

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ / FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1124-1136>



УДК 614.95

Результаты микотоксикологического мониторинга кормов крупного рогатого скота, заготовленных в Вологодской области

© 2024. А. В. Платонов, С. В. Ерегина , И. В. Артамонов

ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», г. Вологда, Российская Федерация

Проведено микотоксикологическое исследование различных кормов для крупного рогатого скота с целью выделения наиболее пораженных видов кормов и распространенных микотоксинов. В ходе продолжительного мониторинга сходных по видовому составу, условиям заготовки и хранения образцов кормов для определения динамики количества микотоксинов исследовано свыше 260 растительных образцов из ряда хозяйств Вологодской области, из них 61 образец на одновременное содержание 4 микотоксинов и 22 образца на одновременное содержание 5 микотоксинов. Содержание основных групп микотоксинов в заготавливаемых кормах анализировали методом ИФА-анализа. Всего за 2022–2024 годы проведено 509 исследований, в том числе на содержание суммы афлатоксинов – 155 анализов, охратоксина-А – 132, зеараленона – 105, дезоксиниваленола (ДОН) – 89, Т-2 токсина – 28 анализов. Результаты исследования показали, что 99 % изученных образцов в той или иной мере заражены микотоксинами: при этом все анализируемые образцы были заражены афлатоксинами и зеараленоном, 97 % – охратоксином-А и менее трети образцов – ДОН, причем значительная часть образцов подвержена контаминации двумя и более микотоксинами. Образцы зерна, зеленой массы и сенажа содержали микотоксины ниже уровня ПДК, в образцах сена преобладающим контаминантом являлся Т-2 токсин, содержание которого в 9 раз выше уровня ПДК. По результатам анализов силосов разного состава обнаружено, что наиболее зараженными являлись бобовые и злаковые моновидовые силосы – превышение ПДК по сумме афлатоксинов в среднем составило 4,1–4,2 раза, по охратоксину-А – 1,1–1,3 раза. Мониторинг содержания микотоксинов показал, что в образцах злаково-бобового силоса с увеличением срока хранения происходит возрастание содержания ряда микотоксинов. Так, сумма афлатоксинов через три-четыре недели после заготовки составила 3,27 мкг/кг, через 4 месяца – 5,74 мкг/кг, 10 месяцев – 22,31 мкг/кг, аналогичную тенденцию наблюдали при определении зеараленона. Содержание охратоксина-А, напротив, несколько снижалось. Относительно равномерная зараженность исследованных образцов позволяет прогнозировать как композицию контаминантов, так и степень зараженности ими заготавливаемых кормов, что необходимо учитывать соответствующим специалистам животноводческих предприятий области при разработке мер и мероприятий, направленных на профилактику микотоксикозов.

Ключевые слова: афлатоксин, дезоксиниваленол, зеараленон, охратоксин-А, Т-2 токсин, силос, корма

Благодарности: исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-26-00163 «Особенности и факторы накопления микотоксинов в заготавливаемых кормах для крупного рогатого скота в условиях Северо-Запада России» (<https://rscf.ru/project/23-26-00163/>).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Платонов А. В., Ерегина С. В., Артамонов И. В. Результаты микотоксикологического мониторинга кормов крупного рогатого скота, заготовленных в Вологодской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(6):1124–1136. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1124-1136>

Поступила: 15.07.2024

Принята к публикации: 02.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

Results of mycotoxicological monitoring of cattle feed harvested in the Vologda Region

© 2024. Andrey V. Platonov, Svetlana V. Ereгина , Ivan V. Artamonov

Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russian Federation

There has been carried a mycotoxicological research of various feed for cattle to find the most contaminated types of feed and the most common mycotoxins. During the long-term monitoring of feed samples similar in species composition, harvesting and storage conditions to determine the dynamics of the number of mycotoxins over 260 plant samples from a number of the Vologda Region farms were studied, among them 61 samples were examined for the simultaneous content of 4 mycotoxins and 22 samples for the simultaneous content of 5 mycotoxins. The content of the main groups of mycotoxins in harvested feeds

using the method of EIA analysis was investigated. A total of 509 analyses were conducted for the period of 2022–2024, including 155 analyses for aflatoxin sum, 132 for ochratoxin-A, 105 for zearalenone, 89 for deoxynivalenol (DON), and 28 for T-2 toxin. The research results revealed that 99 % of the studied samples were contaminated with mycotoxins to some extent: all analyzed samples were infected with aflatoxins and zearalenone, 97 % of the samples were damaged by ochratoxin-A and less than a third of the samples were infected with DON. Moreover, a significant part of the samples was contaminated with two or more mycotoxins. Samples of grain, green mass and haylage contained mycotoxins below the maximum allowable concentration (MAC) level, in hay samples the predominant contaminant was T-2 toxin, the content of which was 9 times higher than the MAC level. The results of analysis of silages of different composition proved that the most contaminated were legume and cereal mono-species silages, so the exceeding of MAC for the sum of aflatoxins on average is 4.1–4.2 times, for ochratoxin-A – 1.1–1.3 times. Monitoring of mycotoxin content showed that samples of cereal-bean silage had an increase in the content of a number of mycotoxins with increasing storage time. For instance, the sum of aflatoxins in three-four weeks after harvesting was 3.27 µg/kg, in 4 months – 5.74 µg/kg, in 10 months – 22.31 µg/kg, a similar trend was observed in the determination of zearalenone. On the contrary, the content of ochratoxin-A slightly decreased. Relatively uniform contamination of the studied samples allows predicting both the composition of contaminants and the degree of their contamination of prepared fodder, which should be taken into account by the relevant specialists of livestock enterprises in the region when developing measures and activities aimed at preventing mycotoxicosis.

Key words: aflatoxin, deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin-A, T-2 toxin, silage, fodder

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Russian Science Foundation Grant No. 23-26-00163 “Features and factors of mycotoxin accumulation in harvested forages for cattle in the conditions of North-West Russia” (<https://rscf.ru/project/23-26-00163/>). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated no conflict of interest.

For citation: Platonov A. V., Ereghina S. V., Artamonov I. V. Results of mycotoxicological monitoring of cattle feed harvested in the Vologda Region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1124–1136. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1124-1136>

Received: 15.07.2024

Accepted for publication: 02.12.2024

Published online: 25.12.2024

Исследование ряда продуцентов плесневых грибов тесно связано с сельским хозяйством, где их патогенные свойства проявляются наиболее ярко. Начало прямого или косвенного изучения микотоксинов приходится на вторую половину XIX века, когда впервые было установлено, что плесневые грибы представляют собой источник повышенной токсической опасности для людей и животных. Еще в начале XX века ведущие микробиологи того времени заявляли, что нет достаточных оснований полагать, что продукты, зараженные плесенью, могут вызывать болезни. Лишь более детальные исследования позволили убедительно продемонстрировать, что токсины, вызывающие различные заболевания, являются продуктами жизнедеятельности плесневых грибов. Основные продуценты микотоксинов включают роды *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*. *Aspergillus flavus* и *Aspergillus parasiticus* производят афлатоксин. Афлатоксин является одним из наиболее токсичных природных веществ и может вызывать рак печени, иммунодефицитные состояния и другие заболевания. *Penicillium verrucosum* и *Penicillium roqueforti* могут производить охратоксин, который вызывает повреждение почек и печени, а также нарушает функцию нервной системы. Род *Fusarium* включает множество видов, таких как *Fusarium graminearum* и *Fusarium moniliforme*, которые производят трихотецены [1].

