

# СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.359-367>  
УДК 636.085.19:636.086.1/.3:632.4(470)



## Микотоксикологический анализ сорго-суданкового гибрида BMR-типа в ходе вегетации

© 2026. Г. П. Кононенко ✉, А. А. Буркин, Е. В. Зотова, Е. А. Пирязева

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук», г. Москва, Российская Федерация

*Высокоурожайные сорго-суданковые гибриды с пониженным содержанием лигнина, полученные с применением генной технологии «brown-midrib gene b», рекомендованы и успешно применяются для силосования, но оценка их санитарно-значимых показателей только начинается. В данной работе сообщается о контаминации микроскопическими грибами и микотоксинами растений сорго-суданкового гибрида Нутритоп Стар, отобранных с участка опытного поля (РГАУ-МСХА, Московская область) в период от кущения до завершения фазы «выход в трубку». В составе микобиома доминировали грибы *Alternaria* (68,8%), с меньшей частотой представлены таксоны *Fusarium* (25,0%) и *Penicillium* (12,5%), в числе редких были *Cladosporium* и *Aspergillus* (6,3%). Изоляты *Alternaria* преимущественно принадлежали виду *A. tenuissima* и в биотесте *in vitro* показали высокий потенциал биосинтеза альтернариола. Иммуноферментным анализом в листьях растений, отобранных в фазы «кущение» и «выход в трубку», выявлены: альтернариол (13–30 мкг/кг), эмодин (32–95 мкг/кг), охратоксин А (6–12 мкг/кг); в фазе «выход в трубку» – микофеноловая кислота (19–64 мкг/кг). Количества афлатоксина В<sub>1</sub> (3–5 мкг/кг) были близки пределу определения, накопление циклопиазоновой кислоты и эргоалкалоидов варьировало при смене фаз развития. В стеблевых частях растений случаи обнаружения циклопиазоновой кислоты, эргоалкалоидов и эмодина были единичными. Аналиты – Т-2 токсин, дезоксиниваленол, диацетоксисцирпенол, зеараленон, фумонизины группы В, цитринин, стеригматоцистин, РР-токсин и роридин А не обнаружены. Полученная информация важна для совершенствования подходов к оценке качества сорговых кормов.*

**Ключевые слова:** сорго кормовое, Нутритоп Стар, надземная биомасса, листья, стебли, микромицеты, микотоксины, иммуноферментный анализ

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук» (тема № FGUG-2025-0002).

Авторы благодарят П. Ф. Василькова, аспиранта кафедры экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», за содействие в проведении полевого опыта.

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Кононенко Г. П., Буркин А. А., Зотова Е. В., Пирязева Е. А. Микотоксикологический анализ сорго-суданкового гибрида BMR-типа в ходе вегетации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2026;27(2):359–367. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.359-367>

Поступила в редакцию: 06.12.2025

Доработана после рецензирования: 26.02.2026

Принята к публикации: 19.03.2026

Опубликована онлайн: 27.04.2026

## Mycotoxicological analysis of the BMR-type sorghum-sudangrass hybrid during vegetation

© 2026. Galina P. Kononenko<sup>✉</sup>, Aleksey A. Burkin, Elena V. Zotova, Elena A. Piryazeva

All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology – branch of Federal Scientific Centre VIEV, Moscow, Russian Federation

*High-yielding sorghum-sudangrass hybrids with reduced lignin content, obtained using the “brown-midrib gene 6” gene technology, are recommended and successfully used for silage, but their sanitary-relevant features are only beginning to be evaluated. This paper reports on contamination with microscopic fungi and mycotoxins of the plants of sorghum-sudangrass hybrid of the ‘NutriTop Star’, which were collected from an experimental field (Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow region) during the period from tillering to the end of the stem elongation phase. The mycobiome was dominated by Alternaria fungi (68.8 %), with Fusarium (25.0 %) and Penicillium (12.5 %) taxa being less common, and Cladosporium and Aspergillus (6.3 %) being rare. The Alternaria isolates were predominantly A. tenuissima and in vitro biotests showed a high potential for the biosynthesis of alternariol. Enzyme immunoassay revealed the following in the leaves of plants collected in the “tillering” and “stem elongation” phases: alternariol (13–30 µg/kg), emodin (32–95 µg/kg), ochratoxin A (6–12 µg/kg) and mycophenolic acid in the stem elongation phase (19–64 µg/kg). The amounts of aflatoxin B<sub>1</sub> (3–5 µg/kg) were close to the limit of detection, and the accumulation of cyclopiazonic acid and ergot alkaloids varied with the change of growth phases. In the stem parts of the plants, the detection of cyclopiazonic acid, ergot alkaloids, and emodin was rare. Analytes – T-2 toxin, deoxynivalenol, diacetoxyscirpenol, zearalenone, group B fumonisins, citrinin, sterigmatocystin, PR-toxin and roridin A were not detected. The information obtained is important for improving approaches to assessing the quality of sorghum feed.*

**Keywords:** forage sorghum, ‘Nutritop Star’, aboveground plant biomass, leaves, stems, mycotoxins, enzyme immunoassay

**Acknowledgements:** the research was carried under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Centre VIEV (topic No. FGUG-2025-0002).

