

**БИОТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ/BIOTECHNOLOGY OF FOOD AND BIOLOGICAL ACTIVE SUBSTANCES**DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.12> EDN: URFEZW**АПРОБАЦИЯ ИНДИКАТОРНОЙ ПЛЕНКИ С ДОБАВЛЕНИЕМ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ В КАЧЕСТВЕ ВКЛАДЫША ПРИ ХРАНЕНИИ ИНДЕЙКИ**

Научная статья

Фролова К.О.^{1,*}, Тронь А.Е.², Еремеева Н.Б.³¹ORCID : 0009-0003-5282-2305;²ORCID : 0009-0001-3216-8372;³ORCID : 0000-0002-9632-6296;^{1,2,3} Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ksenya.fr.good98[at]gmail.com)

Предложена: 08.05.2026; Принята: 23.06.2026; Опубликовано: 20.07.2026

Аннотация

Спрос на мясо индейки в РФ в последние годы стабильно растет. Мясо является скоропортящимся продуктом, порча которого не всегда однозначно идентифицируется. Интеллектуальная упаковка, в том числе индикаторные пленки, могут служить источником информации о состоянии упакованного продукта. Цель работы состояла в тестировании индикаторной пленки на основе альгината натрия и пектина с добавлением водных экстрактов черноплодной рябины и свеклы при хранении мяса индейки. Были получены растительные экстракты, которые использовались в составе пленки. Был проведен эксперимент по хранению упакованных образцов грудки индейки при 3 °C в присутствии разработанных пленок. Применение ферментативной обработки препаратами целлюлазы и пектиназы при получении растительных экстрактов позволило повысить выход пигментов по сравнению с мацерацией. Индикаторные пленки показали явный цветовой отклик при изменении pH в диапазоне 4,0–8,0. На 6 день эксперимента было отмечено появление органолептических признаков порчи мяса, подтверждавшееся превышением безопасных уровней КМАФАнМ 1×10^5 КОЕ/г. Данные показатели использовались для выявления значений TVB-N (13–14 мг/100 г) и колориметрических параметров L*, a* и b* индикаторных пленок, соответствующих мясу индейки сомнительной свежести. Согласно колориметрическим параметрам пленок в ходе хранения, образцы пленок с экстрактом свеклы СВЦ2, полученным при применении двойной дозировки целлюлазы, проявили цветовую разницу ΔE в диапазоне 9,80–15,31, в том числе $\Delta E > 5$ при переходе мяса к состоянию сомнительной свежести (с 4 на день 6 эксперимента), что считается различимым для человеческого глаза.

Ключевые слова: индикаторная упаковка, индейка, биополимеры, растительные экстракты, ферменты.**TESTING OF INDICATOR FILM CONTAINING PLANT EXTRACTS AS A LINER FOR STORING TURKEY**

Research article

Frolova K.O.^{1,*}, Tron A.E.², Ereemeeva N.B.³¹ORCID : 0009-0003-5282-2305;²ORCID : 0009-0001-3216-8372;³ORCID : 0000-0002-9632-6296;^{1,2,3} ITMO National Research University, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (ksenya.fr.good98[at]gmail.com)

Suggested: 08.05.2026; Accepted: 23.06.2026; Published: 20.07.2026

Abstract

Demand for turkey meat in the Russian Federation has been growing steadily in recent years. Meat is a perishable product, and signs of spoilage are not always easily identifiable. Smart packaging, including indicator films, can provide information on the condition of the packaged product. The aim of the work was to test an indicator film based on sodium alginate and pectin, with the addition of aqueous extracts of black rowan and beetroot when storing turkey meat. Plant extracts were obtained and used as components of the film. An experiment was conducted involving the storage of packaged turkey breast samples at 3 °C in the presence of the developed films. The use of enzymatic treatment with cellulase and pectinase drugs during the extraction of plant extracts made it possible to increase the pigment yield compared with maceration. The indicator films showed a clear colour response to changes in pH within the range 4.0–8.0. On the sixth day of the experiment, organoleptic signs of meat spoilage were observed, confirmed by QMA&OAMO levels exceeding safe limits at 1×10^5 CFU/g. These indicators were used to determine the TVB-N values (13–14 mg/100 g) and the colorimetric parameters L*, a* and b* of the indicator films corresponding to turkey meat of questionable freshness. According to the colourimetric parameters of the films during storage, film samples containing the SVT2 beetroot extract, obtained using a double dose of cellulase, exhibited a colour difference ΔE in the range 9.80–15.31, including a $\Delta E > 5$ when the meat reached a state of questionable freshness (from day 4 to day 6 of the experiment), which is deemed discernible to the human eye.