В обозримом будущем ожидается увеличение числа случаев заражения микотоксинами среди продуктов питания и кормовых ресурсов, что обусловлено глобальной тенденцией к унификации рациона жителей всех стран мира, которая ведет к уменьшению видового разнообразия сельскохозяйственных культур. В частности, наблюдается значительное сокращение площадей, ранее занятых традиционными масличными культурами и клубневыми растениями, такими как ямс, маниок и батат [2].

Сокращение видового разнообразия культур в развитых государствах влечет за собой увеличение однородности заготавливаемого сырья, что способствует быстрому распространению микотоксинов. Особенно это актуально для стран с жарким и влажным климатом, таких как страны Африки, Юго-Восточной Азии и Южной Америки, где условия для роста плесневых грибов максимально благоприятны. По данным глобального исследования контаминации микотоксинами за 2023 год, более 70 % мирового урожая поражено микотоксинами, аналогичная ситуация наблюдается и в нашей стране [3].

Использование кормов, контаминированных микотоксинами, считается одной из основных причин недополучения продукции и ухудшения ее качества, снижения репродуктивных функций и иммунного статуса, повышения смертности. Потребление пораженных микотоксинами кормов приводит к развитию

иммунодепрессии и появлению среди животных, особенно молодняка, инфицированных патологий, обусловленных циркулирующими среди животных патогенами, снижению эффективности лечения и вакцинаций, а также сохранности поголовья [4].

Заражение грубых и сочных кормов микотоксинами является распространенной проблемой во многих регионах России. Так, при исследовании контаминации кормов для крупного рогатого скота в Центрально-Черноземной зоне показано, что лишь 8,8 % проб были свободными от микотоксинов, а 89,4 % проб содержат два и более вида микотоксинов, при этом наиболее контаминированными оказались моноорма [5]. В исследованиях А. А. Буркина с соавторами в образцах, собранных в Московской, Тверской областях и Республике Карелия, микотоксины были представлены 12–15 компонентами во всех местах обитания и в разные сроки вегетации (июль, август и сентябрь), также установлены случаи совместного значительного накопления токсинов (> 1000 мкг/кг) в ряде образцов растительного корма [6]. Имеются работы по обнаружению микотоксинов в кормах для сельскохозяйственных животных в Центральной России [7], Поволжье [8, 9], Якутии [10] и других регионах [11, 12, 13].

Отмечается, что одновременное поражение кормов микотоксинами представляет наибольшую опасность, поскольку их совместное действие усиливает токсическое действие на организм благодаря синергетическому эффекту и аддитивным свойствам [14, 15]. Также микотоксины, вызывая различные клинические симптомы, способны маскировать свое негативное воздействие на живые организмы, что усугубляет проблему [16].

Отечественные и зарубежные исследования, выполненные в разное время на протяжении XX века, установили основные факторы, способствующие распространению плесневых грибов, поражающих корма. Прежде всего, и это было многократно подтверждено, следует учитывать особенности региона возделывания основных кормовых культур. Часто плесневые грибы приурочены к определенным географическим областям, где составляют количественное большинство в видовом составе грибов, обнаруживаемых в пораженных кормах. Важными факторами, способствующими развитию микотоксинов являются: температура (оптимальной температурой для развития микотоксинов считается диапазон между 20 и 30 °С,

однако некоторые виды грибов могут развиваться и при более низких температурах); влажность (высокая влажность воздуха и поверхности способствует росту грибов и производству ими микотоксинов); питательные вещества (источником питания могут служить органические материалы, такие как зерна, семена и другие продукты), также важную роль в развитии продуцентов микотоксинов играет время. Кроме того, необходимо учитывать видовой состав растений, служащих основой кормов. Все эти факторы определяют комплекс микотоксинов, которые могут быть открыты в пораженных образцах. Однако изучению динамики накопления микотоксинов в кормах посвящены только единичные работы [17, 18, 19].

Ранее считалось, что жвачные животные слабо восприимчивы к воздействию микотоксинов. Это мнение основывалось на метаболической активности микрофлоры рубца. Однако данное утверждение было верно лишь для коров с годовым надоем молока не более 5 тысяч кг [20]. В настоящее время установлено, что микрофлора рубца современных высокопродуктивных коров подвержена серьезным дисбиотическим нарушениям и утрачивает способность к естественной детоксикации микотоксинов [21]. Кроме того, многие исследователи отмечают, что несмотря на способность микроорганизмов в рубце к нейтрализации некоторых микотоксинов их метаболиты могут представлять еще большую опасность. Таким образом, микотоксины высокопродуктивных жвачных животных не обезвреживаются в рубце, а всасываются через стенки кишечника как у моногастричных животных, и это является еще одной причиной для усиления контроля качества кормов.

Таким образом, проблема контаминации микотоксинами травяных кормов признается мировой наукой как особо сложная, и в последние десятилетия предпринимаются активные усилия по выяснению источников обнаружения метаболитов грибов в вегетирующих растениях и факторов, влияющих на их содержание при консервации и хранении кормов [22, 23, 24].

Учитывая изложенное выше, вполне объясним интерес к изучению распространения микотоксинов и характера этого распространения в пределах Вологодской области, имеющей развитое сельское хозяйство молочно-мясной направленности.

Сочные силосованные корма – основной вид кормов, самостоятельно заготавливаемых в хозяйствах Вологодской области. Почти 89 %

от объема заготовленных в области кормов приходится на силос. Такие корма являются основой рационов сельскохозяйственных животных и, следовательно, при условии заражения микотоксинами, будут основным источником их поступления в организм животных.

Силосованные корма заготавливаются регулярно на больших площадях, имеют различный состав и сходные условия заготовки. Так, силосование возможно благодаря протекающим в растительной массе процессам ферментации при соблюдении анаэробных условий. Способы заготовки фактически исключают занесение продуцентов микотоксинов извне после закладки силосной ямы. Следовательно, в массе заготовленного корма будут развиваться лишь те продуценты, которые были занесены в момент скашивания зеленой массы, то есть разнообразие токсинов будет обусловлено лишь разнообразием плесневых грибов, присутствующих на данной территории в виде естественного компонента микрофлоры. Заготовленные корма по причине особенностей их заготовки, хранения и использования позволяют проследить динамику накопления микотоксинов.

По доле первоклассного корма силос среди всех видов заготавливаемых кормов в области занимает первое место. Этот факт связан как с развитием технологии заготовки, так и с тем, что сельхозпредприятия для заготовки данного вида корма используют травы 1-2 года пользования, стараясь их убрать в наиболее подходящие сроки. В последние годы в Вологодской области свыше 60 % заготовленного силоса закладывается с биологическими консервантами. В среднем за три года исследования образцы силоса с консервантами по качеству всегда лучше, чем без них. В период 2020–2022 гг. применение технологии консервации снизило долю неклассного силоса до 7–16 % и повысило уровень выхода первоклассного до 43–62 % в общем объеме исследованного корма.

