



DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.2.3>

UDC 628.162.84

LBC 38.96



THE USE OF ZEIN TO FILTER WATER FROM PETROLEUM PRODUCTS

Alexey S. Venetsiansky

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Elena A. Ivantsova

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Maria P. Shulikina

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation

Abstract. Over the past few years, the issue of water resource pollution has become a global concern. One of the primary reasons for this is the discharge of industrial waste into water bodies, which leads to a significant increase in the concentration of harmful substances in the water. This poses a serious threat to human health and the environment, prompting the development of various purification technologies. One of the most promising methods is adsorption, where pollutants are removed from the water by adhering to the adsorbent. Exploring the possibility of using corn protein as a biosorbent opens new horizons in the development of environmentally friendly materials resistant to degradation. The aim of this study was to determine the effectiveness of using zein as a component of filtering material. The article presents the results of experiments combining corn protein with other adsorbents, such as activated charcoal and diatomite. Based on the calculations carried out, the efficiency of using zein for water purification from petroleum products was assessed. The main indicator of efficiency was the mass concentration of petroleum products in the water before and after the filtration process. The results showed that zein enhances the overall performance of the filter layer due to its hydrophobic properties, which are capable of capturing petroleum product molecules. In conclusion, optimizing the use of corn protein in filter materials could lead to the creation of more effective and environmentally friendly water purification systems.

Key words: corn protein, water pollution with petroleum products, filter filling, zein, water filtration.

Citation. Venetsiansky A.S., Ivantsova E.A., Shulikina M.P. The Use of Zein to Filter Water From Petroleum Products. *Prirodnye sistemy i resursy* [Natural Systems and Resources], 2024, vol. 14, no. 2, pp. 32-39. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.2.3>

УДК 628.162.84

ББК 38.96

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗЕИНА ДЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Алексей Сергеевич Венецианский

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Елена Анатольевна Иванцова

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Мария Павловна Шуликина

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация

Аннотация. За последние несколько лет проблема загрязнения водных ресурсов становится актуальной в мировом масштабе. Одной из основных причин этого является сброс промышленных отходов в водоемы,

что ведет к значительному увеличению содержания вредных веществ в воде. Это представляет серьезную угрозу здоровью людей и состоянию окружающей среды, стимулируя разработку различных технологий очистки. Одним из наиболее перспективных методов является адсорбция, при которой загрязняющие вещества удаляются из воды, приликая к адсорбенту. Изучение возможности использования кукурузного белка в качестве биосорбента открывает новые горизонты в разработке экологически безопасных материалов, стойких к разрушениям. Целью данного исследования стало определение эффективности использования зеина как компонента фильтрующего материала. В статье представлены результаты экспериментов по сочетанию кукурузного белка с другими адсорбентами, такими как активированный уголь и диатомит. На основании проведенных расчетов была оценена эффективность применения зеина для очистки воды от нефтепродуктов. Главным показателем эффективности служила массовая концентрация нефтепродуктов в воде до и после процесса фильтрации. Результаты показали, что зеин улучшает общую работу фильтрующего слоя благодаря своим гидрофобным свойствам, способным захватывать молекулы нефтепродуктов. В итоге, оптимизация использования кукурузного белка в составе фильтрующих материалов может привести к созданию более эффективных и экологически чистых систем водоочистки.

Ключевые слова: кукурузный белок, загрязнение воды нефтепродуктами, фильтрующая засыпка, зеин, фильтрация воды.

Цитирование. Венецианский А. С., Иванцова Е. А., Шуликина М. П. Использование зеина для фильтрации воды от нефтепродуктов // Природные системы и ресурсы. – 2024. – Т. 14, № 2. – С. 32–39. – DOI: <https://doi.org/10.15688/nsr.jvolsu.2024.2.3>

Введение

Загрязнение нефтепродуктами природных вод представляет собой значительную угрозу, так как они являются одним из наиболее распространенных и опасных загрязнителей [1]. Эти продукты состоят из сложной смеси предельных и непредельных углеводородов, а также их различных производных.

