

Оригинальная статья / Original article

УДК 543.421:424/591.6

<http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-489-499>

## Метод электронной спектроскопии диффузного отражения в исследовании мышечной ткани диких и домашних животных

© А.П. Нечипоренко\*, С.М. Орехова\*, Л.В. Плотникова\*\*, П.П. Плотников\*

\* Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

\*\* Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Резюме:** Целью работы являлось исследование методом электронной спектроскопии диффузного отражения (ЭСДО) оптических характеристик поверхности срезов и измельченной мышечной ткани, мышечного волокна и экстрактов саркоплазмы ткани диких (кабана, лося, оленя, пресноводных и морских рыб) и домашних (свинина, говядина, баранина) животных в зависимости от условий обработки: замораживание, водная экстракция, лиофилизация и ферментно-микробное воздействие. Электронные спектры поперечных срезов цельнокускового материала, измельченных образцов мышечной ткани, мышечного волокна и водных экстрактов снимали на спектрофотометре «Specord M-200» (AIZ Engineering GmbH, Германия) с вертикальным ходом луча относительно эталона Spectralon в диапазоне длин волн 200–700 нм. Показано, что высокая чувствительность, разрешающая способность и аналитические особенности экспресс-метода ЭСДО при тестировании биологических тканей животного происхождения в твердофазном и жидком агрегатных состояниях позволяют получать фактическую информацию об изменении спектральных характеристик их основных компонентов в условиях эксперимента. Независимо от вида и типа животного организма белки, мукополисахариды, липиды, пигментный белок и его окисленная форма имеют полосы поглощения в четырех четко дифференцированных областях электромагнитного спектра: 200–300, 400–425, 300–380, 540–580 и 635 нм соответственно. Сравнительное исследование мышечной ткани свинины и говядины позволило отметить существенные различия в характере изменений спектральных характеристик основных компонентов и составляющих мышечной ткани и мышечного волокна в зависимости от степени окисленности, механической деструкции, прочности миофибрилл и связи с ними пигментного белка миоглобина.

**Ключевые слова:** мышечная ткань, дикие и домашние животные, электронная спектроскопия отражения

**Информация о статье:** Дата поступления 17 июля 2019 г.; дата принятия к печати 5 сентября 2019 г.; дата онлайн-размещения 30 сентября 2019 г.

**Для цитирования:** Нечипоренко А.П., Орехова С.М., Плотникова Л.В., Плотников П.П. Метод электронной спектроскопии диффузного отражения в исследовании мышечной ткани диких и домашних животных // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9, N 3. С. 489–499. DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-489-499

## Diffuse-reflection electron spectroscopy in the study of muscle tissue of wild and domestic animals

© Alla P. Nechiporenko\*, Svetlana M. Orehova\*,  
Lyudmila V. Plotnikova\*\*, Petr P. Plotnikov\*\*

\* National research University of information technologies, mechanics and optics,  
Saint Petersburg, Russian Federation

\*\* St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract:** The aim of the work was to study the application of diffuse reflection electron spectroscopy (DRES) method for obtaining the optical surface characteristics of slices and chopped muscle tissue, muscle fibre and sarcoplasmic protein extracts of wild (wild boar, elk, deer, freshwater and marine fish) and domestic (pork, beef, lamb) animal tissue depending on the following processing conditions: freezing, water extraction, lyophilisation and enzyme-microbial exposure. Electronic spectra of transverse sections of whole-piece material, ground muscle tissue, muscle fibre and aqueous extracts were recorded using a Specord M-200 spectrophotometer (AIZ Engineering GmbH, Germany) having a vertical pathway relative to the Spectralon standard in the wavelength range of 200-700 nm. During testing of biological tissues of animal origin in solid and liquid state, the high sensitivity, resolution and analytical features of the express DRES method was shown to allow the acquisition of factual information concerning changes in the spectral characteristics of their main components under experimental conditions. Regardless of the species and type of animal organism, proteins, mucopolysaccharides, lipids, pigment protein and various oxidised forms demonstrate absorption bands in four clearly differentiated regions of the electromagnetic spectrum: 200-300, 400-425, 300-380, 540-580 and 635 nm, respectively. A comparative study of the pork and beef muscle tissue demonstrated significant differences in the nature of changes in the spectral characteristics of the main components and components of muscle tissue and muscle fibre, depending on the degree of oxidation, mechanical destruction, strength of myofibrils and pigment protein myoglobin associated with them.

**Keywords:** muscle tissue, wild and domestic animals, electronic reflection spectroscopy

**Information about the article:** Received July 17, 2019; accepted for publication September 5, 2019; available online September 30, 2019.

**For citation:** Nechiporenko A.P., Orekhova S.M., Plotnikova L.V., Plotnikov P.P. Diffuse-reflection electron spectroscopy in the study of muscle tissue of wild and domestic animals. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2019, vol. 9, no. 3, pp. 489–499. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-489-499

## **ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня в сфере пищевых производств в качестве традиционного мясного сырья используются в основном говядина, свинина, баранина. Конина, мясо буйвола, зубра, оленя, лося, кабана, медведя, фазана, куропатки и других диких животных – редкость. Но в последнее десятилетие при изготовлении продуктов питания нетрадиционному мясному сырью (например, мясо верблюда, яка, кенгуру) и мясу диких животных стало уделяться повышенное внимание [1–5]. По мнению ряда ведущих в данной отрасли российских и зарубежных ученых, комплексное использование белков животного происхождения из мяса сельскохозяйственных, диких животных и нетрадиционного сырья при производстве потребительских товаров является одним из альтернативных путей решения проблемы дефицита белка в питании населения [6–8].

В мясе диких животных сконцентрировано в несколько раз больше незаменимых аминокислот, минеральных солей, ферментов, микроэлементов, витаминов, ненасыщенных жирных кислот с более здоровым балансом между омега-3 и омега-6, чем в сырье промышленного животноводства [9, 10]. Животные, содержащиеся в охотничьих хозяйствах, по особенностям поведения, характеру кормов, а следовательно, по свойствам мышечной ткани больше напоминают диких, чем домашних животных. Огромным преимуществом является то, что животные там ведут подвижный образ жизни и имеют естественную кормовую базу, благодаря чему их мясо менее

жирное и не содержит добавок, которыми обогащаются высокоэффективные корма для сельскохозяйственных животных.