Таким образом, анализ состояния кормовой базы хозяйств региона показывает, что в структуре посевных площадей Вологодской области ведущее место занимают кормовые культуры. Среди кормов наибольшие объемы заготовки имеет силос. Потребность животноводства в кормах по объемам удовлетворяется на 100–120 %, а по их энергетической и питательной ценности – лишь на 65–80 %.

Цель исследований – проведение микотоксикологического мониторинга различных кормов для выявления наиболее пораженных видов и распространенных в них микотоксинов.

Научная новизна – так как изучение контаминации микотоксинами используемых кормов сельхозпредприятиями региона ведется ограниченно [25], полученные в работе данные позволят усовершенствовать систему оценки качества заготавливаемых кормов для крупного рогатого скота сельхозпредприятиями Вологодской области.

Материал и методы. Территория Вологодской области характеризуется умеренно-континентальным климатом с коротким теплым летом, продолжительной, влажной осенью и умеренно холодной зимой, что вполне благоприятствует как сохранению грибов в почве, так и их активному росту в массе заготовленных кормов в летне-осенний период, а в массе влажных силосованных кормов, где фактически круглый год сохраняются благоприятные условия, – и в зимний период, и до поздней весны.

В работе проведено исследование инфицированности микотоксинами кормов для КРС заготовки 2022–2024 гг. Полевые работы по сбору образцов корма были осуществлены в 17 из 26 муниципальных образований Вологодской области: Бабаевском, Бабушкинском, Верховажском, Вожегодском, Кичменгско-Городецком, Никольском, Нюксенском, Сямженском, Харовском, Череповецком – по одному хозяйству; в Тарногском, Тотемском, Устюженском, Чагодощенском, Шекснинском – по два хозяйства; Вологодском – три хозяйства; Грязовецком – четыре хозяйства.

Пробы корма для анализа представлены: сено – 25 образцов; сенаж и зерносенаж – 15; зеленая масса – свыше 50; силос различного состава – свыше 150 образцов. Состав силосов: бобово-злаковый и злаково-бобовый около половины образцов (клеверно-тимофеечный, викоовсяный, клеверно-злаковый), далее по количеству образцов – разнотравный, бобовый, злаковый и прочие силосы (например, кукурузный). Кроме того, анализу подвергалось зерно ячменя, кукурузы и овса.

Всего исследовано свыше 260 образцов корма, из них 61 образец на одновременное содержание 4 микотоксинов и 22 – 5 микотоксинов. Образцы кормов были получены из различных хозяйств Вологодской области и представляли собой материал естественной для данного типа образца влажности (сухие образцы для сена и соломы, с естественной для растительных образцов влажностью – для зеленой массы, с повышенной – для заготовленных

кормов: силоса, сенажа). Отбор проб осуществляли по ГОСТ Р ИСО 6497-2011¹. Из партии кормов отбирали несколько точечных проб из разных мест (масса пробы около 100 г). Чем больше масса анализируемой партии кормов, тем больше отбирали точечных проб (по возможности не меньше 10). Затем из точечных проб делали объединенную пробу, из разных частей которой выполняли лабораторную пробу весом около 2 кг для зеленой массы, около 1 кг – для силоса, сенажа и сена. Пробы запечатывали в чистый пакет, маркировали (дата отбора, размер партии, вид корма, ботанический состав, дата производства и пр.). Для анализа отбирали пробы без видимых признаков поражения кормов плесневыми грибами. Отправку аналитической пробы на исследование осуществляли в период не более двух суток с момента отбора при условии, что она хранилась при температурном режиме 2–8 °С. Строгое соблюдение порядка отбора проб и своевременность их доставки в лабораторию необходимо для получения достоверных результатов исследования [26].

Анализ исследуемых токсинов в рамках данной работы выполняли методом ИФА на анализаторе иммуноферментных реакций АИФР-01 УНИПЛАН (Пикон, Россия) с помощью стандартных тест-систем МУЛЬТИСКРИН® производства КомПродСервис (Беларусь). Тест-системы соответствуют требованиям ГОСТ 31653–2012² и предназначены, в том числе для определения микотоксинов в кормовых добавках растительного происхождения, в зеленых, сочных и грубых кормах. Среди положительных сторон метода ИФА нужно отметить простоту подготовки пробы (малое время экстрагирования – 5–7 минут, достаточно продолжительное время жизни пробы – до 3 часов (при необходимости готовые пробы могут сохраняться до 1 месяца при температуре хранения – 30 °С), малые навески образца – от 1 до 5 граммов (с уменьшением массы навески снижается точность результата), отсутствие необходимости дополнительной очистки, высокую селективность, что позволяет в одной и той же пробе определять несколько токсинов без необходимости выделения каждого из них (в случае определения суммы афлатоксинов, зеараленона и охратоксина-А), относительную

быстроту выполнения анализа (анализ до 20 образцов занимает от 20 минут до 1 часа в зависимости от протокола), а также высокую чувствительность и относительно низкую погрешность.

Каждый образец, вне зависимости от его типа (сухой или влажный), высушивали до постоянной массы и измельчали дважды: первое измельчение – до размера частиц не более 2-3 мм, второе – до размера не более 0,1-0,2 мм. В работе использовали высокоскоростную мельницу малой загрузки (Вьюга-М). В серии предварительных исследований был проведен выбор растворителя или сочетания растворителей (метанол:вода), обеспечивающих наиболее полное извлечение каждого токсина и минимизацию параллельного экстрагирования веществ, способных повлиять на результат анализа.

При выполнении работы измельченный образец немедленно подвергали экстракции смесью метанола и воды в объемных отношениях 70:30 (при извлечении афлатоксинов, зеараленона, охратоксина-А, Т-2 токсина) либо воды в случае извлечения дезоксиниваленола. Количественные соотношения массы навески в граммах и объема экстрагирующей смеси в мл – 1:5 для афлатоксинов, зеараленона, охратоксина-А, Т-2 токсина, и 1:20 для дезоксиниваленола. Время экстракции с перемешиванием на лабораторном шейкере – 5–7 минут.

После экстракции смесь центрифугировали при 1600 G, что позволило исключить из процесса подготовки пробы стадию фильтрации через обеззоленные фильтры «синяя лента», увеличивающую время пробоподготовки как возможную причину дополнительной потери токсинов ввиду их деградации при контакте с воздухом и растворителем.

После центрифугирования отбирали до 5 мл супернатанта и использовали его для дальнейшего анализа в течение 2 часов, который проводили в соответствии с протоколом, предоставленным производителем аналитических наборов. Каждое испытание сопровождалось построением калибровочной зависимости на основании оптических плотностей пяти стандартных растворов исследуемых токсинов. Оптическую плотность растворов прочитывали на длине волны 450 нм.

¹ГОСТ Р ИСО 6497-2011. Корма для животных. Отбор проб. М.: Стандартинформ, 2012. 19 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293790/4293790467.pdf>

²ГОСТ 31653–2012. Корма. Метод иммуноферментного определения микотоксинов. М.: Стандартинформ, 2012. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293788/4293788688.pdf>

При проведении исследований чистыми от микотоксинов считали образцы, в которых их содержание находилось меньше нижнего предела обнаружения тест-систем (1,5 мкг/кг – для охратоксина-А; 2 мкг/кг – для суммы афлатоксинов В1, В1, G1, G2; 20 мкг/кг – для зеараленона и Т-2 токсина; 70 мкг/кг – для дезоксиниваленола). Уровни ПДК, которые отражены в ветеринарно-санитарных требованиях Таможенного союза (утверждены решением Комиссии Таможенного союза ЕвроАзЭС от 18.06.2010 № 317), регламентируют содержание микотоксинов в таких кормах, как пшеница, ячмень, овес, кукуруза, соя и другие, обходя вниманием сочные и грубые. Значения уровней ПДК для вышеперечисленных культур не имеют существенных различий, поэтому мы в своей работе руководствовались данными нормами, а также нормами значения ПДК для микотоксинов, рекомендованными Зерновой ассоциацией стран Евросоюза (RIDA News, III/01).

