижению прироста массы тела, поражению селезенки (увеличение и зернистость), эрозии в желудке, кровоизлияниям в просвете кишечника и на поверхности сердца, отеку миокарда и кровоизлияниям мышечной ткани [53].

В последнее время все большее беспокойство вызывает загрязнение томатной продукции тенуазоновой кислотой.

Среднее содержание тенуазоновой кислоты в концентрированной томатной пасте составляло  $243 \pm 725$  мкг/кг, при этом уровни загрязнения ежегодно менялись. В 2022 г. Европейское управление по безопасности пищевых продуктов предложило ориентировочные уровни для обработанных томатных продуктов, установив уровни в 10 мкг/кг для альтернариола, 5 мкг/кг для метилового эфира альтернариола, 500 мкг/кг для тенуазоновой кислоты [54].

С помощью криосекции и количественного определения токсинов F. Sun et al., 2025, подтвердили гипотезу о том, что грибы *Alternaria* поражают томаты изнутри и распространяются наружу. На стадии цветения споры грибов *Alternaria* могут проникать внутрь плода различными путями, такими как воздушные потоки или насекомые, и оставаться скрытыми в развивающемся плоде [55].

Как только воздух попадает внутрь плода, скрытые споры при благоприятных условиях могут прорасти и инфицировать мякоть, быстро распространяясь изнутри наружу и в конечном итоге приводя к появлению черных пятен на кожице помидора. Одновременно с тем, как грибы *Alternaria* размножаются и распространяются, тенуазоновая кислота постепенно накапливается. Для повышения устойчивости к грибам *Alternaria* и снижения накопления микотоксинов были выведены трансгенные линии томатов, экспрессирующие хитиназу и CotA [56].

Токсины, вырабатываемые грибом *Alternaria*, являются распространенным загрязнителем яблок и яблочных продуктов [57, 58].

В яблоках и продуктах из них обнаруживаются альтернариол и его метиловый эфир, тенуазоновая кислота, альтертоксины I, II и тентоксин [54].

В литературе описаны случаи кожного альтернариоза, который поражает пациентов с ослабленным иммунитетом [55–57].

