

УДК 619:615.9:661.183.2

DOI 10.30914/2411-9687-2021-7-1-64-69

**ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ НАНОТРУБОК ГАЛЛУАЗИТА
ПО ОТНОШЕНИЮ К ЗЕАРАЛЕНОНУ И ОХРАТОКСИНУ А****Е. Ю. Тарасова**Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Введение. Микотоксины являются токсичными вторичными метаболитами, которые вырабатываются различными грибами при соответствующей температуре и влажности. В настоящее время в мире выявлено более 400 микотоксинов, но наиболее важными группами микотоксинов, которые представляют серьезную угрозу для здоровья человека и животных, являются: афлатоксины, охратоксин А, зеараленон и дезоксиниваленон из-за их тератогенных, нефротоксических, гепатотоксических, нейротоксических, мутагенных и иммунодепрессивных характеристик. Последние тенденции в удалении микотоксинов из пищевых продуктов и кормов привели к применению различных адсорбентов в качестве кормовых и пищевых добавок. **Целью** исследований являлось изучение адсорбционной способности нанотрубок галлуазита, недавно открытого отечественного месторождения, *in vitro* в отношении зеараленона и охратоксина А, а также их комбинации. Для определения адсорбционной активности нанотрубок галлуазита в отношении зеараленона и охратоксина А в ряд пробирок с содержанием 5 мл водно-солевого раствора вносили 10 мкл метанольного раствора зеараленона или охратоксина А с концентрацией 1 мкг/мл и изучаемый адсорбент в количестве 10 мг, контролем служила пробирка без добавления сорбента. Далее проводили экспозицию при постоянном встряхивании в течение 30 минут, при температуре 37 °С и pH среды 7,0 и 2,0 (моделирование pH в желудке), затем раствор фильтровали, из фильтрата токсины переэкстрагировали в хлороформ трижды по 20 мл, хлороформенные экстракты объединяли и выпаривали досуха на ротационном испарителе. Для определения десорбции к осадкам, содержащим комплексы (зеараленон + сорбент или охратоксин А + сорбент), добавляли 5 мл раствора, в котором создавали щелочную среду pH = 8,0 (моделирование pH в кишечнике). Адсорбция микотоксина зеараленона нанотрубками галлуазита составила 8,6 мкг при отдельном внесении и 7,35 мкг при совместном внесении с охратоксином А. Адсорбция охратоксина А составила 7,78 и 6,42 мкг соответственно при добавлении зеараленона. В ходе эксперимента нами впервые показано, что нанотрубки галлуазита отечественного месторождения обладают выраженными сорбционными свойствами в отношении зеараленона и охратоксина А.

Ключевые слова: микотоксины, охратоксин А, зеараленон, адсорбент, нанотрубки галлуазита, адсорбция, десорбция, экономический ущерб

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Тарасова Е.Ю. Изучение сорбционной активности нанотрубок галлуазита по отношению к зеараленону и охратоксину А // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2021. Т. 7. № 1. С. 64–69. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-1-64-69>

**STUDY OF THE SORPTION ACTIVITY OF HALLOYSITE NANOTUBES
AGAINST ZEARELENONE AND OCHRATOXIN A****E. Yu. Tarasova**

Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, Russian Federation

Abstract. Introduction. Mycotoxins are toxic secondary metabolites that are produced by various fungi at the appropriate temperature and humidity. Currently, more than 400 mycotoxins have been identified in the world, but the most important groups of mycotoxins that pose a serious threat to human and animal health are: aflatoxins, ochratoxin A, zearalenone and deoxynivalenol due to their teratogenic, nephrotoxic, hepatotoxic, neurotoxic, mutagenic and immunosuppressive characteristics. Recent trends in the removal of mycotoxins from food and feed have led to the use of various adsorbents as feed and food additives. **The aim** of our research was to study the adsorption capacity of halloysite nanotubes, a recently discovered domestic deposit, *in vitro* against zearalenone and ochratoxin A, as well as their combination. To determine the adsorption activity of halloysite nanotubes against zearalenone and ochratoxin A, 10 µl of a methanol solution of zearalenone or ochratoxin A with a concentration