Лабораторные исследования проводили в ЦКП «Центр сельскохозяйственных исследований и биотехнологий» ФГБУН ВолНЦ РАН. Расчет концентраций выполняли в программном обеспечении производителя аналитических наборов, где учтены все количественные аспекты подготовки пробы. Проведение ИФА осуществляли в двух-трехкратной аналитической повторяемости для каждого образца корма, что сопровождалось двукратным чтением оптических плотностей в лунках планшета, дальнейшую обработку результатов выполняли в Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. Ежегодно сельскохозяйственные предприятия сталкиваются с серьезными экономическими потерями из-за поражения кормов растительного происхождения микотоксинами. Например, снижение молочной продуктивности и проблемы со здоровьем у коров могут привести к ежедневным потерям с одного животного до 250 рублей (до 100 тысяч рублей в год), даже при отсутствии явных симптомов микотоксикозов [27].

В работе определены следующие токсины, возможные для изучения в рамках исследования: группа афлатоксинов (афлатоксины В1, В2, G1, G2); охратоксин-А; зеараленон; дезоксиниваленон; Т-2 токсин.

Указанные токсины, согласно имеющимся зарубежным и отечественным исследованиям, составляют основу комплекса микотоксинов, обнаруживаемых в кормах. Данные токсины являются объектами строгого контроля и состав-

ляют основную массу выявляемых поражений продукции сельского хозяйства. Важно, что для данных токсинов доступны точные стандартизированные методики, позволяющие открывать их в исследуемых образцах с высокой точностью и стабильностью.

Всего за 2022–2024 гг. проведено 509 исследований, в том числе на содержание суммы афлатоксинов – 155 анализов, охратоксина-А – 132, зеараленона – 105, дезоксиниваленола (ДОН) – 89, Т-2 токсина – 28 анализов.

Результаты анализов показали, что 99 % изученных образцов в той или иной мере заражены микотоксинами: все анализируемые образцы афлатоксинами и зеараленоном; 97 % – охратоксином-А; менее трети образцов – ДОН.

На рисунке 1 представлена доля образцов, зараженных микотоксинами в количествах, превышающих ПДК.

При проведении работы установлено, что практически все изученные образцы зерна, зеленой массы и сенажа содержат микотоксины ниже уровня ПДК. Так, в образцах зерна среднее содержание охратоксина-А составило 0,93 мкг/кг, зеараленона – 86,89 мкг/кг, Т-2 токсина – 7,83 мкг/кг. В зеленой массе среднее содержание суммы афлатоксинов установлено на уровне 2,47 мкг/кг, охратоксина-А – 2,82 мкг/кг, зеараленона – 68,94 мкг/кг. В образцах сена содержание суммы афлатоксинов и охратоксина-А также ниже уровня ПДК (2,73 и 0,64 мкг/кг соответственно). Однако в этих образцах наблюдали довольно высокое содержание метаболитов грибов *Fusarium* и *Gibberella*, среднее зеараленона – 228,41 мкг/кг, существенно выше ПДК Т-2 токсина – 554,05 мкг/кг.

Исследование образцов силоса показало, что данный вид корма более подвержен контаминации микотоксинами. Высокая степень зараженности силоса возможно связана с характером использования сельскохозяйственных площадей: без регулярной механической обработки почвы и смены выращиваемых культур плесневые грибы широко распространяются в почве и гарантированно поражают любой выращиваемый материал. Это хорошо соотносится с тем, что основная часть площадей, с которых собирается материал для заготовки кормов, представлена многолетними травами, образующими искусственные многолетние луга.

Анализ ряда образцов злаково-бобового силоса, сходных по условиям заготовки и хранения (отбор проб проводили в одном хозяйстве

в разные сроки после заготовки) показал, что как минимум два токсина (афлатоксины и зеараленон) активно накапливаются по мере

увеличения срока хранения. Содержание охратоксина-А в тот же период, напротив, несколько снижается (рис. 2).

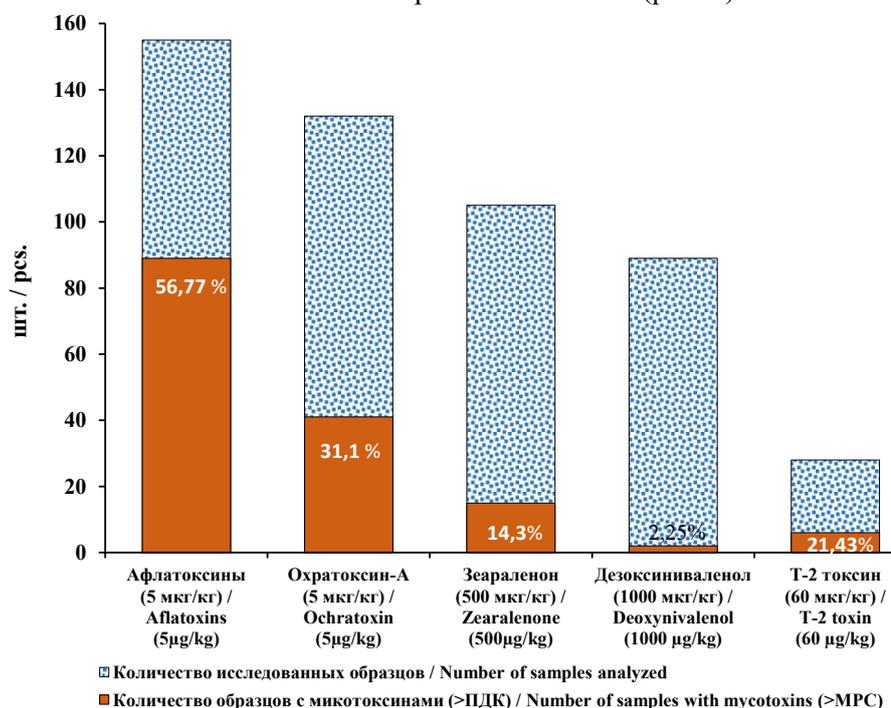


Рис. 1. Доля образцов заготавливаемых кормов, содержащих микотоксины в количествах, превышающих ПДК (указана в скобках) /

Fig.1. Proportion of fodder samples containing mycotoxins in amounts exceeding maximum allowable concentration (indicated in brackets)

Поскольку все исследуемые токсины представляют из себя вещества, неустойчивые к действию окислителей, для поддержания уровня их содержания должны быть уравновешены два процесса: продукция токсинов плесневыми грибами и деградация микотоксинов под действием внешних факторов (кислорода, воды, прочих веществ). Естественно предположить, что в случаях, когда количество токсина по мере увеличения периода хранения растет, продуцент развивается в объеме растительной массы, следовательно растет и продукция токсина. В случае же уменьшения содержания токсина рост и распространение продуцента сначала угнетается, а далее и вовсе может происходить его выпадение из данной экосистемы.