Однако целенаправленного изучения мясного сырья диких животных до последнего времени не проводилось за исключением отдельных исследований мяса лося, северного оленя, дикого кабана и некоторых других диких млекопитающих и птиц [11, 12]. При этом основное внимание уделялось вкусовым качествам, очень редко исследовался химический и морфологический состав мышечной ткани. К числу основных традиционных физико-химических показателей при исследовании мясного сырья по ГОСТ относятся: массовая доля воды, белка, жира, золы, влагоудерживающей (ВУС) и влагосвязывающей (ВСС) способности<sup>1</sup> [13]. По исследованию спектральных характеристик мышечной ткани как диких, так и домашних животных данные в отечественной и зарубежной литературе отсутствуют за исключением определения ее цветности и мягкости [14, 15]. Однако известно, что практически все физико-химические и биохимические свойства мышечной ткани животного происхождения обусловлены большим количеством факторов [16, 17]. В число таковых входят вид, порода, пол, возраст, упитанность, кормовой рацион, условия содержания, региональные и климатические условия, анатомическая часть, психо-

<sup>1</sup>Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясных продуктов: учеб. пособие. М.: Колос, 2001. 376 с.

логическое и физиологическое состояние животного перед забоем, а также условия проведения последующих операций при переработке сырья и хранении. В совокупности влияние такого разнообразия факторов не поддается простому обобщению, но влияние отдельных и комплексное влияние некоторых из них достаточно хорошо изучено. Влияние не только названных факторов, но и вид обработки мясного сырья находит отражение в оптических характеристиках [18] срезов как цельномышечного, так и измельченного биологического материала [19].

Мышечная ткань животного происхождения – это сложный многокомпонентный материал, содержащий множество различных белков, липидов, углеводов и их разнообразных комплексов, среди которых преобладают белки. По строению и физико-химическим свойствам мышечные белки неодинаковы и могут быть условно подразделены на водорастворимые глобулярные белки саркоплазмы, растворимые в воде фибриллярные белки мышечного волокна (сократительные белки актомиозинового комплекса) и стромы (коллаген, эластин) [16]. Эта особенность фракционирования белков использована в работе при исследовании оптических характеристик составных частей мышечной ткани животных.

Отсутствие литературных данных по применению такого экспресс-метода, как электронная спектроскопия диффузного отражения (ЭСДО) [20, 21] к исследованию мышечной ткани животного происхождения и его аналитические возможности по дифференцированному тестированию ряда основных компонентов (структурные и пигментный белки, мукополисахариды, липиды), проявляющих себя в разных диапазонах электромагнитного спектра [19], предопределило цель работы – сравнительное спектральное исследование мышечной ткани диких и домашних животных разных типов. В задачи работы входило выявление особенностей влияния различного рода обработок и воздействий на спектральные характеристики твердофазных и жидких составляющих мышечной ткани.

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Объектами исследования являлись поперечные срезы и реструктурированная (измельченная,  $d=2,5$  мм) охлажденная или замороженная мышечная ткань диких (лося, кабана, оленя), домашних (свинина, баранина, говядина) животных, пресноводных и морских рыб (карпа, судака, сёмги).

Исследовалась исходная мышечная ткань, подвергнутая водной экстракции, лиофилизации, заморозке ( $-18$  °С), аэробному ферментно-микробному воздействию при  $4$  °С в течение 10 суток. Мышечное волокно получали извлечением из реструктурированной мышечной ткани саркоплазматических веществ водной экстракцией в течение 4-х ч. Экстракт центрифугировали и

исследовали на состав саркоплазмы, а мышечное волокно отмывали водой до прозрачных вод.

Электронные спектры поперечных срезов цельнокускового материала, измельченных образцов мышечной ткани, мышечного волокна и водных экстрактов снимали на спектрофотометре Specord M-200 (AIZ Engineering GmbH, Германия) с вертикальным ходом луча относительно эталона Spectralon в диапазоне длин волн 200–700 нм. Кривые светопоглощения получали в координатах  $A = f(\lambda)$ , где  $A = \log(100/R)$  – поглощение;  $\lambda$  – длина волны, нм;  $R$  – коэффициент отражения, %.

При снятии спектров жидких коллоидных растворов-экстрактов использовался вкладыш в кювету из фторопласта, коэффициент отражения которого близок коэффициенту отражения эталона. Лиофилизацию твердофазных и жидких образцов мышечной ткани проводили с использованием сублимационной сушки Triad 7400030, (Labconco, США) в течение 72 ч при температуре  $-30$  °С и давлении вакуума 165 Па.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

На рис. 1 приведены электронные спектры поверхности срезов мышечной ткани исследуемых диких и домашних животных, которые различаются по составу жирных кислот и количеству соединительной ткани. Для всех образцов мышечной ткани диких животных характерна окисленность пигментного белка мышечной ткани – миоглобина, что проявляется в наличии полосы поглощения его окисленной формы – метмиоглобина, в области 635 нм [14]. Следует отметить, что мышечная ткань диких животных более подвержена процессам окисления, чем крупных домашних. Однако хорошо выраженный симметричный дублет миоглобина (540–580 нм) в спектре мышечной ткани оленя (рис. 1 а, кривая 3) говорит о том, что его мышечная ткань в меньшей мере затронута процессами окисления при хранении и созревании.

Помимо окисления наибольшей деструкции кристаллами льда при замораживании подверглась мышечная ткань лося, что подтверждает подъем спектральной кривой (2) выше 380 нм и повышенная структуризация интенсивной полосы полисахаридов в области 410–420 нм, указывающая на разрушение связей в соединительной и липидной тканях [19]. Четкость рисунка кривой светопоглощения и выраженность полос липидных компонентов в области 320–360 нм (рис. 1 б) показывает, что мышечная ткань дикого кабана в меньшей мере затронута механическими разрушениями, но в значительной мере подверглась окислительным процессам.

В практике промышленных производств с целью размягчения белковых структурных элементов тканей крупных животных используются ферменты животного, растительного или микробного происхождения [16]. Наибольшее рас

пространение получили растительные ферменты, обладающие коллагеназно-эластазной активностью и частично гиалуронидазным действием. Они способны влиять не только на целостность структуры внутримышечной соединительной ткани, но и достаточно избирательно способствовать разрушению структуры мукополисахаридных связок и их отщеплению от белковых структур, не ухудшая при этом потребительских свойств мяса.

На рис. 1 а спектры мышечной ткани оленя и лося приведены в сопоставлении со спектром свежее охлажденной рыхлой мышечной ткани говядины, не проявлявшей, однако, признаков порчи по всем органолептическим показателям. В ее уширенном и высоко лежащем спектре хорошо сформирован симметричный дублет миоглобина и менее выражена полоса окисленной формы – метмиоглобина. Условно спектр мышечной ткани говядины ближе к спектру ткани оленя.