The authors thank P. F. Vasilkov, a postgraduate student of the Department of Ecology at the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, for his assistance in conducting the field experiment.

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

**Conflict of interests:** the authors stated that there was no conflict of interests.

**For citation:** Kononenko G. P., Burkin A. A., Zotova E. V., Piryazeva E. A. Mycotoxicological analysis of the BMR-type sorghum-sudangrass hybrid during vegetation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2026;27(2):359–367. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.359-367>

Received: 06.12.2025

Revised: 26.02.2026

Accepted for publication: 19.03.2026

Published online: 27.04.2026

Для безопасного использования кормовых растений важно иметь точное представление о рисках инфицирования микроскопическими грибами родов *Fusarium* Link, *Alternaria* Nees, *Penicillium* Link, *Aspergillus* P. Micheli ex Haller, *Trichoderma* Pers., *Cladosporium* Link, которые способны к образованию токсичных для животных метаболитов [1, 2]. Потенциально токсигенные виды служат источником внутренней контаминации растений микотоксинами, связанные формы которых могут быть определены методом иммуноферментного анализа [3, 4]. В нашей стране сведения о комплексах микотоксинов в кормовых культурах, выращенных при регулярном фитосанитарном контроле, получены для ячменя, пшеницы, овса [5], рапса, сурепицы [6] и недавно – для кукурузы [7].

В последнее время на выпас, зеленый корм и силосование все чаще начинают применять сорго-суданковые гибриды, обладающие высокой урожайностью, кормовой ценностью,

адаптивностью к стресс-факторам [8, 9] и смене почвенно-климатических условий [10, 11]. В Российской Федерации зарегистрированы новейшие разработки селекционеров – два гибрида Нутритоп Стар и Джабо Стар с пониженным содержанием лигнина, полученные с применением генной технологии “brown-midrib gene 6” (BMR 6) [12]. При оценке кормовой пригодности сорго и его гибридов основное внимание обращают на давно известный и крайне опасный фактор риска – дуррин, цианогенный β-D-глюкозид нитрила 4-оксиминдальной кислоты, вызывающий острые летальные отравления животных [13]. Формирование базы данных по комплексной микотоксикологической оценке этих растений только начинается.

**Цель исследования** – оценить характер внутренней контаминации зеленой массы сорго-суданкового гибрида Нутритоп Стар микроскопическими грибами и микотоксинами.

*Научная новизна* – у вегетирующего травяного сорго впервые в составе внутренней микобиоты, наряду с микромицетами родов *Fusarium*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, выявлены потенциально токсигенные виды *Alternaria* и определен характер эндогенной контаминации микотоксинами методом иммуноферментного анализа.

**Материал и методы.** Трехлинейный сорго-суданковый гибрид (*Sorghum x dummondii* (Steud.) Millsp. & Chase) типа BMR-6 (сорт Нутритоп Стар, код 8756950, оригинатор Advanta Seed International, Индия) выращивали в 2024 г. на участке Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева (Московская область) с дерново-подзолистой почвой. Посев проводили 30 мая 2024 г. семенами с всхожестью 85–90 % на 4 делянках размером 2×2 м, по 16 семян в каждой (2 ряда по 8 семян) с расстоянием между растениями 20 см, между рядами – 60 см. Через месяц с делянок на протяжении двух месяцев еженедельно срезали надземные части растений на высоте 3–5 см от поверхности почвы. Первые сборы (26.06 и 1.07) проводили при появлении 5–7-го листа (фаза «кущение»), следующие (8.07 и 15.07) – в начале фазы «выход в трубку» и далее (23.07, 30.07, 5.08, 12.08, 30.08) до выхода 12-го листа (до появления метелки из влагалища). В фазе «кущение» для анализа использовали листья, от всех последующих сборов растения разделяли на листовые пластинки и стеблевые части сразу после доставки в лабораторию.

Для микологического анализа фрагменты (1,0–1,5 см) листьев и стеблей, помещенные в марлевые мешочки, выдерживали 40 сек в 3%-м растворе формальдегида и затем двукратно обрабатывали раствором, приготовленным в 1 л стерильной дистиллированной воды с добавлением 4 мл 25%-го раствора аммиака. Далее по 15–50 фрагментов равномерно раскладывали в чашки Петри на агар Чапека-Докса (Czaprek Dox agar, CDA), содержащий 10 % медицинской желчи и антибиотики (50 тыс. ЕД пенициллина и 100 тыс. ЕД стрептомицина). Посевы выдерживали при 25 °С в течение 7–10 сут, культуры с признаками, типичными для родов *Alternaria*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, отсеивали на чашки с CDA, желчью и антибиотиками, а затем – в пробирки на скошенный CDA.