Сам термин «нефтепродукты» (далее – НП) обычно относят именно к углеводородной фракции (включая алифатические, ароматические и ациклические соединения), которая представляет собой основной и наиболее характерный компонент нефти и ее переработанных форм. Международным параметром для определения присутствия нефтепродуктов в воде является «углеводородный индекс нефти» (НОИ).

Цель исследования – определить возможность использования кукурузного белка в качестве компонента фильтрующей засыпки для очистки воды от нефтепродуктов.

Материалы и методы

Для того чтобы снизить вредное воздействие нефтепродуктов как на организм человека и животных, так и на водные биоценозы, необходимо контролировать и регулировать концентрацию нефтепродуктов в

воде в соответствии с санитарными требованиями [3; 4].

Любое присутствие нефти в воде может привести к тяжелым экологическим последствиям, поэтому № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [8] вводит штрафы за сброс нефтепродуктов в водные объекты с превышением норм предельно допустимой концентрации (далее – ПДК). Согласно этим нормам, ПДК нефтепродуктов в воде должна составлять 0,3 мг/дм³ для водных объектов хозяйственно-культурного назначения и 0,05 мг/дм³ для водных объектов рыбохозяйственного значения.

Чтобы обеспечить соблюдение этих норм, для анализа сточных вод могут применяться различные методы в зависимости от требуемой точности и ресурсов, а также типа измеряемых нефтепродуктов.

Среди наиболее распространенных методов измерения концентрации нефтепродуктов в воде: ИК-спектрофотометрия, гравиметрический анализ, флуоресцентная спектроскопия и газовая хроматография (см. рис. 1) [5; 7].

Независимо от выбранного метода, на первом этапе всегда проводится жидкостная экстракция для отделения нефтепродуктов от воды с помощью растворителя или экстрагента, чтобы увеличить их концентрацию и устранить любые вещества, которые могут повлиять на точность анализа. Кроме этого,

обычно используется хроматографическая колонка, заполненная оксидом алюминия, чтобы устранить влияние полярных соединений.

Стоит отметить, что Российское законодательство, касающееся сброса нефти в водоемы, очень строго, и несоблюдение норм ПДК может привести к различным наказаниям, начиная со штрафов заканчивая временным запретом на деятельность. Промышленным предприятиям и компаниям важно убедиться в том, что их процессы очистки сточных вод эффективно удаляют НП, прежде чем сбрасывать их в водоемы или канализацию.

Биосорбенты получают из возобновляемых источников, таких как материалы растительного происхождения, отходы животноводства и морская биомасса, и их можно легко модифицировать для увеличения их адсорбционной способности, что делает их универсальными и эффективными в отношении различных загрязняющих веществ.

Растительный белок зеин, который входит в категорию проламинов, содержится в зернах кукурузы [10; 11], уникален тем, что, несмотря на его нерастворимость в воде, он легко растворяется в этаноле. В процессе гидролиза этот белок отделяет значительные количества глутаминовой кислоты, что составляет 26,9 % его массы, а также лейцина и пролина, содержание которых достигает 21,1 % и 10,53 % соответственно. За счет этого гидрофобность белка в 50 раз выше, чем у альбумина или фибриногена. Зеин может взаимодействовать с углеводородными цепями неф-

тепродуктов через гидрофобные взаимодействия, улучшая общую адсорбционную способность фильтра.

Кроме исследуемого кукурузного белка в качестве компонентов для проведения экспериментальной части были выбраны: активированный кокосовый уголь и диатомит.

По определению диатомитом называют горную породу осадочного типа, основу которой составляет панцирь диатомовых водорослей. Характерным свойством вещества является наличие отрицательно заряженных ионов. За счет этого диатомит притягивает к себе положительно заряженные бактерии и вирусы. Также он обладает большой поверхностной площадью и высокой пористостью, что способствует физическому захвату частиц [2]. Может улучшить механическую фильтрацию, задерживая крупные частицы и распределяя поток жидкости для более равномерной адсорбции с углем.