Спектры, представленные на рис. 1 б, позволяют провести сравнительный анализ срезов мышечной ткани кабана, подвергшейся значительному окислению, и свежей мышечной ткани свинины. Серия интенсивных полос в области 300–380 нм в спектре ткани кабана свидетельствует о большем содержании липидов и разнообразии в них жирных кислот. Кроме того, обращает внимание то, что УФ-полоса (200–300 нм), где проявляются компоненты белковых структур в спектрах мышечной ткани диких и домашних

животных заметно различается как по форме, так и по интенсивности [19].

Рис. 2 иллюстрирует электронные спектры поверхности срезов мышечной ткани свежей пресноводной и морской рыбы. Как и в мышечной ткани наземных животных, максимальные различия в спектрах ткани рыб разного вида наблюдаются в диапазоне выше 300 нм, где регистрируются липидные, углеводные компоненты и пигментный белок мышечной ткани – миоглобин. Очень хороший спектр имеет ткань пресноводного карпа. В нем четко дифференцированы: липидная область с интенсивным максимумом при 320 нм, где поглощает линолевая кислота [22], узкая, хорошо сформированная полоса мукополисахаридов (420 нм) и очень четкий дублет миоглобина без признаков его окисления. Низко лежащий в этой области спектр ткани судака может свидетельствовать не только о существенно меньшей жирности, но и о его молодом возрасте. Спектр мышечной ткани морской сёмги подтверждает не только самое высокое содержание в ней жира, но и заметно более высокое разнообразие ненасыщенных жирных кислот в его составе по сравнению с мышечной тканью пресноводного карпа. Интенсивная полоса при 500–530 нм в спектре сёмги обусловлена наличием в ткани каротиноида астаксантина [23], одного из самых сильных антиоксидантов, придающих мышечной ткани розовую окраску. Данная полоса присутствует в спектрах всех красных рыб.

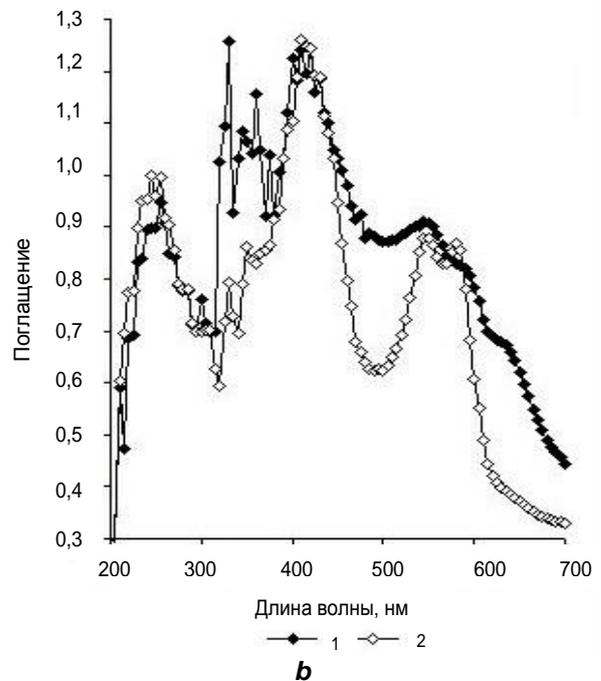
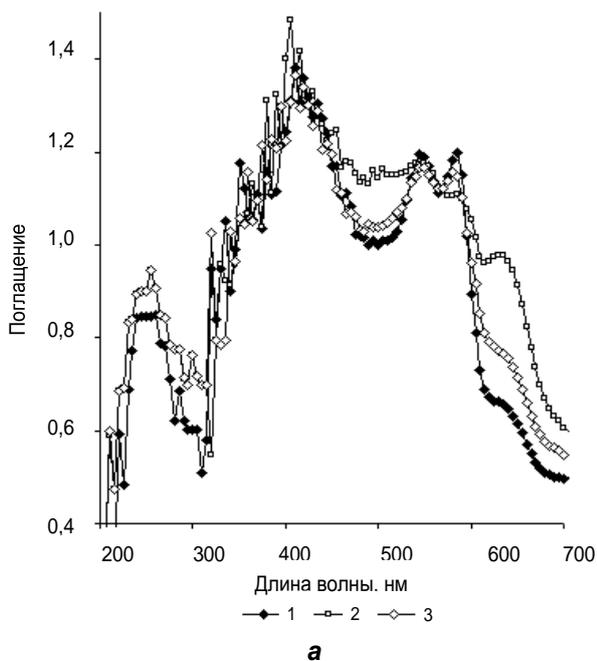


Рис. 1. Электронные спектры срезов мышечной ткани:  
а) 1 – говядины, 2 – лося, 3 – оленя; б) 1 – кабана, 2 – свинины

Fig. 1. Electronic spectra of the muscle tissue slices:  
а) 1 – beef, 2 – moose, 3 – deer; б) 1 – wild boar, 2 – pork

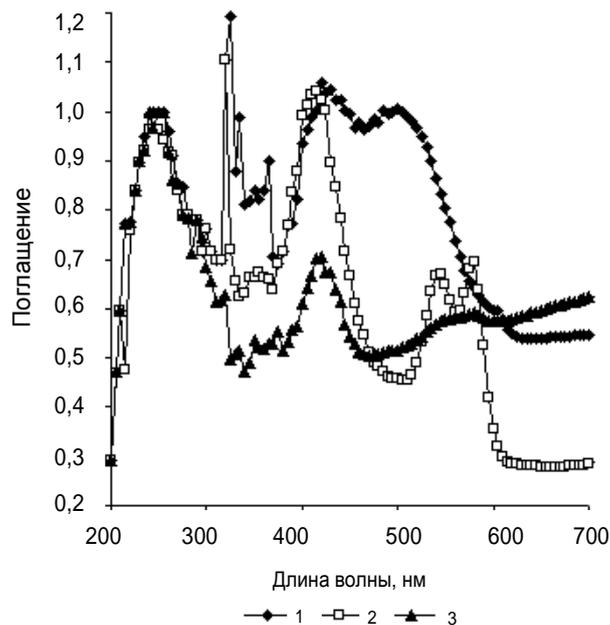


Рис. 2. Электронные спектры поверхности срезов свежей мышечной ткани рыб:  
1 – сёмга; 2 – карп; 3 – судак

Fig. 2. Surface sections electronic spectra of fresh fish muscle tissue:  
1 – salmon, 2 – carp, 3 – zander

