

ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ АДсорБЕНТОВ Т-2 ТОКСИНА**Е. Ю. Тарасова, Э. И. Семенов, А. Р. Валиев, Л. Е. Матросова***Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, г. Казань*

Т-2 токсин обладает сильнейшим токсическим действием и относится к вторичным метаболитам распространенных в глобальном масштабе грибов рода *Fusarium* – контаминантам зерновых, способных поражать продовольствие на любом этапе. Т-2 токсин рассматривают как один из главных иммуноподавляющих факторов в кормах для животных, что в свою очередь предрасполагает к развитию инфекционных заболеваний, приводит к снижению продуктивности, влекущей за собой значительные экономические потери. При этом предотвратить микотоксикозы в хозяйстве очень сложно, т. к. микотоксины устойчивы к термической, механической и химическим обработкам, поэтому поиск новых эффективных и, самое главное, доступных средств для лечения и профилактики микотоксикозов является высоко актуальным. Сотрудники лаборатории микотоксинов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» имеют большой опыт работы с адсорбентами микотоксинов различной природы. В данной статье проведено изучение адсорбционной способности *in vitro* в отношении Т-2 токсина природных материалов различного строения в сравнении с коммерческими препаратами. Для определения адсорбционной способности в пробирки с содержанием 5 мл водно-солевого раствора вносили 50 мкл Т-2 токсина в метаноле с концентрацией 1 мкг/мкл и исследуемые сорбенты (бентонит Биклянского и Тарн-Варского месторождений, цеолит Майнский, галлуазит, Клинофид, Токсфин, Токсипол) в количестве 50 мг, контролем служила пробирка без добавления сорбента. Далее проводили экспозицию при постоянном встряхивании в течение 30 минут, при рН среды 7,0 и 2,0 (моделирование рН в желудке), при температуре 37 °С, затем раствор фильтровали, из фильтрата токсин переэкстрагировали в хлороформ трижды по 20 мл, хлороформенные экстракты объединяли и выпаривали досуха на ротационном испарителе. Для определения десорбции к осадкам, содержащим комплекс (Т-2 токсин + сорбент), добавляли 5 мл раствора, в котором создавали щелочную среду рН = 8,0 (моделирование рН в кишечнике). Качественное и количественное определение остаточных количеств Т-2 токсина в сухом остатке проводили методом тонкослойной хроматографии с биоавтографическим завершением. В ходе эксперимента впервые показано, что нанотрубки галлуазита обладают выраженными сорбционными свойствами в отношении Т-2 токсина и являются перспективными для дальнейшего изучения в опытах *in vivo* в качестве потенциального средства профилактики и лечения микотоксикозов.

Ключевые слова: Т-2 токсин, микотоксины, адсорбент микотоксинов, бентонит, цеолит, нанотрубки галлуазита, экономический ущерб.

SEARCH FOR EFFECTIVE T-2 TOXIN ADSORBENTS**E. Yu. Tarasova, E. I. Semenov, A. R. Valiev, L. E. Matrosova***Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan*

T-2 toxin has the strongest toxic effect and belongs to the secondary metabolites of the globally widespread fungi of the genus *Fusarium* – cereal contaminants that can affect food at any stage. T-2 toxin is considered as one of the main immunosuppressive factors in animal feed, which in turn predisposes to the development of infectious diseases, leads to a decrease in productivity, which entails significant economic losses. At the same time, it is very difficult to prevent mycotoxicosis in the farm, since mycotoxins are resistant to thermal, mechanical and chemical treatments. Therefore, the search for new effective and, most importantly, available means for the treatment and prevention of mycotoxicosis is highly relevant. The staff of the mycotoxin laboratory of the Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety has extensive experience working with adsorbents of mycotoxins of various nature. In this article, we studied the adsorption capacity *in vitro* of natural materials of various structures in relation to T-2 toxin in comparison with commercial preparations. To determine the adsorption capacity, 50 µl of T-2 toxin in methanol with a concentration of 1 µg / µl and the studied sorbents (bentonite of Biklyansky and Tarn-Varisky deposits, zeolite Maynsky, halloysite, Clinofid, Toxfin, Toksipol) were added to test tubes containing 5 ml of water – salt solution in an amount of 50 mg, the test tube without the addition of a sorbent served as a control. Next, the exposure was carried out with constant shaking for 30 minutes, at pH 7.0 and 2.0 (modeling pH in the stomach), at 37 °C, then the solution was filtered, the toxin was re-extracted from the filtrate into chloroform

