

УДК 664.057

## Сравнительный анализ структурных изменений при холодильной обработке мышечной ткани говядины и африканского страуса

Канд. техн. наук Д.А. Бараненко, denis@baranenko.com

Д-р техн. наук В.С. Колодязная, kvs-holod@mail.ru

Ю.В. Бройко, julijavirshieva@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, д.9

*Приведен сравнительный анализ структурных изменений мышечной ткани тазобедренной части говядины II категории и африканского страуса в цикле «охлаждение–замораживание–размораживание». Объектами исследования выбраны: мышечная ткань тазобедренной части говядины II категории и африканского страуса. Исследование структурных изменений мышечной ткани охлажденного и замороженного мяса проведено методом электронной спектроскопии диффузионного отражения (ЭСДО) в интервале длин волн  $\lambda$  от 200 до 700 нм. Получены электронные спектры поглощения поперечного и продольного среза мышечных волокон говядины и страуса, охлажденных при  $t = (3 \pm 1)^\circ\text{C}$  и замороженных при  $t = (-35 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Показано, что метод ЭСДО можно рекомендовать для характеристики состояния охлажденной и замороженной мышечной ткани говядины по интенсивности полос поглощения при  $\lambda = 250$  и  $295$  нм и страуса при  $\lambda = 255$ ;  $285$  и  $310$  нм. Отмечено, что значения интенсивности полос поглощения в исследуемом интервале длин волн выше как для продольного, так и для поперечного среза мышечной ткани замороженного страуса.*

**Ключевые слова:** мышечная ткань; говядина II категории; африканский страус; структура; спектры; холодильная обработка.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-2-63-69

---

## Comparative analysis of structural changes during cold treatment of beef and African ostrich muscles

Ph.D. Denis A. Baranenko, denis@baranenko.com

D.Sc. Valentina S. Kolodyaznaya, kvs-holod@mail.ru

Yuliya V. Broiko, julijavirshieva@mail.ru

University ITMO

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*Comparative analysis of structural changes in muscular tissue of second category beef hip and the African ostrich during "cooling–freezing–defrosting" cycle was made. The objects of research were muscular tissue of second category beef hip and the African ostrich. Analysis of structural changes in muscular tissue of the cooled and frozen meat was conducted by the method of the electronic spectroscopy of diffusive reflection (ESDR) in the range of wave lengths  $\lambda$  from 200 to 700 nanometers. Electronic absorption spectra for parallel-the-grain and against-the-grain cuttings of beef and ostrich muscular tissue cooled at  $t = (3 \pm 1)^\circ\text{C}$  and frozen at  $t = (-35 \pm 1)^\circ\text{C}$  were obtained.*

*It is shown that the ESDF method can be recommended to describe the state of beef muscle tissue in terms of the intensity of the absorption bands at  $\lambda = 250$  and  $295$  nm and the one of ostrich at  $\lambda = 255$ ,  $285$  and  $310$  nm. The values of absorption band intensity in the interval of wave lengths under investigation are higher both for parallel-the-grain and against-the-grain cuttings of the frozen muscular ostrich tissue.*

**Keywords:** muscular tissue; second category beef; African ostrich; structure; electronic spectra; cold treatment.

---

## Введение

Одним из наиболее распространенных способов сохранения качества мяса в течение длительного времени является холодильная обработка [1, 2]. Охлаждение, замораживание и размораживание мяса сопровождается биохимическими, физическими и микробиологическими процессами, вследствие которых происходит изменение цвета, структуры мышечной ткани, состояния белков, углеводной и липидной фракций, имеющих большое значение для сохранения его пищевой ценности и, как следствие, качества мясных продуктов [3, 4].

В отечественной научной литературе отсутствует информация об исследовании структурных изменений мышечной ткани охлажденного и замороженного мяса методом ЭСДО в интервале длин волн  $\lambda$  от 200 до 700 нм.

## Объекты и методы исследования

Цель работы – исследовать и провести сравнительный анализ изменения структуры мышечной ткани говядины II категории и африканского страуса при холодильной обработке.

Объектами исследования выбраны: сертифицированное мясо тазобедренной части говядины II категории и африканского страуса в возрасте 12 мес. [5].