**Заключение.** Представленный обзор подтверждает опасность грибов рода *Alternaria* для сельскохозяйственных растений, животных и человека. Опасность альтернариоза обусловлена не только снижением урожайности и качества продукции, но и риском интоксикации людей и животных микотоксинами. Актуальными задачами остаются: изучение закономерностей развития патогена, механизмов переноса спор между растениями-хозяевами, совершенствование методов идентификации альтернариотоксинов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Potekhina R., Tarasova E., Matrosova L., et al. A case of laying hens mycosis caused by *Fusarium proliferatum* // *Veterinary Medicine International*. 2023. P. 5281260.
2. Тарасова Е.Ю., Кашеваров Г.С., Саитов В.Р., и др. Изучение защитного действия профилактических комплексов на ультраструктуру гепатоцитов кроликов при сочетанном микотоксикозе // *Ветеринарный врач*. 2023. № 1. С. 57–63. DOI: 10.33632/1998-698X\_2023\_1\_57. EDN: WBOSJJ.
3. Трemasова А.М., Идиятов И.И., Семенов Э.И., и др. Диагностика и ветеринарная помощь при отравлениях животных (Общие принципы). Казань: Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, 2022. 236 с. EDN: MVJOMR.
4. Семенов Э.И., Мишина Н.Н., Валиев А.Р., и др. Влияние комбинированного действия микотоксинов и ионизирующего излучения на аллергическую сенсibilизацию // *Ветеринарный врач*. 2023. № 2. С. 60–69. DOI: 10.33632/1998-698X\_2023\_2\_60. EDN: OZAMK.
5. Louro H., Vettorazzi A., López de Cerain A., et al. Hazard characterization of *Alternaria* toxins to identify data gaps and improve risk assessment for human health // *Arch Toxicol*. 2024. Vol. 98, N 2. P. 425–469. DOI: 10.1007/s00204-023-03636-8. EDN: CPNHRF.
6. da Cruz Cabral L., Rodríguez A., Delgado J., et al. Understanding the effect of postharvest tomato temperatures on two toxigenic *Alternaria* spp. strains: growth, mycotoxins and cell-wall integrity-related gene expression // *J. Sci. Food Agric*. 2019. Vol. 99, N 15. P. 6689–6695.
7. Wang H., Guo Y., Luo Z., et al. Recent Advances in *Alternaria* Phytotoxins: A Review of Their Occurrence, Structure, Bioactivity, and Biosynthesis // *J Fungi (Basel)*. 2022. Vol. 8, N 2. P. 168. DOI: 10.3390/jof8020168. EDN: SKNSMM.
8. Далинова А.А., Салимова Д.Р., Берестецкий А.О. Грибы рода *Alternaria* как продуценты биологически активных соединений и биогербицидов (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020. Т. 56, № 3. С. 223–241. DOI: 10.31857/S0555109920030022. EDN: EZMZUB.
9. Chen S.G., Qiang S. Recent advances in tenuazonic acid as a potential herbicide // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. 2017. Vol.143. P. 252–257.
10. Li J., Phookamsak R., Jiang H., et al. Additions to the Inventory of the Genus *Alternaria* Section *Alternaria* (*Pleosporaceae*, *Pleosporales*) in Italy // *J Fungi (Basel)*. 2022. Vol. 8, N 9. P. 898. DOI: 10.3390/jof8090898. EDN: CVHEXT.
11. Aung S.L., Liu F.Y., Gou Y.N., et al. Morphological and phylogenetic analyses reveal two new *Alternaria* species (*Pleosporales*, *Pleosporaceae*) in *Alternaria* section from Cucurbitaceae plants in China // *MycKeys*. 2024. Vol. 107. P. 125–139. DOI: 10.3897/mycokeys.107.124814. EDN: SLXVWN.
12. Schmey T., Small C., Einspanier S., et al. Small-spored *Alternaria* spp. (section *Alternaria*) are common pathogens on wild tomato species // *Environ Microbiol*. 2023. Vol. 25, N 10. P. 1830–1846. DOI: 10.1111/1462-2920.16394. EDN: SFAGME.
13. Антоненко В.В., Зубков А.В., Кручина С.Н. Альтернариозы декоративных, плодовых и ягодных культур // *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 1. С. 77–84. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-77-84. EDN: DRWXZU.
14. Liu L., Fan K., Huang Q., et al. Inhibition Effects of Infrared Radiation Prior to Cold Storage Against *Alternaria alternata* on Yellow Peach (*Amygdalus persica*) // *Toxins (Basel)*. 2025. Vol. 17, N 3. P. 106. DOI: 10.3390/toxins17030106. EDN: URTKOO.
15. Schmey T., Tominello-Ramirez C.S., Brune C., et al. *Alternaria* diseases on potato and tomato // *Mol Plant Pathol*. 2024. Vol. 25, N 3. P. e13435.
16. Tralamazza S.M., Piacentini K.C., Iwase C.H.T., et al. Toxigenic *Alternaria* species: Impact in cereals worldwide // *Current Opinion in Food Science*. 2018. Vol. 23. P. 57–63. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.05.002. EDN: YGFREL.
17. Saleh I., Zeidan R., Abu-Dieyeh M. The characteristics, occurrence, and toxicological effects of alternariol: a mycotoxin // *Arch Toxicol*. 2024. Vol. 98. P. 1659–1683. DOI: 10.1007/s00204-024-03743-0. EDN: RVQCMT.
18. Amatulli M.T., Fanelli F., Moretti A., et al. *Alternaria* species and mycotoxins associated to black point of cereals // *Mycotoxins*. 2005. Vol. 63. P. 39–46.