three times with 20 ml each, chloroform extracts were combined and evaporated dry on a rotary evaporator. To determine desorption, 5 ml of a solution were added to sediments containing the complex (T-2 toxin + sorbent), in which an alkaline medium pH = 8.0 was created (modeling pH in the intestine). Qualitative and quantitative determination of residual amounts of T-2 toxin in the dry residue was performed by thin-layer chromatography with bioautographic completion. During the experiment, we showed for the first time that halloysite nanotubes have pronounced sorption properties against T-2 toxin and are promising for further study in *in vivo* experiments as a potential means of preventing and treating mycotoxicosis.

Keywords: T-2 toxin, mycotoxins, mycotoxin adsorbent, bentonite, zeolite, halloysite nanotubes, economic damage.

Введение

Присутствие микотоксинов в кормах для животных является серьезной (неизбежной) проблемой в области здравоохранения, сельского хозяйства и экономики. Изменяющийся климат в мире, пробелы в знаниях о взаимодействии микотоксинов и появление или реклассификация соединений микотоксинов, вызывающих большую обеспокоенность, означают, что строгий контроль за распространением микотоксинов и снижением их воздействия на организм животных, а по пищевой цепи и человека, является сложной задачей [9; 12].

Правильная сельскохозяйственная и производственная практика – лучший метод борьбы с контаминацией кормов микотоксинами, однако в случае возникновения такого загрязнения необходимо минимизировать последствия, особенно, если невозможно полностью изъять корма с животноводческих ферм [7; 10]. В такой ситуации на помощь ветеринарным врачам приходят энтеросорбенты, представляющие собой соединения с большой молекулярной массой, которые адсорбируют токсины, присутствующие в корме, и таким образом ограничивают их биодоступность после приема внутрь, снижая воздействие на животных.

Так как комплекс *микотоксин + адсорбент* должен быть стабильным на протяжении всего пищеварительного тракта, десорбция при изменении pH является одним из важнейших параметров, который необходимо учитывать. На нее влияют физическая структура адсорбента и физико-химические свойства целевых токсинов.

Наиболее изученной группой минеральных адсорбентов, широко применяемых в практике для профилактики и лечения микотоксикозов, являются алюмосиликаты. Эта группа может быть разделена на два подкласса согласно их

пространственной структуре – филлосиликаты и тектосиликаты.

Филлосиликаты характеризуются кристаллической пластинчатой структурой с общей химической формулой $Si_2O_5^{2-}$. Примером служит монтмориллонит, его неочищенная форма – бентонит создается из выветривания вулканического пепла; термообработанная форма представляет собой гидратированный натрий-кальциевый алюмосиликат.

Тектосиликаты включают гидратированные алюмосиликаты с трехмерной структурой, состоящие из тетраэдров SiO_4 и AlO_4 , таких как цеолиты, например, клиноптиолит или гекторит. Они обеспечивают большую и специфическую поверхность связывания, а также размер, форму и селективность заряда, благодаря чему их сравнивают с молекулярными ситами [4].

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 [5].

Галлуазит представляет собой полиморф каолинита, в котором листы сворачиваются, образуя пустые цилиндры. Типичные галлуазитовые нанотрубки имеют внутренний диаметр в диапазоне от 20 до 100 нм. Эти размеры позволяют загружать большинство молекул лекарственных средств. Показано также, что галлуазит обладает высокой адсорбционной способностью как для катионных, так и для анионных красителей, поскольку он имеет отрицательный крайний слой SiO_2 и положительный внутренний слой просвета Al_2O_3 , следовательно, эти глиняные нанотрубки имеют эффективную двухвалентную адсорбцию [14].

