

Оксана Владимировна Зинина<sup>1</sup>, Светлана Павловна Меренкова<sup>2✉</sup>,  
Елена Александровна Вишнякова<sup>3</sup>, Дамир Муратович Галимов<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>1</sup>zininaov@susu.ru

<sup>2</sup>merenkovasp@susu.ru

<sup>3</sup>l\_vishny@mail.ru

<sup>4</sup>galimovdm@susu.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПИЩЕВЫХ БИОАКТИВНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ ПЕКТИНА

Цель исследования – установить структуру и свойства биоактивных пленок на основе пектина. Объекты исследования – пленки, полученные на основе структурообразователя пектина с добавлением белкового гидролизата в качестве активного компонента. У изготовленных пленок определяли микроструктуру с помощью сканирующей электронной микроскопии; физико-химические свойства (биоразлагаемость, растворимость, толщину, содержание влаги); биоактивные свойства (антиоксидантную способность, способность поглощать радикалы DPPH, содержание полифенолов и флавоноидов) спектрофотометрически. Добавление белкового гидролизата в состав пектиновой пленки изменяло ее структурные свойства: образовывалась плотная ячеистая сетка, благодаря чему пленка становилась менее подвержена воздействию воды и дольше биodeградировалась в компосте, а толщина ее становилась меньше по сравнению с контролем. При этом оба образца пленки через 2 недели полностью превратились в био-гумус, что показывает высокую биоразлагаемость пектиновых пленок. Также улучшились антиоксидантные свойства пленок: антирадикальная активность увеличилась на 11 %, а антиоксидантная способность – на 49 % по сравнению с контрольным образцом. Введение белкового гидролизата в композиционный состав пектиновой пленки может решить ряд проблем монокомпонентного состава пленки на основе пектина, улучшить структурные характеристики и устойчивость к влаге. Входящие в состав гидролизата пептиды, образуя устойчивые химические связи с молекулами пектина, не только положительно влияют на структуру, но и повышают антиоксидантные свойства, что перспективно для получения биоактивных пищевых пленочных покрытий, способных увеличивать сроки хранения продуктов питания.

**Ключевые слова:** пищевая пленка, биоразлагаемость, белковый гидролизат, антиоксидантная активность

**Для цитирования:** Исследование структуры и свойств пищевых биоактивных пленок на основе пектина / О.В. Зинина [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2024. № 1. С. 201–207.

**Благодарности:** исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 23-26-00153.

Oksana Vladimirovna Zinina<sup>1</sup>, Svetlana Pavlovna Merenkova<sup>2✉</sup>,  
Elena Aleksandrovna Vishnyakova<sup>3</sup>, Damir Muratovich Galimov<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>1</sup>zininaov@susu.ru

<sup>2</sup>merenkovasp@susu.ru

<sup>3</sup>l\_vishny@mail.ru

<sup>4</sup>galimovdm@susu.ru

## STUDYING THE FOOD BIOACTIVE PECTIN-BASED FILMS STRUCTURE AND PROPERTIES

*The purpose of the study is to establish the structure and properties of bioactive films based on pectin. The objects of study are films obtained on the basis of the structure-forming agent pectin with the addition of protein hydrolyzate as an active component. The microstructure of the produced films was determined using scanning electron microscopy; physicochemical properties (biodegradability, solubility, thickness, moisture content); bioactive properties (antioxidant capacity, ability to absorb DPPH radicals, content of polyphenols and flavonoids) spectrophotometrically. The addition of protein hydrolyzate to the composition of the pectin film changed its structural properties: a dense cellular network was formed, due to which the film became less susceptible to water and took longer to biodegrade in compost, and its thickness became smaller compared to the control. Moreover, both film samples completely turned into vermicompost after 2 weeks, which shows the high biodegradability of pectin films. The antioxidant properties of the films also improved: antiradical activity increased by 11 %, and antioxidant capacity by 49 % compared to the control sample. The introduction of protein hydrolyzate into the composition of a pectin film can solve a number of problems in the monocomponent composition of a pectin-based film, improve the structural characteristics and moisture resistance. The peptides included in the hydrolyzate, forming stable chemical bonds with pectin molecules, not only have a positive effect on the structure, but also increase antioxidant properties, which is promising for the production of bioactive food film coatings that can increase the shelf life of food products.*

**Keywords:** *cling film, biodegradability, protein hydrolysate, antioxidant activity*

**For citation:** Studying the food bioactive pectin-based films structure and properties / O.V. Zinina [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2024;(1): 201–207. (In Russ.).