## Результаты и их обсуждение

Исследование оптических свойств [6, 7] поверхности образцов мышечной ткани охлажденного и замороженного мяса проведен методом электронной спектроскопии диффузионного отражения (ЭСДО) в Санкт-Петербургском государственном техническом университете (технологический институт) [8]. Электронные спектры поверхности получены на спектрофотометре марки Specord M-200 [9] в интервале длин волн  $\lambda$  от 200 до 700 нм с компьютерной обработкой данных.

Получены электронные спектры поглощения поперечного и продольного среза мышечных волокон [9] говядины и страуса, охлажденных при  $t = (3 \pm 1)^\circ\text{C}$  и замороженных при  $t = (-35 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

На рисунках 1–3 представлены оптические спектры поглощения образцов мышечной ткани говядины и страуса, охлажденной и замороженной после размораживания при  $t = (20 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Можно выделить четыре четко дифференцированных интервала электромагнитных спектров:

1.  $\lambda = 200\text{--}230$  нм;
2.  $\lambda = 230\text{--}320$  нм;
3.  $\lambda = 320\text{--}490$  нм;
4.  $\lambda = 495\text{--}630$  нм.

Известно, что белки поглощают свет, как правило, при значениях  $\lambda$  менее 300 нм. Хромофоры белковых молекул подразделяются на три основные группы [7, 10, 11]:

– первая полоса поглощения хромофоров пептидной связи находится в интервале 200–230 нм с максимумом при 220 нм;

– вторая полоса – в области 260–280 нм, но она менее интенсивна. Следует отметить, что поглощение боковых остатков аспарагиновой и глутаминовой кислот, аргинина и лизина также находится в этой области, но интенсивность полос мала, и зарегистрировать их очень трудно, чаще невозможно;

– хромофоры аминокислотных остатков триптофана ( $\lambda = 275$  нм), фенилаланина ( $\lambda = 255\text{--}260$  нм) и тирозина ( $\lambda = 270$  нм), содержащих ароматические кольца, поглощают в интервале 230–300 нм; в этих же пределах находятся полосы имидозольного кольца гистидина и дисульфидной связи цистина;

– пики поглощения, обусловленные хромофорами простетических групп сложных белков, могут находиться как в ультрафиолетовой, так и видимой областях спектра. Карбоксильные группы карбоновых кислот поглощают при 205–210 нм, насыщенных альдегидов и кетонов – при 270–300 и 400 нм, ненасыщенных – при 220–260 и 320 нм [9].

На продольном срезе охлажденной говядины (рисунок 1) наблюдаются следующие спектры поглощения: в интервале  $\lambda$  от 210 до 230 нм – узкий структурированный спектр с максимумом поглощения 0,65 при  $\lambda = 225$  нм; в интервале  $\lambda$  от 230 до 280 нм – структурированный спектр с максимумом поглощения

0,77 при  $\lambda = 255$  нм, плечом при  $\lambda = 230$ – $235$  нм и  $\lambda = 260$ – $265$  нм; в интервале  $\lambda$  от 280 до 320 нм – двузубчатый размытый спектр с максимумом поглощения 0,65 при  $\lambda = 285$  нм и 0,66 при  $\lambda = 300$  нм; в интервале  $\lambda$  от 320 до 490 нм – широкий, хорошо структурированный спектр с максимумом поглощения 1,11 при  $\lambda = 415$  нм; в интервале  $\lambda$  от 490 до 630 нм – двузубчатый спектр с максимумом поглощения 0,7 при  $\lambda = 550$  нм и  $\lambda = 570$  нм.

На поперечном срезе охлажденной говядины (рисунок 1) наблюдаются следующие спектры поглощения: в интервале  $\lambda$  от 200 до 210 нм – узкий, хорошо структурированный спектр с максимумом поглощения 0,77 при  $\lambda = 205$  нм; в интервале  $\lambda$  от 210 до 230 нм – небольшой двузубчатый спектр с максимумом поглощения 0,76 и 0,77 при  $\lambda = 215$  и 225 нм соответственно; в интервале  $\lambda$  от 230 до 275 нм – широкий спектр с максимумом поглощения 0,98 при  $\lambda = 250$  нм; в интервале  $\lambda$  от 275 до 320 нм – слабовыраженный широкий двузубчатый спектр с двумя максимумами поглощения 0,86 и 0,85 при  $\lambda = 285$  и 300 нм; в интервале  $\lambda$  от 320 до 490 нм – широкий, хорошо структурированный спектр с максимумом поглощения 1,19 при  $\lambda = 415$  нм; в интервале  $\lambda$  от 490 до 630 нм – широкий, двузубчатый спектр с максимумом поглощения 0,83 и 0,84 при  $\lambda = 550$  и 580 нм соответственно.