Известно, что рост кристаллов тканевой жидкости при замораживании мясного сырья механически разрушает регулярную структуру мышечной и соединительной тканей, основу которых составляют волокнистые элементы [16]. В связи с этим были исследованы оптические свойства поверхности измельченных образцов мышечной ткани свинины (длиннейшей мышцы спины) в свежем охлажденном состоянии, подвергнутых заморозке в течение месяца при  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  и водной экстракции саркоплазматических веществ. Замораживание мышечной ткани, как следует из рис. 3 а, приводит к заметному снижению фрагмента спектра в средней УФ-области (200–300 нм), что указывает на деструкцию компонентов белково-углеводного комплекса и их удаление из мышечной ткани в составе межтканевой жидкости при размораживании. Батохромный сдвиг полосы мукополисахаридов и резкое увеличение интенсивности полос в области проявления липидов говорит о том, что деструктивным процессам подвергаются все компоненты мышечной ткани. Однако при этом исчезает полоса метмиоглобина и увеличивается интенсивность и симметрия полос в дублете пигментного белка.

Из относительного расположения двух спектральных кривых на фрагменте (рис. 3 б) видно, что удаление саркоплазматических веществ водной экстракцией (кривая 3) приводит к резкому снижению поглощения во всем исследуемом диапазоне длин волн. Близость по погло-

щению кривых 2 и 3 в области среднего ультрафиолета (рис. 3 с) и существенно более низкое поглощение по сравнению с исходной мышечной тканью (кривая 1, рис. 3 а) говорит о том, что при ее замораживании-размораживании так же, как и при водной экстракции, практически полностью удаляются из мышечной ткани в составе межтканевой жидкости водорастворимые белки и углеводы саркоплазмы. Однако при водной обработке, в отличие от размораживания, заметно трансформируется дублет миоглобина и сохраняется полоса его окисленной формы (635 нм).

Полученные данные послужили основанием к исследованию влияния на спектральные характеристики мышечной ткани процесса лиофильной сушки. На рис. 4, а сведены спектры нативных образцов мышечной ткани, мышечного волокна и водного экстракта саркоплазматических веществ. Их анализ показывает, что спектр экстракта, за исключением полисахаридной полосы, расположен между спектрами мышечной ткани и мышечного волокна с сохранением дублета пигментного белка.

Лиофилизация образцов мышечной ткани, мышечного волокна и экстракта саркоплазмы кардинально меняет их спектральный облик (рис. 4 б). В общем сближение по форме и интенсивности УФ-полосы в спектрах всех образцов говорит о восстановлении или об образовании новых структурных связей в результате удаления воды.

Выше 300 нм спектры всех трех образцов по-прежнему очень различаются, а спектр сухого экстракта поднимается выше спектра мышечной ткани во всем диапазоне длин волн. О том, что при лиофилизации в белковых структурах имеют место реконструктивные процессы, показывают спектры нативного и лиофилизованного мышечного волокна (рис. 4 с). После удаления воды УФ-полоса (200–300 нм) поднимается существенно выше, а ее максимум приобретает сглаженную форму, типичную для восстановленных структур. Кроме того, при лиофильной сушке де-

формируется дублет миоглобина и снижается интенсивность полосы мукополисахаридов, но возрастает поглощение в области проявления липидных компонентов.

Объектом сравнения с мышечной тканью свинины служила рыхлая мышечная ткань говядины. Как следует из рис. 5 а, удаление саркоплазмы (кривая 2) также приводит к резкому снижению и изменению контура спектральной кривой ее мышечного волокна в интервале 300–700 нм, но с сохранением деформированного дублета миоглобина и полосы метмиоглобина.