of 1 µg/µl and the studied adsorbent in an amount of 10 mg were added to a series of test tubes containing 5 ml of water, the test tube without the addition of a sorbent was used as a control. Next, exposure was carried out with constant shaking for 30 minutes, at a temperature of 37 ° C and a pH of 7.0 and 2.0 (modeling the pH in the stomach), then the solution was filtered, toxins from the filtrate were re-extracted into chloroform three times in 20 ml, chloroform extracts combined and evaporated dry on a rotary evaporator. To determine desorption, 5 ml of a solution, in which an alkaline medium pH = 8.0 was created (modeling pH in the intestine), was added to sediments containing complexes (zearalenone + sorbent or ochratoxin + sorbent). The adsorption of zearalenone mycotoxin by halloysite nanotubes was 8.6 µg when added separately and 7.35 µg when combined with ochratoxin A. The adsorption of ochratoxin A was 7.78 and 6.42 µg, respectively, when zearalenone was added. During the experiment, we have shown for the first time that the halloysite nanotubes of a domestic deposit have pronounced sorption properties against zearalenone and ochratoxin A.

Keywords: mycotoxins, ochratoxin A, zearalenone, adsorbent, halloysite nanotubes, adsorption, desorption, economic damage

The author declares no conflict of interests.

For citation: Tarasova E.Yu. Study of the sorption activity of halloysite nanotubes against zearalenone and ochratoxin A. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2021, vol. 7, no. 1, pp. 64–69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2021-7-1-64-69>

Микотоксины являются вторичными метаболитами, которые очень часто вырабатываются токсикогенными грибами в ответ на стресс, вызванный экстремальными условиями окружающей среды [1; 3; 4]. Пищевое сырье может быть легко загрязнено микотоксинами во время любого процесса в пищевой промышленности, включая посадку, выращивание, сбор урожая, хранение, транспортировку и переработку. Если микотоксины попадут в пищевую цепочку, это будет представлять серьезную угрозу для здоровья человека [6; 8]. Синтез микотоксинов также зависит от агрономических факторов (тип гибрида, почвы, обработка почвы и предыдущий урожай), биологических факторов (восприимчивых культур), условий хранения (температура, влажность, обработка, наличие насекомых, грызуны и птицы), а также времени хранения [5; 7; 13].

В настоящее время в мире выявлено более 400 микотоксинов, но наиболее важными группами микотоксинов, которые представляют серьезную угрозу для здоровья человека и животных, являются: афлатоксины, охратоксин А, зearаленон, дезоксиниваленон и фумонизины [4; 15].

Охратоксины представляют собой группу микотоксинов, которая включает по меньшей мере девять различных соединений. Охратоксин А является наиболее распространенным и токсичным соединением в группе [10]. Этот токсин продуцируется некоторыми грибковыми видами рода *Aspergillus* и *Penicilium* и может вызывать нефро-

токсический, генотоксический, гепатотоксический, иммуносупрессивный и канцерогенный эффекты. Международное агентство по исследованию рака – IARC классифицировало охратоксин А как соединение группы 2В: возможно, канцерогенное вещество.

Хроническое воздействие ОТА связано с иммунотоксическим и цитотоксическим эффектами [14; 9].

Зearаленон продуцируется грибами рода *Fusarium* и представляет собой микотоксин, потребление которого приводит к развитию эстрогенного синдрома, проявляющегося абортными, рассасыванием плодов, низкой плодовитостью и так далее. Кроме того, фузариевые токсины подавляют иммунную систему, как следствие, развивается сопутствующая микрофлора, что приводит к наложению вторичных инфекций (например, колибактериоза) [2; 12].

Одним из перспективных, на наш взгляд, в отношении микотоксинов адсорбентом может стать природный наноматериал – галлуазит. Он химически подобен каолиниту за исключением того, что имеет высокое содержание гидратной воды, приводящей к изменению морфологии канальцев [11]. Внутреннюю полость нанотрубки, имеющую положительный заряд, можно заполнять отрицательно заряженными молекулами ферментов, лекарственных препаратов и так далее [16; 17]. Таким образом, нанотрубки галлуазита открывают огромные возможности для создания кормовых

добавок широкого и разнопланового действия, в которых связывание токсинов не будет являться единственным эффектом.