19. Liu H.F., Liu F.Y., Ke H.Y., et al. Three novel species of *Alternaria* (*Pleosporales*, *Pleosporaceae*) from cereal crops (*Poaceae*) in China // *MycKeys*. 2025. Vol. 116. P. 167–183. DOI: 10.3897/mycokeys.116.145681. EDN: YLLYMA.
20. Chacón F.I., Sineli P.E., Mansilla F.I., et al. Native Cultivable Bacteria from the Blueberry Microbiome as Novel Potential Biocontrol Agents // *Microorganisms*. 2022. Vol. 10, N 5. P. 969. DOI: 10.3390/microorganisms10050969. EDN: MLGAWU.
21. Nwe Z.M., Htut K.N., Aung S.L.L., et al. Two novel species and a new host record of *Alternaria* (*Pleosporales*, *Pleosporaceae*) from sunflower (*Compositae*) in Myanmar // *MycKeys*. 2024. Vol. 105. P. 337–354. DOI: 10.3897/mycokeys.105.123790. EDN: OKFLPA.
22. Strader M.B., Saha A.L., Fernandes C., et al. Distinct proteomes and allergen profiles appear across the life-cycle stages of *Alternaria alternata* // *J Allergy Clin Immunol*. 2024. Vol. 154, N 2. P. 424–434.
23. Gabriel M.F., Postigo I., Tomaz C.T., et al. *Alternaria alternata* allergens: Markers of exposure, phylogeny and risk of fungi-induced respiratory allergy // *Environ Int*. 2016. Vol. 89-90. P. 71–80. DOI: 10.1016/j.envint.2016.01.003. EDN: WUBLYB.
24. Hernandez-Ramirez G., Barber D., Tome-Amat J., et al. *Alternaria* as an Inducer of Allergic Sensitization // *J Fungi (Basel)*. 2021. Vol. 7, N 10. P. 838.
25. Schultz J., Umberath K.M., Raters M., et al. About *Alternaria* toxins in cocoa and chocolate products—method development and monitoring of alternariol, alternariol monomethyl ether and tenuazonic acid // *Mycotoxin Res*. 2022. Vol. 38, N 3. P. 167–173. DOI: 10.1007/s12550-022-00457-z. EDN: CJEIYP.
26. Scheibenzuber S., Dick F., Asam S., et al. Analysis of 13 *Alternaria* mycotoxins including modified forms in beer // *Mycotoxin Res*. 2021. Vol. 37, N 2. P. 149–159. DOI: 10.1007/s12550-021-00424-0. EDN: YHFOXG.
27. Meena M., Samal S. *Alternaria* host-specific (HSTs) toxins: An overview of chemical characterization, target sites, regulation and their toxic effects // *Toxicol Rep*. 2019. Vol. 17, N 6. P. 745–758. DOI: 10.1016/j.toxrep.2019.06.021. EDN: TIPAEJ.
28. Duke S.O., Pan Z.Q., Bajsa-Hirschel J. Proving the mode of action of phytotoxic phytochemicals // *Plants-Basel*. 2020. Vol. 9, N 12. P. 1756. DOI: 10.3390/plants9121756. EDN: SESLMD.
29. Riolo M., Luz C., Bua C., et al. Qualitative and relative abundance analysis of *Alternaria alternata* metabolites in pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars affected by Heart Rot using UHPLC-Q-TOF-MS // *Food Control*. 2025. Vol. 172. P. 111204. DOI: 10.1016/j.foodcont.2025.111204. EDN: MJTJPE.
30. Liu M., Zhang Y., Cheng R., et al. Determination of five *alternaria* toxins in peppermint by dispersive solid-phase extraction coupled with ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry based on MOF-808-TFA // *Food Chem*. 2025. Vol. 15, N 471. P. 142822. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.142822. EDN: HKCTMU.
31. Ji X., Deng T., Xiao Y., et al. Evaluation of *Alternaria* toxins in fruits, vegetables and their derivatives marketed in China using a QuEChERS method coupled with ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry: analytical methods and occurrence // *Food Control*. 2022. Vol. 147, N 25. P. 109563. DOI: 10.1016/j.foodcont.2022.109563.
32. Fang L., Qiu F., Yu X., et al. Sensitive determination of *Alternaria* toxins in cereals and cereal-based foods using online MAX SPE column cleanup coupled with liquid chromatography-tandem mass spectrometry // *Food Chem*. 2025. Vol. 493. Pt 3. P. 145806. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.145806. EDN: YRPDBD.
33. Dick F., Dietz A., Asam S., et al. Development of a high-throughput UHPLC-MS/MS method for the analysis of *Fusarium* and *Alternaria* toxins in cereals and cereal-based food // *Anal Bioanal Chem*. 2024. Vol. 16, N 26. P. 5619–5637. DOI: 10.1007/s00216-024-05486-4. EDN: HCPSQR.
34. Кононенко Г.П., Пирязева Е.А., Буркин А.А. Продукция альтернариола у популяций мелкоспоровых видов *Alternaria*, ассоциированных с зерновыми кормами // *Сельскохозяйственная биология*. 2020. Т. 55, № 3. С. 628–637. DOI: 10.15389/agrobiology.2020.3.628rus. EDN: LZPBLP.
35. Кононенко Г.П., Пирязева Е.А., Буркин А.А. Потенциал токсинообразования мелкоспоровых видов *Alternaria* из зерна овса, контаминированного альтернариолом // *Сельскохозяйственная биология*. 2023. Т. 58, № 3. С. 567–575. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.3.567rus. EDN: CPBGCC.