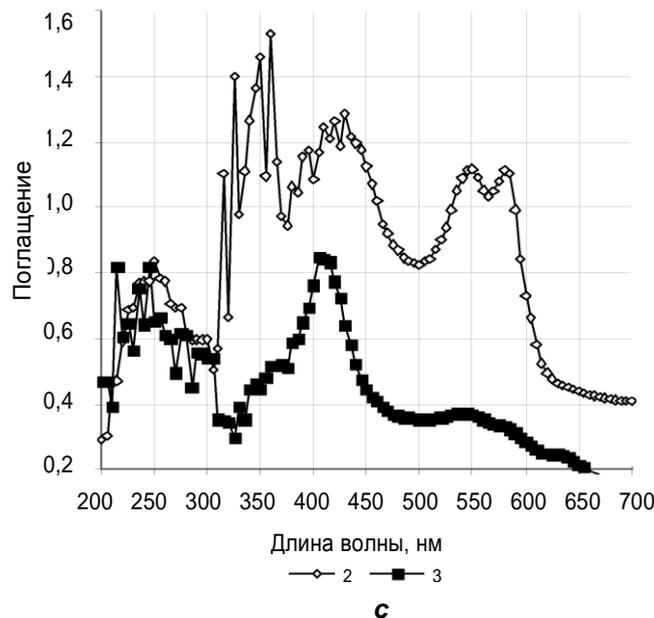
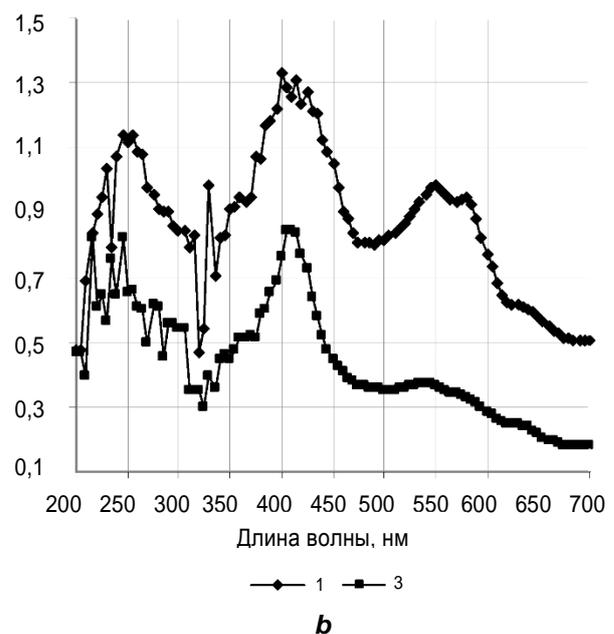
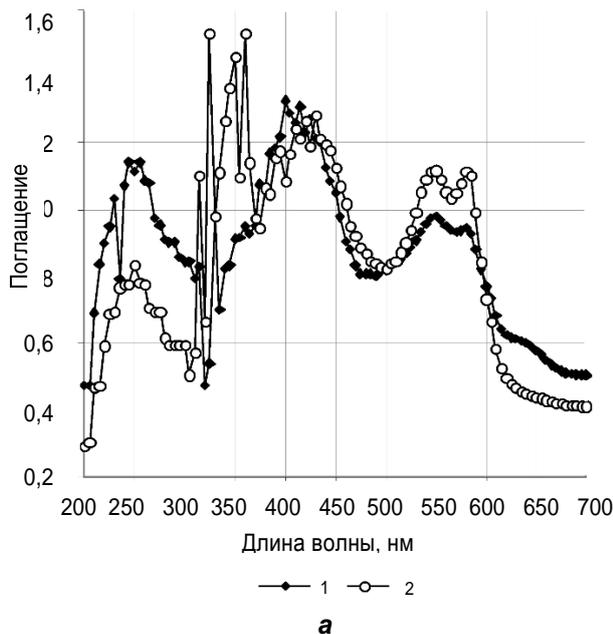
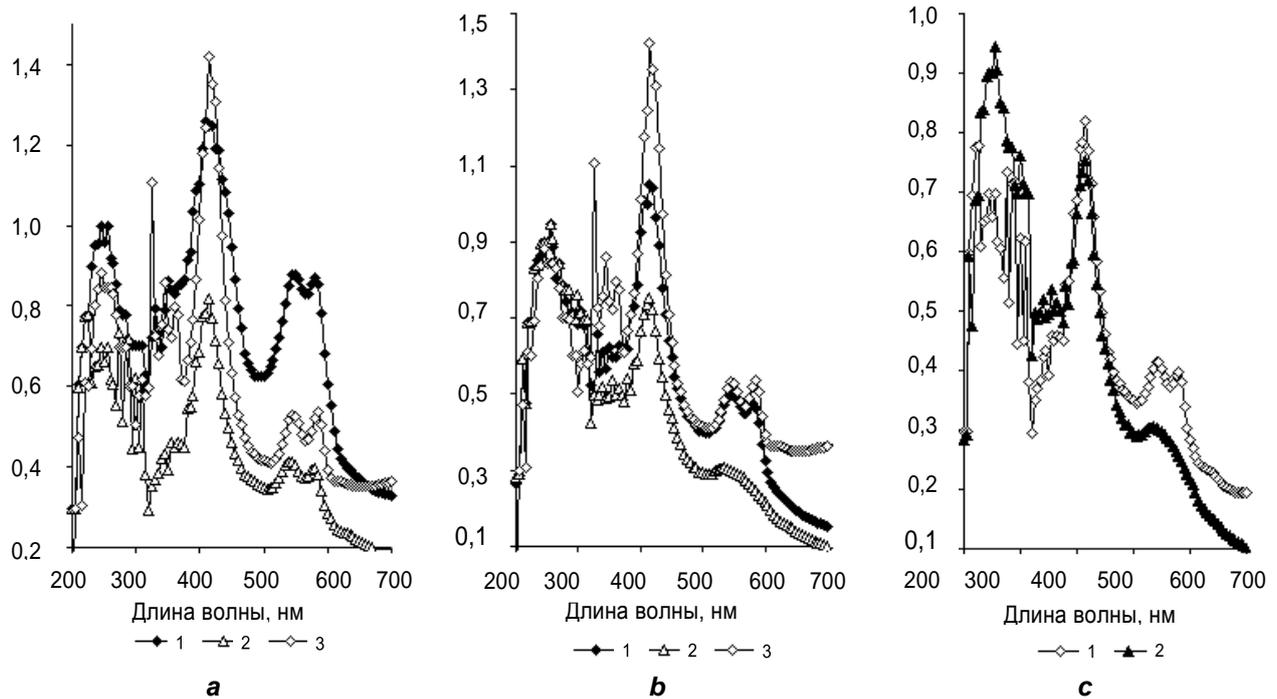


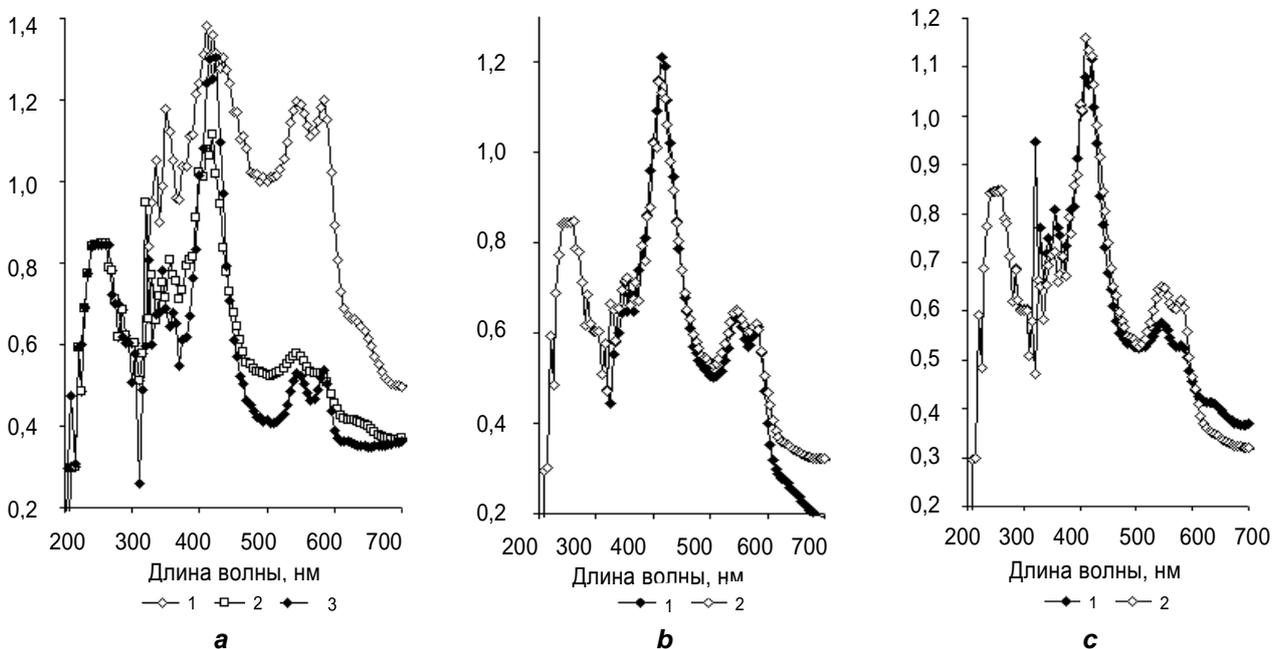
Рис. 3. Электронные спектры поверхности мышечной ткани (1 – свежая; 2 – размороженная) и мышечного волокна свинины (3)

