

УДК 615.9:632.4:633.16

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-95-100

И.В. Аксенов ✉

И.Б. Седова

З.А. Чалый

А.Л. Спиридонова

Д.М. Компаинцева

У.В. Иванова

Л.П. Захарова

В.А. Тутельян

Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

✉ [ilyaaksenoff@yandex.ru](mailto:ilyaaksenoff@yandex.ru)

Поступила в редакцию: 17.10.2025

Одобрена после рецензирования: 28.12.2025

Принята к публикации: 25.01.2026

© Аксенов И.В., Седова И.Б., Чалый З.А., Спиридонова А.Л., Компаинцева Д.М., Иванова У.В., Захарова Л.П., Тутельян В.А.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-404-03-95-100

Ilya V. Aksenov ✉

Irina B. Sedova

Zakhar A. Chalyy

Anastasia L. Spiridonova

Daria M. Kompaintseva

Ulyana V. Ivanova

Ludmila P. Zakharova

Viktor A. Tutelyan

Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

✉ [ilyaaksenoff@yandex.ru](mailto:ilyaaksenoff@yandex.ru)

Received by the editorial office: 17.10.2025

Accepted in revised: 28.12.2025

Accepted for publication: 25.01.2026

© Aksenov I.V., Sedova I.B., Chalyy Z.A., Spiridonova A.L., Kompaintseva D.M., Ivanova U.V., Zakharova L.P., Tutelyan V.A.

# Контаминация микотоксинами отечественного зерна ячменя (результаты скрининговых исследований урожая 2024 г.)

## РЕЗЮМЕ

Ячмень широко используется в животноводстве и пищевой промышленности. При этом особое внимание уделяется его безопасности для здоровья человека и сельскохозяйственных животных. К числу приоритетных контаминантов сельскохозяйственных злаковых культур относятся микотоксины — обладающие выраженным токсическим действием метаболиты плесневых грибов. В целях снижения релевантных рисков для здоровья населения в Российской Федерации установлены максимально допустимые уровни содержания отдельных микотоксинов в продовольственном зерне ячменя: афлатоксина В1, дезоксиниваленола, Т-2 токсина, зеараленона и охратоксина А.

**Цель исследования** — изучение частоты и уровня контаминации микотоксинами продовольственного зерна ячменя урожая 2024 года из разных федеральных округов Российской Федерации.

В отобранных территориальными органами Роспотребнадзора образцах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием было изучено содержание 29 микотоксинов.

В результате проведенных исследований было установлено, что распространенность выявленных в ячмене микотоксинов снижалась в следующей последовательности: энниатин В > альтерналиол > тентоксин > дезоксиниваленол, метиловый эфир альтерналиола > Т-2 и НТ-2 токсины, охратоксины А и В, цитринин, стеригматоцистин. В образцах из Центрального, Дальневосточного, Северо-Западного и Уральского федеральных округов были обнаружены только фузариотоксины, в ячмене из Южного, Сибирского, Приволжского федеральных округов — фузариотоксины вместе с альтерналиотоксинами, в зерне из Северо-Кавказского федерального округа — только альтерналиотоксины. Содержание выявленных в ячмене регламентируемых микотоксинов не превышало максимально допустимых уровней. На основании полученных данных можно сделать вывод о приоритетном загрязнении продовольственного зерна ячменя токсичными метаболитами полевых грибов рода *Fusarium* (энниатин В и дезоксиниваленол) и *Alternaria* (альтерналиол, метиловый эфир альтерналиола, тентоксин).

**Ключевые слова:** ячмень, микотоксины, высокоэффективная жидкостная хроматография с tandemной масс-спектрометрией, энниатин В, дезоксиниваленол, альтерналиол, метиловый эфир альтерналиола, тентоксин

**Для цитирования:** Аксенов И.В. и др. Контаминация микотоксинами отечественного зерна ячменя (результаты скрининговых исследований урожая 2024 г.). *Аграрная наука*. 2026; 404 (03): 95–100.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-95-100>

# Mycotoxin contamination of domestic barley grain (results of screening studies of the 2024 harvest)

## ABSTRACT

Barley is widely used in animal husbandry and the food industry. At the same time, special attention is paid to its safety for human and farm animal health. Mycotoxins, which are metabolites of mold fungi with a pronounced toxic effect, are among the priority contaminants of agricultural cereals. To reduce relevant public health risks, the Russian Federation has established maximum permissible levels of certain mycotoxins in food barley grain: aflatoxin B1, deoxynivalenol, T-2 toxin, zearalenone, and ochratoxin A.