В России месторождения галлуазита обнаружены на Урале, за рубежом – в Китае, США, Турции, Бразилии и Новой Зеландии.

Во всем мире нанотрубки галлуазита (ГНТ) используются в качестве нанокомпозитов, наноконтейнеров [6] и новых лекарств-носителей в медицине [8; 11], но об использовании ГНТ у животных в качестве адсорбентов имеется лишь несколько сообщений в зарубежной литературе. Они сводятся к успешному применению модифицированных стеарилдиметилбензиламонийхлоридом галлуазитовых нанотрубок у свиноматок с 35 по 70 сутки супоросности с целью снижения негативных последствий, контаминированных зearаленоном кормов. Показано, что модифицированные таким образом нанотрубки галлуазита минимизировали большинство токсических эффектов, вызванных зearаленоном, оказали положительное влияние на показатели роста, количество и диаметры мышечных волокон у поросят при отъеме [3]. Ранее Zhang Y. et al. [13] также было показано, что модифицированные галлуазитовые нанотрубки предотвращали большинство изменений в репродуктивной функции у свиноматок и в развитии поросят, вызванных зearаленоном.

Трихотецены представляют собой большую группу вторичных метаболитов, продуцируемых грибами рода *Fusarium* [1; 10].

Одним из наиболее опасных, высокотоксичных и часто встречаемых в Центральном, Поволжском, Уральском, Сибирском и Дальневосточном регионах является Т-2 токсин [2; 9].

В связи с тем, что ранее в России не проводились исследования по изучению адсорбции микотоксинов природным материалом галлуазитом, целью наших исследований являлось изучение адсорбционной способности нанотрубок галлуазита *in vitro* в отношении Т-2 токсина в сравнении с другими алюмосиликатными глинами, такими как цеолит Майнский и бентониты Биклянского и Тарн-Варского месторождений, а также с коммерческими препаратами комбинированного состава.

Материалы и методы

Адсорбционную способность энтеросорбентов в отношении Т-2 микотоксина *in vitro* определяли по методике, описанной В. С. Крюковым и соавт. (1992) с изменениями М. Я. Тремасова и соавт. (2005). Для этого в ряд пробирок с содержанием 5 мл водно-солевого раствора вносили 50 мкл метанольного раствора Т-2 токсина (Sigma-Aldrich) с концентрацией 1 мкг/мкл и исследуемые сорбенты в количестве 50 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 токсин переэкстрагировали в хлороформ трижды по 20 мл, хлороформенные экстракты объединяли и выпаривали досуха на ротационном испарителе. Для определения десорбции к осадкам, содержащим комплекс (Т-2 токсин + сорбент), добавляли 5 мл раствора, в котором создавали щелочную среду рН = 8,0 (моделирование рН в кишечнике). Качественное и количественное определение остаточных количеств Т-2 токсина в сухом остатке проводили методом тонкослойной хроматографии с биоавтографическим завершением с использованием культуры *Candida pseudotropicalis* штамм 44 ПК, предоставленную профессором А. Н. Котиком.

Проведено изучение показателей сорбции у коммерческих энтеросорбентов, таких как Клинофид (производство компании «Юнипоинт»), Токсфин (производство компании «Кемин»), Токсипол (производство компании «Фрамелко»), а также нанотрубок галлуазита (Sigma-Aldrich) и алюмосиликатных глин месторождения которых находятся на территории Российской Федерации (бентониты Биклянский и Тарн-Варский, цеолит Майнский).

Выбор коммерческих энтеросорбентов обусловлен их составом, они являются наиболее распространенными и широко рекламируемыми, что послужило основанием для использования их в качестве препаратов сравнения.

Данные усреднены и скомпилированы по результатам нескольких опытов, проведенных в разное время.