**Acknowledgments:** research has been funded by Russian Science Foundation № 23-26-00153.

**Введение.** На сегодняшний день самым популярным упаковочным материалом для продуктов питания являются пакеты из синтетических полимеров [1], которые отличаются невысокой стоимостью, легкостью, гибкостью и прозрачностью. Однако их неспособность к биоразлагаемости и миграция составных микрокомпонентов в продукты питания в процессе хранения представляют серьезную опасность для окружающей среды и здоровья потребителей. В связи с этим создание альтернативных материалов и способов упаковки продуктов становится как никогда актуальным [2].

Как правило, биоразлагаемые пленки представляют собой тонкие слои органических макромолекул, состоящие из белков и полисахаридов, с добавлением пластификатора. Композитный состав биопленок может широко варьироваться, что будет влиять на био- и термопластические свойства конечного материала. К веществам, которые могут входить в состав пленок и изменять их свойства, относятся белки, полиэферы, липиды и полисахариды [3]. При добавлении к биополимерам активных веществ возможно получение не только биоразлагаемых, но и биоактивных материалов, позволяю-

щих увеличивать сроки хранения продуктов питания [4, 5].

Среди биополимеров, используемых для разработки пищевых упаковочных материалов, большое внимание уделяется пектину. Пектин представляет собой природный водорастворимый анионный полисахарид, который получают из отходов переработки фруктов и овощей, – кожуры цитрусовых и яблочного жмыха. Благодаря своей биоразлагаемости, способности к пленкообразованию и разнообразным физико-химическим свойствам (гелеобразующие и эмульгирующие свойства, антиоксидантная способность и избирательная проницаемость) пектин является перспективным сырьем для изготовления упаковки для пищевых продуктов. Однако пленки, изготовленные с использованием только пектина, имеют перечень недостатков, в т. ч. неприемлемые механические характеристики и слабо выраженные антимикробные свойства. Вследствие высокой гидрофильности пектина пленка на его основе интенсивно адсорбирует влагу, что ограничивает ее применение в пищевой упаковке. Поэтому пектины часто комбинируют с другими природными веществами, что позволяет нивелировать данные недостатки [6, 7].

Известно, что белки обладают отличной способностью блокировать углекислый газ, кислород и липиды. Следовательно, белки являются оптимальным компонентом упаковочного материала для эффективного предотвращения потери влаги и аромата упакованных продуктов. Также доказано, что белковые гидролизаты могут быть включены в съедобные пленки для снижения интенсивности окислительного повреждения, вызванного свободными радикалами, образующимися в пищевой системе в период хранения [8].

**Цель исследования** – установить структуру и свойства биоактивных пленок на основе пектина.

**Задачи:** анализ микроструктуры пленок; исследование влияния биоактивных добавок на физико-химические свойства и биоразлагаемость пленок; изучение биоактивных свойств пектиновых пленок.

**Материалы и методы.** Материалом для исследования служили контрольные образцы пектиновых биопленок и опытные образцы пленок с добавлением 1 % белкового гидролизата. Для получения пленки использовали пектин со степенью этерификации 36–40 % (Dangshan Haisheng Pectin Co., Ltd., Китай), пластификатор глицерин (ООО «Йодные технологии и маркетинг», Россия), в качестве активного компонента – белковый гидролизат, полученный ферментацией желудков цыплят-бройлеров. Пленки получали по технологии и рецептуре, описанной в работе [9].

У изготовленных пленок определяли микроструктуру с помощью сканирующей электронной микроскопии; физико-химические свойства – биоразлагаемость, растворимость, толщину, содержание влаги; биоактивные свойства – антиоксидантную способность, антирадикальную DPPH активность, содержание полифенолов и флавоноидов. Для исследования микроструктуры поперечного сечения биопленок применяли сканирующую электронную микроскопию (SEM). Поперечный срез биопленки покрывали тонким слоем золота в высоковакуумной системе нанесения покрытий (MSP-30T, Showa Shinku Devices Inc., Япония), затем визуализировали при рабочем напряжении 10 кВ в вакууме. Попереч-

ную структуру пленок наблюдали при увеличении 500×, 2000× и 5000×.