**The aim of the study was to assess the frequency and level of mycotoxin contamination in food barley grain from the 2024 harvest from different federal districts of the Russian Federation.**

Samples collected by the territorial offices of Rosпотребнадзор were analyzed for 29 mycotoxins using high-performance liquid chromatography with tandem mass spectrometric detection. The studies revealed that the prevalence of mycotoxins detected in barley decreased in the following order: enniatin B > alternariol > tentoxin > deoxynivalenol, alternariol methyl ester > T-2 and HT-2 toxins, ochratoxins A and B, citrinin, and sterigmatocystin. Only *Fusarium* toxins were detected in samples from the Central, Far Eastern, Northwestern, and Ural Federal Districts; *Fusarium* toxins and *Alternaria* toxins were detected in barley from the Southern, Siberian, and Volga Federal Districts, and *Alternaria* toxins alone were detected in grain from the North Caucasus Federal District. The content of regulated mycotoxins detected in barley did not exceed the maximum permissible levels. Based on the data obtained, it can be concluded that food barley grain is primarily contaminated with toxic metabolites of field fungi of the genus *Fusarium* (enniatin B and deoxynivalenol) and *Alternaria* (alternariol, alternariol methyl ester, tentoxin).

**Key words:** barley, mycotoxins, high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, enniatin B, deoxynivalenol, alternariol, alternariol methyl ester, tentoxin

**For citation:** Aksenov I.V. *et al.* Mycotoxin contamination of domestic barley grain (results of screening studies of the 2024 harvest). *Agrarian science*. 2026; 404 (03): 95–100 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-404-03-95-100>

## Введение/Introduction

Ячмень наравне с пшеницей является основополагающей культурой, которая положила начало аграрной революции около 10 тыс. лет назад [1]. В настоящее время ячмень входит в число основных зерновых культур, культивируемых на территории Российской Федерации. Так, в 2024 г. по величине валового сбора (свыше 16 млн т) ячмень занял второе место среди зерновых культур после пшеницы<sup>1</sup>, при этом с начала XXI века отмечается устойчивый восходящий тренд его экспорта в другие страны [2].

Ячмень широко используется в животноводстве (на корм скоту и птице) и в пищевой промышленности (для производства пива и круп). При этом особое внимание уделяется безопасности зерна для здоровья человека и сельскохозяйственных животных [3].

К числу приоритетных контаминантов ячменя относятся микотоксины (МТ) — метаболиты плесневых грибов, обладающие широким спектром токсического действия, в том числе канцерогенными свойствами, и способные вызвать характерные заболевания — микотоксикозы [4, 5]. Наиболее распространены их хронические формы, вызванные длительным поступлением токсических метаболитов плесневых грибов [6]. Загрязнение зерна может происходить во время предуборочного периода, послеуборочной обработки, упаковки, транспортировки и хранения [7].

В целях снижения релевантных рисков для здоровья населения в Российской Федерации установлены максимально допустимые уровни содержания отдельных МТ в продовольственном зерне ячменя<sup>2</sup>: афлатоксин В1 — 0,005 мг/кг; дезоксиниваленола (DON) — 1,0 мг/кг; Т-2 токсина — 0,1 мг/кг; зеараленона — 1,0 мг/кг; охратоксина А (ОТА) — 0,005 мг/кг. Наряду с этим совершенствование методов анализа позволило выявить в зерновых продуктах целый ряд других МТ, в отношении которых в настоящее время происходит активное накопление данных об их токсичности и распространности: метаболитов грибов рода *Fusarium* (в том числе энниатины (ENN)); *Aspergillus* (в том числе стеригматоцистин (STC)); *Penicillium* (в том числе цитринин (CIT)); *Alternaria* (в том числе альтернариол (АОН), метиловый эфир альтернариола (АМЕ), тентоксин (TEN) и альтенуен) [8].

В связи с этим актуальной научной задачей является анализ содержания в зерне широкого спектра как регламентируемых, так и нерегламентируемых в настоящее время МТ, результаты которого будут востребованы при оценке соответствующего риска для здоровья населения, разработке мер по предупреждению загрязнения зерна

токсичными метаболитами плесневых грибов, а также при установлении влияния климатических условий культивирования злаковых культур на видовой и количественный состав выявленных МТ.

*Цель настоящего исследования* — изучение частоты и уровня контаминации МТ продовольственного зерна ячменя урожая 2024 года из разных федеральных округов Российской Федерации.