Результаты

В связи с тем, что 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 в кислой и щелочной средах желудка и кишечника соответственно, 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»).

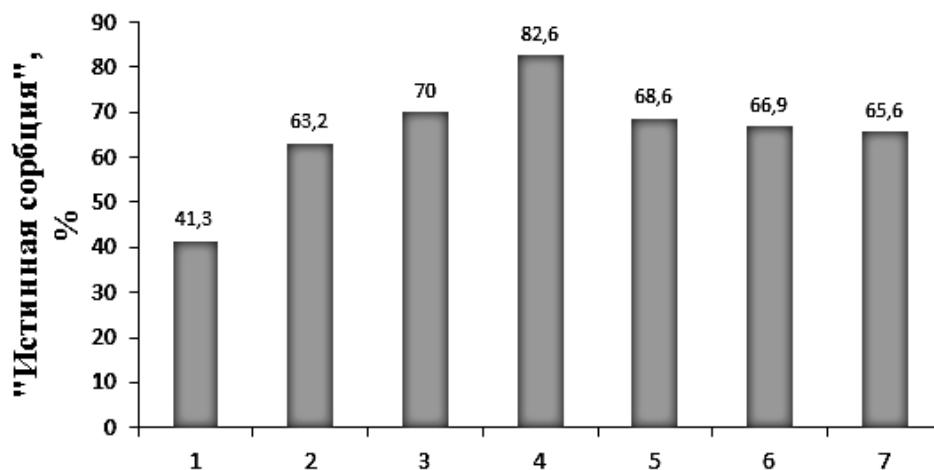
Результаты по изучению адсорбционной способности энтеросорбентов по отношению к Т-2

токсину в нейтральной (рН 7), кислой (рН 2) и слабощелочной (рН 8) среде при температуре 37 °С представлены в таблице.

По данным таблицы видно, что все исследуемые образцы обладают адсорбционной активностью по отношению к Т-2 токсину *in vitro*.

Сравнительная характеристика сорбционной активности испытываемых энтеросорбентов /
Comparative characteristics of the sorption activity of the tested enterosorbents

№	Сорбент / Sorbent	Адсорбция, мкг / Adsorption, µg		Десорбция, мкг / Desorption, µg	«Истинная сорбция», мкг / «True Sorption», µg
		рН = 2	рН = 7		
1	Цеолит Майнский	22,7	20,7	1,1	21,6
2	Бентонит Биклянский	33,5	33,5	0,6	32,9
3	Бентонит Тарн-Варский	37,1	42,4	0,5	36,6
4	Галлуазит	43,1	42,9	0,2	42,9
5	Клинофид	36,0	35,5	0,5	35,5
6	Токсфин	35,3	35,0	0,5	34,8
7	Токсипол	34,9	34,2	0,6	34,3



«Истинная сорбция» энтеросорбентов по отношению к Т-2 токсину
(1 – цеолит Майнский; 2 – бентонит Биклянский; 3 – бентонит Тарн-Варский;
4 – галлуазит; 5 – Клинофид; 6 – Токсфин; 7 – Токсипол) /

“True sorption” of enterosorbents in relation to T-2 toxin (1 – Maynsky zeolite; 2 – Biklyansky bentonite;
3 – Tarn-Varsky bentonite; 4 – halloysite; 5 – Clinofid; 6 – Toxfin; 7 – Toxipol)

На рисунке показано, что «истинная сорбция» коммерческих комплексных сорбентов (Токсфин, Клинофид, Токсипол), имеющих в своем составе органические и неорганические компоненты, составила 66,9; 68,6 и 65,6 % соответственно, то есть находилась примерно в одном диапазоне.

Наименьшие показатели адсорбции Т-2 токсина были зафиксированы у цеолита Майнского месторождения. При этом показано, что адсорбционная способность бентонита практически

не уступает, а в отношении бентонита Тарн-Варского месторождения даже превосходит показатели коммерческих препаратов.