Так как в процессе хранения снижается содержание охратоксина-А, можно предположить, что его основной продуцент – *Aspergillus ochraceus* – со временем угнетается и погибает, останавливая продукцию токсина. Возможные причины: во-первых, *A. ochraceus* полностью расходует весь доступный субстрат, что представляется маловероятным ввиду фактической субстратной идентичности другим аспергиллам, в том числе и продуцентам афлаток-

синов; во-вторых, в массе субстрата (силосуемого растительного материала) создаются неблагоприятные условия для *A. ochraceus* (в частности, формируется отличная от оптимальной кислотность среды, в которой появляются органические кислоты), вследствие чего продуцент полностью исчезает из состава микрофлоры; в-третьих, можно предположить, имея ввиду сущность микотоксинов, как одного из факторов, обеспечивающих конкурентные преимущества их продуцентам, что различные грибы одного рода *Aspergillus* могут конкурировать между собой, вытесняя чувствительный к афлатоксинам *A. ochraceus*.

Однако, как видно из рисунка 2, динамика изменения количества токсинов имеет разное направление, хотя следует отметить, что при увеличении содержания афлатоксинов и зеараленона за указанный период в 6,8 и 2,9 раза соответственно содержание охратоксина-А снизилось всего лишь на 10,5 %. Таким образом, полной деконтаминации естественным путем в отношении охратоксина-А не происходит, а при показанной динамике этот микотоксин будет оставаться в заготовленном корме на протяжении всего периода его использования.

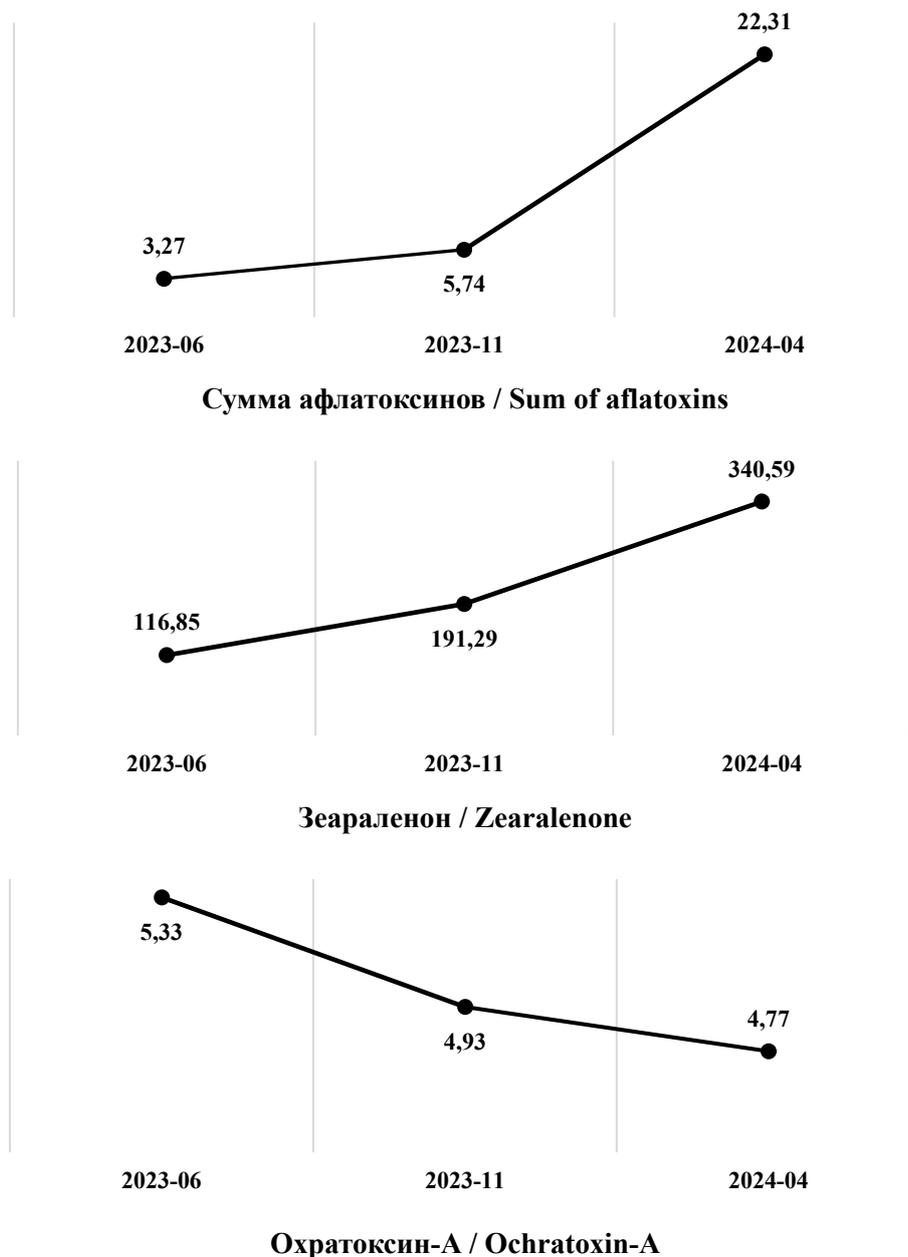


Рис. 2. Содержание суммы афлатоксинов, зеараленона и охратоксина-А (мкг/кг) в злаково-бобовом силосе в зависимости от сезона отбора пробы (период с июня 2023 г. по апрель 2024 г. /

Fig. 2. Contents of sum of aflatoxins, zearalenone and ochratoxin-A (µg/kg) in cereal-legume silage in dependence on the season of sampling (the period from June 2023 to April 2024)

Силос – основная форма заготавливаемых кормов всеми без исключения предприятиями Вологодской области, и по этой причине является важным объектом для изучения. Силосы могут быть использованы как в качестве самостоятельного корма, так и входить в состав различных кормосмесей. Прочие формы кормов используются реже или в качестве добавок к силосам. Технология подготовки силосов создает условия, максимально благоприятные для развития различных плесневых грибов, поэтому

этот вид корма довольно часто контаминирован различными микотоксинами [28, 29].

Нами были исследованы силосы различных составов по признаку преобладания того или иного компонента (или нескольких компонентов), заготавливаемых на территории Вологодской области. Весь исходный материал для подготовки силосов выращивался предприятиями сельского хозяйства области самостоятельно, при этом применялась сходная агротехника, способы уборки и его заготовки.

Практически повсеместно распространены три подхода к возделыванию трав для последующего силосования. Первый – использование естественных фитоценозов (луга) с соответствующим видовым составом (такие силосы называются разнотравными и обычно с указанием типа фитоценоза, например – луговой разнотравный). В эту категорию входят луга всех типов. Второй – возделывание многолетних травянистых растений, первоначально высеваемых искусственно. В качестве таких растений используются различные многолетние злаки (тимофеевка луговая, овсяница луговая, райграсы, кострецы и др.), бобовые (люцерна, клевер, люпины, козлятник и др.) и их смеси в различном соотношении (с преобладанием злаков силосы обозначаются как злаково-бобовые, с преобладанием бобовых – бобово-злаковые). Третий – однолетние искусственно высеваемые травянистые растения, которые обычно возделываются в условиях севооборота и чаще имеют более высокую урожайность, нежели многолетние культуры.