## Материалы и методы исследования / Materials and methods

Образцы продовольственного зерна ячменя урожая 2024 г. (n = 36) были отобраны согласно ГОСТ Р ИСО 24333-2017<sup>3</sup> случайным образом от однородных партий, хранящихся на перерабатывающих предприятиях, территориальными органами Роспотребнадзора во всех федеральных округах Российской Федерации:

- ✓ Центральном (ЦФО) (n = 14): Воронежская (n = 5), Курская (n = 3), Тамбовская (n = 3), Орловская (n = 2) и Белгородская (n = 1) области;
- ✓ Южном (ЮФО) (n = 8): Республика Крым (n = 3), Ставропольский край (n = 2), Волгоградская (n = 2) и Ростовская (n = 1) области;
- ✓ Сибирском (СФО) (n = 5): Республика Алтай (n = 3), Новосибирская область (n = 2);
- ✓ Приволжском (ПрФО) (n = 4): Республики Марий Эл и Татарстан, Самарская и Саратовская области;
- ✓ Северо-Кавказском (СКФО) (n = 2): Республика Дагестан, Кабардино-Балкарская Республика;
- ✓ Дальневосточном (ДФО) (n = 1): Приморский край;
- ✓ Северо-Западном (СЗФО) (n = 1): Калининградская область;
- ✓ Уральском (УФО) (n = 1): Курганская область.

В образцах определяли содержание 29 МТ: DON, зеараленона, Т-2 токсина, Т-2 триола, НТ-2 токсина, диацетоксискирпенола, ОТА, охратоксина В (ОТВ), STC, CIT, 3-ацетил- и 15-ацетилдезоксиниваленола, ниваленола, афлатоксинов В1, В2, G1, G2, фумонизинов В1, В2, циклопиазоновой кислоты, цитреовиридина, АОН, АМЕ, альтенуена, TEN, микофеноловой кислоты, фузаренона Х, неосоланиола, энниатина В (ENN В) [9].

Пробы готовили в соответствии с МВИ 410/4-2020 «Метод мультидетекции микотоксинов в зерне и первичных продуктах его переработки». Отбранную пробу (100 г) измельчали в лабораторной мельнице («ОЛИС», Россия) до однородного состояния. Навеску (5,0 г) измельченного образца помещали в центрифужную пробирку объемом 50 мл и добавляли 25 мл смеси ацетонитрила с водой (80:20 об.%), подкисленной муравьиной кислотой (0,5 об.%).

<sup>1</sup> Федеральная служба государственной статистики [электронный ресурс].

URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Val1\\_2024.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Val1_2024.xlsx) (дата обращения: 10.11.2025).

<sup>2</sup> Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) [электронный ресурс].

URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 10.11.2025).

<sup>3</sup> ГОСТ Р ИСО 24333-2017. Зерно и продукты его переработки. Отбор проб.

Экстракцию начинали встряхиванием в течение 10 мин. на ротаторе-миксере Multi RS-60 (Biosan, Латвия), продолжали на ультразвуковой бане Elma S15H (Elmasonic, Германия) (10 мин.) и заканчивали встряхиванием (10 мин.) на шейкере. Экстракт фильтровали через бумажный складчатый фильтр «синяя лента», отбирали 200 мкл в пробирку типа эппендорф, смешивали встряхиванием с 600 мкл подвижной фазы А (вода с ацетонитрилом (95:5 об. %), центрифугировали (ROTINA 38, Hettich zentrifugen, Германия) при скорости 4000 об/мин. Супернатант (200 мкл) переносили в хроматографическую вials и хранили при температуре -20 °С. В хроматографической вiale MT определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с tandemным масс-спектрометрическим детектированием с использованием хроматографической системы Agilent 1100 и масс-спектрометрического детектора с тройным квадруполом Agilent 6410 (Agilent Technologies, США) в условиях положительной электрораспылительной ионизации при атмосферном давлении в режиме мониторинга множественных реакций. Напряжение на капилляре источника ионов детектора составляло 4000 В, температура источника — 100 °С, температура газа осушителя (азот) — 350 °С, давление небулайзера — 60 psi (4,14 Бар).