Встречаемость грибов этих таксонов, определенную как долю положительных образцов от общего их числа, и степень контаминации образца по числу инфицированных фрагментов выражали в процентах. Видовую принадлежность культур *Alternaria* определяли в соответствии с таксономической системой [14].

Для тестирования токсинообразования изолятов *Alternaria* в качестве ростовых сред использовали солодовый агар (Liofilchem®, Италия) и агар V-8, приготовленный из сока (V8®, Campbell Soup Company, США). Во флаконы вместимостью 10 мл и диаметром дна около 18 мм, содержащие по 1,5 мл агаровых сред, вносили кусочки инокулюма (10-суточной культуры на агаре Чапека-Докса), закрывали ватно-марлевыми пробками и обертывали их слоем лабораторной пленки (Parafilm M® PM-996, Pechiney Plastic Packing, США). После инкубирования в темноте в течение 7 сут при 25 °С в каждый флакон добавляли по 1,5 мл смеси ацетонитрила и воды в объемном соотношении 84:16, интенсивно встряхивали в начале и конце стационарной 14-часовой экстракции. Анализ экстрактов выполняли с помощью иммуноферментной тест-системы «Альтернариол-ИФА» (рег. № 0005-08-ВНИИВСТЭ) с пределом детектирования токсина 0,01 мкг/г среды. Каждый вариант опыта выполняли в трех повторностях, стандартные ошибки средних не превышали 15 %.

Для определения микотоксинов отобранные образцы листьев и стеблей (общее число – 61) выдерживали в интенсивно вентилируемом боксе до воздушно-сухого состояния и затем измельчали в лабораторной мельнице. Для экстракции применяли смесь ацетонитрила и воды в объемном соотношении 84:16 при расходе 10 мл на 1 г навески. Экстракты после 10-кратного разбавления фосфатно-солевым буферным раствором pH = 7,5 с Tween 20 использовали для непрямого конкурентного иммуноферментного анализа. Микотоксины – Т-2 токсин (Т-2), дезоксиниваленол (ДОН), диацетоксисцирпенол (ДАС), зеараленон (ЗЕН), фумонизины группы В (ФУМ), эргоалкалоиды (ЭА), альтернариол (АОЛ), роридин А (РОА), афлатоксин В<sub>1</sub> (АВ<sub>1</sub>), стеригматоцистин (СТЕ), циклопиазоновую кислоту (ЦПК), эмодин (ЭМО), охратоксин А (ОА), цитринин (ЦИТ), микофеноловую кислоту (МФК), PR-токсин (PR) –

анализировали с помощью аттестованных коммерческих и исследовательских иммуноферментных тест-систем [СТО 00494143.01-2015<sup>1</sup>]. Нижние пределы количественных измерений соответствовали 85%-му уровню связывания антител и составляли 1 (АВ<sub>1</sub>, ЭА), 2 (Т-2, ОА, СТЕ), 5 (РОА), 10 (АОЛ, МФК, ЗЕН, ЭМО, ЦИТ, ЦПК), 40 (ДОН, ФУМ) и 100 (ДАС, РР) нг/г (мкг/кг). Среднее содержание микотоксина по выборке определяли

как среднее арифметическое величин, полученных для положительных образцов.

**Результаты и их обсуждение.** В процессе наблюдения за растениями внешних признаков грибных заболеваний не отмечали.

Внутренняя микобиота листьев и стеблей в период наблюдений была представлена преимущественно микромицетами родов *Alternaria* и *Fusarium*, реже – *Cladosporium*, *Penicillium* и *Aspergillus* (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты микологического анализа листьев и стеблей сорго-суданкового гибрида Нутритоп Стар / Table 1 – Results of mycological analysis of leaves and stems of the 'NutriTop Star' sorghum-sudangrass hybrid

Таксон / Taxon	Встречаемость микромицетов ( $n^+/n$ ) / Степень контаминации образцов (мин.–макс.), % / Occurrence of micromycetes ( $n^+/n$ ) / Degree of contamination of samples (min. – max.), %		
	листья / leaves *	стебли / stems**	суммарно / in total
<i>Alternaria</i>	77,8 / 1,9–28,0	57,1 / 3,1–17,6	68,8 / 1,9–28,0
<i>Fusarium</i>	22,2 / 2,0–4,0	28,6 / 3,1–17,6	25,0 / 2,0–17,6
<i>Penicillium</i>	11,1 / -	14,3 / -	12,5 / -
<i>Cladosporium</i>	11,1 / -	-	6,3 / -
<i>Aspergillus</i>	-	14,3 / -	6,3 / -

Примечания:  $n$  – общее число образцов;  $n^+$  – число положительных образцов; прочерк означает, что микромицеты не обнаружены; \* отбор в фазы «кущение» и «выход в трубку»; \*\* отбор в фазу «выход в трубку» /