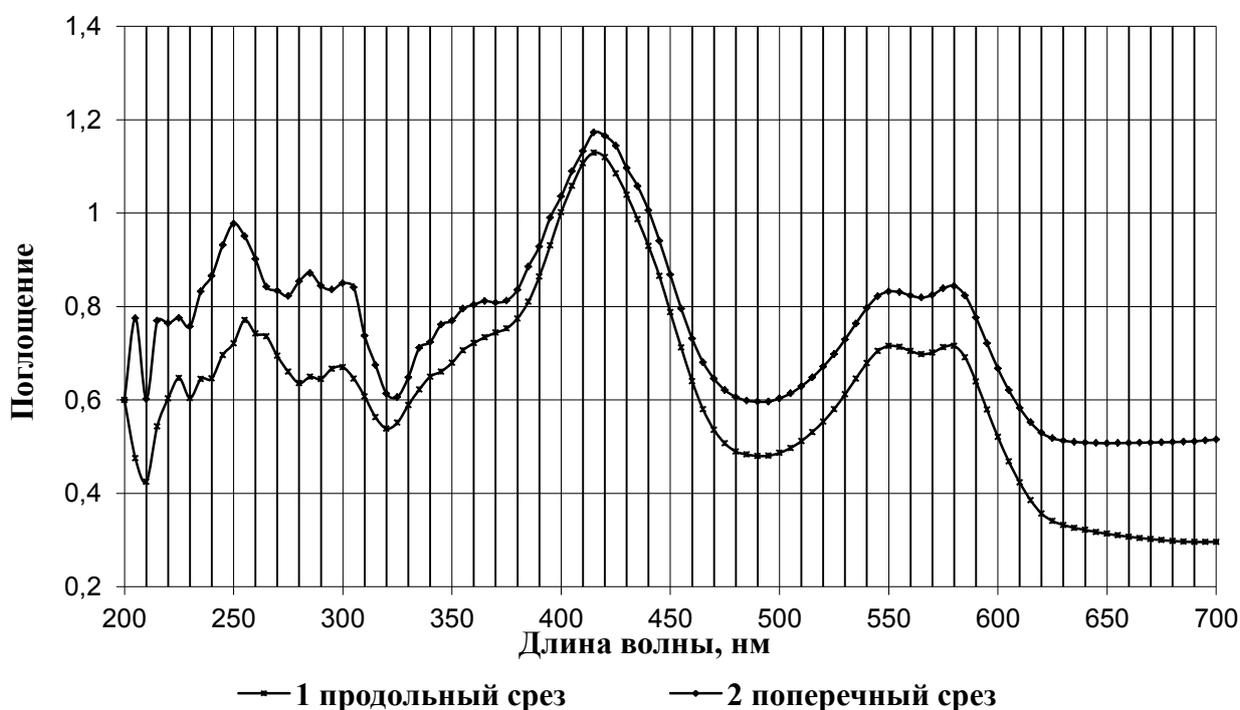


Рисунок 1 – Спектры поглощения поверхности мышечных волокон охлажденной говядины

На продольном срезе мышечных волокон замороженной говядины после размораживания (рисунок 2) наблюдаются следующие оптические спектры поглощения в различных интервалах волн: в интервале  $\lambda$  от 200 до 230 нм – узкий, хорошо структурированный спектр с максимумом поглощения 0,9 при  $\lambda = 210$  нм; в интервале  $\lambda$  от 230 до 280 нм – широкий, слабо структурированный спектр с максимумом поглощения 0,91 при  $\lambda = 255$  нм и плечом при  $\lambda = 245$ – $250$  нм; в интервале  $\lambda$  от 280 до 325 нм – широкий, размытый двузубчатый спектр с максимумами поглощения 0,79 и 0,78 при  $\lambda = 285$  и 300 нм с плечом при  $\lambda = 320$ – $325$  нм; в интервале  $\lambda$  от 325 до 500 нм – хорошо структурированный спектр с максимумом поглощения 1,28 при  $\lambda = 410$ – $420$  нм; в интервале  $\lambda$  от 500 до 630 нм – широкий, двузубчатый структурированный спектр с двумя максимумами поглощения 0,79 и 0,80 при  $\lambda = 545$  и  $\lambda = 580$  нм соответственно.