Следует отметить, что при ежегодном, а часто и неоднократном скашивании в естественных фитоценозах происходит изменение видового состава в сторону его обеднения и преобладания растений, устойчивых к регулярному скашиванию (к которым относятся злаки и бобовые, например различные виды клевера). Фактически через некоторое время видовой состав таких фитоценозов начинает приближаться к видовому составу многолетних агроценозов, сформированных злаковыми и бобовыми культурами. Сокращение видового разнообразия, в свою очередь, создает благоприятную среду для развития плесневых грибов. Если в целом для самого фитоценоза плесневые грибы не представляют какой-либо угрозы, являясь эффективными редуцентами и утилизируя отмирающие органические остатки, то для сельского хозяйства такие изменения оборачиваются ростом зараженности заготавливаемых кормов.

Результаты исследования силосов различного состава на предмет содержания пяти контролируемых микотоксинов представлены в таблице.

*Table – Среднее содержание микотоксинов в силосе разного состава (мкг/кг) /
Table – Average content of mycotoxins in silages of different composition (µg/kg)*

Состав силоса / Silage composition	Сумма афлатоксинов / Sum of aflatoxins	Охратоксин-А / Ochratoxin-A	Зеараленон / Zearalenone	Дезоксиниваленол / Deoxynivalenol	T-2 токсин / T-2 toxin
	ПДК / Maximum Allowable Concentration				
	5	5	500	1000	60
Бобово-злаковый / Legume-grass	<i>13,24*</i>	4,51	170,03	71,0	33,50
Бобовый / Leguminous	<i>20,57</i>	5,70	329,80	Ниже предела обнаружения / Below detection limit	43,40
Злаково-бобовый / Legume-legume	<i>10,57</i>	3,87	187,72		25,80
Злаковый / Cereal	<i>20,79</i>	6,27	161,35	150,0	32,40
Разнотравный / Divergent grass	<i>19,70</i>	4,45	184,50	89,0	33,50
Прочие силосы / Other silages	<i>7,66</i>	4,29	151,60	110,1	37,27

*Курсивом выделено содержание микотоксинов, превышающее ПДК /

*The content of mycotoxins exceeding MAC is highlighted in italics

Отметим, что микотоксинами наиболее поражаются моновидовые силосы. Суммарно по пяти исследованным токсинам наиболее зараженными являются бобовые и злаковые моновидовые силосы – оба преимущественно

афлатоксинами (содержание остальных микотоксинов не превышает ПДК). В меньшей степени заражены разнотравные силосы, однако и в них преобладающими токсинами являются афлатоксины.

Заключение. За последние десятилетия проблема предотвращения или минимизации последствий контаминации микотоксинами кормов обратила на себя более пристальное внимание ветеринарных врачей, зоотехников и администрации животноводческих хозяйств, но они не в полном объеме представляют степень существующей угрозы. Далеко не всегда правильно оценивают потенциальные риски, возникающие в результате использования зараженных кормов, все еще относительно редко проводят исследования кормов на предмет содержания микотоксинов превентивно, ограничиваясь во многих случаях их определением уже после выявления признаков микотоксикозов.

В проведенном нами микотоксикологическом мониторинге различных видов кормов, заготавливаемых хозяйствами Вологодской области, показано, что практически все исследу-

емые корма для КРС содержат микотоксины в той или иной степени, причем значительная часть образцов подвержена контаминации двумя и более микотоксинами. В связи с тем, что образцы зеленой массы содержат незначительное количество микотоксинов, а в образцах заготавливаемого корма их содержание существенно выше, можно предположить, что основной объем продукции микотоксинов происходит в процессе заготовки и хранения корма.

Относительно равномерная зараженность исследованных образцов позволяет прогнозировать как композицию контаминантов, так и степень зараженности ими заготавливаемых кормов, что необходимо учитывать соответствующим специалистам животноводческих предприятий области при разработке мер и мероприятий, направленных на профилактику микотоксикозов.

Список литературы

1. Артамонов И. В. Микотоксины фитопатогенных грибов и микотоксикозы: исторический очерк (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(5):703–719. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.703-719> EDN: NFIYLU
2. Khoury C. K., Bjorkman A. D., Dempewolf H., Ramirez-Villegas Ju., Guarino L., Jarvis A., Rieseberg L., Struik P. C. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014;111(11):4001–4006. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
3. Максимов Т. П., Кудряшов А. А. Мониторинг распространенности микотоксинов в кормовом сырье РФ в 2023 году. *Свиноводство*. 2024;(3):20–22. DOI: <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2024-3-20-22> EDN: GXJFOS
4. Соколова О. Н., Солдатова В. В., Лаптев Г. Ю. Мониторинг микотоксинов в кормовом травостое Ленинградской области и влияние микотоксинов на продукцию животноводства. *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сб. научн. тр. Международ. научн.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития сельского хозяйства и снижение технологических рисков в продовольственной сфере»: в 2-частях*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский ГАУ, 2017. Т. Часть I. С. 134–138. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ykijzpv> EDN: YKJZPV
5. Ефанова Л. И., Манжурина О. А., Моргунова В. И., Адодина М. И., Фролова Т. С., Степанов А. В. Контаминированность микотоксинами кормов для крупного рогатого скота в хозяйствах Центрально-черноземной зоны. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(1):25–27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17666174> EDN: OWRPHYH
6. Буркин А. А., Кононенко Г. П., Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю. Микотоксины в бобовых травах естественных кормовых угодий европейской России. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(2):409–417. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.2.409rus> EDN: YMFVON
7. Нода И. Б., Дорофеева Л. Л., Пономарев В. А. Качество и питательная ценность кормов в хозяйствах Ивановской области. *Мир Инноваций*. 2015;1–4:117–124. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30017184> EDN: ZGWNET
8. Минхаеров Р. Р. Контаминированность почвы и сельскохозяйственной продукции, произведенной в Закамской техногенной зоне тяжелыми металлами и микотоксинами. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*. 2015;222(2):145–149. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23766657> EDN: UACFTX
9. Потехина Р. М., Семенов Э. И., Матросова Л. Е., Папуниди К. Х. Микологическая статистика загрязненности кормов по отдельным районам Поволжья. *Вестник Марийского государственного университета*. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2019;5(2(18)):197–203. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-2-197-203> EDN: CUIPDW
10. Былгаева А. А. Меры профилактики плесневения и образования микотоксинов в кормах для животных. *Тенденции развития науки и образования*. 2022;(84-6):135–137. DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-04-2022-280> EDN: SQGUGG
11. Бурменская Г. А., Титова С. П. Анализ качества грубых кормов растительного происхождения. *Современные проблемы в животноводстве: состояние, решения, перспективы: сб. ст. по мат-лам II Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 90-летию акад. В. Г. Рядчикова*. Краснодар: Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, 2024. С. 570–574. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63614715&pf=1> EDN: EOVIWI