Keywords: indicator packaging, turkey, biopolymers, plant extracts, enzymes.

Введение

Мясо является важной составляющей рациона человека. Мясо индейки считается диетическим, поскольку оно богаче белком и содержит меньше жира по сравнению с говядиной, свининой и мясом бройлеров. Стремление потребителей придерживаться здорового питания является одной из причин повышения спроса на индейку [1]. Так, наблюдался рост продаж мяса индейки в РФ на 29,5% с 2020 по 2024 гг., в том числе на 3,8% за 2024 г. [2].

Высокое значение активности воды и значительное содержание нутриентов делают мясо благоприятной средой для жизнедеятельности микроорганизмов [3], поэтому мясные продукты являются скоропортящимися. Традиционная упаковка не всегда позволяет судить о протекании порчи мяса. Исходя из этого, в настоящее время наблюдается активное развитие интеллектуальных (умных) упаковочных решений, которые расширяют функциональные возможности упаковки, обеспечивая информацией о качестве и безопасности продукта, температурном режиме его хранения, нарушении целостности упаковки [4], [5].

Одним из видов интеллектуальной упаковки является индикаторная упаковка, дающая информацию о состоянии продукта посредством оптического изменения в процессе хранения. Индикаторные пигменты реагируют с соединениями, которые вырабатываются микроорганизмами в упакованных пищевых продуктах, показывая изменение окрашивания. Растительные экстракты, содержащие такие pH-чувствительные пигменты как антоцианы, беталаины, куркумин и каротиноиды, применяются в составе индикаторной упаковки [6], [7], [8]. Антоцианы (хромофор ион 7-гидроксифлавилия) при различных pH претерпевают структурные изменения, отражающиеся на окрашивании их растворов. Беталаины также проявляют чувствительность к изменению pH в щелочную сторону. В качестве основы для упаковки используются синтетические и биополимеры, а также их композиции [5], что позволяет повысить барьерные и механические свойства материалов.

Для разработки индикаторной упаковки ранее были выбраны черноплодная рябина и свекла как источники антоцианов и беталаинов, соответственно [9]. Плоды черноплодной рябины содержат ряд фенольных соединений и распространены в РФ, свекла является доступным источником беталаинов в России. Ферментативная обработка была использована для повышения выхода целевых пигментов. Данный метод показал результаты в ряде предыдущих исследований [10], [11], а также может считаться экологичным. Состав пленки из альгината натрия и пектина был выбран по причине совместимости материалов и возможности взаимодействия между ними за счет водородных связей.

Целью данной работы являлось тестирование индикаторной пленки на основе альгината натрия и пектина с добавлением водных экстрактов черноплодной рябины и свеклы при хранении мяса индейки.

Объекты и методы исследования

Объектами являлись экстракты из ягод черноплодной рябины и корнеплодов свеклы, пленки на основе альгината натрия и низкоэтерифицированного пектина с добавлением растительных экстрактов и филе грудки индеек охлажденное. Для экстракции использовались препараты пектиназа (порошок, активность 30 ед/г, ТД «Биопрепарат», Россия) и целлюлаза (жидкость, активность 4000 ед/мл, ТД «Биопрепарат», Россия).

Получение растительных экстрактов. Экстракция ягод черноплодной рябины и корнеплодов свеклы проводилась при комнатной температуре методом мацерации в дистиллированной воде (гидромодуль 1:10, 2 часа). Полученные экстракты фильтровались.

Экстракция черноплодной рябины и свеклы с применением ферментативной обработки выполнялась при (35 ± 2) °C и перемешивании 200 об/мин посредством магнитной мешалки в дистиллированной воде (гидромодуль 1:10, 2 часа). Использовались ферментные препараты пектиназа (0, 1 и 2% относительно массы растительного сырья) и/или целлюлаза (0, 2 и 4 мл на 100 мл). Дозировки препаратов выбирались на основе рекомендаций производителя. Экстракты отфильтровывались.

Определение содержания антоцианов в экстрактах черноплодной рябины проводили pH-дифференциальным спектрофотометрическим методом по [12]. Оптическую плотность исследуемых растворов измеряли при 510 и 700 нм в кварцевых кюветах на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония).

Определение содержания беталаинов в экстрактах свеклы выполняли по методу [13].