Целью исследований являлось изучение адсорбционной способности нанотрубок галлуазита, недавно открытого отечественного месторождения, *in vitro* в отношении зеараленона и охратоксина А, а также их комбинации.

Материалы и методы

В работе впервые использованы нанотрубки галлуазитной глины с коммерческим названием NTH-90, произведенные ООО «Галлуазит-Урал». NTH-90 представляет собой порошок от сероватого до голубоватого цвета с химической формулой $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, молекулярной массой 294,19 г/моль, плотностью 1,8–2,6 г/см³, удельной поверхностью 65 м²/г, длиной нанотрубок в диапазоне 1000–3000 нм, показателем преломления 1,54, внутренним диаметром 15–30 нм, внешним диаметром трубки – 50–70 нм и следующим химическим составом (Al_2O_3 – 35,07 %, SiO_2 – 48,06 %, Fe_2O_3 – 0,77 %, TiO_2 – 0,08 %, K_2O – 2,16 %, Na_2O – 0,09 %, MgO – 0,12 %, SO_3 – 0,13 %, K_2O+Na_2O – 2,25 %).

Адсорбционную активность нанотрубок галлуазита в отношении зеараленона и охратоксина А *in vitro* определяли по методике, описанной ранее в работе Е.Ю. Тарасовой и других [7]. Для этого в ряд пробирок с содержанием 5 мл водно-солевого раствора вносили 10 мкл метанольного раствора зеараленона или охратоксина А с концентрацией 1 мкг/мкл и изучаемый адсорбент в количестве 10 мг, контролем служила пробирка без добавления сорбента. Далее проводили экспозицию при постоянном встряхивании в течение 30 минут, при температуре 37 °С и рН среды 7,0 и 2,0 (моделирование рН в желудке), затем раствор фильтровали, из фильтрата токсины переэкстрагировали в хлороформ трижды по 20 мл, хлороформенные экстракты объединяли и выпаривали досуха на ротационном испарителе. Для определения десорбции к осадкам, содержащим комплексы (зеараленон+сорбент или охратоксин + сорбент), добавляли 5 мл раствора, в котором создавали щелочную среду рН = 8,0 (моделирование рН в кишечнике). Качественное и количественное определение остаточных количеств микотоксинов в сухом остатке проводили методом тонкослойной хроматографии с подтверждением ВЭЖХ. В работе использовали жидкостной хроматограф

Agilent 1260 Infinity с диодно-матричным и флуоресцентным детектором. Хроматографическое разделение осуществляли на колонке с обращенной фазой Reprosil ODS-AC 18 250 × 4 мм.

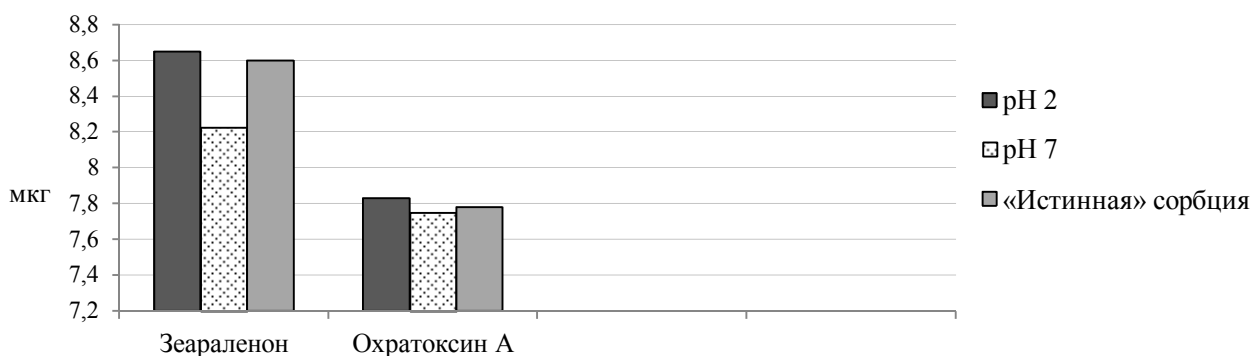
Так как уровень рН у моногастричных и жвачных животных в желудочно-кишечном тракте значительно изменяется при переходе от проксимального к дистальному участку, важно, чтобы вещество, адсорбирующее микотоксины, могло удерживать их как в кислой среде желудка, так и в щелочной среде кишечника, поэтому наше исследование включало в себя два этапа, что позволило проанализировать прочность комплекса микотоксин + адсорбент, сначала измерив количество связанного микотоксина при рН 2 (моделирование условий желудка), а затем определив отделение токсина от адсорбента во втором растворе при рН 8 (моделирование условий кишечника). Эффективность определяли сравнением начального связывания («непрочное связывание») с последующей десорбцией («прочное связывание»).