36. Кононенко Г.П., Воловин В.Т., Буркин А.А., и др. Профиль микотоксинов, типичный для оригинальных (репродукционных) семян рапса масличного // *Сельскохозяйственная биология*. 2022. Т. 57, № 5. С. 1001–1009. DOI: 10.15389/agrobiology.2022.5.1001rus. EDN: MAQSCA.
37. Буркин А.А., Кононенко Г.П., Мосина Л.В. Первое микотоксикологическое исследование горчицы белой (*Sinapis alba* L.) // *Сельскохозяйственная биология*. 2019. Т. 54, № 1. С. 186. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.186rus. EDN: YZIQAH.
38. Буркин А.А., Устюжанина М.И., Зотова Е.В. и др. Причины контаминации производственных партий семян подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) микотоксинами // *Сельскохозяйственная биология*. 2018. Т. 53, № 5. С. 969–976. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.5.969rus. EDN: YODNWH.
39. Буркин А.А., Кононенко Г.П. Обнаружение метаболитов микромицетов в растении Кипрей узколистный (*Chamaenerion angustifolium*) // *Успехи медицинской микологии*. 2024. Т. 26. С. 212–215. EDN: EOHAGI.
40. Pfeiffer E., Eschbach S., Metzler M. Alternaria toxins: DNA strand-breaking activity in mammalian cells in vitro // *Mycotoxin Res.* 2007. Vol. 23, N 3. P. 152–157.
41. Escriva L, Oueslati S, Font G, et al. Alternaria mycotoxins in food and feed: an overview // *J. Food Qual.* 2017. N 1. P. 1–20. DOI: 10.1155/2017/1569748.
42. Caesar L.K., Butun F.A., Robey M.T., et al. Correlative metabologenomics of 110 fungi reveals metabolite-gene cluster pairs // *Nat. Chem. Biol.* 2023. Vol. 19. P. 846–854. DOI: 0.1038/s41589-023-01276-8.
43. Bensassi F., Gallerne C., Sharaf el dein O., et al. Combined effects of alternariols mixture on human colon carcinoma cells // *Toxicol. Mech. Methods.* 2015. Vol. 25. P. 56–62.
44. Fernández-Blanco C., Font G., Ruiz M.-J. Role of quercetin on Caco-2 cells against cytotoxic effects of alternariol and alternariol monomethyl ether // *Food Chem. Toxicol.* 2016. Vol. 89. P. 60–66.
45. Ismaïtheir combined cytotoxic effects on human cell lines and male albino rats // *Journal of Fungi (Basel)*. 2023. Vol. 9, N 3. P. 282. DOI: 10.3390/jof9030282.
46. Tran V.N., Viktorová J., Ruml T. Mycotoxins: Biotransformation and bioavailability assessment using caco-2 cell monolayer // *Toxins* 2020. Vol.12. P. 628. DOI: 10.3390/toxins12100628. EDN: ICEVFL.
47. Li F.-Q., Yoshizawa T. Alternaria mycotoxins in weathered wheat from China // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2000. Vol. 48, N 7. P. 2920–2924.
48. Fraeyman S., Croubels S., Devreese M., et al. Emerging fusarium and Alternaria mycotoxins: Occurrence, toxicity and toxicokinetics // *Toxins*. 2017. Vol. 9, N 7. P. 228. DOI: 10.3390/toxins9070228. EDN: YHNDFW.
49. Giambrone J.J., Davis N.D., Diener U.L. Effect of tenuazonic acid on young chickens // *Poult Sci.* 1978. Vol. 57, N 6. P. 1554-1558.
50. Bertuzzi T., Rastelli S., Pietri A., et al. Alternaria toxins in tomato products in northern Italy in the period 2017-2019 // *Food Additives & Contaminants Part B-surveillance*. 2021. Vol. 14, N 3. P.170–176. DOI: 10.1080/19393210.2021.1895325. EDN: LWOPBE.
51. Sun F., Fan Y., Dai Y., et al. Elucidating the occurrence patterns of Alternaria toxin tenuazonic acid in individual tomatoes through MALDI- MSi and LC-MS/MS // *Food Chem.* 2025. Vol. 1(488). P. 144912. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.144912. EDN: HVGZDX.
52. He W., J. Yang P., Huang T., et al. Detoxifying bacterial genes from apples in China // *Int J Food Microbiol.* 2026. Vol. 16. Art. 111491.
53. Pavicich M.A., Cárdenas P., Pose G.N., et al. From field to process: How storage selects toxigenic Alternaria spp. causing mouldy core in Red Delicious apples // *Int J Food Microbiol.* 2020. Vol. 2. P. 108575. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108575. EDN: VINKHL.
54. Pavicich M.A., Nielsen K.F., Patriarca A. Morphological and chemical characterization of Alternaria populations from apple fruit // *Int J Food Microbiol.* 2022. Vol. 379. Art. 109842. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109842. EDN: PPAXKR.
55. Kieselová K., Gomes T., Santiago F., et al. Emerging Cutaneous Phaeohyphomycosis Caused by Alternaria infectoria // *Acta Med Port.* 2021. Vol. 34, N 11. P. 774–778. DOI: 10.20344/amp.13496. EDN: RXBJBB.