Хроматографическое разделение осуществляли на колонке Zorbax SB-C18 (150 x 4,6 мм, диаметр частиц сорбента 3,5 мкм, Agilent Technologies, США), термостатированной при 25 °С, в режиме градиентного элюирования. Подвижная фаза А — вода с ацетонитрилом (95:5 об. %), Б — ацетонитрил. Обе фазы подкислены муравьиной кислотой (0,1 об. %). Схема градиента: старт — 0% Б, далее линейный рост до 95% Б в течение 30 мин., 95% Б до 36 мин., линейное снижение до 0% Б за 1 мин. и уравнивание колонки в течение 6 мин.

Общее время хроматографирования — 43 мин., объем вносимой пробы — 20 мкл.

Количественный расчет проводили методом внешней калибровки с использованием стандартных образцов MT (Sigma-Aldrich, США; Fermentek, Израиль; Fluka, Швейцария). Аналиты идентифицировали по совпадению времени удерживания, регистрации характерных ионов-продуктов и соотношению интенсивности их сигналов.

Нижняя граница определяемого содержания микотоксинов в образцах зерна составила, соответственно, для афлатоксинов STC, ОТА, ОТВ — 0,001 мг/кг; неосоланиола, микофеноловой кислоты — 0,002 мг/кг; TEN, диацетокси-скирпенола — 0,004 мг/кг; ENN В — 0,005 мг/кг; Т-2, АОН — 0,01 мг/кг; альтеноуена, CIT — 0,02 мг/кг; АМЕ — 0,05 мг/кг; НТ-2, DON, зеараленона, фумонизина В2, фузаренона Х, 3-ацетилдезоксиниваленола, 15-ацетилдезоксиниваленола, цитреовиридина, циклопиазоновой кислоты, Т-2 триола — 0,1 мг/кг; фумонизина В1 — 0,3 мг/кг; ниваленола — 0,5 мг/кг.

Статистически обработанные (Excel, Microsoft, США) результаты исследования представляли в виде частоты обнаружения MT в изученных образцах зерна ячменя и диапазона их содержания в загрязненных пробах.

## Результаты и обсуждение / Results and discussion

В исследованных образцах ячменя из разных федеральных округов Российской Федерации из 29 изученных MT были выявлены 11: DON, Т-2 и НТ-2 токсины, ОТА, ОТВ, STC, CIT, АОН, АМЕ, TEN, ENN В (табл. 1).

Зерно ячменя из ЦФО было загрязнено DON и ENN В. DON был обнаружен в зерне, полученном из Воронежской (в количестве 0,31 мг/кг) и Курской (0,10 мг/кг) областей; ENN В — в ячмене из

Таблица 1. Контаминация MT зерна ячменя урожая 2024 года

Table 1. Mycotoxin contamination of barley grain from the 2024 harvest

| Округ<br>(кол-во образцов) | Частота обнаружения MT в изученных образцах и диапазон их содержания (мг/кг) в загрязненных пробах |               |               |                          |               |               |               |               |                          |                     |                       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|
|                            | DON                                                                                                | Т-2           | НТ-2          | ENN В                    | ОТА           | ОТВ           | CIT           | STC           | АОН                      | АМЕ                 | TEN                   |
| ЦФО<br>(n = 14)            | 14%;<br>0,10 и 0,31                                                                                | Н/о           | Н/о           | 57%;<br>0,006–0,083      | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о                      | Н/о                 | Н/о                   |
| ЮФО<br>(n = 8)             | Н/о                                                                                                | Н/о           | Н/о           | 25%;<br>0,005<br>и 0,025 | 13%;<br>0,002 | 13%;<br>0,001 | 13%;<br>0,042 | 13%;<br>0,001 | 25%;<br>0,026<br>и 0,289 | 13%; 0,187          | Н/о                   |
| СФО<br>(n = 5)             | Н/о                                                                                                | 20%;<br>0,062 | 20%;<br>0,118 | 100%;<br>0,034–0,943     | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о           | 80%;<br>0,069–0,196      | 60%;<br>0,072–0,094 | 40%;<br>0,004 и 0,011 |
| ПрФО<br>(n = 4)            | Н/о                                                                                                | Н/о           | Н/о           | 25%; 0,021               | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о                      | Н/о                 | 25%;<br>0,004         |
| СКФО<br>(n = 2)            | Н/о                                                                                                | Н/о           | Н/о           | Н/о                      | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о                      | Н/о                 | 50%;<br>0,007         |
| ДФО<br>(n = 1)             | 100%;<br>0,41                                                                                      | Н/о           | Н/о           | 100%; 0,156              | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о                      | Н/о                 | Н/о                   |
| СЗФО<br>(n = 1)            | 100%;<br>0,10                                                                                      | Н/о           | Н/о           | 100%; 0,252              | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о                      | Н/о                 | Н/о                   |
| УФО<br>(n = 1)             | Н/о                                                                                                | Н/о           | Н/о           | 100%; 0,285              | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о           | Н/о                      | Н/о                 | Н/о                   |
| Все образцы<br>(n = 36)    | 11%;<br>0,10–0,41                                                                                  | 3%;<br>0,062  | 3%; 0,118     | 53%;<br>0,005–0,943      | 3%;<br>0,002  | 3%;<br>0,001  | 3%;<br>0,042  | 3%;<br>0,001  | 19%;<br>0,026–0,289      | 11%;<br>0,072–0,187 | 14%;<br>0,004–0,011   |