Данные усреднены и скомпилированы по результатам нескольких опытов, проведенных в разное время. Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием стандартного пакета программ Microsoft Excel.

Результаты исследований

Результаты по изучению адсорбционной способности нанотрубок галлуазита по отношению к зеараленону в нейтральной (рН 7) и кислой (рН 2) средах при температуре 37 °С, а также показатели «истинной» сорбции представлены на рисунке.

Из рисунка видно, что в одинаковых условиях постановки эксперимента показатели адсорбции нанотрубками галлуазитамикотоксины зеараленона выше, чем охратоксина А. Так, сорбционная активность охратоксина А при рН 2 была ниже на 8,4 %, рН 7 – 4,8 % относительно показателей адсорбции микотоксина зеараленона. «Истинная» сорбция для зеараленона была на уровне 86,0±3,4 %, охратоксина А – 77,8±2,8 % соответственно. Потери зеараленона и охратоксина А при переходе из кислой в щелочную среду при моделировании условий кишечника составили 0,06 и 0,04 мкг соответственно. Таким образом, нанотрубки галлуазита образуют достаточно прочные связи с микотоксинами, так как при изменении рН среды потери составляют менее 1 %.



Сорбционная активность нанотрубок галлуазита в отношении зеараленона и охратоксина А / Sorption activity of halloysite nanotubes against zearalenone and ochratoxin A

Так как на практике корма редко контаминируются только одним микотоксином, проведен опыт по изучению адсорбции зеараленона и охратоксина А при одновременном внесении в пробирку с изучаемым адсорбентом галлуазитом (табл.).

токсина А при одновременном внесении в пробирку с изучаемым адсорбентом галлуазитом (табл.).

Сорбционная активность нанотрубок галлуазитной глины в отношении охратоксина А и зеараленона при совместном внесении *in vitro* (соотношение токсина к сорбенту 1 : 1000) / Sorption activity of halloysite clay nanotubes against ochratoxin A and zearalenone when combined *in vitro* (toxin to sorbent ratio 1 : 1000)

Название микотоксина / Mycotoxin name	pH 2 / pH 2	pH 7 / pH 7	Десорбция / Desorption	«Истинная» сорбция / «True» sorption
Охратоксин А	65,0±2,8	70,0±1,1	0,8±0,01	64,2±2,8
Зеараленон	76,0±4,3	73,3±3,9	2,5±0,1	73,5±4,6

Показано, что при совместном внесении микотоксинов происходило снижение показателей адсорбции нанотрубками галлуазита на 13,3 % ($p < 0,05$) и 13,6 % ($p < 0,05$) в кислой и щелочной среде с учетом десорбции в отношении охратоксина А и 10,7 % ($p < 0,05$); 12,5 % ($p < 0,05$) соответственно в отношении зеараленона, что, вероятно, является следствием конкуренции за сайты связывания. Уровень десорбции микотоксинов увеличился в 1,6 и 3,6 раза соответственно и составил 0,05 и 0,19 мкг для охратоксина А и зеараленона.

с охратоксином А. Адсорбция охратоксина А составила 7,78 и 6,42 мкг соответственно при добавлении зеараленона. Галлуазит образовывал достаточно прочные связи с микотоксинами, максимальный уровень десорбции (0,19 мкг) наблюдали в опыте при суммарном внесении микотоксинов.