Получение пленок. Биополимеры альгинат натрия (BOF05, Jiangsu Benefit Ocean Technology, Китай) и низкоэтерифицированный пектин (APC 201Y, Andre Pectin, Китай) в соотношении 1:1 растворяли в 100 мл дистиллированной воды, нагретой до 40 °C, при перемешивании в течение 2 часов. При перемешивании вносили 2 мл глицерина и продолжали процесс 2 часа. Пленкообразующий раствор охлаждался до 25–30 °C перед добавлением 3 мл свежеприготовленных экстрактов. Растворы тщательно перемешивали, отливали в чаши Петри (36 мл раствора, диаметр 9 см) и оставляли на ночь для удаления воздушных пузырей. Пленки высушивали в дегидраторе, который был предварительно облучен ультрафиолетовой бактерицидной лампой, при температурном режиме 30–40 °C в течение 20 часов. Высушенные пленки выдерживали при комнатной температуре в течение 24 часов до проведения дальнейших исследований.

Проводилась оценка цветового отклика пленок на изменение pH. Буферные растворы с pH 4,0–8,0 готовились по [14]. Образцы пленки (2×1 см) погружались в буферные растворы на 30 секунд, затем размещались на чашках Петри для высыхания и фотографировались.

Пленки применялись в качестве вкладыша при холодильном хранении мяса птицы. В качестве объекта использовалось филе грудки индеек охлажденное, упакованное в модифицированной газовой среде. Продукт был приобретен в розничном магазине на 4-ый день хранения. Образцы индейки массой (40 ± 3) г взвешивались в ламинарном боксе и упаковывались в полипропиленовые контейнеры с крышкой. Образцы индикаторных пленок (2×2 см) состава альгинат натрия : пектин = 1:1 с экстрактом черноплодной рябины и экстрактом свеклы прикреплялись ко внутренней стороне крышки контейнера. Образцы мяса хранились при 3 °C в течение 10 суток. Каждые 48 ч

определялись микробиологические параметры образцов индейки, оценивались органолептические характеристики, измерялись pH и содержание летучих азотистых оснований (TVB-N). Были подготовлены контрольные образцы: мясо индейки, помещенное в контейнеры без пленок.

Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в образцах индейки определялось согласно [15]. В соответствии с [16] микробиологический норматив для натуральных полуфабрикатов из мяса птицы охлажденных составляет не более 1×10^5 КОЕ/г. Выполнялись посевы 4-6 разведений образцов в чашки Петри на питательную среду ГМФ-агар глубинным способом. Чашки термостатировались при $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (72 ± 3) часов. Анализ выполнялся в 2 повторностях. Проводили подсчет выросших колоний, учитывали разведения, где наблюдалось 10-300 колоний микроорганизмов. Если в посевах 4 разведения в каждой из чашек Петри не было найдено колоний, отмечалось значение КМАФАнМ менее 10^4 КОЕ/г образца.

Выявление бактерий группы кишечных палочек (БГКП) (колиформных бактерий) выполнялось по [17]. Проводились посевы 2-4 разведений в пробирки с поплавком в питательную среду Кесслера с инкубированием при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение (48 ± 2) часов. Анализ выполнялся в 2 повторностях. Пробирки с помутнением среды, образованием газа или изменением цвета считались положительными.

Определение pH проводилось с применением pH-метра pH-410 (АО Аквилон, Россия). Измерение выполнялось на разведении (1:10) образца в дистиллированной воде в 2 повторностях.

Величину содержания летучих азотистых оснований TVB-N оценивали по методу [18] с небольшими модификациями. Измельченный образец грудки индейки массой 10 г взвешивали и помещали в колбу с небольшим количеством дистиллированной воды. Затем вносили 2 г MgO и в течение 12 минут выполняли паровую дистилляцию в колбу с 10 мл 3% раствора борной кислоты, 90 мл дистиллированной воды и 3-5 каплями индикатора Таширо. По окончании дистилляции образец оттитровывали 0,01 М раствором HCl до изменения зеленого окрашивания на серое. В контрольном эксперименте 10 г образца заменяли дистиллированной водой. Проводилось 2 повторности. Значения TVB-N, мг/100 г образца, рассчитывали по формуле 1:

$$\text{TVB} - \text{N} = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 14 \times 100}{m}, \quad (1)$$

где V_1 — объем HCl, пошедший на титрование образца, мл;

V_2 — объем HCl, пошедший на титрование контроля, мл;

c — концентрация HCl, моль/л;

14 — масса азота, эквивалентная 1 мл раствора соляной кислоты концентрации 1 моль/л, мг;

m — масса образца, г.