Примечание: Н/о < нижней границы определяемого содержания MT.

Орловской (0,083 мг/кг), Курской (0,010; 0,015 и 0,054 мг/кг), Воронежской (0,067 мг/кг), Белгородской (0,023 мг/кг) и Тамбовской (0,006 и 0,017 мг/кг) областей.

В ячмене из ЮФО МТ были выявлены исключительно в образцах из Волгоградской области: ОТА (0,002 мг/кг), ОТВ (0,001 мг/кг), STC (0,001 мг/кг), CIT (0,042 мг/кг), АОН (0,026 и 0,289 мг/кг), АМЕ (0,187 мг/кг) и ENN В (0,005 и 0,025 мг/кг).

Полученное из СФО зерно содержало Т-2 и HT-2 токсины, АОН, АМЕ, TEN, ENN В. В одном из образцов, полученных из Республики Алтай, были выявлены Т-2 (0,062 мг/кг) и HT-2 (0,118 мг/кг) токсины; АОН был найден в ячмене из Новосибирской области (0,069 мг/кг) и Республики Алтай (0,089; 0,135; 0,196 мг/кг); АМЕ (0,072; 0,082; 0,094 мг/кг) и TEN (0,004; 0,011 мг/кг) — только в зерне из Республики Алтай; ENN В — во всех изученных образцах: 0,034; 0,209 и 0,353 мг/кг — в алтайском, 0,128 и 0,943 мг/кг — в новосибирском зерне.

Присутствие только двух МТ было установлено в образцах из ПрФО: выращенное в Республике Марий Эл зерно содержало TEN (0,004 мг/кг) и ENN В (0,021 мг/кг).

В образцах из СКФО было выявлено загрязнение только TEN (0,007 мг/кг).

Полученное из ДФО и СЗФО зерно было контаминировано DON (0,41 мг/кг и 0,10 мг/кг, соответственно) и ENN В (0,156 мг/кг и 0,252 мг/кг); из УФО — только ENN В (0,285 мг/кг).

В целом распространенность выявленных в ячмене МТ снижалась в следующей последовательности: ENN В > АОН > TEN > DON, АМЕ > Т-2, HT-2, ОТА, ОТВ, CIT, STC. При этом содержание в зерне регламентируемых МТ (DON, Т-2, ОТА) не превышало установленные максимально допустимые уровни.

Полученные данные свидетельствуют о широкой распространенности нерегламентируемых МТ в ячмене из всех федеральных округов Российской Федерации, в частности фузариотоксина ENN В и альтернариатоксинов TEN, АОН и АМЕ.

ENN В является вторичным метаболитом грибов рода *Fusarium*. Липофильная природа ENN позволяет им встраиваться в липидные бислои клеточных мембран и создавать катион-селективные поры, которые вызывают увеличение проницаемости для катионов, что приводит к нарушению их физиологического уровня в клетке. Помимо ионофорных свойств, токсичность ENN В связана с развитием окислительного стресса, митохондриальной дисфункции и нарушением клеточного цикла, что в конечном итоге приводит к апоптотической гибели клеток [10].

Сходные данные по содержанию фузариотоксинов в ячмене были получены в Италии: ENN В и DON являлись наиболее распространенными метаболитами грибов *Fusarium*. При этом содержание DON в зерне находилось

в диапазоне 0,045–0,627 мг/кг, ENN В — 0,024–1,12 мг/кг [11].