Notes:  $n$  is the total number of samples;  $n^+$  is the number of positive samples, and a dash means that no micromycetes were detected; \* collecting during “tillering” and “stem elongation” phases; \*\* collecting during “stem elongation” phase

Всего было получено 20 чистых культур рода *Alternaria*, 18 из них принадлежали виду *A. tenuissima* (Nees et T. Nees: Fries) Wiltshire и два – *A. arborescens* E. G. Simmons (из листьев в фазу «кущение») и *A. alternata* (Fr.) Keissler (из листьев в фазу «выход в трубку»). Тестирование на агаровых средах, оптимальных для их

токсинообразования, показало, что *A. tenuissima*, независимо от источника выделения, на солодовом агаре активно продуцирует АОЛ (от 16 до 287 мкг/г) (табл. 2). У изолятов *A. arborescens* и *A. alternata* на агаре V-8 накопление АОЛ было гораздо меньшим – 0,02 и 1,50 мкг/г.

Таблица 2 – Продуцирование альтернариола (АОЛ) изолятами *A. tenuissima* из листьев и стеблей сорго-суданкового гибрида Нутритоп Стар на солодовом агаре (7 сут, 25 °С, без освещения) / Table 2 – Production of alternariol (AOL) by *A. tenuissima* isolates from leaves and stems of the 'Nutritop Star' sorghum-sudangrass hybrid on malt agar (7 days, 25 °C, no light)

Источник выделения, $n$ / Origin of isolates, $n$	$n^+$ / количество АОЛ (мин.–средн.–макс., мкг/г) / $n^+$ / amount of AOL (min.–avg.–max., µg/g)
Листья, $n = 11$ / Leaves, $n = 11$ *	11 / 16–79–287
Стебли, $n = 7$ / Stems, $n = 7$ **	7 / 19–52–104

Примечания:  $n$  – число изолятов;  $n^+$  – число продуцентов; \* отбор в фазы «кущение» и «выход в трубку»; \*\* отбор в фазу «выход в трубку» /

Notes:  $n$  is the number of isolates;  $n^+$  is the number of positive producers; \* collecting during “tillering” and “stem elongation” phases; \*\* collecting during “stem elongation” phase

<sup>1</sup>СТО 00494143.01-2015. Тест-системы для непрямого конкурентного иммуноферментного анализа. Общие технические условия. М.: ВНИИВСГЭ, 2015.

В ходе иммуноферментного анализа в листьях (кущение, выход в трубку) и стеблях растения фузариотоксины Т-2, ДОН, ДАС, ЗЕН, ФУМ, а также ЦИТ, СТЕ, PR и РОА не обнаружены.

В период кущения в листьях были выявлены АОЛ, ЭМО, ОА, ЦПК, ЭА, а также малые количества АВ<sub>1</sub> вблизи предела определения и в одном образце – МФК. В листьях в начале фазы «выход в трубку» (8.07) концентрации АОЛ, ЭМО и ОА соответствовали найденным ранее в фазу кущения, ситуация по АВ<sub>1</sub> и МФК оставалась прежней, а количества ЦПК и ЭА обнаружены частично из-за сниженных содержаний. При следующем сборе (15.07) во всех образцах листьев присутствовали все компоненты, включая АВ<sub>1</sub> и МФК. В стеблевых частях от обоих сборов случаи обнаружения ЦПК, ЭА и ЭМО были единичными (табл. 3).

В течение продолжительной фазы «выход в трубку» было выполнено 5 отборов, присутствие АОЛ, ЭМО и МФК в листьях отмечено устойчивым – их находили во всех образцах – 16–21, 42–78 и 24–54 мкг/кг соответственно (табл. 4). Обнаружение АВ<sub>1</sub> было частичным в количествах, близких пределу определения метода, ОА из-за низких концентраций в трех сборах удалось детектировать только в части образцов. Содержания ЦПК и ЭА варьировали по датам сбора, что указывало на вовлеченность продуцирующих их эндофитов в реакции организма на изменения внутренних или внешних факторов. В 17 образцах стеблевых частей растения аналиты отсутствовали.