Заключение

Адсорбция микотоксина зеараленона нанотрубками галлуазита составила 8,6 мкг при отдельном внесении и 7,35 мкг при совместном внесении

В ходе эксперимента нами впервые показано, что нанотрубки галлуазита отечественного месторождения обладают выраженными сорбционными свойствами в отношении зеараленона и охратоксина А и являются перспективными для дальнейшего изучения в опытах *in vivo* в качестве потенциального средства профилактики и лечения микотоксикозов, что является особенно ценным в условиях российской программы импортозамещения.

Список литературы

1. Матросова Л.Е., Ермолаева О.К., Иванов А.А. Мониторинг микроскопических грибов в сельскохозяйственной продукции Республики Татарстан // Ветеринарный врач. 2009. № 3. С. 52–53. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12844976> (дата обращения: 10.04.2020).
2. Мишина Н.Н., Семенов Э.И., Папуниди К.Х. [и др.]. Влияние комплекса цеолита и шунгита на резистентность и продуктивность цыплят-бройлеров при смешанном микотоксикозе // Ветеринарный врач. 2018. № 6. С. 3–9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-kompleksa-tseolita-i-shungita-na-rezistentnost-i-produktivnost-tsyplyat-broylerov-pri-smeshannom-mikotoksikoze> (дата обращения: 10.04.2020).

3. Потехина Р.М., Ермолаева О.К., Семенов Э.И. [и др.]. Микологическая оценка кормов в Республике Татарстан // Ветеринарный врач. 2019. № 1. С. 19–23. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikologicheskaya-otsenka-kormov-v-respublike-tatarstan> (дата обращения: 10.04.2020).
4. Потехина Р.М., Матросова Л.Е., Тарасова Е.Ю. [и др.]. Случай микоза птиц, вызванный токсигенным изолятом *Fusarium proliferatum* // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2019. Т. 5. № 3. С. 316–321. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41752646> (дата обращения: 10.04.2020).
5. Семенов Э.И., Матросова Л.Е., Тарасова Е.Ю. [и др.]. Сравнительная оценка адсорбирующей активности дрожжей по отношению к микотоксинам // Вестник КНИТУ. 2013. № 10. С. 195–198. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19395537> (дата обращения: 10.04.2020).
6. Танасева С.А., Матросова Л.Е., Семенов Э.И. Афлатоксикоз свиней: эффективная схема лечения // Свиноводство. 2016. № 4. С. 51–53. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26136053> (дата обращения: 10.04.2020).
7. Тарасова Е.Ю., Семенов Э.И., Валиев А.Р. [и др.]. Поиск эффективных адсорбентов Т-2 токсина // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2019. Т. 5. № 3. С. 322–329. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41752648> (дата обращения: 10.04.2020).
8. Трemasов М.Я., Иванов А.В., Тарасова Е.Ю. Микотоксины – реальная угроза продовольственной безопасности // Вестник ветеринарии. 2013. № 65 (2). С. 78–80. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20787137> (дата обращения: 10.04.2020).
9. Alves da Silva S., Fonseca Alvarenga Pereira R.G., de Azevedo Lira N. [et al.]. Fungi associated to beans infested with coffee berry borer and the risk of ochratoxin A // Food Control. 2020. № 113. P. 107204. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107204>
10. Do T.H., Tran S.C., Le C.D. [et al.]. Thai-Nguyen Dietary exposure and health risk characterization of aflatoxin B1, ochratoxin A, fumonisin B1, and zearalenone in food from different provinces in Northern Vietnam // Food Control. 2020. № 112. P. 107–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107108>
11. Ismail H., Pasbakhsh P., Ahmad Fauzi M.N. [et al.]. The effect of halloysite nanotubes as a novel nanofiller on curing behavior, mechanical and microstructural properties of ethylene propylene diene monomer (EPDM) nanocomposites // Polym Plast Technol. 2009. V. 48. P. 313–323. DOI: <https://doi.org/10.1080/03602559.2014.961079>
12. Minervini F., Dell'Aquila M.E. Zearalenone and reproductive function in farm animals // International Journal of Molecular Sciences. 2008. № 9 (12). P. 2570–2584. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms9122570>
13. Moretti A., Pascale M., Logrieco A.F. Mycotoxin risks under a climate change scenario in Europe // Trends in Food Science & Technology. 2019. № 84. P. 38–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.008>
14. Moyosore J.A., Poonooru R.K., Cynthia A.C. Mycotoxin toxicity and residue in animal products: Prevalence, consumer exposure and reduction strategies // Toxicon. 2020. № 177. P. 96–108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.01.007>
15. Semenov E.I., Mishina N.N., Tanaseva S.A. Systemic anaphylaxis due to combined mycotoxicosis in wister rats // Indian Vet. J. 2018. V. 95. P. 16–19. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35744645> (дата обращения: 10.04.2020).
16. Vergano V., Lvov Y., Leporatti S. Halloysite clay nanotubes for resveratrol delivery to cancer cells // Macromol. Biosci. 2012. V. 12. P. 1265–1271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mabi.201200121>
17. Zhai R., Zhang B., Liu L. [et al.]. Immobilization of enzyme biocatalyst on natural halloysite nanotubes // Catalysis Commun. 2010. V. 12. P. 259–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2010.09.030>