Альтернариатоксины АОН, АМЕ и TEN представляют собой токсичные метаболиты широко распространенных в природе плесневых грибов рода *Alternaria*. Наиболее выраженная острая токсичность показана для тенуазоновой кислоты (TeA) ( $LD_{50}$  у самцов крыс при пероральном введении — 180 мг / кг м. т.). Основным механизмом действия TeA является, как полагают, ингибирование синтеза белка на рибосомах. При хроническом поступлении особую опасность представляют АОН и АМЕ, обладающие генотоксическим действием за счет ингибирования топоизомеразы ДНК и нарушения целостности ДНК. Контаминацию альтернариатоксинами пищевых продуктов рассматривают как возможную причину заболеваемости раком пищевода в Китае и острой тропической тромбоцитопенической пурпурой в странах Африки к югу от пустыни Сахары [12].

В настоящем исследовании альтернариатоксины наиболее часто были выявлены в зерне из СФО. Значительная частота контаминации сибирского ячменя токсинами грибов *Alternaria* была показана и в исследовании Ориной и соавт. [13], при этом год урожая оказывал существенное влияние на выраженность загрязнения зерна альтернариатоксинами.

В результате изучения образцов ячменя урожая 2018 г. из Алтайского края, Кемеровской, Новосибирской и Омской областей частота обнаружения TEN составила 87% (диапазон — 0,005–0,038 мг/кг; среднее содержание среди загрязненных образцов — 0,014 мг/кг), АОН обнаружен не был.

В образцах зерна 2019 г. TEN был выявлен в 78% проб (0,003–0,006 мг/кг, 0,004 мг/кг); АОН — в 22% проб (0,004 мг/кг и 0,005 мг/кг). В Аргентине частота контаминация ячменя АОН существенно варьировалась в зависимости от года урожая. Так, в зерне 2014 г. частота выявления АОН составила 81% (0,39–1,69 мг/кг; 0,62 мг/кг), АМЕ не обнаружен; в ячмене урожая 2015 г. АОН был выявлен в 47% образцов (0,37–1,25 мг/кг; 0,80 мг/кг), АМЕ — 15% проб (0,38–6,81 мг/кг; 2,20 мг/кг) [14].

В результате проведенного в Германии анализа загрязненности МТ ячменя урожая 2016–2020 гг. наличие TEN было установлено в 58% образцов (0,0001–0,0031 мг/кг), АОН — в 26% (0,0005–0,0206 мг/кг), АМЕ — в 18% (0,0012–0,0066 мг/кг) [15].

### Выводы/Conclusions

Таким образом, в ходе работы впервые в России были изучены частота и уровни контаминации широким спектром МТ (29 видов) продовольственного зерна ячменя урожая 2024 г. (36 образцов) из разных федеральных округов Российской Федерации.

Несмотря на относительно небольшое количество изученных образцов и неравномерность



выборки по регионам, можно сделать следующие предварительные выводы.

Основными загрязнителями ячменя являются нерегламентируемые токсические метаболиты полевых грибов родов *Fusarium* (энниатин В) и *Alternaria* (альтернариол, его метиловый эфир, тентоксин), что указывает на приоритетность оценки рисков, связанных с этими соединениями. Содержание регламентируемых МТ (дезоксиниваленола, Т-2 токсина, охратоксина А) во всех проанализированных образцах не превышало установленных в РФ максимально допустимых уровней.

Обнаружена региональная специфика в спектре загрязнения: в образцах из Центрального, Дальневосточного, Северо-Западного и Ураль-

ского федеральных округов были обнаружены только фузариотоксины; в ячмене из Южного, Сибирского и Приволжского федеральных округов — фузариотоксины с альтернариатоксинами; в единичных образцах из Северо-Кавказского федерального округа — только альтернариатоксин тентоксин.

В целом результаты работы определяют новые приоритеты (энниатин В и альтернариатоксины) мониторинга в зерне ячменя токсических метаболитов плесневых грибов и задают направление для дальнейших, более масштабных исследований, необходимых для достоверной оценки географических закономерностей контаминации продовольственного зерна МТ и разработки соответствующих профилактических мер.

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-16-00207.  
<https://rscf.ru/project/25-16-00207/>

## FUNDING

The study was supported by grant No. 25-16-00207 from the Russian Science Foundation.  
<https://rscf.ru/project/25-16-00207/>