Таблица 3 – Встречаемость (n<sup>+</sup>) и содержание микотоксинов (мин.–средн.–макс.) в листьях и стеблях сорго-суданского гибрида Нутритоп Стар по датам отбора / Table 3 – Occurrence (n<sup>+</sup>) and content of mycotoxins (min.–avg.–max.) in leaves and stems of 'Nutritop Star' sorghum-sudangrass hybrid by collection dates

Микотоксин / Mycotoxin	Фаза «кущение» / "Tillering" phase			Начало фазы «выход в трубку» / The beginning of "stem elongation" phase		
	26.06 листья, n = 3 / leaves, n = 3	1.07 листья, n = 3 / leaves, n = 3	8.07 листья, n = 4 / leaves, n = 4	8.07 стебли, n = 3 / stems, n = 3	15.07 листья, n = 5 / leaves, n = 5	15.07 стебли, n = 2 / stems, n = 2
Альтернариол / Alternariol	n <sup>+</sup> мкг/кг / µg/kg 28-29-30	3 20-20-21	4 19-21-24	-	5 14-18-21	-
Охратоксин А / Ochratoxin A	n <sup>+</sup> мкг/кг / µg/kg 3	3 8-11-12	4 9-11-12	-	4 8-9-10	-
Афлатоксин В <sub>1</sub> / Aflatoxin B <sub>1</sub>	n <sup>+</sup> мкг/кг / µg/kg 3-4-4	1 3	2 3, 3	-	5 4-4-5	-
Циклопиазоновая кислота / Cyclopiazonic acid	n <sup>+</sup> мкг/кг / µg/kg 3	3 89-111-129	2 83, 126	1	5	1
Микофеноловая кислота / Mucophenolic acid	n <sup>+</sup> мкг/кг / µg/kg -	1 19	1 21	-	5 19-24-31	-
Эргоалкалоиды / Ergot alkaloids	n <sup>+</sup> мкг/кг / µg/kg 3	3 20-25-32	1 19	-	5 13-14-15	2 5, 9
Эмодин / Emodin	n <sup>+</sup> мкг/кг / µg/kg 36-41-48	3 32-35-40	3 32-43-62	-	5 38-57-63	2 38, 49

Примечания: n – число исследованных образцов; n<sup>+</sup> – число образцов, содержащих микотоксин; для таблиц 3, 4 / Notes: n is the number of samples examined; n<sup>+</sup> is the number of samples containing mycotoxin; for tables 3 and 4.

Таблица 4 – Встречаемость ( $n^+$ ) и содержание микотоксинов (мин.–средн.–макс.) в листьях сорго-суданского гибрида Нутригон Стар (фаза «выход в трубку») по датам отбора  
Table 4 – Occurrence ( $n^+$ ) and content of mycotoxins (min.–avg.–max.) in leaves of 'Nutritop Star' sorghum-sudangrass hybrid ("stem elongation" phase) by collection dates

Микотоксин / Mycotoxin		23.07, $n = 5$	30.07, $n = 5$	5.08, $n = 5$	12.08, $n = 6$	30.08, $n = 5$
Альтернариол / Alternariol	$n^+$	5	5	5	6	5
	мкг/кг / $\mu\text{g/kg}$	16-21-24	13-16-18	20-21-24	18-21-25	16-17-19
Охратоксин А / Ochratoxin A	$n^+$	5	3	3	6	3
	мкг/кг / $\mu\text{g/kg}$	7-9-11	8-9-10	8-8-8	7-9-10	6-7-8
Афлатоксин В <sub>1</sub> / Aflatoxin B <sub>1</sub>	$n^+$	2	2	1	4	4
	мкг/кг / $\mu\text{g/kg}$	5, 5	5, 5	3	3-4-5	4-5-5
Циклопиазоновая кислота / Cyclopiazonic acid	$n^+$	5	4	1	4	4
	мкг/кг / $\mu\text{g/kg}$	53-78-95	50-58-71	59	76-93-100	50-75-100
Микофеноловая кислота / Mucorphenolic acid	$n^+$	4	5	5	6	5
	мкг/кг / $\mu\text{g/kg}$	47-52-64	38-43-50	20-24-26	26-45-63	40-56-63
Эргоалкалоиды / Ergot alkaloids	$n^+$	5	5	2	4	5
	мкг/кг / $\mu\text{g/kg}$	7-12-17	5-7-8	7, 7	14-27-38	6-8-11
Эмодин / Emodin	$n^+$	5	5	5	6	5
	мкг/кг / $\mu\text{g/kg}$	51-78-95	40-57-79	34-42-54	52-57-63	45-55-63

На протяжении всего вегетационного периода присутствие АОЛ и ЭМО в зеленой массе растения было постоянным и удерживалось на низком уровне десятков мкг/кг. Источником контаминации АОЛ вполне может быть вид *A. tenuissima*, который в условиях эндофитного обитания не реализует высокий потенциал продуцирования, выявленный *in vitro*. Таксономический статус грибов, причастных к появлению в растении ЭМО, а также МФК, ЦПК, ЭА, ОА и АВ<sub>1</sub> пока остается неясным. Ни один из анализированных фузариотоксинов Т-2, ДОН, ДАС, ЗЕН, ФУМ в растении не был найден, хотя доля грибов *Fusarium* в ассоциированном сообществе была весьма существенной.