Fig. 3. Electronic spectra of the muscle tissue surface and the pork muscle fibers. Muscle tissue: 1 – fresh, 2 – defrosted; 3 – muscle fiber



**Рис. 4.** Электронные спектры образцов мышечной ткани (кривая 1) и мышечного волокна (кривая 2) свинины; экстракт саркоплазмы (кривая 3); образцы: а – нативные; б – лиофилизированные; с – мышечное волокно: 1 – нативное, 2 – лиофилизированное

**Fig. 4.** Electronic spectra of pork muscle tissue samples: 1 – muscle tissue, 2 – muscle fiber, 3 – sarcoplasmic extract; a) native, b) lyophilized, c) muscle fiber: 1 – native, 2 – lyophilized



**Рис. 5.** Электронные спектры мышечной ткани говядины; а – нативные: 1 – мышечная ткань, 2 – мышечное волокно, 3 – экстракт саркоплазмы; б – лиофилизированные: 1 – мышечная ткань, 2 – мышечное волокно; с – мышечное волокно: 1 – нативное, 2 – лиофилизированное

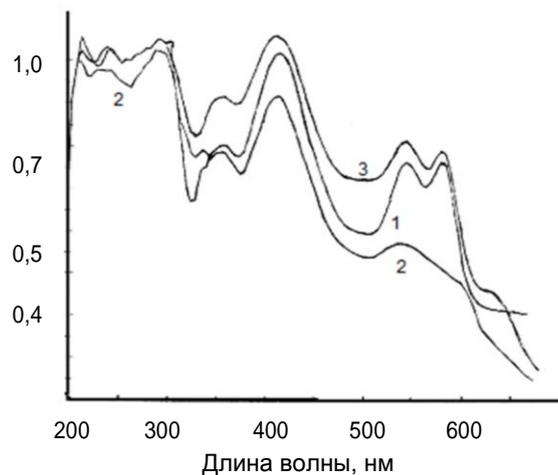
**Fig. 5.** Electronic spectra of beef muscle tissue; a) native: 1 – muscle tissue, 2 – muscle fiber, 3 – sarcoplasmic extract; b) lyophilized: 1 – muscle tissue, 2 – muscle fiber; c) muscle fiber: 1 – native, 2 – lyophilized

Узкая форма полисахаридной полосы воспроизводится в спектре водного экстракта (кривая 3). Кроме того, в спектре экстракта следует отметить наличие хорошо выраженного дублета пигментного белка и отсутствие полосы его окисленной формы. Сопоставление кривых, приведенных на рис. 5 а, б, показывает, что удаление воды сублимационной сушкой дает очень хорошее сближение спектров мышечной ткани и мышечного волокна с исчезновением в обоих случаях полосы метмиоглобина (635 нм), но с сохранением дублета пигментного белка. Однако удаление воды из мышечного волокна (рис. 5 б) вызывает заметные и разнонаправленные изменения в интенсивности полос в области поглощения липидных компонентов и пигментного белка, противоположные тем, которые наблюдались в спектрах мышечного волокна свинины (см. рис. 4 с). Снижение поглощения липидных структур сопровождается заметным повышением интенсивности дублета миоглобина. При этом также пропадает полоса его окисленной формы.

Обращает на себя внимание неизменность формы и интенсивность УФ-полосы во всех слу-

чаях, рассмотренных для говядины, в отличие от спектров, полученных для исследуемых образцов свинины (см. рис. 4). Отмеченный экспериментальный факт позволяет говорить о том, что, несмотря на рыхлую фактуру и механическую деструкцию периодичности структуры мышечной ткани говядины в целом, частички мышечного волокна, являющегося ее базовым компонентом, несут информацию не только о более высокой прочности соединительной ткани и миофибрилл, но и связи пигментного белка с ними по сравнению с мышечным волокном свинины.

Практический интерес всегда представляет влияние замораживания на характер и глубину протекающих при этом микробных, ферментных и окислительных процессов. Объектом исследования для выявления изменений оптических характеристик в результате длительного воздействия низких температур выбрано измельченное ( $d = 2,5$  мм) мышечное волокно (для исключения влияния веществ саркоплазмы) мышечной ткани бедра барана, как более устойчивой к липидному окислению и микробным процессам (рис. 6).



**Рис. 6. Электронные спектры поверхности бараньего фарша:**  
1 – свежий, отмытый; 2 – через 10 дней хранения при 4 °С;  
3 – фарш из мяса, замороженного при -18 °С в течение 30 суток

**Fig. 6. Electronic spectra of the minced lamb surface:**  
1 – fresh, washed; 2 – after 10 days of storage at 4 °C;  
3 – minced meat frozen at -18 °C for 30 days

Сопоставление кривых светопоглощения свежего и замороженного образцов показывает идентичность их рисунка. И хотя в общем спектр замороженного образца лежит несколько выше в интервале длин волн 300–600 нм, он полностью совпадает со спектром свежего образца в диапазоне 240–300 нм, где возможно поглощение остатков трех аминокислот – триптофана, тирозина, фенилаланина [24]. Это является следствием стабилизирующего воздействия низких температур на белковые и липид-углеводные компоненты

мышечного волокна. Однако замораживание мяса в течение месяца (рис. 6, кривая 3) приводит к увеличению интенсивности полосы метмиоглобина (635 нм), что подтверждает наличие окислительных процессов при отрицательных температурах, которым глобулярные пигментные белки подвержены в большей степени. Проявление суммарного воздействия микробных и автолитических процессов можно проследить, сопоставив кривые 1 и 2. Спектр образца 2 во всем исследуемом интервале длин волн лежит ниже, за исклю-

чением узкого диапазона в области 300–330 нм, что свидетельствует о разрушении структуры частичек образца вследствие развития как автолитических процессов, обусловленных собственными тканевыми ферментами – протеазами, так и ферментами развивающейся микрофлоры. В спектре свежего фарша четко прорисовывается дублет миоглобина (540–580 нм) и отсутствует плечо метмиоглобина. Через 10 суток ферментативного воздействия дублет миоглобина трансформируется в широкую ассиметричную полосу, а в области 635 нм появляется выраженное плечо метмиоглобина.