Колебания рН среды привели к снижению степени адсорбции у всех изучаемых препаратов, уровень десорбции составил 3,4–4,0 % соответственно.

Наибольшая сорбирующая способность (82,6 %) в отношении Т-2 токсина отмечалась у нанотрубок галлуазита, что делает очень перспективным

его дальнейшее изучение в отношении других микотоксинов и их комплексов, а также в опытах *in vivo*.

Заключение

Наноразмерные трубчатые глинистые минералы в последние годы вызывают большой интерес в качестве материалов для новых, передовых биомедицинских применений. Они используются в естественных условиях или после функционализации, включая наногбриды глинистых минеральных биополимеров, как при доставке лекарств, так и при доставке генов. Наряду с возможностями доставки лекарств наноразмерные трубчатые глинистые минералы демонстрируют хорошие характеристики при разработке каркасов для тканевой инженерии, медицинских приборов и диагностики. Глинистые минералы и глинистые биополимерные нанокомпозиты используются в качестве носителей матричных белков, факторов роста и генов при регенерации тканей. Взаимодействие наноразмерных трубчатых глинистых минералов с биологическими структурами открывает возможности для тканевой инженерии и предлагает целый ряд возможностей для разработки систем, способных улучшить адгезию и пролиферацию клеток.

В связи с экологической напряженностью проблема получения и поиска новых сорбентов,

так же как и разработка новых сорбционных технологий, является очень актуальной, поэтому идет постоянный поиск средств, которые не нарушают гомеостаз и выводят из организма продукты нарушенного метаболизма, жизнедеятельности патогенных микроорганизмов и токсических соединений, полученных из внешней среды. Галлуазит в свою очередь представляет собой тип алюмосиликатной глины с полый нанотрубчатой структурой и набором характеристик, которые делают его дешевым, доступным, долговечным, механически прочным и биосовместимым.

Нашим исследованием показана возможность применения нанотрубок галлуазита в качестве адсорбента неполярного и наиболее трудно адсорбируемого Т-2 токсина – одного из представителей многочисленной группы трихотеценовых микотоксинов, обладающего сильнейшим токсическим действием. При этом независимо от пути поступления в организм основными его мишенями являются иммунная система, органы кроветворения, желудочно-кишечный тракт, центральная нервная система.

Однако в дальнейшем исследование адсорбционной активности галлуазита *in vitro* необходимо подтвердить в опытах на животных, т. к. в настоящее время нет моделей, полностью имитирующих условия желудочно-кишечного тракта.

Литература

1. 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: 22.07.2019).
2. Трemasов М.Я., Иванов А.В., Тарасова Е.Ю. Микотоксины – реальная угроза продовольственной безопасности // Вестник ветеринарии. 2013. № 65 (2). С. 78–80. URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1213786> (дата обращения: 22.07.2019).
3. Gao R., Meng Q., Li M. [et al.]. Modified halloysite nanotubes reduce the toxic effects of zearalenone in gestating sows on growth and muscle development of their offsprings // Journal of Animal Science and Biotechnology. 2016. Vol. 7. P. 14. DOI 10.1186/s40104-016-0071-2
4. Huwig A., Freimund S., Kappeli O. [et al.]. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents // Toxicology Letters. 2001. Vol. 122. P. 179–188. DOI 10.1016/S0378-4274(01)00360-5
5. Ismail H., Pasbakhsh P, Ahmad Fauzi MN, Abu Bakar A. 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. P. 313–323. DOI 10.1080/03602550802675736
6. Jinhua W., Xiang Z., Bing Z. [et al.]. Rapid adsorption of Cr (VI) on modified halloysite nanotubes // Desalination. 2010. Vol. 259. P. 22–28. DOI 10.1016/j.desal.2010.04.046
7. Park D.L., Njapau H., Boutrif E. Minimizing risks posed by mycotoxins utilizing the HACCP concept // Food, Nutrition and Agriculture. 1999. P. 49–56.
8. Qi R., Guo R., Shen M. [et al.]. Electrospun poly (lactic-coglycolic acid) / halloysite nanotube composite nanofibers for drug encapsulation and sustained release // Mater Chem. 2010. 20. P. 10622–10629. DOI 10.1039/C0JM01328E
9. Semenov E.I, Mishina N.N., Tanaseva S.A. [et al.]. Systemic Anaphylaxis Due to Combined Mycotoxicosis in Wister Rats // Indian Vet. J. 2018. Vol. 95. P. 16–19.