В целом слабая эндогенная контаминация растения микотоксинами была близка найденной у вегетирующей кукурузы и лишь немного отличалась от ее «физиологической нормы» [7]. Учитывая это сходство, можно предполагать участие микромицетов родов *Alternaria*, *Penicillium* и *Aspergillus* [15, 16, 17]. Состав эндофитов у гибридов с генной модификацией остается неизвестным, доступна только информация по сорго двуцветному (*Sorghum bicolor*). В коммерческих сортах описаны таксоны *Alternaria* и *Cladosporium*, *Fusarium*, *Phoma*, *Cryptococcus*, *Mucor*, *Colletotrichum*, *Epicoccum*, *Talaromyces*, *Acremonium* [18, 19]. Сообщено об идентификации в этих растениях двух видов – *F. thapsinum* и *F. oxysporum* [19, 20], а также нескольких представителей *Fusarium fujikuroi* species complex (в основном *F. thapsinum*), *Fusarium oxysporum* species complex (чаще других – *F. cili*) и генотипов *Fusarium chlamydosporum* species complex и *Fusarium incarnatum-equiseti* species complex [21].

Грибы *Alternaria*, *Colletotrichum* и *Fusarium* известны как патогены сорго и найдены в тканях с симптомами пятнистости листьев и стеблевой гнили [22, 23]. Гибриды, полученные с помощью генных технологий «brown-midrib», отличаются повышенным содержанием в тканях ароматических фенолкарбоновых кислот из состава лигнина, которые

способны ингибировать рост патогенов [24]. Вполне возможно, что изменения в комплексе биологически активных веществ этих растений могут приводить к своеобразию состава сообщества эндофитных грибов.

**Заключение.** Вегетирующие растения сорго-суданкового гибрида Нутритоп Стар контаминированы комплексом микотоксинов, в котором представлены циклопиазоновая кислота в концентрациях 50–140 мкг/кг, эмодин – 32–95, микофеноловая кислота – 19–64, альтернариол – 13–30, охратоксин А – 6–12, эргоалкалоиды – 5–38 и афлатоксин В<sub>1</sub> – 3–5 мкг/кг. Фузариотоксины (Т-2 токсин, дезоксиниваленол, диацетоксицирпенол, зеараленон, фумозины группы В), цитринин, стеригматоцистин, PR-токсин и роридин А

не обнаружены. В листьях на отдельных этапах вегетации выявлено варьирование содержания циклопиазоновой кислоты и эргоалкалоидов. В стеблевой части растений только в единичных случаях в начале фазы «выход в трубку» выявлены циклопиазоновая кислота, эргоалкалоиды и эмодин. По составу и содержанию контаминантов для данного сорта гибрида установлены признаки сходства с зеленой массы кукурузы. Расширение числа кормовых культур, для которых определена «физиологическая норма» по содержанию микотоксинов, позволяет принимать обоснованные решения по направленности возможных эффектов от воздействия антропогенных и биотических факторов при хозяйственном использовании.

#### References

1. Larran S., Perello A., Simo M.R., Moreno V. Isolation and analysis of endophytic microorganisms in wheat (*Triticum aestivum* L.) leaves. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 2002;18(7):683–686. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016857917950>
2. Bhagyasree S. N., Ghosh S. K., Thippaiah M., Rajgopal N. N. Survey on natural occurrence of endophytes in maize (*Zea mays* L.) ecosystem. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018;7(1):2526–2533. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.303>
3. Berthiller F., Crews C., Dall'Asta C., De Saeger S., Haesaert G., Karlovsky P. et al. Masked mycotoxins: a review. *Molecular Nutrition & Food Research*. 2013;57(1):165–186. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100764>
4. Zang Z., Nie D., Fan K., Yang J., Guo W., Meng J. et al. A systematic review of plant-conjugates masked mycotoxins: Occurrence, toxicology, and metabolism. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020;60(9):1523–1537. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1578944>
5. Кононенко Г. П., Зотова Е. В., Буркин А. А. Опыт микотоксикологического обследования зернофуражных культур. *Сельскохозяйственная биология*. 2021;56(5):958–967. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.5.958rus> EDN: LFQLCC  
Kononenko G. P., Zotova Ye. V., Burkin A. A. Advances in mycotoxicological research of forage grain crops. *Selskokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2021;56(5):958–967. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.5.958rus>
6. Буркин А. А., Кононенко Г. П., Воловик В. Т., Сергеева С. Е. Комплекс микотоксинов у рапса и сурепицы в весенне-летний период. *Сельскохозяйственная биология*. 2022;57(5):992–1000. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.5.992rus> EDN: HVCFCA  
Burkin A. A., Kononenko G. P., Volovik V. T., Sergeyeva S. Ye. The complex of mycotoxins in oilseed rape and turnip rape during spring and summer seasons. *Selskokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2022;57(5):992–1000. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.5.992rus>
7. Кононенко Г. П., Васильков П. Ф., Буркин А. А., Мосина Л. В. Микотоксины в вегетирующих растениях кукурузы с экспериментального монопосева. *Российская сельскохозяйственная наука*. 2024;(2):59–62. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262724020119> EDN: GSLDSM  
Kononenko G. P., Vasilkov P. F., Burkin A. A., Mosina L. V. Mycotoxins in vegetating corn plants from experimental mono-sowing. *Rossiyskaya selskokhozyaystvennaya nauka*. 2024;(2):59–62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262724020119>
8. Кибальник О. П., Эльконин Л. А., Кожемякин В. В. Хозяйственная ценность сорго-суданковых и суданко-сорговых гибридов F1. *Кормопроизводство*. 2011;(3):27–28.  
Kibalnik O. P., Elkonin L. A., Kozhemyakin V. V. Economic value of sorghum-sudan grass and sudan grass-sorghum F1 hybrids. *Kormoproizvodstvo = Forage Production*. 2011;(3):27–28. (In Russ.).
9. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Ермолина Г. М. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(3):334–342. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342> EDN: IZMXUW  
Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E., Ermolina G. A. Sudan grass productivity depending on meteorological conditions. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(3):334–342. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>