Статья поступила в редакцию 16.12.2020; одобрена после рецензирования 17.01.2021; принята к публикации 27.01.2021.

Об авторе

Тарасова Евгения Юрьевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории микотоксинов, ФГБНУ «ФЦТРБ – ВНИВИ» (420075, Российская Федерация, Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок, д. 2), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9056-5798>, Evgenchka1885@gmail.com

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

References

1. Matrosova L.E., Ermolaeva O.K., Ivanov A.A. Monitoring mikroskopicheskikh gribov v sel'skokhozyaistvennoi produkcii Respubliki Tatarstan [Monitoring of microscopic fungi in agricultural products of the Republic of Tatarstan]. *Veterinarny vrach = Veterinarian*, 2009, no 3, pp. 52–53. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12844976> (accessed 10.04.2020). (In Russ.).
2. Mishina N.N., Semenov E.I., Papunidi K.Kh. [et al.]. Vliyaniye kompleksa tseolita i shungita na rezistentnost' i produktivnost' tsyplyat-broilerov pri smeshannom mikotoksikoze [Influence of the complex of zeolite and shungite on the resistance and productivity of broiler chickens under a mixed mycotoxicosis]. *Veterinarny vrach = Veterinarian*, 2018, no. 6, pp. 3–9. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-kompleksa-tseolita-i-shungita-na-rezistentnost-i-produktivnost-tsyplyat-broilerov-pri-smeshannom-mikotoksikoze> (accessed 10.04.2020). (In Russ.).
3. Potekhina R.M., Ermolaeva O.K., Semenov E.I. [et al.]. Mikologicheskaya otsenka kormov v Respublike Tatarstan [Mycological assessment of feed in the Republic of Tatarstan]. *Veterinarny vrach = Veterinarian*, 2019, no. 1, pp. 19–23. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikologicheskaya-otsenka-kormov-v-respublike-tatarstan> (accessed 10.04.2020). (In Russ.).