На поперечном срезе мышечных волокон замороженной говядины после размораживания (рисунок 2) наблюдаются следующие оптические спектры поглощения: в интервале  $\lambda$  от 200 до 230 нм – хорошо структурированный спектр с максимумом поглощения 0,95 при  $\lambda = 215$  нм; в интервале  $\lambda$  от 230 до 275 нм – широкий слабо структурированный спектр с максимумом поглощения 1,1 при  $\lambda = 250$  нм и плечом при  $\lambda = 265$ – $270$  нм; в интервале  $\lambda$  от 275 до 325 нм – широкий, структурированный спектр с максимумом

поглощения 0,98 при  $\lambda = 295$  нм и плечом при  $\lambda = 280-285$  нм; в интервале  $\lambda$  от 325 до 495 нм – двузубчатый структурированный спектр с максимумами поглощения 0,91 и 1,23 при  $\lambda = 360$  и 420 нм соответственно, с плечом при  $\lambda = 340-345$  нм; в интервале  $\lambda$  от 495 до 630 нм – широкий, двузубчатый спектр с максимумами поглощения 0,92 и 0,94 при  $\lambda = 550$  и 580 нм соответственно.



Рисунок 2 – Спектры поглощения поверхности мышечных волокон замороженной говядины

Гистологические исследования микроструктуры мышечной ткани африканского страуса показали, что по диаметру мышечных клеток, а также плотности соединительнотканых прослоек мясо страуса можно сравнить с говядиной [12]. Следует отметить, что спектры поглощения охлажденной мышечной ткани говядины и страуса [13] идентичны.

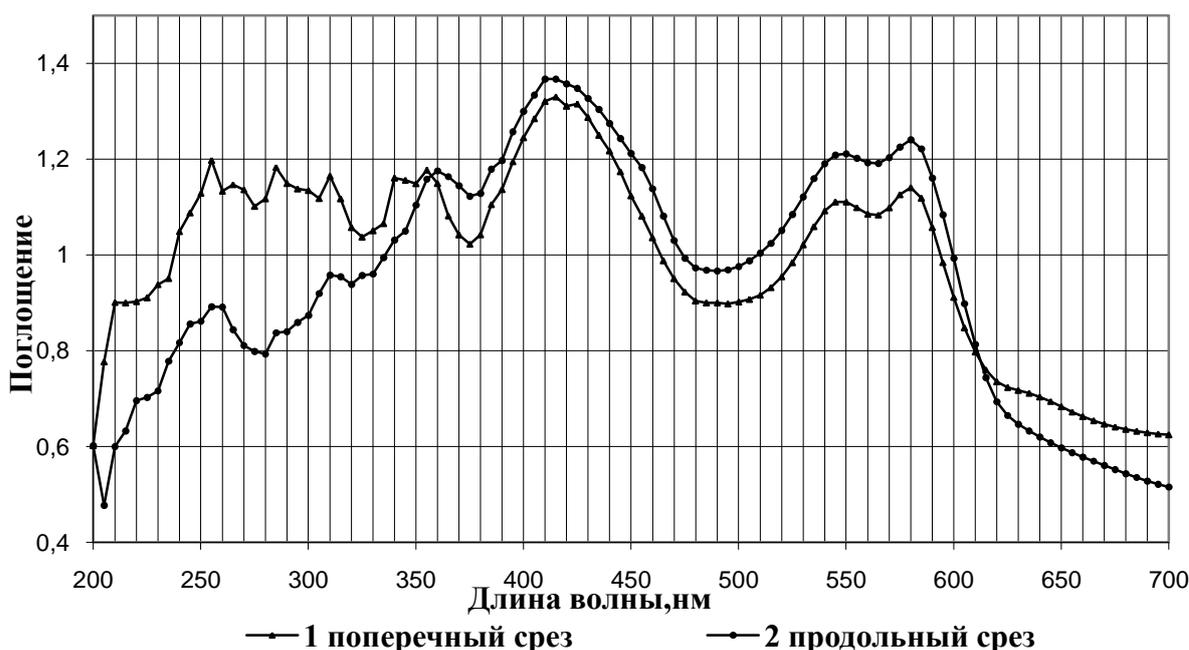


Рисунок 3 – Спектры поглощения поверхности мышечных волокон замороженного африканского страуса