Наряду с определением параметров индейки каждые 48 часов фиксировалось изменение цвета пленок в процессе хранения образцов. Контейнеры с пленками фотографировались с помощью камеры телефона (Google LLC, США). Фотографирование выполнялось на фоне белой подложки в условиях искусственного освещения лаборатории в одно и то же время дня. Колориметрические параметры (L^* , a^* и b^*) определяли посредством анализа фотографий в приложении Figma (Figma, Inc.). Цветовую разницу (ΔE) рассчитывали по формуле 2:

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}, \quad (2)$$

где L_0^* , a_0^* , b_0^* — колориметрические параметры пленок на день 0 эксперимента по хранению образцов индейки; L^* , a^* , b^* — колориметрические параметры пленок в последующие дни эксперимента.

2.1. Статистическая обработка

Данные приведены в формате среднее значение $\pm$ стандартное отклонение. Использовался однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA), выполненный в SPSS 23.0. Уровень значимости определялся при $p < 0,05$ по методу Tukey HSD.

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 указано содержание антоцианов в экстрактах черноплодной рябины (ЧР), полученных мацерацией и экстракцией с ферментативной обработкой. Введены следующие обозначения: П — пектиназа, Ц — целлюлаза; цифра указывает на дозировку препарата.

Таблица 1 - Содержание антоцианов в экстрактах черноплодной рябины

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.12.1>

Код	Состав и дозировка на 100 мл экстрагента	Массовая концентрация антоцианов, мг/л, пересчете на цианидин-3-глюкозид
ЧР	-	$159,18 \pm 7,76^a$
ЧРП1Ц1	0,1 г пектиназы + 2 мкл целлюлазы	$189,20 \pm 0,71^b$
ЧРП2Ц1	0,2 г пектиназы + 2 мкл целлюлазы	$193,54 \pm 2,60^b$
ЧРП1Ц2	0,1 г пектиназы + 4 мкл целлюлазы	$195,54 \pm 2,13^b$

Код	Состав и дозировка на 100 мл экстрагента	Массовая концентрация антоцианов, мг/л, пересчете на цианидин-3-глюкозид
ЧРП	0,1 г пектиназы	198,55 ± 4,27 ^b
ЧРЦ	2 мкл целлюлазы	199,97 ± 2,24 ^b
ЧРЦ2	4 мкл целлюлазы	198,72 ± 4,49 ^b

Примечание: значения представлены как среднее ± стандартное отклонение; различные надстрочные буквы показывают значимое ($p < 0,05$) различие между значениями по методу Tukey

По результатам анализа можно заключить, что ферментативная обработка позволила повысить ($p < 0,05$) содержание антоцианов в экстрактах черноплодной рябины по сравнению с экстрактом, полученным мацерацией. Образец ЧРЦ имел наибольшее содержание антоцианов среди других образцов, однако различие не было статистически значимым ($p \geq 0,05$).

Данные о содержании бетацианинов и бетаксантинов в экстрактах свеклы приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Содержание беталаинов в экстрактах свеклы

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.12.2>

Код	Содержание бетацианинов (в пересчете на бетанин), мг/л	Содержание бетаксантинов (в пересчете на вульгаксантин I), мг/л
СВ	28,80 ± 0,48 ^a	14,37 ± 0,76 ^a
СВП1Ц1	34,51 ± 0,06 ^b	18,75 ± 0,45 ^{b,c}
СВП2Ц1	37,08 ± 0,06 ^c	20,12 ± 0,00 ^c
СВП1Ц2	43,91 ± 0,52 ^d	22,78 ± 0,45 ^d
СВП	33,32 ± 0,06 ^b	17,52 ± 0,2 ^b
СВЦ	48,9 ± 0,58 ^e	26,73 ± 0,55 ^e
СВЦ2	53,12 ± 0,2 ^f	23,73 ± 0,3 ^d

Примечание: значения представлены как среднее ± стандартное отклонение; различные надстрочные буквы показывают значимое ($p < 0,05$) различие между значениями по методу Tukey

Из таблицы 2 видно, что наивысшее содержание бетацианинов отмечено в экстракте свеклы СВЦ2, обработанном двойной дозировкой целлюлазы (4 мкл). Данное значение примерно в 2 раза превышает содержание пигментов в экстракте, полученном методом мацерации.

Экстракты черноплодной рябины и свеклы, полученные мацерацией, а также экстракты с ферментативной обработкой ЧРЦ и СВЦ2 далее включались в состав индикаторных пленок.

Стабильность фиолетово-розового окрашивания пленок с экстрактом черноплодной рябины сохранялась при хранении в течение 3 месяцев в закрытых контейнерах без прямого воздействия света при комнатной температуре (Рисунок 1). Наблюдалось пожелтение образцов пленок с экстрактом свеклы к третьему месяцу хранения.