10. Semenov E.I., Tremasov M.Y., Matrosova L.E. [et al.]. Joint effect of the mycotoxins T-2 toxin, deoxynivalenol and zearalenone on the weaner pigs against a background of the infection load // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. Vol. 7. P. 1860–1868.
11. Shi Y.F., Tian Z., Zhang Y. [et al.]. Functionalized halloysite nanotube-based carrier for intracellular delivery of antisense oligonucleotides // *Nanoscale Res Lett*. 2011. Vol. 6(1). P. 1–7. DOI 10.1186/1556-276X-6-608
12. Zain M.E. Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*. 2011. Vol. 15. P. 129–144. DOI 10.1016/j.jscs.2010.06.006
13. Zhang Y., Gao R., Liu M. [et al.]. Use of modified halloysite nanotubes in the feed reduces the toxic effects of zearalenone on sow reproduction and piglet development // *Theriogenology*. 2015. Vol. 83. P. 932–941. DOI 10.1016/j.theriogenology.2014.11.027
14. Zhao Y., Abdullayev E., Vasiliev A. [et al.]. Halloysite nanotubule clay for efficient water purification // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2013. Vol. 406. P. 121–129. DOI 10.1016/j.jcis.2013.05.072

References

1. Semenov E.I., Matrosova L.E., Tarasova E.Yu. [i dr.]. Sravnitel'naya otsenka adsorbiruyushchei aktivnosti drozhzhei po otosheniyu k mikotoksinam [Comparative evaluation of yeast adsorption activity in relation to mycotoxins]. *Vestnik KNITU = Herald of Kazan Technological University*, 2013, no. 10, pp. 195–198. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19395537> (accessed 22.07.2019). (In Russ.).
2. Tremasov M.Ya, Ivanov A.V., Tarasova E.Yu. Mikotoksiny – real'naya ugroza prodovol'stvennoi bezopasnosti [Mycotoxins as real food security threat]. *Vestnik veterinarii = Veterinary Bulletin*, 2013, no. 65, pp. 78–80. Available at: <https://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1213786> (accessed 22.07.2019). (In Russ.).
3. Gao R., Meng Q., Li M. [et al.]. Modified halloysite nanotubes reduce the toxic effects of zearalenone in gestating sows on growth and muscle development of their offsprings, 2016, vol. 7, p. 14. DOI 10.1186/s40104-016-0071-2
4. Huwig A., Freimund S., Kappeli O. [et al.]. Mycotoxin detoxication of animal feed by different adsorbents. *Toxicology Letters*, 2001, vol. 122, pp. 179–188. DOI 10.1016/S0378-4274(01)00360-5
5. Ismail H., Pasbakhsh P., Ahmad Fauzi MN, Abu Bakar A. 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. DOI 10.1080/03602550802675736
6. Jinhua W., Xiang Z., Bing Z. [et al.]. Rapid adsorption of Cr (VI) on modified halloysite nanotubes. *Desalination*, 2010, vol. 259, pp. 22–28. DOI: 10.1016/j.desal.2010.04.046
7. Park D.L., Njapau H., Boutrif E. Minimizing risks posed by mycotoxins utilizing the HACCP concept. *Food, Nutrition and Agriculture*, 1999, pp. 49–56.
8. Qi R., Guo R., Shen M. [et al.]. Electrospun poly (lactic-coglycolic acid) / halloysite nanotube composite nanofibers for drug encapsulation and sustained release. *Mater Chem.*, 2010, 20, pp. 10622–10629. DOI 10.1039/C0JM01328E
9. Semenov E.I., Mishina N.N., Tanaseva S.A. [et al.]. Systemic Anaphylaxis Due to Combined Mycotoxicosis in Wister Rats. *Indian Vet. J.*, 2018, vol. 95, pp. 16–19.
10. Semenov E.I., Tremasov M.Y., Matrosova L.E. [et al.]. Joint effect of the mycotoxins T-2 toxin, deoxynivalenol and zearalenone on the weaner pigs against a background of the infection load. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2016, vol. 7, pp. 1860–1868.
11. Shi Y.F., Tian Z., Zhang Y. [et al.]. Functionalized halloysite nanotube-based carrier for intracellular delivery of antisense oligonucleotides. *Nanoscale Res Lett*, 2011, vol. 6, pp. 1–7. DOI 10.1186/1556-276X-6-608
12. Zain M.E. Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society*, 2011, vol. 15, pp. 129–144. DOI 10.1016/j.jscs.2010.06.006
13. Zhang Y., Gao R., Liu M. [et al.]. Use of modified halloysite nanotubes in the feed reduces the toxic effects of zearalenone on sow reproduction and piglet development. *Theriogenology*, 2015, vol. 83, pp. 932–941. DOI 10.1016/j.theriogenology.2014.11.027
14. Zhao Y., Abdullayev E., Vasiliev A. [et al.]. Halloysite nanotubule clay for efficient water purification. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2013, vol. 406, pp. 121–129. DOI 10.1016/j.jcis.2013.05.072