Тест на биоразлагаемость проводили в соответствии с методиками, описанными в DIN V 54900-2-1998 “Testing of the compostability of plastics – Part 2: Testing of the complete biodegradability of plastics in laboratory tests”, в биокомпосте, помещая в него образцы пленок. Изменение структуры пленок анализировали через каждые 2 дня, просеивая содержимое компоста через сито и проверяя состояние неразложившихся остатков. Содержание влаги определяли термогравиметрически, высушиванием образцов пленок при 105 °С. Растворимость пленок в воде определяли по разности масс высушенной пленки до растворения в воде температурой 25 °С в течение 6 ч при перемешивании и высушенного нерастворимого остатка после проведения опыта.

Толщину пленки измеряли цифровым микрометром (тип KW06-85, Krisbow, Индонезия) в 5 различных положениях с точностью 0,001 мм.

Для проверки растворимости пленок в воде использовали модифицированный метод Farhan-Hani [10]. Образцы нарезали на небольшие кусочки размером 2×2 см<sup>2</sup> и сушили при 105 °С в течение 6 ч перед взвешиванием ( $m_1$ ). Каждый образец помещали в колбу, содержащую 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, и перемешивали с помощью магнитного миксера при 240 об/мин. Образцы оставляли на водяной бане на 6 ч при комнатной температуре (25 °С), после чего содержимое колбы фильтровали, а фильтровальную бумагу с нерастворенными частицами сушили при температуре 105 °С до получения постоянной массы. Наконец, измеряли массу фильтровальной бумаги для определения нерастворимого сухого вещества ( $m_2$ ). Растворимость в воде (WS, %) рассчитывали в соответствии со следующим уравнением:

$$WS \% = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100. \quad (1)$$

Способность белковых гидролизатов удалять свободные радикалы DPPH определяли спектрофотометрически. К 2 мл этанольного экстракта образца добавляли 2 мл раствора DPPH (0,4 ммоль/л) и выдерживали смесь в течение

30 мин. Затем регистрировали поглощение при длине волны 515 нм. Общее содержание фенольных соединений определяли методом Фолина-Чикальтеу в этанольном экстракте образца на спектрофотометре Jenway при 760 нм. Рассчитанные значения выражали в эквиваленте галловой кислоты (GAE), мг GAE/г сухой массы. Содержание флавоноидов определяли по уровню светопоглощения при образовании комплекса флавоноид-алюминий. Оптическую плотность измеряли при длине волны 415,0 нм. Для построения калибровочной кривой в качестве стандарта использовали кверцетин. Значения рассчитывали и выражали в кверцетиновом эквиваленте, мг EQ/г сухой массы.

*Статистический анализ.* Исследования проводились в трех повторностях. Результаты выражали как средние значения трех повторов  $\pm$  стандартное отклонение. За статисти-

ческую значимость принимались значения вероятности  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Одними из важнейших свойств экологически безопасных для окружающей среды пленок являются биоразлагаемость и водорастворимость. При оценке биоразлагаемости в почве установили, что контрольный образец пленки полностью превратился в биогумус через 10 дней, а с добавлением белкового гидролизата – через 14 дней.

Растворимость в воде является важным свойством пленки для определения ее пригодности к использованию в качестве упаковки для пищевых продуктов. Растворимость пектиновых пленок снижалась при добавлении белкового гидролизата из-за возможного образования ковалентных связей в пленке, что согласуется с результатами определения биоразлагаемости (табл.).

#### Физико-химические показатели пектиновых пленок

Показатель	Образец пленки	
	Контроль	С добавлением 1 % БГ
Толщина, мкм	36,1 $\pm$ 0,04	32,8 $\pm$ 0,06
Растворимость в воде, %	88,2 $\pm$ 0,23	73,1 $\pm$ 0,16
Содержание влаги, %	12,4 $\pm$ 0,01	10,3 $\pm$ 0,01
Антиоксидантная способность, мг-экв. аскорбиновой кислоты / г	1,31 $\pm$ 0,12	1,95 $\pm$ 0,15
Поглощающая DPPH активность, %	63,8 $\pm$ 2,50	70,6 $\pm$ 3,10
Содержание полифенолов, мг-экв. галловой кислоты/г	0,253 $\pm$ 0,009	0,504 $\pm$ 0,012
Содержание флавоноидов	0,0195 $\pm$ 0,0002	0,0106 $\pm$ 0,0001

*Примечание:* БГ – белковый гидролизат.