4. Potekhina R.M., Matrosova L.E., Tarasova E.Yu. [et al.]. Sluchai mikoza ptits, vyzvannyi toksigennym izolyatom *Fusarium proliferatum* [The case of poultry mycosis caused by *Fusarium proliferatum* isolate]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2019, vol. 5, no. 3, pp. 316–321. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sluchay-mikoza-ptits-vyzvannyi-toksigennym-izolyatom-fusarium-proliferatum> (accessed 10.04.2020). (In Russ.).
5. Semenov E.I., Matrosova L.E., Tarasova E.Yu. [et al.]. Sravnitel'naya otsenka adsorbiruyushchei aktivnosti drozhzhei po otnosheniyu k mikotoksinam [Comparative evaluation of yeast adsorption activity in relation to mycotoxins]. *Vestnik KNITU* = Bulletin of the Technological University, 2013, no. 10, pp. 195–198. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19395537> (accessed 10.04.2020). (In Russ.).
6. Tanaseva S.A., Matrosova L.E., Semenov E.I. Aflatoksikoz svinei: effektivnaya skhema lecheniya [Porcine Aflatoxicosis: an effective treatment regimen]. *Svinovodstvo* = Pig Breeding, 2016, no. 4, pp. 51–53. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26136053> (accessed 10.04.2020). (In Russ.).
7. Tarasova E.Yu., Semenov E.I., Valiev A.R. [et al.]. Poisk effektivnykh adsorbentov T-2 toksina [Search for effective T-2 toxin adsorbents]. *Vestnik Mariiskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaistvennye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics", 2019, vol. 5, no. 3, pp. 322–329. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41752648> (accessed 10.04.2020). (In Russ.).
8. Tremasov M.Ya., Ivanov A.V., Tarasova E.Yu. Mikotoksiny – real'naya ugroza prodovol'stvennoi bezopasnosti [Mycotoxins as real food security threat]. *Vestnik veterinarii* = Vestnik veterinarii, 2013, no. 65 (2), pp. 78–80. Available at: <https://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1213786> (accessed 10.04.2020). (In Russ.).
9. Alves da Silva S., Fonseca Alvarenga Pereira R.G., de Azevedo Lira N. [et al.]. Fungi associated to beans infested with coffee berry borer and the risk of ochratoxin A. *Food Control*, 2020, no. 113, pp. 107204. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107204>
10. Do T.H., Tran S.C., Le C.D. [et al.]. Thai-Nguyen Dietary exposure and health risk characterization of aflatoxin B1, ochratoxin A, fumonisin B1, and zearalenone in food from different provinces in Northern Vietnam. *Food Control*, 2020, no. 112, pp. 107–108. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107108>
11. Ismail H., Pasbakhsh P., Ahmad Fauzi M.N. [et al.]. The effect of halloysite nanotubes as a novel nanofiller on curing behavior, mechanical and microstructural properties of ethylene propylene diene monomer (EPDM) nanocomposites. *Polym Plast Technol.*, 2009, vol. 48, pp. 313–323. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1080/03602559.2014.961079>
12. Minervini F., Dell'Aquila M. E. Zearalenone and reproductive function in farm animals. *International Journal of Molecular Sciences*, 2008, no. 9 (12), pp. 2570–2584. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms9122570>
13. Moretti A., Pascale M., Logrieco A.F. Mycotoxin risks under a climate change scenario in Europe. *Trends in Food Science & Technology*, 2019, no. 84, pp. 38–40. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.008>
14. Moyosore J.A., Poonooru R.K., Cynthia A.C. Mycotoxin toxicity and residue in animal products: Prevalence, consumer exposure and reduction strategies. *Toxicon*, 2020, no. 177, pp. 96–108. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.01.007>
15. Semenov E.I., Mishina N.N., Tanaseva S.A. Systemic anaphylaxis due to combined mycotoxicosis in wister rats. *Indian Vet. J.*, 2018, vol. 95, pp. 16–19. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35744645> (accessed 10.04.2020). (In Eng.).
16. Vergano V., Lvov Y., Leporatti S. Halloysite clay nanotubes for resveratrol delivery to cancer cells. *Macromol. Biosci.*, 2012, vol. 12, pp. 1265–1271. (In Eng.). DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mabi.201200121>
17. Zhai R., Zhang B., Liu L. [et al.]. Immobilization of enzyme biocatalyst on natural halloysite nanotubes. *Catalysis Commun.*, 2010, vol. 12, pp. 259–263. (In Eng.). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2010.09.030>

The article was submitted 16.12.2020; approved after reviewing 17.01.2021; accepted for publication 27.01.2021.

About the author

Evgeniya Yu. Tarasova

Ph. D. (Biology), Senior Researcher of the Mycotoxin Laboratory, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety (2 Nauchnyi Gorodok, Kazan 420075, Russian Federation, Republic of Tatarstan), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9056-5798>, Evgenechka1885@gmail.com

The author has read and approved the final manuscript.