На поперечном срезе мышечных волокон замороженного страуса после размораживания (рисунок 3) наблюдаются в различных интервалах длин волн следующие оптические спектры поглощения: в интервале  $\lambda$  от 200 до 325 нм – широкий, трехзубчатый структурированный спектр с максимумами поглощения 1,2; 1,18 и 1,16 при  $\lambda = 255$ ; 285 и 310 нм соответственно, с плечом при  $\lambda = 210$ –220 нм; в интервале  $\lambda$  от 325 до 380 нм – размытый двузубчатый спектр с максимумами поглощения 1,18 и 1,19 при  $\lambda = 340$  и 355 нм; в интервале  $\lambda$  от 380 до 490 нм – широкий структурированный спектр с максимумом поглощения 1,31 при  $\lambda = 415$  нм; в интервале  $\lambda$  от 490 до 630 нм – широкий, двузубчатый структурированный спектр с максимумами поглощения 1,11 и 1,15 при  $\lambda = 550$  и 580 нм соответственно.

На продольном срезе мышечных волокон замороженного страуса после размораживания (рисунок 3) в различных интервалах длин волн наблюдаются следующие оптические спектры поглощения: в интервале  $\lambda$  от 205 до 280 нм – широкий, структурированный спектр с максимумом поглощения 0,89 при  $\lambda = 255$  нм; в интервале  $\lambda$  от 280 до 380 нм – широкий, слабо структурированный спектр поглощения с максимумом 1,18 при  $\lambda = 360$  нм и плечом при  $\lambda = 310$ –330 нм; в интервале  $\lambda$  от 380 до 490 нм – широкий, структурированный спектр с максимумом поглощения 1,36 при  $\lambda = 410$  нм; в интервале  $\lambda$  от 490 до 630 нм – широкий, структурированный двузубчатый спектр с максимумами поглощения 1,21 и 1,23 при  $\lambda = 550$  и 580 нм.

### Заключение

Для продольных и поперечных срезов мышечной ткани охлажденной и замороженной говядины наблюдается интенсивная полоса поглощения в интервале  $\lambda$  от 320 до 490 нм с максимумами поглощения при  $\lambda = 415$  нм 1,11÷1,19 (охлажденное мясо), 1,23÷1,28 (замороженное мясо). Для мышечной ткани страуса интенсивная полоса поглощения наблюдается в интервале  $\lambda$  от 380 до 490 нм с максимумом поглощения 1,31÷1,36 (замороженное мясо).

Известно, что в интервале  $\lambda = 400$ –500 нм поглощают наиболее лабильные компоненты сложных белков – мукополисахариды [14], устойчивые к процессам окисления [6, 7, 15].

Для всех образцов мяса в видимой области на кривых светопоглощения четко просматривается дуплет пигментного белка миоглобина (550/580 нм). Причем замораживание не оказывает влияния на степень окисляемости миоглобина и оксимиоглобина [4, 8]. Максимумы поглощения при  $\lambda = 550$  и 580 нм для охлажденного мяса составляет 0,7 и 0,83; для замороженных: говядины – 0,78÷0,92 и 0,80÷0,94, страуса – 1,1÷1,21 и 1,15÷1,23 соответственно.

Как следует из рисунков 1–3, интенсивность полос поглощения охлажденного и замороженного мяса существенно отличается в интервале  $\lambda$  от 200 до 325 нм как для поперечного, так и продольного среза. В мышечной ткани замороженной говядины интенсивность полос поглощения при  $\lambda = 250$  нм для продольного среза увеличивается в 1,15 раза, для поперечного не изменяется; при  $\lambda = 295$  нм для продольного среза – в 1,21 раза, для поперечного – в 1,14 раза относительно интенсивности полос поглощения мышечной ткани охлажденной говядины.

При сравнительном анализе полученных спектральных характеристик отмечено, что значения интенсивности полос поглощения в исследуемом интервале длин волн выше как для продольного, так и поперечного среза мышечной ткани замороженного страуса.