12. Кононенко Г. П., Буркин А. А. О контаминации микотоксинами сенажа и силоса в животноводческих хозяйствах. *Сельскохозяйственная биология*. 2014;49(6):116–122. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2014.6.116rus> EDN: TEPGFZ
13. Буркин А. А., Кононенко Г. П. Контаминация микотоксинами луговых трав в европейской части России. *Сельскохозяйственная биология*. 2015;50(4):503–512. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.4.503rus> EDN: UGDSJN
14. Авраменко М. В., Сазонова Е. А. Влияние сочетанного действия микотоксинов и смешанной инфекции на организм крупного и мелкого рогатого скота. *Ветеринария и кормление*. 2024;(2):4–7. DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-2-1> EDN: NOIPLW
15. Герунов Т. В., Герунова Л. К., Симонова И. А., Крючек Я. О. Сочетанное поражение кормов микотоксинами как фактор риска множественной патологии животных. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2022;(4(48)):116–123. DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_4_116 EDN: SEWUZU
16. Omotayo O. P., Omotayo A. O., Mwanza M., Babalola O. O. Prevalence of mycotoxins and their consequences on human health. *Toxicological research*. 2019;35(1):1–7. DOI: <https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.1.001>
17. Лаптев Г. Ю., Новикова Н. И., Ильина Л. А., Ылдырым Е. А., Солдатова В. В., Никонов И. Н., Филиппова В. А., Бражник Е. А., Соколова О. Н. Динамика накопления микотоксинов в силосе на разных этапах хранения. *Сельскохозяйственная биология*. 2014;49(6):123–130. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2014.6.123rus> EDN: TEPGGJ
18. Камінська О. В., Марченко Т. В., Кирик М. М., Шевченко Л. В. Сезонна динаміка накопичення мікотоксинів у зерні кукурудзи. *Биоресурсы и природопользование*. 2020;12(1-2):47–55. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43961478> EDN: CLLHRJ
19. Монастырский О. А., Свирелис Л. В. Роль циркадных ритмов токсинообразования грибов рода фузариум в динамике накопления микотоксинов в хранящемся зерне разных сортов злаковых культур Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: мат-лы докл. Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 75-летию РАСХН. Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2004. Т. Вып. 2. С. 382–389.
20. Солдатова В. В., Ылдырым Е. А., Ильина Л. А., Никонов И. Н., Филиппова В. А., Дубровин А. В., Бражник Е. А., Соколова О. В., Новикова Н. И., Лаптев Г. Ю. Почему высокопродуктивные коровы восприимчивы к микотоксинам? *Сельскохозяйственные вести*. 2015;(4):28–31. Режим доступа: <https://agri-news.ru/zhurnal/2015/42015/pochemu-vyisokoproduktivnyie-korovy-vospriimchivyi-k-mikotoksinaim/?ysclid=m41fk4e6gq310418274>
21. Гнездилова Л. А., Федотов С. В. Влияние микотоксинов на репродуктивные показатели лактирующих коров в условиях интенсивного производства. *Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения: сб. тр. 2-й Научн.-практ. конф. Под общ. ред. С. В. Полябина, Л. А. Гнездиловой. М.: Сельскохозяйственные технологии, 2023. С. 129–130.* Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54255258> EDN: QJMXMU
22. Гунык М. В., Сазонова Е. А., Авраменко А. С. Микотоксины в кормах для животных. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2022;(102):249–253. DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-102-249-253> EDN: DMWPUQ
23. Дорожкин В. И., Герунов Т. В., Симонова И. А., Герунова Л. К., Крючек Я. О., Тарасенко А. А., Чигринский Е. А. Микотоксинологический мониторинг кормов и его роль в профилактике микотоксикозов животных. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2022;17(4):546–554. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-4-546-554> EDN: CSQROK
24. Кононенко Г. П., Буркин А. А. Токсины микромицетов в генеративных органах растений семейства *Fabaceae*. *Сельскохозяйственная биология*. 2021;56(5):968–978. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2021.5.968rus> EDN: BYNFQY
25. Платонов А. В., Ерегина С. В., Рассохина И. И., Артамонов И. В. Контаминация микотоксинами силоса, заготавливаемого животноводческими хозяйствами Вологодской области. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2023;53(12):45–53. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-12-5> EDN: VDPOIA
26. Нетычук С. С., Бабунова В. С., Осипова И. С., Попов П. А. Проблемы отбора образцов грубых кормов при контроле содержания микотоксинов. *Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии имени Я. Р. Коваленко*. 2023; 83(1): 256–261. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54525292> EDN: HEEOND
27. Ылдырым Е. А., Ильина Л. А., Филиппова В. А., Новикова Н. И., Лаптев Г. Ю., Тюрина Д. Г., Солдатова В. В. Изучение распространения микотоксинов в фуражном травостое и консервированных кормах. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2019;(3(100)):99–107. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10191> EDN: JISCEB
28. Biscoto G. L., Salvato L. A., Alvarenga É. R., Dias R. R. S., Pinheiro G. R. G., Rodrigues M. P., et al. Mycotoxins in Cattle Feed and Feed Ingredients in Brazil: A Five-Year Survey. *Toxins*. 2022;14(8):552. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins14080552>
29. Vaičiulienė G., Bakutis B., Jovaišienė J., Falkauskas R., Gerulis G., Kerzienė S., Baliukonienė V. Prevalence of Mycotoxins and Endotoxins in Total Mixed Rations and Different Types of Ensiled Forages for Dairy Cows in Lithuania. *Toxins*. 2021;13(12):890. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins13120890>
-