### **ВЫВОДЫ**

Сравнительное исследование методом ЭСДО нативной мышечной ткани ряда диких и домашних животных показало, что независимо от вида и типа животного организма, агрегатного состояния его составных частей, характера внешних разрушающих факторов и вида обработки (лиофилизация, замораживание, гидро-термальное и ферментно-микробное воздействие), по разному и закономерно изменяющих общий вид спектра,

неизменными остаются интервалы электронных  $n \rightarrow \pi$ -переходов кислорода карбонильных групп основных классов биомолекул – структурных (200–300 нм) и пигментного (540–580 нм) белков, липидных строительных блоков (300–380 нм), мукополисахаридов (400–425 нм). Однако индивидуальные особенности мышечной ткани разных видов животных (свинина, говядина) отчетливо проявляются при лиофилизации ее твердофазных и жидких компонентов в разнонаправленном изменении интенсивности основных полос, отражающих проявление липидов, мукополисахаридов и пигментного белка.

Полученные данные показывают потенциальную возможность экспресс-метода ЭСДО контролировать качество, компонентный состав мышечной ткани диких животных, описывать деструктивные процессы, происходящие при созревании, охлаждении, замораживании и хранении, которым их ткань подвержена в значительной степени. Кроме того, представленный метод позволяет исследовать коллоидные растворы, полученные водной экстракцией саркоплазматических веществ из мышечной ткани животного происхождения.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Целыхова Е.К. Русская охотничья кухня. История. М.: Вече, 2016. 272 с.
2. Кригер-Меттбах Б. Редкие виды мяса. Экзотика в меню // Новое мясное дело. 2006. N 2. С. 16–18.
3. Герасимова Н.Ю. Нетрадиционные виды мясного сырья для производства функциональных продуктов // Известия вузов. Пищевая технология. 2012. N 2-3 (326-327). С. 17–20.
4. Берлова Г.А. Мясо диких животных. Особые правила, особые рецепты // Все о мясе. 2008. N 6. С. 58–59.
5. Самченко О.Н. Использование мяса диких животных в технологии мясных изделий // Наука и современность 2013. N 24. С. 220–225.
6. Рудинцева Т.А., Сафронова Г.А., Нечаева Н.Г. Лечебно-профилактические мясные продукты // Мясная промышленность. 1994. N 6. С. 26–27.
7. Хлебников В.И., Дмитриенко С.Ю. Качество мясных изделий, обладающих функциональными свойствами // Известия вузов. Пищевая технология. 2004. N 1 (278). С. 67–68.
8. Запорожский А.А., Касьянов Г.И., Линец А.А. Использование нового вида мясного сырья при производстве функциональных пищевых продуктов // Все о мясе. 2007. N 3. С. 8–9.
9. Чирич Е.Г., Бабина М.П. Изучение химического состава и пищевой ценности мяса диких животных // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак почета» государственная академия ветеринарной медицины». 2014. Т. 50. N 1-1. С. 202–204.
10. Лисицын А.Б., Татулов Ю.В., Чернуха И.М., Миттелштейн Т.М. Мировая практика формирования качества мясного сырья и требования к нему перерабатывающей промышленности // Мясная индустрия. 2001. N 9. С. 8–12.
11. Таева А.М. Микроструктурные исследования мяса казахского двугорбого верблюда // Мясная индустрия. 2016. N 8. С. 46–49.
12. Дусаев Н.С., Гришин А.С. Опасный, но вкусный бурый медведь // Мясные технологии. 2010. N 1 (85). С. 46–47.
13. Егоров А.А., Хуршудян С.А. Современные методы анализа в пищевой промышленности // Пищевая промышленность. 2002. N 9. С. 68–69.
14. Сильверстейн Р., Вебстер Ф., Кимл Д. Спектрометрическая идентификация органических соединений / пер. с англ. Н.М. Сергеева, Б.Н. Тарасевича. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 557 с.
15. Muñoz Morales A.A., Vázquez y Montiel S. Retrieving the optical parameters of biological tissues using diffuse reflectance spectroscopy and Fourier series expansions. I. theory and application // Biomedical Optics Express. 2012. Vol. 3. No. 10. P. 2395–2404. DOI: 10.1364/BOE.3.002395
16. Соколов А.А. Физико-химические и биохимические основы технологии мясопродуктов. М.: Пищевая промышленность, 1965. 489 с.
17. Рогов И.А., Забашта А.Г., Казюлин Г.П. Общая технология мяса и мясопродуктов. М.: Колос, 2000. 367 с.
18. Cheong W.F., Prah S.A., Welch A.J. A review of the optical properties of biological tissues // IEEE Journal of Quantum Electronics. 1990. Vol. 26. P. 2166–2185.
19. Орехова С.М., Нечипоренко А.П. Влияние обработки этанолом мышечной ткани свинины на оптические характеристики мышечного волокна //

Известия вузов. Пищевая технология. 2013. N 4. С.16–18.

20. Гираев К.М., Ашурбеков Н.А., Кобзев О.В. Оптические исследования биотканей: определение показателей поглощения и рассеяния // Письма в ЖТФ, 2003. Т. 29. Вып. 21. С. 48–54.

21. Orekhova S., Nechiporenko U., Vasileva I., Nechiporenko A. Ethanol effect on the radiolysis of pork muscle tissue. In: Proceedings of 6<sup>th</sup> Baltic Conference on Food Science and Technology Foodbalt 2011. «Innovation for food science and production». Latvia, Jelgava, 2011. P. 177–181.

1. Tselykhova E.K. *Russkaya okhotnich'ya kuhnya. Istoriya* [Russian hunting cooking. History]. Moscow: Veche Publ., 2016, 272 p.

2. Kriger-Mettbakh B. Rare types of meat. Exotic menu. *Novoe myasnoe delo*. 2006, no. 2, pp. 16–18. (In Russian)

3. Gerasimova N.Yu. Unconventional types of meat raw materials for the production of functional products. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 2012, no. 2–3 (326–327), pp 17–20. (In Russian)

4. Berlova G.A. The meat of wild animals. Special rules, special recipes. *Vse o myase*. 2008, no 6, pp. 58–59. (In Russian)

5. Samchenko O.N. Use of meat of wild animals in meat products technology. *Nauka i sovremennost'*. 2013, no. 24, pp. 220–225. (In Russian)

6. Rudintseva T.A., Safronova G.A., Nechaeva N.G. Meat products for medical treatment and prevention. *Myasnaya promyshlennost'*. 1994, no. 6, pp. 26–27. (In Russian)

7. Khlebnikov V.I., Dmitrienko S.Yu. Quality of meat products with functional properties. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 2004, no. 1 (278), pp. 67–68. (In Russian)

8. Zaporozhskii A.A., Kas'yanov G.I., Linets A.A. Use of a new type of raw meat in functional food production. *Vse o myase*. 2007, no. 3, pp. 8–9. (In Russian)