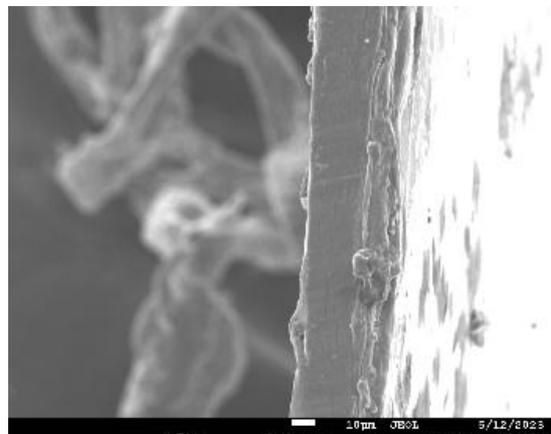
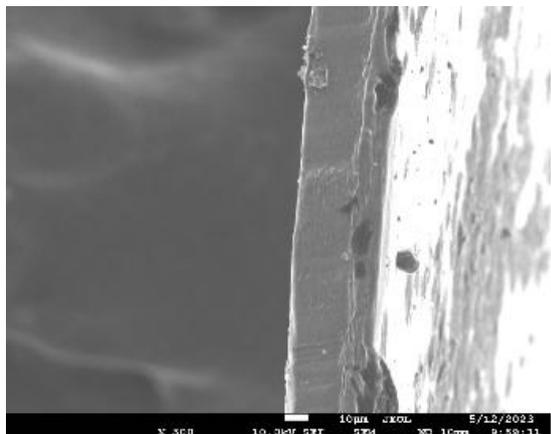
При изучении микроструктуры пленок с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) также устанавливали толщину пленок. Результаты СЭМ показали, что пектиновые пленки имеют однородную сетчатую структуру, которая наиболее выражена у пленок с добавлением белкового гидролизата (рис.). Толщина пектиновой пленки без добавления белкового компонента оказалась несколько выше, что может быть связано с действием пептидов в сос-

таве гидролизата как сшивающего агента. Пектиновая сетка способствует уменьшению набухания пептидов, снижая толщину и создавая пленку с плотной структурой. Однако толщина обоих образцов пленок оказалась в пределах требований ГОСТ Р 57432 – не более 0,5 мм. Установлено более высокое содержание влаги для контрольного образца пленки по сравнению с опытным образцом (табл.).

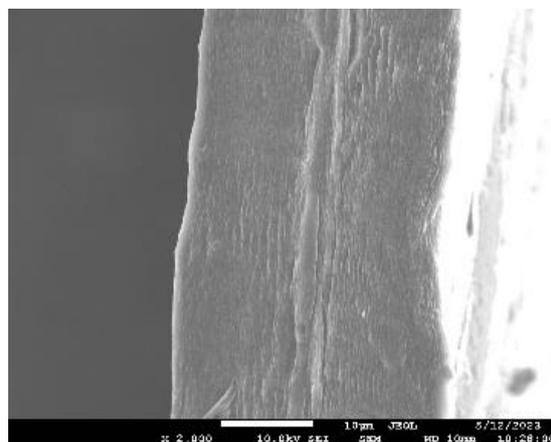
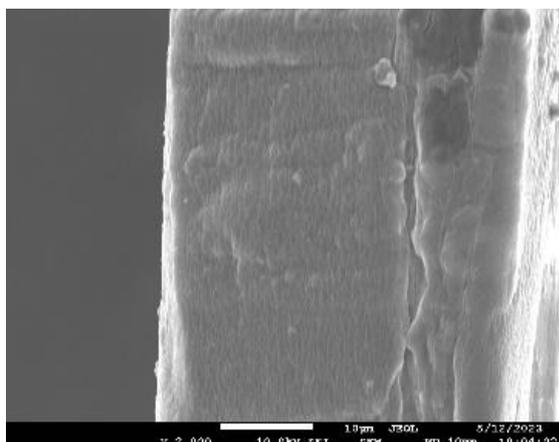
Образец пленки с добавлением  
1 % белкового гидролизата