10. Васькина Т. И., Дронов А. В., Бельченко С. А., Дьяченко В. В., Сычев С. М. Оптимизация элементов возделывания сорго кормового на юго-западе Центрального региона России. *Аграрная наука*. 2022;(9):131–136. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-131-136> EDN: COJWHE
- Vaskina T. I., Dronov A. V., Belchenko S. A., Dyachenko V. V., Sychev S. M. Optimization of elements of forage sorghum cultivation in the south-west of the Central region of Russia. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2022;(9):131-136. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-362-9-131-136>
11. Шкодина Е. П., Балун О. В. Потенциал сорговых культур при выращивании на корм в Нечернозёмной зоне. *Пермский аграрный вестник*. 2022;4(40):45–52. DOI: [https://doi.org/10.47737/2307-2873\\_2022\\_40\\_45](https://doi.org/10.47737/2307-2873_2022_40_45) EDN: QLMENJ
- Shkodina E. P., Balun O. V. The potential of sorghum crops when grown for feed in the Non-chernozem zone. *Permsky agrarny vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2022;4(40):45–52. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.47737/2307-2873\\_2022\\_40\\_45](https://doi.org/10.47737/2307-2873_2022_40_45)
12. Li J., Wang L., Zhang Q., Liu Y. Map-based cloning and expression analysis of BMR-6 in sorghum. *Journal of Genetics*. 2015;94(3):445–452. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12041-015-0550-9>
13. Giantin S., Franzin A., Brusa F., Montemurro V., Bozzetta E., Caprai E. et al. Overview of cyanide poisoning in cattle from *Sorghum halepense* and *S. bicolor* cultivars in Northwest Italy. *Animals*. 2024;14(5):743. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14050743>
14. Simmons E. G. *Alternaria: an identification manual*. Biodiversity, Utrecht: CBS, 2007. Vol. 6. 775 p.
15. Fisher P. J., Petrini O., Lapin Scott H. M. The distribution of some fungal and bacterial endophytes in maize (*Zea mays* L.). *New Phytologist*. 1992;122(2):299–305. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb04234.x>
16. Potshangbam M., Devi S. I., Sahoo D., Strobel G. A. Functional characterization of endophytic fungal community associated with *Oryza sativa* L. and *Zea mays* L. *Frontiers in Microbiology*. 2017;8:325. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00325>
17. El-hawary S. S., Moawad A. S., Bahr H. S., Abdelmohsen U. R., Mohammed R. Natural product diversity from the endophytic fungi of the genus *Aspergillus*. *RSC Advances*. 2020;10:22058–22079. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0RA04290K>
18. Pambuka G. T., Kinge T. R., Ghosh S., Cason E. D., Nyaga M. M., Gryzenhout M. Baseline data of the fungal phytobiome of three sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars in South Africa using targeted environmental sequencing. *Journal of Fungi*. 2021;7(11):1–21. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof7110978>
19. Silva R. M. F., Neto W. P. P., Oliveira R. J. V., Bezerra J. D. P., Bezerra J. L., de Lima V. X. et al. Effect of climate and phenological stage on fungal endophytes community in *Sorghum bicolor* leaves. *Mycological Progress*. 2023;22:19. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11557-023-01870-z>
20. Thio G. I., Zida E. P., Neyra J. B., Wulff E. G., Lund O. S., Boelt B. Genetic diversity of *Fusarium* endophytes strains from sorghum (*Sorghum bicolor* L.) tissues in Burkina Faso. *International Journal of Biotechnology and Molecular Biology Research*. 2021;11(1):1–9. DOI: <https://doi.org/10.5897/IJBMBR2021.0316>
21. Gunasinghe N., Vaghefi N., Shivas R. G., Tan Y. P., Jordan D., Mace E., Martin A. Diversity and pathogenicity of *Fusarium* spp. isolated from cultivated sorghum stems and roots in eastern Australia. *Plant Pathology*. 2024;73(9):2563–2573. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppa.13985>
22. Wei G., Zhao W., Hu A., Ren M., Huang Y., Xu H. Identification of a new pathogenic fungi causing sorghum leaf spot disease and its management using natural product and microorganisms. *Microorganisms*. 2023;11(6):1431. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms11061431>
23. Yu Z.-F., Kami Y. B., Xia J.-Y., Chang X.-Y., Li J.-Y., Han J.-R. et al. Identification of major fungal diseases in sorghum and screening of broad-spectrum resistance germplasms in Southwest China. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2025;138:102706. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2025.102706>
24. Funnell-Harris D. L., Sattler S. E., Pedersen J. F. Response of *Fusarium thapsinum* to sorghum *brown midrib* lines and to phenolic metabolites. *Plant Disease*. 2014;98(10):1300–1308. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-13-0980-RE>