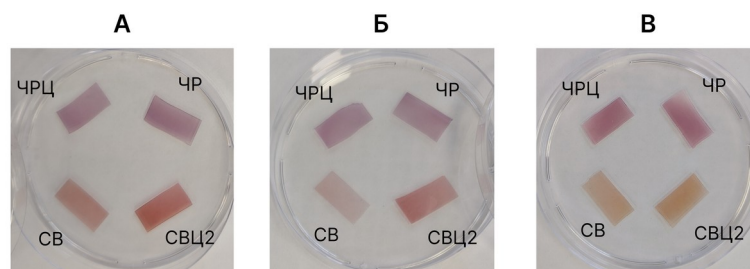


Рисунок 1 - Фотографии пленок (а) после получения, (б) спустя 1,5 месяца и (в) спустя 3 месяца хранения

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.12.3>

Цветовой отклик пленок на изменение pH в диапазоне 4,0-8,0 приведен на Рисунке 2. С увеличением значения pH пленки с экстрактом свеклы (СВ и СВЦ2) приобретали более темный красно-розовый оттенок. Пленки с экстрактами черноплодной рябины переходили от розового (pH 4,0) к бледно-фиолетовому (pH 5,0) и фиолетовому (pH 6,0) окрашиванию, а затем становились розовыми (pH 7,0 и 8,0). Значения pH свежего мяса индейки находятся в диапазоне 5,6–6,0, и в процессе хранения pH повышается. Таким образом, pH-чувствительные пленки с экстрактами способны проявлять визуально различимое изменение цвета при переходе от слабокислой к слабощелочной среде.

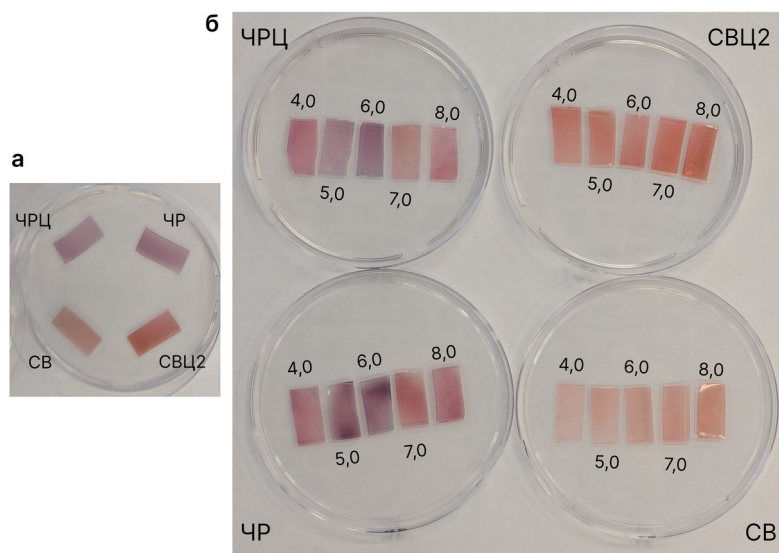


Рисунок 2 - Пленки до воздействия буферных растворов (а) и цветовой отклик пленок на изменение pH (б)

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.12.4>

Образцы индейки, упакованные в контейнеры с использованием или без использования пленок-вкладышей, хранились при 3 °С в течение 10 дней с определением характеристик мяса и контролем цвета пленок каждые 48 часов. В таблице 3 приведены органолептические характеристики образцов индейки в ходе хранения. Вплоть до 6 дня эксперимента (10 дня с даты изготовления) не было выявлено ухудшения качества мяса грудки индейки или признаков порчи. На 6 день отмечались характеристики мяса сомнительной свежести: снижение плотности консистенции и повышение влажности, липкости. К 8 дню хранения (последние дни срока годности согласно информации производителя) образцы индейки проявляли характерные признаки несвежести (Таблица 3). После 8 дня хранения образцы были утилизированы.

Таблица 3 - Изменение органолептических характеристик образцов индейки в процессе хранения при 3 °С

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.12.5>

	Контроль (К)	Образец (О)
День 0	Внешний вид: мышцы плотные и упругие, поверхность слегка влажная, не оставляет влажного пятна на фильтровальной бумаге; Цвет: бледно-розовый; Запах: свойственный свежему мясу индейки	
День 2	То же	
День 4	То же	
День 6	Внешний вид: менее плотные мышцы, поверхность влажная, оставляет влажное пятно на фильтровальной бумаге; Цвет: бледно-розовый; Запах: свойственный свежему мясу индейки	
День 8	Внешний вид: дряблые мышцы, поверхность влажная и липкая, со слизистыми каплями, оставляет влажное пятно на фильтровальной бумаге; Цвет: бледно-розовый с желтоватым оттенком; Запах: несвежий, затхлый	