References

1. Artamonov I. V. Mycotoxins of phytopathogenic fungi and mycotoxicosis: a historical essay (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(5):703–719. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.703-719>
2. Khoury C. K., Bjorkman A. D., Dempewolf H., Ramirez-Villegas Ju., Guarino L., Jarvis A., Rieseberg L., Struik P. C. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2014;111(11):4001–4006. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
3. Maksimov T. P., Kudryashov A. A. Monitoring the prevalence of mycotoxins in feed commodity of Russia in 2023. *Svinovodstvo*. 2024;(3):20–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2024-3-20-22>
4. Sokolova O. N., Soldatova V. V., Laptev G. Yu. Monitoring of mycotoxins in the fodder grass of the Leningrad region and the effect of mycotoxins on livestock products. Scientific support for the development of agriculture in the context of import substitution: collection of scientific articles of the International scientific-practical conference of the faculty "Scientific support for agricultural development and reduction of technological risks in the food sector": in 2 parts. Saint-Petersburg: *Sankt-Peterburgskiy GAU*, 2017. Vol. Part I. pp. 134–138. URL: <https://elibrary.ru/ykizpv>
5. Efanova L. I., Manzhurina O. A., Morgunova V. I., Adodina M. I., Frolova T. S., Stepanov A. V. Contamination mycotoxins forages for a horned cattle in economy Central Chernozem region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2012;(1):25–27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17666174>
6. Burkin A. A., Kononenko G. P., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu. Mycotoxins in the legumes of natural fodder of the European Russia. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(2):409–417. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.2.409rus>
7. Noda I. B., Dorofeeva L. L., Ponomarev V. A. The quality and nutritional value of feed in the farms of the Ivanovo region. *Mir Innovatsiy* = World of innovation. 2015;1–4:117–124. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30017184>
8. Minkhaerov R. R. Contamination of agricultural products produced in the technological zakamsk region by heavy metals and mycotoxins. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N. E. Baumana* = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2015;222(2):145–149. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23766657>
9. Potekhina R. M., Semenov E. I., Matrosova L. E., Papunidi K. Kh. Mycological statistics of feed contamination in certain areas of the Volga region. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2019;5(2(18)):197–203. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-2-197-203>
10. Bylgaeva A. A. Measures to prevent mold formation and mycotoxin formation in animal feed. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2022;(84-6):135–137. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-04-2022-280>
11. Burmenskaya G. A., Titova S. P. Analysis of the quality of coarse feed of plant origin. Modern problems in animal husbandry: state, solutions, prospects: collection of articles on the II International scientific and practical conf., devoted to the 90th anniversary of Academician V. G. Ryadchikov. Krasnodar: *Kubanskiy GAU im. I. T. Trubilina*, 2024. pp. 570–574. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63614715&pf=1>
12. Kononenko G. P., Burkin A. A. Mycotoxin contaminations in commercially used haylage and silage. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2014;49(6):116–122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2014.6.116rus>
13. Burkin A. A., Kononenko G. P. Mycotoxin contamination of meadow grasses in European Russia. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2015;50(4):503–512. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.4.503rus>
14. Avramenko M. V., Sazonova E. A. The effect of the combined action of mycotoxins and mixed infection on the body of large and small cattle. *Veterinariya i kormlenie*. 2024;(2):4–7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-2-1>
15. Gerunov T. V., Gerunova L. K., Simonova I. A., Kryuchek Ya. O. Combined damage to feed by mycotoxins as a risk factor for development of multiple pathologies in animals. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2022;(4(48)):116–123. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_4_116
16. Omotayo O. P., Omotayo A. O., Mwanza M., Babalola O. O. Prevalence of mycotoxins and their consequences on human health. *Toxicological research*. 2019;35(1):1–7. DOI: <https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.1.001>
17. Laptev G. Yu., Novikova N. I., Il'ina L. A., Ylydyrym E. A., Soldatova V. V., Nikonov I. N., Filippova V. A., Brazhnik E. A., Sokolova O. N. Dynamics of mycotoxin accumulation in silage during storage. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2014;49(6):123–130. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2014.6.123rus>
18. Kamins'ka O. V., Marchenko T. V., Kirik M. M., Shevchenko L. V. Seasonal dynamics of mycotoxin accumulation in corn grain. *Bioresursy i prirodopol'zovanie*. 2020;12(1-2):47–55. (In Ukraine). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43961478>
19. Monastyrskiy O. A., Svirelis L. V. The role of circadian rhythms of toxin formation of fungi of the genus *Fusarium* in the dynamics of mycotoxin accumulation in stored grain of different varieties of cereals Biological plant protection is the basis for the stabilization of agroecosystems: Proceedings of the International scientific and practical conf., dedicated to the 75th anniversary of RASKHN. Krasnodar: *Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut zashchity rasteniy RASKHN*, 2004. Vol. Iss. 2. pp. 382–389.

20. Soldatova V. V., Yildirim E. A., Ilyina L. A., Nikonov I. N., Filippova V. A., Dubrovin A. V., Brazhnik E. A., Sokolova O. V., Novikova N. I., Laptev G. Yu. Why are highly productive cows susceptible to mycotoxins? *Sel'skhozaystvennyye vesti*. 2015;(4):28–31. (In Russ.). URL: <https://agri-news.ru/zhurnal/2015/42015/pochemu-vyisokoproduktivnyie-korovyi-vospriimchivyi-k-mikotoksinam/?ysclid=m41fk4e6gg310418274>
21. Gnezdilova L. A., Fedotov S. V. The effect of mycotoxins on the reproductive performance of lactating cows in conditions of intensive production. Actual problems of veterinary medicine, animal science, biotechnology and expertise of raw materials and products of animal origin: Collection of articles of the 2nd scientific and practical conf. *Pod obshch. red. S. V. Pozyabina, L. A. Gnezdilovoy*. Moscow: *Sel'skhozaystvennyye tekhnologii*, 2023. pp. 129–130. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54255258>
22. Gun'ko M. V., Sazonova E. A., Avramenko A. S. Mycotoxins in animal feed. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;(102):249–253. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-102-249-253>
23. Dorozhkin V. I., Gerunov T. V., Simonova I. A., Gerunova L. K., Kryuchek Ya. O., Tarasenko A. A., Chigrinskiy E. A. Mycotoxicological monitoring of feed and its role in prevention of animal mycotoxicoses. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2022;17(4):546–554. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-4-546-554>
24. Kononenko G. P., Burkin A. A. Toxins of micromycetes in generative organs of plants of the family *Fabaceae*. *Sel'skhozaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2021;56(5):968–978. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2021.5.968rus>
25. Platonov A. V., Ereghina S. V., Rassokhina I. I., Artamonov I. V. Mycotoxin contamination of silage harvested by livestock farms in the Vologda region. *Sibirskiy vestnik sel'skhozaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2023;53(12):45–53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-12-5>
26. Netychuk S. S., Babunova V. S., Osipova I. S., Popov P. A. Problems of coarse feed samplings in the control of mycotoxin content. *Trudy Vserossiyskogo NII eksperimental'noy veterinarii imeni Ya. R. Kovalenko*. 2023;83(1):256–261. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54525292>
27. Yildirim E. A., Ilyina L. A., Filippova V. A., Novikova N. I., Laptev G. Yu., Tyurina D. G., Soldatova V. V. Studying the spread of mycotoxins in feed grass and silages. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019;(3(100)):99–107. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10191>
28. Biscoto G. L., Salvato L. A., Alvarenga É. R., Dias R. R. S., Pinheiro G. R. G., Rodrigues M. P., et al. Mycotoxins in Cattle Feed and Feed Ingredients in Brazil: A Five-Year Survey. *Toxins*. 2022;14(8):552. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins14080552>
29. Vaičiulienė G., Bakutis B., Jovaišienė J., Falkauskas R., Gerulis G., Kerzienė S., Baliukonienė V. Prevalence of Mycotoxins and Endotoxins in Total Mixed Rations and Different Types of Ensiled Forages for Dairy Cows in Lithuania. *Toxins*. 2021;13(12):890. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins13120890>

Сведения об авторах

Платонов Андрей Викторович, кандидат биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Горького, д. 56-а, г. Вологда, Вологодская обл., Российская Федерация, 160014, e-mail: common@volnc.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

✉ **Ерегина Светлана Викторовна**, кандидат геогр. наук, старший научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Горького, д. 56-а, г. Вологда, Вологодская обл., Российская Федерация, 160014, e-mail: common@volnc.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8136-4663>, e-mail: ereginasv@mail.ru

Артамонов Иван Владимирович, научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Горького, д. 56 -а, г. Вологда, Вологодская обл., Российская Федерация, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6387-4886>

Information about the authors

Andrey V. Platonov, PhD in Biology, associate professor, leading researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of Russian Academy of Sciences, Gorky st., Vologda region, Russian Federation, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

✉ **Svetlana V. Ereghina**, PhD in Geography, senior researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of Russian Academy of Sciences, Gorky st., Vologda region, Russian Federation, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8136-4663>, e-mail: ereginasv@mail.ru

Ivan V. Artamonov, researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of Russian Academy of Sciences, Gorky st., Vologda region, Russian Federation, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6387-4886>

✉ – Для контактов / Corresponding author