56. Chen Z., Jiang Y., Wang D., et al. Enhancement in serum (1-3)- $\beta$ -D-glucan level by cutaneous alternariosis: A case report and literature review // *Microb Pathog.* 2021. Vol. 150. Art. 104703. DOI: 10.1016/j.micpath.2020.104703. EDN: TXNOPQ.
57. Xia X., Liu Z., Shen H. Subcutaneous phaeohyphomycosis caused by *Alternaria* section *Alternaria* // *Int J Infect Dis.* 2023. Vol. 134. P. 99–101. DOI: 10.1016/j.ijid.2023.05.066. EDN: WAMKPE.
58. Pavicich MA, Cárdenas P, Pose GN, et al. From field to process: How storage selects toxigenic *Alternaria* spp. causing mouldy core in Red Delicious apples // *Int J Food Microbiol.* 2020. N 2. Art. 108575. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108575.

### References

1. Potekhina R, Tarasova E, Matrosova L, et al. A case of laying hens mycosis caused by *Fusarium proliferatum*. *Veterinary Medicine International.* 2023;5281260. DOI: 10.1155/2023/5281260.
2. Tarasova EYu, Kashevarov GS, Saitov VR, et al. Study of the protective effect of preventive complexes on the ultrastructure of rabbit hepatocytes in combined mycotoxicosis. *The Veterinarian.* 2023;1:57-63. (In Russ.). DOI: 10.33632/1998-698X\_2023\_1\_57. EDN: WBOSJJ.
3. Tremasova AM, Idiyatov II, Semenov EI, et al. *Diagnosis and Veterinary Care for Animal Poisonings: (General Principles)*. Kazan: Federal Center for Toxicological, Radiation, and Biological Safety; 2022. 236 p. (In Russ.).
4. Semenov EI, Mishina NN, Valiev AR, et al. The effect of the combined action of mycotoxins and ionizing radiation on allergic sensitization. *The Veterinarian.* 2023;2:60-69. (In Russ.). DOI: 10.33632/1998-698X\_2023\_2\_6.
5. Louro H, Vettorazzi A, López de Cerain A, et al. Hazard characterization of *Alternaria* toxins to identify data gaps and improve risk assessment for human health. *Arch Toxicol.* 2024;98(2):425-469. DOI: 10.1007/s00204-023-03636-8.
6. da Cruz Cabral L, Rodríguez A, Delgado J, et al. Understanding the effect of postharvest tomato temperatures on two toxigenic *Alternaria* spp. strains: growth, mycotoxins and cell-wall integrity-related gene expression. *J. Sci. Food Agric.* 2019;99(15):6689-6695. DOI: 10.1002/jsfa.9950.
7. Wang H, Guo Y, Luo Z, et al. Recent Advances in *Alternaria* Phytotoxins: A Review of Their Occurrence, Structure, Bioactivity, and Biosynthesis. *J Fungi (Basel).* 2022;8(2):168. DOI: 10.3390/jof8020168.
8. Dalinova AA, Salimova DR, Berestetsky AO. *Alternaria* Fungi as Producers of Biologically Active Compounds and Bioherbicides. *Applied Biochemistry and Microbiology.* 2020;56(3):223-241. (In Russ.).
9. Chen SG, Qiang S. Recent advances in tenuazonic acid as a potential herbicide. *Pesticide Biochemistry and Physiology.* 2017;143:252-257. DOI: 10.1016/j.pestbp.2017.0.
10. Li J, Phookamsak R, Jiang H, et al. Additions to the Inventory of the Genus *Alternaria* Section *Alternaria* (Pleosporaceae, Pleosporales) in Italy. *J Fungi (Basel).* 2022;8(9):898. DOI: 10.3390/jof8090898.
11. Aung SL, Liu FY, Gou YN, et al. Morphological and phylogenetic analyses reveal two new *Alternaria* species (Pleosporales, Pleosporaceae) in *Alternaria* section from Cucurbitaceae plants in China. *MycKeys.* 2024;107:125-139. DOI: 10.3897/mycokeys.107.124814.
12. Schmey T, Small C, Einspanier S, et al. Small-spored *Alternaria* spp. (section *Alternaria*) are common pathogens on wild tomato species. *Environ Microbiol.* 2023;25(10):1830-1846. DOI: 10.1111/1462-2920.
13. Antonenko VV, Zubkov AV, Kruchina S.N. *Alternaria* of ornamental, fruit and berry crops. *Bulletin of KSAU.* 2021;1:77–84. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-1-77-84. EDN: DRWXZU.
14. Liu L, Fan K, Huang Q, et al. Inhibition Effects of Infrared Radiation Prior to Cold Storage Against *Alternaria alternata* on Yellow Peach (*Amygdalus persica*). *Toxins (Basel).* 2025;17(3):106. DOI: 10.3390/toxins17030106.
15. Schmey T, Tominello-Ramirez CS, Brune C, et al. *Alternaria* diseases on potato and tomato. *Mol Plant Pathol.* 2024;25(3);e13435. DOI: 10.1111/mpp.13435.
16. Tralamazza SM, Piacentini KC, Iwase CHT, et al. Toxigenic *Alternaria* species: Impact in cereals worldwide. *Current Opinion in Food Science.* 2018;23:57-63. DOI: 10.1016/j.cofs.2018.05.002.