На основании представленных данных следует, что по интенсивности полос поглощения (I) можно охарактеризовать состояние мышечной ткани говядины при  $\lambda = 250$  и 295 нм и страуса при  $\lambda = 255$ ; 285 и 310 нм: для продольного среза мышечной ткани охлажденной говядины  $I = 0,78$  при  $\lambda = 250$  нм и 0,65 при  $\lambda = 295$  нм; для продольного среза мышечной ткани замороженной говядины  $I = 0,92$  при  $\lambda = 250$  нм и 0,79 при  $\lambda = 295$  нм; для поперечного среза мышечной ткани замороженной страуса  $I = 1,20$ ; 1,18 и 1,16 при  $\lambda = 255$ ; 285 и 310 нм соответственно.

### Литература

1. Филиппов В.И., Кременевская М.И., Куцакова В.Е. Холодильная технология пищевых продуктов. Часть II. Технологические основы. СПб.: ГИОРД, 2008. 576 с.
2. Судзиловский И.Н. Холодильная технология пищевых продуктов. Ижевск, 2000. 271 с.

3. Криштафович В.И., Жебелева И.А., Толкунова Н.Н. Холодильная обработка и сохраняемость мяса и мясных продуктов: монография. М.: Дашков и К, 2006. 172 с.
4. Рогожин В.В. Биохимия мышц и мяса. СПб.: ГИОРД, 2009. 237 с.
5. Кузьмичев В.Ю., Колодязная В.С. Качество мяса африканского страуса // Мясная индустрия. 2008. № 11. С. 20–24.
6. Лисицын А.Б., Захаров А.Н. Малахов Ю.Н., Акопянц А.А., Ускова О.В. Оптические методы и средства контроля качества в мясной промышленности. М.: АгроНИИЕЭИ Мясомолпром, 1992. 20 с.
7. Кириллов В.В., Нечипоренко А.П. Современные спектральные методы анализа, используемые в пищевой промышленности: учебн. пособие. СПб.: СПбГУНиПТ. 2006. 99 с.
8. Орехова С.М., Нечипоренко У.Ю., Васильева И.В. Исследование нативной мышечной ткани животного происхождения методом ЭСДО // Материалы XIV Всероссийской конференции «Фундаментальные исследования и инновации в национальных исследовательских университетах» (Санкт-Петербург, май 2010). СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. Т.1. С. 340–341.
9. Бройко Ю.В., Колодязная В.С. Влияние холодильной обработки на структурные изменения мышечной ткани телятины // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 3(25). С. 51–57.
10. Кириллов В.В., Нечипоренко А.П., Орлов Ю.Ф. Практикум по физико-химическим методам анализа. Часть 2. Спектральные, хроматографические, люминесцентные и кинетические методы анализа. СПб.: СПбГУНиПТ, 2010. 207 с.
11. Остащенко Н.В., Маслова Л.Г., Тесслер Т.В., Алексеенко Е.В., Кобелева И.Б. Спектральные и хроматографические методы и их применение при анализе пищевых продуктов. М.: МГУПП. 2000. 110 с.
12. Кузьмичев В.Ю., Бройко (Виришева) Ю.В. Гистологические исследования мышечной ткани охлажденного и замороженного мяса страуса // Сборник трудов молодых ученых. Ч. 2. СПб.: СПбГУНиПТ, 2008. С. 82–84.
13. Кузьмичев В.Ю., Колодязная В.С. Новые функциональные продукты питания с использованием мяса африканского страуса // Пищевая и морская биотехнология: проблемы и перспективы: тезисы научно-практ. конф. М.: МАКС Пресс, 2008. С. 80–81.
14. Нечаев А.П., Траунберг С.Е., Кочеткова А.А. Пищевая химия. СПб.: ГИОРД, 2007. 640 с.
15. Свердлова О.В. Электронные спектры в органической химии. Л.: Химия, 1985. 248с.