Определение показателя КМАФАнМ позволяет подтвердить соответствие мяса птицы требованиям безопасности. В соответствии с [16] КМАФАнМ для натуральных полуфабрикатов из мяса птицы охлажденных не должно превышать 1×10^5 КОЕ/г. Как видно из таблицы 4, образцы индейки соответствовали микробиологическому нормативу вплоть до 4 дня эксперимента (8 дня с даты изготовления). На 6 день наблюдалось КМАФАнМ более 10^6 КОЕ/г, сопровождавшееся первыми признаками порчи мяса птицы (таблица 3), что соотносится с результатами других исследователей [3], [19]. Бактерии группы кишечной палочки были выявлены в одном из образцов на 4 день хранения, на 6 день хранения и во всех образцах на 8 день. Данный параметр подтверждает, что образцы мяса индейки были безопасны для детского питания, к которому предъявляются более строгие требования, вплоть до 4 дня хранения.

Таблица 4 - Изменение физико-химических и микробиологических параметров индейки в процессе хранения при 3 °С

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.12.6>

День	TVB-N, мг/100 г образца		pH		КМАФАнМ, КОЕ/г образца	
	К	О	К	О	К	О
0	$12,27 \pm 1,71$		$6,0 \pm 0,03^b$		$<10^4$	
2	$10,38^a$	$10,92 \pm 0,76$	$6,0 \pm 0,00^b$	$5,9 \pm 0,04^a$	$<10^4$	$<10^4$
4	$11,96^a$	$12,01 \pm 0,78$	$5,9 \pm 0,00^a$	$6,0 \pm 0,04^{a,b}$	$<4,0 \times 10^4$	$1,1 \times 10^5$
6	$12,82^a$	$13,72 \pm 0,47$	$5,9 \pm 0,00^a$	$6,0 \pm 0,01^{a,b}$	$1,8 \times 10^6$	$3,3 \times 10^7$
8	$23,53^b$	$19,83 \pm 5,24$	$6,1 \pm 0,00^c$	$6,2 \pm 0,04^c$	$>10^7$	

Примечание: значения представлены как среднее $\pm$ стандартное отклонение; различные надстрочные буквы показывают значимое ($p < 0,05$) различие между значениями в разные дни по методу Tukey; отсутствие букв указывает на $p \geq 0,05$

Изменение параметров pH и TVB-N, как правило, связывают с протеканием процессов порчи в мясных и рыбных продуктах. Жизнедеятельность микрофлоры вызывает разложение белков с выработкой таких соединений как аммиак, амины, метилсульфиды, сложные эфиры и летучие органические кислоты. Данные соединения повышают pH и величину TVB-N. Начальное значение TVB-N мяса индейки в данной работе составляло $12,27 \pm 1,71$ мг/100 г образца, что сходится с результатами для грудки индейки у других авторов — $12,42 \pm 2,08$ мг/100 г [19].

Наблюдалось постепенное увеличение ($p \geq 0,05$) TVB-N в процессе хранения. Поскольку изменение содержания летучих азотистых оснований в мясе индейки в процессе хранения не было подробно исследовано по сравнению с курицей и другими видами мяса, в литературе нет устоявшихся данных о том, какое значение TVB-N считается показателем несвежести. На основе значений КМАФАнМ можно заключить, что TVB-N выше 13–14 мг/100 г (день 6) является признаком сомнительной свежести индейки с некоторым ухудшением органолептических характеристик, а значение около 19 мг/100 г говорит о глубокой порче. Фрэкеза и коллеги пришли к сходным выводам, что TVB-N 14 мг/100 г является границей приемлемости грудки индейки, а 20–30 мг/100 г соответствуют значительным стадиям порчи мяса [19].

Значение pH образцов индейки постепенно возрастало в ходе хранения образцов, но увеличение было незначительным вплоть до явной порчи мяса птицы (pH 6,2 на 8 день). Оркуш и соавторы сообщили об увеличении pH бедра индейки от 5,94 до 6,43 при хранении в пластиковых пакетах в течение 6 дней при 1 °С [3].

В таблице 5 приведены колориметрические параметры пленок в ходе хранения образцов индейки и цветовая разница ΔE , позволяющая оценить различие окрашивания. Считается, что $\Delta E > 5$ указывает на возможность различить изменение цвета невооруженным глазом [20]. В случае пленок с экстрактами ЧР и ЧРЦ колориметрические параметры указывают на слабо различимую разницу окрашивания с ΔE в диапазоне 4,10–9,46. Однако отмечается увеличение параметра светлости L^* ($p < 0,05$ для ЧР) при переходе от 4 (удовлетворительная свежесть индейки согласно значениям КМАФАнМ) к 6 дню (сомнительная свежесть) хранения. Пленки с экстрактами СВ и СВЦ2 показали ΔE в диапазоне 10,65–15,76, что говорит о заметной человеческому глазу цветовой разнице. Индикаторная пленка с СВЦ2 имела $\Delta E > 5$ при сравнении дня 4 и 6, что указывает на различимое изменение окрашивания при переходе мяса в состояние сомнительной свежести. Отмечается увеличение параметра светлости L^* и снижение красноты a^* в днях 4 и 6 хранения.