17. Saleh I, Zeidan R, Abu-Dieyeh M. The characteristics, occurrence, and toxicological effects of alternariol: a mycotoxin. *Arch Toxicol.* 2024;98:1659-1683. DOI: 10.1007/s00204-024-03743-0.
18. Amatulli MT, Fanelli F, Moretti A, et al. Alternaria species and mycotoxins associated to black point of cereals. *Mycotoxins.* 2005;63:39-46. DOI: 10.2520/myco.63.39.
19. Liu HF, Liu FY, Ke HY, et al. Three novel species of Alternaria (Pleosporales, Pleosporaceae) from cereal crops (Poaceae) in China. *MycKeys.* 2025;116:167-183. DOI: 10.3897/mycokeys.116.145681.
20. Chacón FI, Sineli PE, Mansilla FI, et al. Native Cultivable Bacteria from the Blueberry Microbiome as Novel Potential Biocontrol Agents. *Microorganisms.* 2022;10(5):969. DOI: 10.3390/microorganisms10050969.
21. Nwe ZM, Htut KN, Aung SLL, et al. Two novel species and a new host record of Alternaria (Pleosporales, Pleosporaceae) from sunflower (Compositae) in Myanmar. *MycKeys.* 2024;105:337-354. DOI: 10.3897/mycokeys.105.123790.
22. Strader MB, Saha AL, Fernandes C, et al. Distinct proteomes and allergen profiles appear across the life-cycle stages of Alternaria alternate. *J Allergy Clin Immunol.* 2024;154(2):424-434. DOI: 10.1016/j.jaci.2024.03.026.
23. Gabriel MF, Postigo I, Tomaz CT, et al. Alternaria alternata allergens: Markers of exposure, phylogeny and risk of fungi-induced respiratory allergy. *Environ Int.* 2016;89-90:71-80. DOI: 10.1016/j.envint.2016.01.003.
24. Hernandez-Ramirez G, Barber D, Tome-Amat J, et al. Alternaria as an Inducer of Allergic Sensitization. *J Fungi (Basel).* 2021; 7(10):838. DOI: 10.3390/jof7100838.
25. Schultz J, Umberath KM, Raters M, et al. About Alternaria toxins in cocoa and chocolate products-method development and monitoring of alternariol, alternariol monomethyl ether and tenuazonic acid. *Mycotoxin Res.* 2022;38(3):167-173. DOI: 10.1007/s12550-022-00457-z.
26. Scheibenzuber S, Dick F, Asam S, et al. Analysis of 13 Alternaria mycotoxins including modified forms in beer. *Mycotoxin Res.* 2021;37(2):149-159. DOI: 10.1007/s12550-021-00424-0.
27. Meena M, Samal S. Alternaria host-specific (HSTs) toxins: An overview of chemical characterization, target sites, regulation and their toxic effects. *Toxicol Rep.* 2019;17(6):745-758. DOI: 10.1016/j.toxrep.2019.06.021.
28. Duke SO, Pan ZQ, Bajsa-Hirschel J. Proving the mode of action of phytotoxic phytochemicals. *Plants-Basel.* 2020;9(12):1756. DOI: 10.3390/plants91.
29. Riolo M, Luz C, Bua C, et al. Qualitative and relative abundance analysis of Alternaria alternata metabolites in pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars affected by Heart Rot using UHPLC-Q-TOF-MS. *Food Control.* 2025;172:111204. DOI: 10.1016/j.foodcont.2025.111204.
30. Liu M, Zhang Y, Cheng R, et al. Determination of five alternaria toxins in peppermint by dispersive solid-phase extraction coupled with ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry based on MOF-808-TFA. *Food Chem.* 2025;15(471):142822. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.
31. Ji X, Deng T, Xiao Y, et al. Evaluation of Alternaria toxins in fruits, vegetables and their derivatives marketed in China using a QuEChERS method coupled with ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry: analytical methods and occurrence. *Food Control.* 2022;147(25):109563. DOI: 10.1016/j.foodcont.2022.109563.
32. Fang L, Qiu F, Yu X, et al. Sensitive determination of Alternaria toxins in cereals and cereal-based foods using online MAX SPE column cleanup coupled with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Food Chem.* 2025;493(3):145806. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.145806.
33. Dick F, Dietz A, Asam S, et al. Development of a high-throughput UHPLC-MS/MS method for the analysis of Fusarium and Alternaria toxins in cereals and cereal-based food. *Anal Bioanal Chem.* 2024;16(26):5619-5637. DOI: 10.1007/s00216-024-05486-4.
34. Kononenko GP, Piryazeva EA, Burkin AA. Alternariol production in populations of small-spored Alternaria species associated with grain feeds. *Agricultural Biology.* 2020;55(3):628-637. (In Russ.).
35. Kononenko GP, Piryazeva EA, Burkin AA. Toxin-producing small-spore alternaria species from oat grain contaminated with alternariol. *Agricultural Biology.* 2023;58(3):567-575. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiol.2023.3.567rus.