9. Chirich E.G., Babina M.P. Study of chemical composition and nutritional value of wild meat. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaya ordena "Znak pocheta" gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny"*. 2014, vol. 50, no. 1–1, pp. 202–204. (In Russian)

10. Lisitsyn A.B., Tatulov Yu.V., Chernukha I.M., Mittelshtein T.M. World practice of forming the quality of meat raw materials and the requirements for the processing industry. *Myasnaya industriya*. 2001, no. 9, pp. 8–12. (In Russian)

11. Taeva A.M. Microstructural studies of Kazakh two-humped camel meat. *Myasnaya industriya*. 2016, no. 8, pp. 46–49. (In Russian)

12. Dusaev N.S., Grishin A.S. Dangerous but delicious brown bear. *Myasnye tekhnologii*. 2010, no. 1 (85), pp. 46–47. (In Russian)

13. Egorov A.A., Khurshudyan S.A. Modern methods of analysis in the food industry. *Pishchevaya*

22. Нечипоренко У.Ю., Плотникова Л.В., Мельникова М.И. Липиды, их купажи, экстракты и шроты растительного сырья / под. ред. А.П. Нечипоренко. Lambert Academic Publishing, 2019. 156 с.

23. Беловешкин А. Астаксантин (король антиоксидантов): сила розового цвета и секрет фламинго [Электронный ресурс]: URL: <http://www.beloveshkin.com/2015/09/astaksantin-korol-antioksidantov-sila-rozovogo-sekret-flamingo.html> (19.04.2019).

24. Демченко А.П. Ультрафиолетовая спектрофотометрия и структура белков. Киев: Наукова думка, 1981. 208 с.

## REFERENCES

*promyshlennost'*. 2002, no. 9, pp. 68–69. (In Russian)

14. Silverstein R.M., Webster F.X., Kiemle D.J. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. John Wiley & Sons, 2005. (Russ. ed. Sil'verstein R., Vebster F., Kiml D. *Spektrometricheskaya identifikatsiya organicheskikh soedinenii*. Moscow: BINOM. Laboratoriya znanii Publ., 2011, 557 p.)

15. Muñoz Morales A.A., Vázquez y Montiel S. Retrieving the optical parameters of biological tissues using diffuse reflectance spectroscopy and Fourier series expansions. I. theory and application. *Biomedical Optics Express*. 2012, vol. 3, no. 10, pp. 2395–2404. DOI: 10.1364/BOE.3.002395

16. Sokolov A.A. *Fiziko-khimicheskie i biokhimicheskie osnovy tekhnologii myasoproduktov* [Physico-chemical and biochemical foundations of meat technology]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost' Publ., 1965, 489 p.

17. Rogov I.A., Zabashta A.G., Kazyulin G.P. *Obshchaya tekhnologiya myasa i myasoproduktov* [General technology of meat and meat products]. Moscow: Kolos Publ., 2000, 367 p.

18. Cheong W.F., Prahl S.A., Welch A.J. A review of the optical properties of biological tissues. *IEEE Journal of Quantum Electronics*. 1990, vol. 26, pp. 2166–2185.

19. Orekhova S.M., Nechiporenko A.P. The effect of pork muscle tissue treatment with ethanol on the optical characteristics of muscle fiber. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 2013, no. 4, pp.16–18. (In Russian)

20. Giraev K.M., Ashurbekov N.A., Kobzев O.V. Optical studies of biological tissues: determination of absorption and scattering. *Pis'ma v ZhTF*. 2003, vol. 29, issue 21, pp. 48–54. (In Russian)

21. Orekhova S., Nechiporenko U., Vasileva I., Nechiporenko A. Ethanol effect on the radiolysis of pork muscle tissue. In: *Proc. 6<sup>th</sup> Baltic Conf. on Food Sci. and Technol. Foodbalt 2011. "Innovation for food science and production"*. Latvia, Jelgava, 2011, pp. 177–181.

22. Nechiporenko U.Yu., Plotnikova L.V., Melnikova M.I. *Lipidy, ikh kupazhi, ekstrakty i shroty rastitel'nogo syr'ya* [Lipids, their blends, extracts and meal of plant materials]. Lambert Academic Publishing, 2019, 156 p.

23. Beloveshkin A. *Astaksantin (korol' antioksi-*

*dantov*): *sila rozovogo tsveta i sekret flamingo* [Astaxanthin (king of antioxidant): the power of pink and the secret of Flamingo]. Available at: <http://www.beloveshkin.com/2015/09/astaksantin-korol-antioksidantov-sila-rozovogo-sekret-flamingo>.

#### **Критерии авторства**

Нечипоренко А.П., Орехова С.М., Плотникова Л.В., Плотников П.П. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Нечипоренко А.П., Орехова С.М., Плотникова Л.В., Плотников П.П. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Нечипоренко Алла Павловна**,  
д.х.н., профессор,  
Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,  
✉ e-mail: allanech2512@yandex.ru

**Орехова Светлана Михайловна**,  
к.х.н., заведующая лабораторией химико-биологического класса, Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,  
e-mail: sveta.orehova2012@yandex.ru

**Плотникова Людмила Валерьевна**,  
старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский государственный университет,  
e-mail: ljusta@mail.ru

**Плотников Петр Петрович**,  
студент, Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики,  
e-mail: pplotnikov@mail.ru

html(accessed 19.04. 2019).

**24.** Demchenko A.P. *Ul'trafiioletovaya spektrofotometriya i struktura belkov* [Ultraviolet spectrophotometry and protein structure]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1981, 208 p.

#### **Contribution**

Alla P. Nechiporenko, Svetlana M. Orehova, Liudmila V. Plotnikova, Petr P. Plotnikov carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Alla P. Nechiporenko, Svetlana M. Orehova, Liudmila V. Plotnikova, Petr P. Plotnikov have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### **Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

#### **AUTHORS' INDEX**

**Alla P. Nechiporenko**,  
Dr. Sci. (Chemistry), Professor,  
National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,  
✉ e-mail: allanech2512@yandex.ru

**Svetlana M. Orehova**,  
Ph.D. (Chemistry), Head of the Laboratory of Chemical and Biological Class,  
National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,  
e-mail: sveta.orehova2012@yandex.ru

**Liudmila V. Plotnikova**,  
Senior Researcher,  
St. Petersburg State University,  
e-mail: ljusta@mail.ru

**Petr P. Plotnikov**,  
Student,  
National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,  
e-mail: pplotnikov@mail.ru