Таблица 5 - Изменение колориметрических параметров пленок в процессе хранения образцов индейки при 3 °C
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.12.7>

	День 0	День 2	День 4	День 6	День 8
Пленка А:П = 1:1 ЧРЦ					
Цвет					
L*	44,62 ± 7,52	49,29 ± 3,81	44,01 ± 4,29	49,36 ± 7,28	40,99 ± 7,35
a*	16,06 ± 3,28 ^c	14,78 ± 1,38 ^{b,c}	10,90 ± 1,25 ^{a,b}	10,49 ± 2,10 ^a	11,64 ± 2,55 ^{a,b}
b*	5,46 ± 1,41 ^a	9,02 ± 0,55 ^c	7,60 ± 1,09 ^{b,c}	6,97 ± 0,73 ^{a,b}	6,58 ± 0,40 ^{a,b}
ΔE	-	6,42 ± 3,21	6,83 ± 1,56	9,46 ± 3,94	8,72 ± 2,85
Пленка А:П = 1:1 ЧР					
Цвет					
L*	47,49 ± 3,12 ^{a,b}	47,75 ± 1,99 ^{a,b}	45,16 ± 1,54 ^a	49,34 ± 1,33 ^b	46,51 ± 1,96 ^{a,b}
a*	9,33 ± 0,94	11,95 ± 1,43	9,97 ± 1,23	9,85 ± 1,64	9,59 ± 2,19
b*	2,38 ± 0,33 ^a	5,21 ± 0,56 ^b	6,19 ± 0,26 ^b	6,08 ± 0,37 ^b	5,39 ± 0,93 ^b
ΔE	-	4,29 ± 1,41	4,71 ± 1,27	4,54 ± 0,72	4,10 ± 1,07
Пленка А:П = 1:1 СВ					
Цвет					
L*	48,51 ± 1,06 ^a	60,15 ± 1,19 ^b	59,67 ± 1,43 ^b	64,00 ± 0,81 ^c	60,12 ± 1,23 ^b
a*	6,11 ± 0,98 ^{a,b}	6,84 ± 1,18 ^b	5,66 ± 1,72 ^{a,b}	4,13 ± 1,35 ^a	3,88 ± 0,79 ^a
b*	5,61 ± 0,70	5,62 ± 0,97	6,37 ± 1,04	7,03 ± 0,98	7,01 ± 0,62
ΔE	-	11,75 ± 1,22 ^a	11,34 ± 1,41 ^a	15,76 ± 0,81 ^b	11,95 ± 1,14 ^a
Пленка А:П = 1:1 СВЦ2					
Цвет					
L*	43,29 ± 4,01 ^a	52,99 ± 3,62 ^b	51,91 ± 4,29 ^b	57,28 ± 4,46 ^b	53,13 ± 3,33 ^b
a*	13,39 ± 1,57 ^c	15,55 ± 1,54 ^c	12,58 ± 2,25 ^{b,c}	9,75 ± 1,89 ^{a,b}	8,14 ± 1,44 ^a
b*	8,42 ± 1,49 ^a	11,59 ± 1,68 ^{a,b}	12,42 ± 2,28 ^b	13,01 ± 2,63 ^b	13,13 ± 2,24 ^b
ΔE	-	10,65 ± 3,51	9,80 ± 4,71	15,31 ± 4,97	12,25 ± 3,72

Примечание: значения представлены как среднее ± стандартное отклонение; различные надстрочные буквы показывают значимое ($p < 0,05$) различие между значениями в разные дни по методу Tukey; отсутствие букв указывает на $p \geq 0,05$

В таблице 6 приведены фотографии контейнеров с образцами индейки и пленками в процессе холодильного хранения. При сравнении фотографий разных дней эксперимента можно видеть изменение цвета пленок-вкладышей. Однако в ходе эксперимента сравнение было затруднено. Исходя из этого следующим этапом работы может выступать создание вкладыша со шкалой цветов, характерных для свежего продукта, продукта сомнительной свежести и испорченного продукта.