Следующим компонентом для фильтрующих засыпок выступает активированный уголь, который считается одним из популярных адсорбентов, применяемых в различных целях. Активированный уголь адсорбирует молекулы нефтепродуктов через ван-дер-ваальсовы силы и гидрофобные взаимодействия. Высокая пористость угля позволяет захватывать и удерживать большие количества органических молекул. Химическая структура представляет пористую форму углерода с высокой поверхностной площадью, благодаря чему уголь обладает адсорбционными свойствами [9].



Рис. 1. Методы определения нефтепродуктов в воде

Для исследования эффективности использования кукурузного белка в процессе фильтрации воды от нефтепродуктов были составлены семь вариаций засыпок для фильтра. Данные наполнители состоят из описанных выше компонентов: активированного угля, диатомита и кукурузного белка. Стоит отметить, что каждый компонент отличается своими физико-химическими свойствами (табл. 1).

Комбинирование этих материалов позволяет использовать их сильные стороны, создавая более эффективные и универсальные фильтрующие системы. Оптимизация пропорций описанных выше адсорбентов может значи-

тельно улучшить очистку воды и минимизировать воздействие нефтепродуктов на окружающую среду.

Для каждого варианта фильтрующего наполнителя были изготовлены фильтры, которые представляли собой, срезанную бутылку, в горлышко, которой закладывалась марля, после этого засыпался наполнитель (рис. 2).

Состав компонентов, содержащихся в засыпках, оставался неизменным. Отличие фильтрующих смесей друг от друга заключалось в различных пропорциях используемых адсорбентов (табл. 2).

Таблица 1

Физико-химические свойства сорбентов

Свойство	Наименование адсорбента		
	Активированный уголь	Диатомит	Кукурузный белок
Удельная поверхность, м ² /г	700–1500	30–45	1–10
Плотность, г/см ³	0,3–0,6	0,5–0,7	1,5
Пористость	Высокая	Высокая	Низкая
Гидрофобность	Высокая	Низкая	Низкая



Рис. 2. Пример засыпки для проведения фильтрации

Таблица 2

Пропорции исследуемых фильтрующих засыпок

Фильтр	Активированный уголь	Диатомит	Кукурузный белок
Исходная проба	–	–	–
Засыпка № 1	34	33	33
Засыпка № 2	45	30	25
Засыпка № 3	60	10	30
Засыпка № 4	60	30	10
Засыпка № 5	40	10	50
Засыпка № 6	10	40	50
Засыпка № 7	90	5	5

Чтобы определить эффективность кукурузного белка в процессе фильтрации, в воду, полученную из систем центрального водоснабжения г. Волгограда, был добавлен бензин в произвольном объеме. Таким образом, получился исходный образец с загрязненной нефтепродуктами водой.

Для определения полученных результатов, пробы были переданы в испытательную лабораторию, где используя методику ПНД Ф 14.1.272-2012 [6], исследовалась массовая концентрация нефтепродуктов в пробах сточных вод методом ИК-спектрофотометрии с применением концентратометров серии КН-3.

Массовую концентрацию нефтепродуктов в пробе воды, X , мг/дм³, рассчитывают по формулам (1) и (2):

$$X_{\text{хол}} = \frac{X_{\text{изм}} \times V_{\text{ЭК}}}{V}, \quad (1)$$

$$X = \frac{X_{\text{изм}} \times V_{\text{ЭК}} \times K}{V} - X_{\text{хол}}, \quad (2)$$

где $X_{\text{хол}}$ – результат измерений массовой концентрации нефтепродуктов в холостой пробе, мг/дм³, в пересчете на объем пробы дистиллированной воды; $X_{\text{изм}}$ – результат измерений массовой концентрации нефтепродуктов в элюате на концентратометре, мг/дм³; $V_{\text{ЭК}}$ – объем четыреххлористого углерода, использованного для проведения экстракции ($V_{\text{ЭК}} = 30 \text{ см}^3$); V – объем пробы анализируемой воды, см³; K – коэффициент разбавления (соотношение объемов мерной колбы и аликвоты элюата).