36. Kononenko GP, Volovin VT, Burkin AA, et al. A typical mycotoxin profile for original (reproductive) oilseed rape seeds. *Agricultural Biology*. 2022;57(5):1001-1009. (In Russ.).
37. Burkin AA, Kononenko GP, Mosina LV. The first mycotoxicological investigation of white mustard (*Sinapis alba* L.). *Agricultural Biology*. 2019;54(1):186. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.186rus.
38. Burkin AA, Ustyuzhanina MI, Zotova EV, et al. Reasons of contamination of production lots of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agricultural Biology*. 2018;53(5):969-976. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiology.2018.5.969rus.
39. Burkin A.A, Kononenko GP. Obnaruzhenie metabolitov mikromicetov v rastenii Kiprej uzkolistnyj (*Chamaenerion angustifolium*). *Advances in medical mycology*. 2024;26:212-215. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiology.2021.5.968rus.
40. Pfeiffer E, Eschbach S, Metzler M. Alternaria toxins: DNA strand-breaking activity in mammalian cells in vitro. *Mycotoxin Res*. 2007;23(3):152-157. DOI. 10.1007/BF02951512.
41. Escriva L, Oueslati S, Font G, et al. Alternaria mycotoxins in food and feed: an overview. *J. Food Qual*. 2017;1:1-20. DOI: 10.1155/2017/1569748.
42. Caesar LK, Butun FA, Robey MT, et al. Correlative metabologenomics of 110 fungi reveals metabolite-gene cluster pairs. *Nat. Chem. Biol*. 2023;19:846-854. DOI: 10.1038/s41589-023-01276-8.
43. Bensassi F, Gallerne C, Sharaf el dein O, et al. Combined effects of alternariols mixture on human colon carcinoma cells. *Toxicol. Mech. Methods*. 2015;25:56-62.
44. Fernández-Blanco C, Font G, Ruiz M-J. Role of quercetin on Caco-2 cells against cytotoxic effects of alternariol and alternariol monomethyl ether. *Food Chem. Toxicol*. 2016;89:60-66.
45. Ismaithair combined cytotoxic effects on human cell lines and male albino rats. *Journal of Fungi (Basel)*. 2023;9(3):282. DOI: 10.3390/jof9030282.
46. Tran VN, Viktorová J, Ruml T. Mycotoxins: Biotransformation and bioavailability assessment using caco-2 cell monolayer. *Toxins*. 2020;12:628. DOI: 10.3390/toxins12100628. EDN: ICEVFL.
47. Li F-Q, Yoshizawa T. Alternaria mycotoxins in weathered wheat from China. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2000;48(7):2920-2924.
48. Fraeyman S, Croubels S, Devreese M, et al. Emerging fusarium and Alternaria mycotoxins: Occurrence, toxicity and toxicokinetics. *Toxins*. 2017;9(7):228. DOI: 10.3390/toxins9070228. EDN: YHNDFW.
49. Giambrone JJ, Davis ND, Diener UL. Effect of tenuazonic acid on young chickens. *Poult Sci*. 1978;57(6):1554-1558.
50. Bertuzzi T, Rastelli S, Pietri A, et al. Alternaria toxins in tomato products in northern Italy in the period 2017-2019. *Food Additives & Contaminants Part B-surveillance*. 2021;14(3):170-176. DOI: 10.1080/19393210.2021.1895325. EDN: LWOPBE.
51. Sun F, Fan Y, Dai Y, et al. Elucidating the occurrence patterns of Alternaria toxin tenuazonic acid in individual tomatoes through MALDI- MSI and LC-MS/MS. *Food Chem*. 2025;1(488). Art. 144912. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.144912. EDN: HVGZDX.
52. He W, Yang P, Huang T, et al. Detoxifying bacterial genes from apples in China. *Int J Food Microbiol*. 2026;16(445):111491.
53. Pavicich MA, Cárdenas P, Pose GN, et al. From field to process: How storage selects toxigenic Alternaria spp. causing mouldy core in Red Delicious apples. *Int J Food Microbiol*. 2020;2(322):108575. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108575. EDN: VINKHL.
54. Pavicich MA, Nielsen KF, Patriarca A. Morphological and chemical characterization of Alternaria populations from apple fruit. *Int J Food Microbiol*. 2022;379:109842. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109842. EDN: PPAXKR.
55. Kieselová K, Gomes T, Santiago F, et al. Emerging Cutaneous Phaeohyphomycosis Caused by Alternaria infectoria. *Acta Med Port*. 2021;34(11):774-778. DOI: 10.20344/amp.13496. EDN: RXBJBB.
56. Chen Z, Jiang Y, Wang D, et al. Enhancement in serum (1-3)-β-D-glucan level by cutaneous alternariosis: A case report and literature review. *Microb Pathog*. 2021;150:104703. DOI: 10.1016/j.micpath.2020.104703. EDN: TXNOPQ.
57. Xia X, Liu Z, Shen H. Subcutaneous phaeohyphomycosis caused by Alternaria section Alternaria. *Int J Infect Dis*. 2023;134:99-101. DOI: 10.1016/j.ijid.2023.05.066. EDN: WAMKPE.