**Вклад авторов:** Кононенко Г. П. – концепция и план исследования, анализ данных, подготовка рукописи. Буркин А. А., Пирязева Е. А. – выполнение экспериментов, анализ данных. Зотова Е. В. – выполнение экспериментов, подготовка рукописи.

*Сведения об авторах*

✉ **Кононенко Галина Пантелеевна**, доктор биол. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории микотоксикологии и санитарии кормов, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук», Звенигородское шоссе, д. 5, стр. 1, г. Москва, Российская Федерация, 123022, e-mail: [vniivshe@mail.ru](mailto:vniivshe@mail.ru), ORCID: <https://orcid/0000-0002-9144-615X>, e-mail: [kononenkognp@mail.ru](mailto:kononenkognp@mail.ru)

**Буркин Алексей Анатольевич**, кандидат мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории микотоксикологии и санитарии кормов, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук», Звенигородское шоссе, д. 5, стр. 1, г. Москва, Российская Федерация, 123022, e-mail: [vniivshe@mail.ru](mailto:vniivshe@mail.ru), ORCID: <https://orcid/0000-0002-5674-2818>

**Зотова Елена Владимировна**, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник лаборатории микотоксикологии и санитарии кормов, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук», Звенигородское шоссе, д. 5, стр. 1, г. Москва, Российская Федерация, 123022, e-mail: [vniivshe@mail.ru](mailto:vniivshe@mail.ru), ORCID: <https://orcid/0000-0002-1479-8602>

**Пирязева Елена Алексеевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории микотоксикологии и санитарии кормов, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук», Звенигородское шоссе, д. 5, стр. 1, г. Москва, Российская Федерация, 123022, e-mail: [vniivshe@mail.ru](mailto:vniivshe@mail.ru), ORCID: <https://orcid/0000-0001-5443-3213>

**Author contributions:** Kononenko G. P. – research concept and plan, data analysis, manuscript preparation. Burkin A. A., Piryazeva E. A. – conducting experiments, data analysis. Zotova E. V. – conducting experiments, preparation of the manuscript.

*Information about authors*

✉ **Galina P. Kononenko**, DSc in Biological Science, professor, chief researcher, the Laboratory of Mycotoxicology and Feed Sanitation, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology – branch of Federal Scientific Centre VIEV, Zvenigorodskoye shosse, 5, building 1, Moscow, Russian Federation, 123022, e-mail: [vniivshe@mail.ru](mailto:vniivshe@mail.ru), ORCID: <https://orcid/0000-0002-9144-615X>, e-mail: [kononenkognp@mail.ru](mailto:kononenkognp@mail.ru)

**Aleksey A. Burkin**, PhD in Medical Science, leading researcher, the Laboratory of Mycotoxicology and Feed Sanitation, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology – branch of Federal Scientific Centre VIEV, Zvenigorodskoye shosse, 5, building 1, Moscow, Russian Federation, 123022, e-mail: [vniivshe@mail.ru](mailto:vniivshe@mail.ru), ORCID: <https://orcid/0000-0002-5674-2818>

**Elena V. Zotova**, PhD in Veterinary Science, senior researcher, the Laboratory of Mycotoxicology and Feed Sanitation, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology – branch of Federal Scientific Centre VIEV, Zvenigorodskoye shosse, 5, building 1, Moscow, Russian Federation, 123022, e-mail: [vniivshe@mail.ru](mailto:vniivshe@mail.ru), ORCID: <https://orcid/0000-0002-1479-8602>

**Elena A. Piryazeva**, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Mycotoxicology and Feed Sanitation, All-Russian Research Institute for Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology – branch of Federal Scientific Centre VIEV, Zvenigorodskoye shosse, 5, building 1, Moscow, Russian Federation, 123022, e-mail: [vniivshe@mail.ru](mailto:vniivshe@mail.ru), ORCID: <https://orcid/0000-0001-5443-3213>

✉ – Для контактов / Corresponding author