Статья поступила в редакцию 29.08.2019 г.; принята к публикации 30.09.2019 г.

Submitted 29.08.2019; revised 30.09.2019.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

All authors have read and approved the final manuscript.

Для цитирования:

Тарасова Е.Ю., Семенов Э.И., Валиев А.Р., Матросова Л.Е. Поиск эффективных адсорбентов Т-2 токсина // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2019. Т. 5. № 3. С. 322–328. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-322-328

Об авторах**Тарасова Евгения Юрьевна**

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», г. Казань, ORCID ID 0000-0002-9056-5798, Evgenechka1885@gmail.com

Семенов Эдуард Ильясович

кандидат биологических наук, заведующий отделом, ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», г. Казань, ORCID ID 0000-0002-3029-7170, semyonovei@bk.ru

Валиев Алмаз Рафаильевич

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», г. Казань, ORCID ID 0000-0001-7187-4328, valalraf200@gmail.com

Матросова Лилия Евгеньевна

доктор биологических наук, начальник научно-организационного и образовательного отдела ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ», г. Казань, ORCID ID 0000-0001-7428-7882, M.Lilia.Evg@yandex.ru

Citation for an article:

Tarasova E.Yu., Semenov E.I., Valiev A.R., Matrosova L.E. Search for effective T-2 toxin adsorbents. *Vestnik of the Mari State University. Chapter "Agriculture. Economics"*. 2019, vol. 5, no. 3, pp. 322–328. DOI: 10.30914/2411-9687-2019-5-3-322-328 (In Russ.).

About the authors**Evgeniya Yu. Tarasova**

Ph. D. (Biology), Senior Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, ORCID ID 0000-0002-9056-5798, Evgenechka1885@gmail.com

Eduard I. Semenov

Ph. D. (Biology), Head of Toxicology Department, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, ORCID ID 0000-0002-3029-7170, semyonovei@bk.ru

Almaz R. Valiev

Ph. D. (Biology), Senior Researcher, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, ORCID ID 0000-0001-7187-4328, valalraf200@gmail.com

Lilia E. Matrosova

Dr. Sci. (Biology), Head of Scientific-Organizational and Educational Department, Federal Center for Toxicological, Radiation and Biological Safety, Kazan, ORCID ID 0000-0001-7428-7882, M.Lilia.Evg@yandex.ru