58. Pavicich MA, Cárdenas P, Pose GN, et al. From field to process: How storage selects toxigenic *Alternaria* spp. causing mouldy core in Red Delicious apples. *Int J Food Microbiol.* 2020;2(322):108575. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108575.

Статья принята к публикации 10.02.2026 / The article accepted for publication 10.02.2026.

Информация об авторах:

**Ольга Константиновна Ермолаева**, старший научный сотрудник лаборатории микотоксинов отделения токсикологии, кандидат биологических наук

**Лилия Евгеньевна Матросова**, ведущий научный сотрудник лаборатории микотоксинов отделения токсикологии, доктор биологических наук

**Светлана Анатольевна Танасева**, ведущий научный сотрудник лаборатории микотоксинов отделения токсикологии, кандидат биологических наук

**Наиля Наримановна Мишина**, заведующая лабораторией микотоксинов отделения токсикологии, кандидат биологических наук

**Элина Илгизовна Идрисова**, младший научный сотрудник лаборатории микотоксинов отделения токсикологии

Information about the authors:

**Olga Konstantinovna Ermolaeva**, senior researcher, mycotoxins laboratory, toxicology department, candidate of biological sciences

**Liliya Evgenyevna Matrosova**, leading researcher, mycotoxins laboratory, toxicology department, doctor of biological sciences

**Svetlana Anatolyevna Tanaseva**, leading researcher, mycotoxins laboratory, toxicology department, candidate of biological sciences

**Nailya Narimanovna Mishina**, head of mycotoxins laboratory at the department of toxicology, candidate of biological sciences

**Elina Ilgizovna Idrisova**, junior researcher, mycotoxins laboratory, toxicology department