### References

1. Filippov V.I., Kremenevskaya M.I., Kutsakova V.E. *Kholodil'naya tekhnologiya pishchevykh produktov* [Refrigerated food technology]. Chast' II. Tekhnologicheskie osnovy. St. Petersburg, GIORД Publ., 2008. 576 p.
2. Sudzilovskii I.N. *Kholodil'naya tekhnologiya pishchevykh produktov* [Refrigerated food technology]. Izhevsk, 2000. 271 p.
3. Krishtafovich V.I., Zhebeleva I.A., Tolkunova N.N. *Kholodil'naya obrabotka i sokhranyaemost' myasa i myasnykh produktov* [Refrigeration processing and storage ability of meat and meat products]. Moscow, Dashkov i K Publ., 2006. 172 p.
4. Rogozhin V.V. *Biokhimiya myshts i myasa* [Biochemistry of muscle and meat]. St. Petersburg, GIORД Publ., 2009. 237 p.
5. Kuz'michev V.Yu., Kolodyaznaya V.S. Kachestvo myasa afrikanskogo strausa [Quality African ostrich meat]. *Meat Industry*. 2008, no. 11, pp. 20–24.
6. Lisitsyn A.B., Zakharov A.N. Malakhov Yu.N., Akopyants A.A., Uskova O.V. *Opticheskie metody i sredstva kontrolya kachestva v myasnoi promyshlennosti* [Optical methods and means of quality control in the meat industry]. Moscow, AgroNIIEEI Myasomolprom Publ., 1992. 20 p.
7. Kirillov V.V., Nechiporenko A.P. *Sovremennye spektral'nye metody analiza, ispol'zuemye v pishchevoi promyshlennosti* [Modern spectral analysis methods used in the food industry]. Textbook. St. Petersburg, SPbGUNiPT Publ., 2006. 99 p.
8. Orekhova S.M., Nechiporenko U.Yu., Vasil'eva I.V. Issledovanie nativnoi myshechnoi tkani zhivotnogo proiskhozhdeniya metodom ESDO [The study of native animal muscle tissue by ESDR]. *Proceedings of the XIV Russian conference "Fundamental research and innovation in national research universities"* (St. Petersburg, may 2010). St. Petersburg, Publishing House of the Polytechnic University Press, 2010. V.1, pp. 340–341.
9. Broiko Yu.V., Kolodyaznaya V.S. Vliyanie kholodil'noi obrabotki na strukturnye izmeneniya myshechnoi tkani telyatiny [Effect of cold treatment on the structural changes in the muscle tissue veal]. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2015, no. 3(25), pp. 51–57.
10. Kirillov V.V., Nechiporenko A.P., Orlov Yu.F. Praktikum po fiziko-khimicheskim metodam analiza. Chast' 2. Spektral'nye, khromatograficheskie, lyuminesstentnye i kineticheskie metody analiza [Workshop on physical and

- chemical methods of analysis. Part 2. The spectral, chromatographic, luminescent and kinetic methods of analysis]. St. Petersburg, SPbGUNIPT Publ., 2010. 207 p.
11. Ostashenkova N.V., Maslova L.G., Tessler T.V., Alekseenko E.V., Kobeleva I.B. *Spektral'nye i khromatograficheskie metody i ikh primeneniye pri analize pishchevykh produktov* [Spectral and chromatographic methods and their use in the analysis of food products]. Moscow, MGUPP Publ., 2000. 110 p.
  12. Kuz'michev V.Yu., Broiko (Virshieva) Yu.V. Gistologicheskie issledovaniya myshechnoi tkani okhlazhdennogo i zamorozhennogo myasa strausa [Histological examination of the muscle tissue of chilled and frozen ostrich meat]. *Proceedings of young scientists*. St. Petersburg, SPbGUNIPT Publ., 2008, V. 2, pp. 82–84.
  13. Kuz'michev V.Yu., Kolodyaznaya V.S. Novye funktsional'nye produkty pitaniya s ispol'zovaniem myasa afrikanskogo strausa [New functional foods using meat African ostrich]. *Food and Marine Biotechnology: Challenges and Prospects. Abstracts of scientific-practical conference*. Moscow, MAKS Press Publ., 2008, pp. 80–81.
  14. Nechaev A.P., Traunberg S.E., Kochetkova A.A. *Pishchevaya khimiya* [Food Chemistry]. St. Petersburg, GIORP Publ., 2007, 640 p.
  15. Sverdlova O.V. *Elektronnye spektry v organicheskoi khimii* [Electronic spectra in organic chemistry]. Leningrad, Khimiya Publ., 1985. 248 p.

Статья поступила в редакцию 10.05.2016