Результаты и обсуждение

Используя формулы (1) и (2), была определена массовая концентрация нефтепродуктов в исследуемых пробах и получены следующие данные (рис. 3, табл. 3).

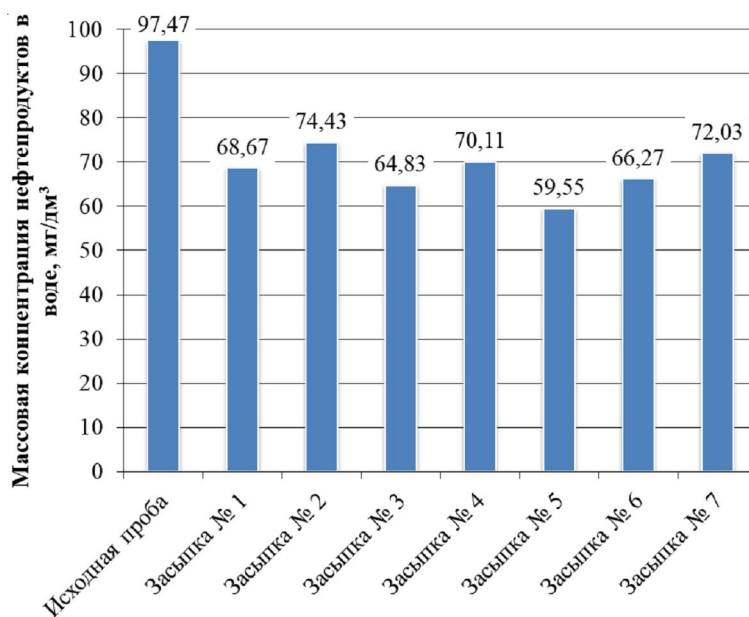


Рис. 3. Массовая концентрация нефтепродуктов в воде

Таблица 3

Сравнительная характеристика фильтрующих засыпок

Фильтр (Уголь / Диатомит / Зеин, %)	Концентрация до, мг/дм ³	Концентрация после, мг/дм ³	Снижение концентрации, %
Без фильтрации (загрязненная вода)	97,47	–	–
Фильтр № 1 (34/33/33)	97,47	68,67	29,55
Фильтр № 2 (45/30/25)	97,47	74,43	23,64
Фильтр № 3 (60/10/30)	97,47	64,83	33,49
Фильтр № 4 (60/30/10)	97,47	70,11	28,07
Фильтр № 5 (40/10/50)	97,47	59,55	38,90
Фильтр № 6 (10/40/50)	97,47	66,27	32,01
Фильтр № 5 (90/5/5)	97,47	72,03	26,10

Исходя из полученных данных, можно отметить следующие наблюдения:

Концентрация нефтепродуктов с применением фильтрующей засыпки № 1 (34 % угля, 33 % диатомита, 33 % зеина) составляет 68,67 мг/дм³. Баланс между углем, диатомитом и зеином, показывает снижение концентрации нефтепродуктов на 29,6 %. Оптимальная комбинация, где все три компонента присутствуют в равных долях. Диатомит распределяет поток жидкости, позволяя активированному углю и кукурузному белку эффективно адсорбировать нефтепродукты.

Концентрация нефтепродуктов с применением засыпки № 2 (45 % угля, 30 % диатомита, 25 % зеина) составляет 74,43 мг/дм³. Увеличение содержания угля за счет уменьшения диатомита и зеина нарушает баланс, что ведет к меньшей эффективности, несмотря на большой объем угля, снижение на 23,6 %.

Использование засыпки № 3 (60 % угля, 10 % диатомита, 30 % зеина) приводит к концентрации 64,83 мг/дм³. Высокое содержание активированного угля и кукурузного белка при низком содержании диатомита демонстрирует значительное снижение на 33,4 %.

Содержание нефтепродуктов с использованием фильтра № 4 (60 % угля, 30 % диатомита, 10 % зеина) составляет 70,11 мг/дм³. Снижение содержания белка и увеличение диатомита также ведет к менее эффективному снижению на 28,1 %.