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Haas M., Schreiber M., Mascher M. Domestication and crop evolution of wheat and barley: Genes, genomics, and future directions. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2019; 61(3): 204–225. <https://doi.org/10.1111/jipb.12737>
2. Ульябина Л.В., Алексеева Н.В., Медведева Т.А. Статистический анализ отдельных показателей внешней торговли Российской Федерации сельскохозяйственной продукцией. *Аграрная наука*. 2022; (11): 154–159. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-154-159>
3. Лебедин Ю.С., Орина А.С., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Майгурова В.Н., Петухов П.А. Применение аналитических методов для выявления критических пределов инфицирования зерна грибами рода *Fusarium*. *Аграрная наука*. 2021; (1): 92–97. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-92-97>
4. Валиуллин Л.Р. и др. Снижение опасности токсинов фитопатогенов с помощью композиции органоминерального происхождения. *Аграрная наука*. 2024; (10): 62–66. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-62-66>
5. Калинина И.В., Потороко И.Ю., Руськина А.А. Микотоксины в пищевых системах: механизмы деградации для обеспечения эффективности нетепловых воздействий обеззараживания. *Аграрная наука*. 2025; (1): 121–129. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-121-129>
6. Шеламов С.Н., Садовникова Н.Ю. Микотоксикозы в свиноводстве: проблема, которую нельзя недооценивать. *Аграрная наука*. 2018; (9): 22–25. EDN XZZZJJ
7. Pitt J.I., Miller J.D. A Concise History of Mycotoxin Research. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017; 65(33): 7021–7033. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04494>
8. Gruber-Dorninger C., Novak B., Nagl V., Berthiller F. Emerging Mycotoxins: Beyond Traditionally Determined Food Contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017; 65(33): 7052–7070. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03413>
9. Киселева М.Г., Седова И.Б., Чалый З.А., Захарова Л.П., Аристархова Т.В., Тутельян В.А. Анализ продовольственного зерна в Российской Федерации на загрязненность широким спектром микотоксинов (на примере урожая 2018 года). *Сельскохозяйственная биология*. 2021; 56(3): 559–577. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.559rus>
10. Prosperini A. et al. A Review of the Mycotoxin Enniatin B. *Frontiers in Public Health*. 2017; 5: 304. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00304>
11. Gozzi M., Blandino M., Bruni R., Capo L., Righetti L., Dall'Asta C. Mycotoxin occurrence in kernels and straws of wheat, barley, and tritordeum. *Mycotoxin Research*. 2024; 40(1): 203–210. <https://doi.org/10.1007/s12550-024-00521-w>

## REFERENCES

1. Haas M., Schreiber M., Mascher M. Domestication and crop evolution of wheat and barley: Genes, genomics, and future directions. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2019; 61(3): 204–225. <https://doi.org/10.1111/jipb.12737>
2. Ulybina L.V., Alekseeva N.V., Medvedeva T.A. Statistical analysis of individual indicators of foreign trade of the Russian Federation in agricultural products. *Agrarian science*. 2022; (11): 154–159 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-364-11-154-159>
3. Lebedin Yu.S., Orina A.S., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Maigurova V.N., Petukhov P.A. Application of analytical methods to identify critical limits of grain infection by *Fusarium* fungi. *Agrarian science*. 2021; (1): 92–97 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-344-1-92-97>
4. Valiullin L.R. et al. Reducing the danger of phytopathogen toxins by using an organomineral composition. *Agrarian science*. 2024; (10): 62–66 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-387-10-62-66>
5. Kalina I.V., Potoro I.Yu., Ruskina A.A. Mycotoxins in food systems: degradation mechanisms for effective non-thermal disinfection. *Agrarian science*. 2025; (1): 121–129 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2025-390-01-121-129>
6. Shelamov S.N., Sadovnikova N.Yu. Mycotoxicosis in pig industry: the problem, which cannot be underestimated. *Agrarian science*. 2018; (9): 22–25 (in Russian). EDN XZZZJJ
7. Pitt J.I., Miller J.D. A Concise History of Mycotoxin Research. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017; 65(33): 7021–7033. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04494>
8. Gruber-Dorninger C., Novak B., Nagl V., Berthiller F. Emerging Mycotoxins: Beyond Traditionally Determined Food Contaminants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017; 65(33): 7052–7070. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b03413>
9. Kiseleva M.G., Sedova I.B., Chalyy Z.A., Zakharova L.P., Aristarkhova T.V., Tutelyan V.A. Multi-mycotoxin screening of food grain produced in Russia in 2018. *Agricultural Biology*. 2021; 56(3): 559–577. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.3.559eng>
10. Prosperini A. et al. A Review of the Mycotoxin Enniatin B. *Frontiers in Public Health*. 2017; 5: 304. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00304>
11. Gozzi M., Blandino M., Bruni R., Capo L., Righetti L., Dall'Asta C. Mycotoxin occurrence in kernels and straws of wheat, barley, and tritordeum. *Mycotoxin Research*. 2024; 40(1): 203–210. <https://doi.org/10.1007/s12550-024-00521-w>