Контрольный образец пленки

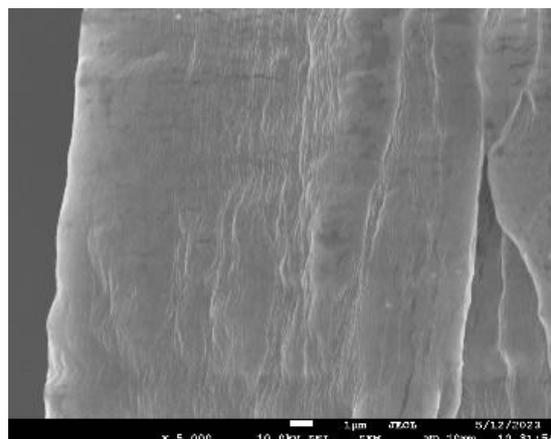
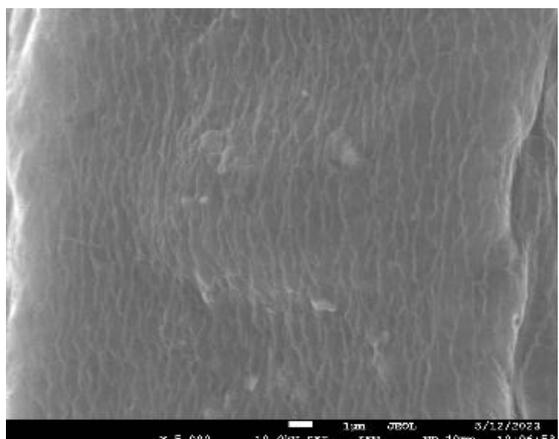
Увеличение  $\times 500$



Увеличение  $\times 2000$



Увеличение  $\times 5000$



*Микроструктура пектиновых пленок*

В результате оценки биоактивных свойств пектиновых пленок установлены их выраженные антиоксидантные свойства, однако добавление белкового гидролизата способствует повышению антирадикальной активности до 70,6 % и антиоксидантной способности до 1,95 мг-экв. аскорбиновой кислоты / г (см. табл.). Полученные результаты позволяют предположить, что пектиновые пленки с белковым гидролизатом в составе матрицы окажут антиокислительное действие при хранении упакованной продукции. Данный аспект будет установлен в дальнейших исследованиях при оценке хранимоспособности продуктов питания, упакованных в разработанные биоактивные пленки.

**Заключение.** Результаты исследований доказали, что введение белкового гидролизата в состав пектиновых пленок способствует не только улучшению структурных характеристик, но и формирует их биоактивные свойства. Установленные данные о высоких антиоксидантных свойствах пектиновых пленок позволяют продолжить работу в направлении получения пищевых пленочных покрытий с активными свойствами, позволяющими увеличивать сроки хранения продуктов питания.

#### Список источников

1. Пищевая биоразлагаемая пленка с использованием хитозана / М.Д. Мукатова [и др.] // Вестник АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2018. № 3. С.124–131.
2. Characterization of a novel bioactive film based on *Artemisia sphaerocephala* Krasch. Gum (ASKG) complexed with  $\beta$ -cyclodextrin/curcumin ( $\beta$ -CD/CUR) inclusion complex and its application in meat preservation / S. Khan [et al.] // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 136. Part A. № 108296.
3. Development and characterization of starch-based bioactive thermoplastic packaging films derived from banana peels / C.M. Chandrasekar [et al.] // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2023. Vol.5. № 100328.
4. Тихонов С.Л., Тихонова Н.В., Ногина А.А. Технология и оценка качества пищевых пленок // Вестник ВСГУТУ. 2019. № 1(72). С. 19–28.