Использование засыпки № 5 (40 % угля, 10 % диатомита, 50 % зеина) привело к концентрации нефтепродуктов 59,55 мг/дм³. Высокое содержание кукурузного белка и умеренное содержание угля показывают наилучшее снижение на 38,9 %.

Фильтрующая засыпка № 6 (10 % угля, 40 % диатомита, 50 % зеина) концентрацию содержания нефтепродуктов после применения составляет 66,27 мг/дм³. Высокое содержание зеина и диатомита, но низкое содержание угля показывают снижение на 31,98 %.

Фильтрующий наполнитель № 7 (90 % угля, 5 % диатомита, 5 % зеина) приводит к концентрации равной 72,03 мг/дм³. Высокое содержание угля и минимальное содержание зеина и диатомита показывают менее эффективную фильтрацию со снижением содержа-

ния НП на 25,1 %. Объясняется это тем, что сокращение количества диатомита ухудшает распределение потока жидкости, снижая эффективность активированного угля. Уменьшение кукурузного белка снижает дополнительные гидрофобные взаимодействия.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование кукурузного зеина для очистки воды от нефтепродуктов демонстрирует значительную эффективность. Оптимизация содержания активированного угля и диатомита в сочетании с зеином приводит к улучшению фильтрации от загрязнений нефтепродуктов.

Заключение

Применение кукурузного белка, как фильтрующего агента для удаления нефтяных загрязнений из воды, может сократить уровень загрязняющих веществ. Высокая концентрация зеина улучшает адсорбцию нефтепродуктов через гидрофобные взаимодействия, создавая дополнительные точки захвата загрязняющих веществ. Исследование и оптимизация использования кукурузного белка в составе фильтрующих материалов могут привести к созданию более эффективных и экологически безопасных систем фильтрации. Результаты исследования могут быть использованы для улучшения существующих систем фильтрации, что в свою очередь позволит снизить затраты на обслуживание и замену фильтрующих элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздействие нефтепродуктов на гидросферу земли // Успехи современного естествознания. – URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8564>
2. Диатомит: для чего используется // Диатомит-Урал. – URL: <https://diatomitural.ru/company/blog/204/>
3. Методические основы геофизического мониторинга грунтовых вод речных пойм / Д. А. Солодовников [и др.] // Юг России: экология, развитие. – 2017. – Т. 12, № 3. – С. 106–114.
4. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» от 28 января 2021 // docs.cntd.ru. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?section=status>

5. Привалова, Н. М. Исследование методов очистки вод от загрязнений нефтью и нефтепродуктами / Н. М. Привалова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 113. – С. 307–316.

6. Природоохранный нормативный документ федеральный ПНД Ф 14.1.272-2012. Методика (метод) измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах // ГОСТ Ассистент : сайт. – URL: <https://gostassistant.ru/doc/ea7ff1d8-20db-4eb7-8b5f-bd184f2e890f> (дата обращения: 11.05.2024). – Режим доступа: открытый доступ.

7. Технология очистки нефтесодержащих сточных вод // Neftegaz.RU. – URL: <https://neftegaz.ru/science/ecology/332110-tehnologiya-ochistki-neftesoderzhashchikh-stochnykh-vod/>

8. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ (последняя редакция) // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/

9. Характеристика активных (активированных) углей. Что такое активированный уголь // СЗСО-ТИЗ. – URL: <https://sotizz.ru/harakteristika-aktivnih-uglej>

10. Chen, H. A Novel Method of Preparing Stable Zein Nanoparticle Dispersions for Encapsulation of Peppermint Oil / H. Chen, Q. Zhong // Food Hydrocolloids. – 2015. – Vol. 43. – P. 593–602. – DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.07.018

11. Zein – A Plant-Based Material of Growing Importance: New Perspectives for Innovative Uses // ScienceDirect. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669022007336#preview-section-introduction>

REFERENCES

1. Vozdeistvie nefteproduktov na gidrosferu zemli [Impact of Oil Products on the Earth's Hydrosphere]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia* [Achievements of Modern Natural Science]. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=8564>