12. Аксенов И.В., Седова И.Б., Чалый З.А., Тутельян В.А. Альтернативные факторы риска для здоровья населения. *Анализ риска здоровью*. 2023; (4): 146–157. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.14>
13. Ордина А.С., Гаврилова О.П., Гагкаева Т.Ю., Гогина Н.Н. Контаминация зерна в Западной Сибири грибами *Alternaria* и их микотоксинами. *Вестник защиты растений*. 2021; 104(3): 153–162. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-3-15019>
14. Castañares E., Pavicich M.A., Dinolfo M.I., Moreyra F., Stenglein S.A., Patriarca A. Natural occurrence of *Alternaria* mycotoxins in malting barley grains in the main producing region of Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020; 100(3): 1004–1011. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10101>
15. Scheilbenzuber S., Dick F., Bretträger M., Gastl M., Asam S., Rychlik M. Development of analytical methods to study the effect of malting on levels of free and modified forms of *Alternaria* mycotoxins in barley. *Mycotoxin Research*. 2022; 38(2): 137–146. <https://doi.org/10.1007/s12550-022-00455-1>

## ОБ АВТОРАХ

### Илья Владимирович Аксенов

кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник  
ilyaaksenoff@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4567-9347>

### Ирина Борисовна Седова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник  
isedova1977@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6011-4515>

### Захар Андреевич Чалый

младший научный сотрудник  
tokka66@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9371-8163>

### Анастасия Леонидовна Спиридонова

лаборант-исследователь  
a\_l\_spiridonova@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0008-6075-9963>

### Дарья Михайловна Компанцева

лаборант-исследователь  
pestrolistay@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0006-5232-8659>

### Ульяна Валерьевна Иванова

лаборант-исследователь  
ds557@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8962-9133>

### Людмила Павловна Захарова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник  
zaharova@ion.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7355-5259>

### Виктор Александрович Тутельян

доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заведующий лабораторией энзимологии питания, научный руководитель  
tutelyan@ion.ru  
<http://orcid.org/0000-0002-4164-8992>

Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Устьинский проезд, 2/14, Москва, 109240, Россия

12. Aksenov I.V., Sedova I.B., Chalyy Z.A., Tutelyan V.A. *Alternaria* toxins as a risk factor for population health. *Health Risk Analysis*. 2023; (4): 146–157.

<https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.4.14>

13. Orina A.S., Gavrilova O.P., Gagkaeva T.Yu., Gogina N.N. Contamination of grain in West Siberia by *Alternaria* fungi and their mycotoxins. *Plant Protection News*. 2021; 104(3): 153–162 (in Russian).

<https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-3-15019>

14. Castañares E., Pavicich M.A., Dinolfo M.I., Moreyra F., Stenglein S.A., Patriarca A. Natural occurrence of *Alternaria* mycotoxins in malting barley grains in the main producing region of Argentina. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020; 100(3): 1004–1011.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.10101>

15. Scheilbenzuber S., Dick F., Bretträger M., Gastl M., Asam S., Rychlik M. Development of analytical methods to study the effect of malting on levels of free and modified forms of *Alternaria* mycotoxins in barley. *Mycotoxin Research*. 2022; 38(2): 137–146.

<https://doi.org/10.1007/s12550-022-00455-1>

## ABOUT THE AUTHORS

### Ilya Vladimirovich Aksenov

Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher  
ilyaaksenoff@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-4567-9347>

### Irina Borisovna Sedova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher  
isedova1977@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-6011-4515>

### Zakhar Andreevich Chalyy

Junior Researcher  
tokka66@bk.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9371-8163>

### Anastasia Leonidovna Spiridonova

Laboratory Researcher  
a\_l\_spiridonova@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0008-6075-9963>

### Darya Mikhailovna Kompahtseva

Laboratory Researcher  
pestrolistay@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0006-5232-8659>

### Ulyana Valerievna Ivanova

Laboratory Researcher  
ds557@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-8962-9133>

### Ludmila Pavlovna Zakharova

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher  
zaharova@ion.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7355-5259>

### Viktor Alexandrovich Tutelyan

Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Nutrition Enzymology, Scientific Supervisor  
tutelyan@ion.ru  
<http://orcid.org/0000-0002-4164-8992>

Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14 Ustinsky passage, Moscow, 109240, Russia