5. Эффективные инновационные решения в развитии упаковочных систем для пищевых продуктов / Р.В. Крюк [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 181–187. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-181-187.
6. Manufacture of active multilayer films made of functionalized pectin coated by polyhydroxyalkanoates: A fully renewable approach to active food packaging / S.F. Mirpoor [et al.] // Polymer. 2023. Vol. 281. № 126136.
7. Pectin-nanolignin composite films with water resistance, UV resistance, and antibacterial activity / S. Zhang [et al.] // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 143. № 108783.
8. Improvement in the storage quality of fresh salmon (*Salmo salar*) using a powerful composite film of rice protein hydrolysates and chitosan / Q. Yan [et al.] // Food Control. 2022. Vol. 142. № 109211.
9. Зинина О.В., Меренкова С.П., Вишнякова Е.А. Технологии получения пищевых пленочных покрытий на основе различных структурообразователей // Аграрная наука. 2023. № 368(3). С. 117–121. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-368-3-117-121.
10. Farhan A., Hani N.M. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol // Food Hydrocolloids. 2017. Vol. 64. P. 48–58.

#### References

1. Pischevaya biorazlagaemaya plenka s ispol'zovaniem hitozana / M.D. Mukatova [i dr.] // Vestnik AGTU. Seriya: Rybnoe hozyajstvo. 2018. № 3. S.124–131.
2. Characterization of a novel bioactive film based on *Artemisia sphaerocephala* Krasch. Gum (ASKG) complexed with  $\beta$ -cyclodextrin/curcumin ( $\beta$ -CD/CUR) inclusion complex and its application in meat preservation / S. Khan [et al.] // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 136. Part A. № 108296.
3. Development and characterization of starch-based bioactive thermoplastic packaging films derived from banana peels / C.M. Chandrasekar [et al.] // Carbohydrate Polymer Technologies and Applications. 2023. Vol.5. № 100328.

4. *Tihonov S.L., Tihonova N.V., Nogina A.A.* Tehnologiya i ocenka kachestva pischevyh plenok // Vestnik VSGUTU. 2019. № 1(72). S. 19-28.
5. `Effektivnye innovacionnye resheniya v razvitii upakovocnyh sistem dlya pischevyh produktov / R.V. Kryuk [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2022. № 4. S. 181–187. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-4-181-187.
6. Manufacture of active multilayer films made of functionalized pectin coated by polyhydroxyalkanoates: A fully renewable approach to active food packaging / S.F. Mirpoor [et al.] // Polymer. 2023. Vol. 281. № 126136.
7. Pectin-nanolignin composite films with water resistance, UV resistance, and antibacterial activity / S. Zhang [et al.] // Food Hydrocolloids. 2023. Vol. 143. № 108783.
8. Improvement in the storage quality of fresh salmon (*Salmo salar*) using a powerful composite film of rice protein hydrolysates and chitosan / Q. Yan [et al.] // Food Control. 2022. Vol. 142. № 109211.
9. *Zinina O.V., Merenkova S.P., Vishnyakova E.A.* Tehnologii polucheniya pischevyh plenocnyh pokrytij na osnove razlichnyh strukturoobrazovatelej // Agrarnaya nauka. 2023. № 368(3). S. 117–121. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-368-3-117-121.
10. *Farhan A., Hani N.M.* Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol // Food Hydrocolloids. 2017. Vol. 64. P. 48–58.

Статья принята к публикации 23.11.2023 / The article accepted for publication 23.11.2023.

Информация об авторах:

**Оксана Владимировна Зинина**<sup>1</sup>, доцент кафедры пищевые и биотехнологии, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

**Светлана Павловна Меренкова**<sup>2</sup>, доцент кафедры пищевые и биотехнологии, кандидат ветеринарных наук, доцент

**Елена Александровна Вишнякова**<sup>3</sup>, лаборант-исследователь Управления научной и инновационной деятельности

**Дамир Муратович Галимов**<sup>4</sup>, старший научный сотрудник научно-образовательного центра «Нанотехнологии»

Information about the authors:

**Oksana Vladimirovna Zinina**<sup>1</sup>, Associate Professor at the Department of Food and Biotechnology, Candidate of Agricultural Sciences, Docent

**Svetlana Pavlovna Merenkova**<sup>2</sup>, Associate Professor at the Department of Food and Biotechnology, Candidate of Veterinary Sciences, Docent

**Elena Aleksandrovna Vishnyakova**<sup>3</sup>, Laboratory assistant-researcher of the Department of Scientific and Innovative Activity

**Damir Muratovich Galimov**<sup>4</sup>, Senior Researcher at the Scientific and Educational Center "Nanotechnologies"