2. Diatomit: dlia chego ispolzuetsia [Diatomite: What Is It Used For?]. *DiatomitUral*. URL: <https://diatomitural.ru/company/blog/204/>

3. Solodovnikov D.A., Khavanskaya N.M., Vishnyakov N.V., Ivantsova E.A. Metodicheskiye osnovy geofizicheskogo monitoringa gruntovykh vod rechnykh poym [Methodological Foundations of Geophysical Monitoring of Groundwater of River Floodplains]. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye* [South

of Russia: Ecology, Development], 2017, vol. 12, no. 3, pp. 106-114.

4. Ob utverzhdenii sanitarnykh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 «Gigienicheskie normativy i trebovaniia k obespecheniiu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlia cheloveka faktorov sredy obitaniia» ot 28 ianvaria 2021 [On Approval of Sanitary Rules and Regulations Sanpin 1.2.3685-21, “Hygienic Standards and Requirements for Ensuring Safety and (or) Harmlessness to Humans of Factors in the Living Environment,” Dated January 28, 2021]. *docs.cntd.ru*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?section=status>

5. Privalova N.M. Issledovanie metodov ochistki vod ot zagriaznenii neftiu i nefteproduktami [Research of Methods for Water Purification From Oil and Oil Products Pollution]. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, no. 113, pp. 307-316.

6. Prirodookhrannyi normativny dokument federalny PND F 14.1.272-2012. Metodika (metod) izmerenii massovoi kontsentratsii nefteproduktov v probakh [Environmental Regulatory Document Federal PND F 14.1.272-2012. Procedure (Method) for Measuring the Mass Concentration of Petroleum Products in Samples]. *GOST Assistant: sait*. URL: <https://gostassistant.ru/doc/ea7ff1d8-20db-4eb7-8b5f-bd184f2e890f>

7. Tekhnologiya ochistki neftesoderzhashchikh stochnykh vod [Oily Wastewater Treatment Technology]. *Neftegaz.RU*. URL: <https://neftegaz.ru/science/ecology/332110-tehnologiya-ochistki-neftesoderzhashchikh-stochnykh-vod/>

8. Federalnyi zakon «Ob okhrane okruzhaiushchei sredy» ot 10.01.2002 № 7-FZ (posledniia redaktsiia) [Federal Law “On the Protection of the Environment” of 10.01.2002, No. 7-FZ (Latest Version)]. *KonsultantPlus*. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/

9. Kharakteristika aktivnykh (aktivirovannykh) uglei. Chto takoe aktivirovannyi ugol [Characteristics of Active (Activated) Carbons. What Is Activated Carbon?]. *SZSOTIZ*. URL: <https://sotizz.ru/harakteristika-aktivnih-uglej>

10. Chen H., Zhong Q. A Novel Method of Preparing Stable Zein Nanoparticle Dispersions for Encapsulation of Peppermint Oil. *Food Hydrocolloids*, 2015, vol. 43, pp. 593-602. DOI: 10.1016/j.foodhyd. 2014.07.018

11. Zein – A Plant-Based Material of Growing Importance: New Perspectives for Innovative Uses. *ScienceDirect*. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669022007336#preview-section-introduction>

Information About the Authors

Alexey S. Venetsiansky, Candidate of Sciences (Agriculture), Associate Professor, Department of Biology and Bioengineering, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, alven79@mail.ru

Elena A. Ivantsova, Doctor of Sciences (Agriculture), Professor, Director of the Institute of Natural Sciences, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, ivantsova.volgu@mail.ru

Maria P. Shulikina, Student, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation, bstb-181_641995@volsu.ru

Информация об авторах

Алексей Сергеевич Венецианский, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры биологии и биоинженерии, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, alven79@mail.ru

Елена Анатольевна Иванцова, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор института естественных наук, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, ivantsova.volgu@mail.ru

Мария Павловна Шуликина, студент, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация, bstb-181_641995@volsu.ru