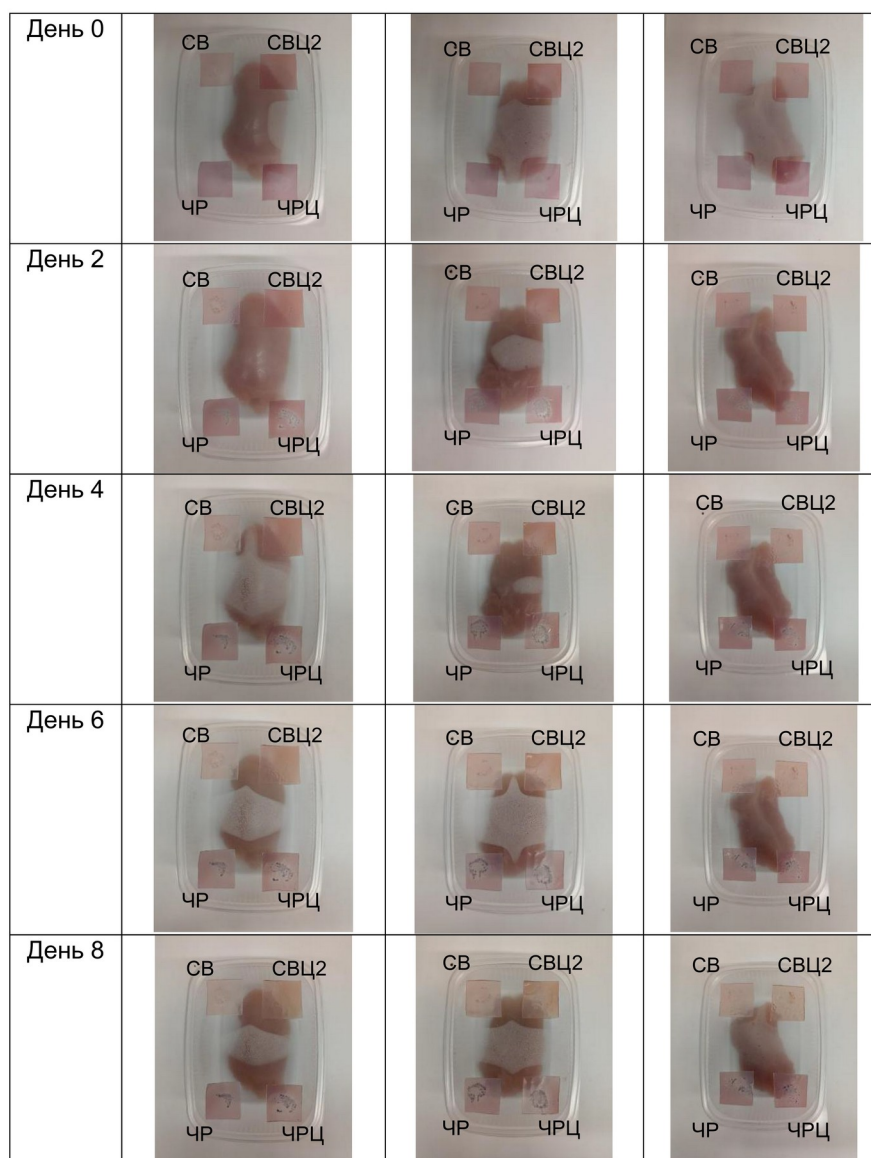


Рисунок 3 - Фотографии образцов индейки, упакованных в контейнеры с пленками, в процессе хранения при 3 °C
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.71.12.8>

Заключение

В рамках данной работы были получены растительные экстракты черноплодной рябины и свеклы с применением и без применения ферментативной обработки препаратами целлюлазы и пектиназы. Ферментативная обработка позволила повысить выход пигментов по сравнению с мацерацией. Наиболее высокое содержание антоцианов показал экстракт ЧРЦ ($199,97 \pm 2,24$ мг/л), экстракт СВЦ2 имел содержание бетацианинов и бетаксантинов в 1,8 и 1,7 раза большее, чем экстракт, полученный мацерацией. Индикаторные пленки на основе альгината натрия и пектина (1:1) с добавлением растительных экстрактов показали явный цветовой отклик при изменении pH в диапазоне 4,0-8,0. Пленки состава альгинат натрия и пектин (1:1) с внесением экстрактов черноплодной рябины (ЧР и ЧРЦ) и свеклы (СВ и СВЦ2) в дозировке 3 мл на 33 мл пленкообразующего раствора тестировались при хранении упакованного мясного продукта.

В ходе эксперимента по хранению упакованных образцов грудки индейки при 3 °C в присутствии разработанных пленок мясо сохраняло органолептические свойства и микробиологическую безопасность в течение 4 дней. На 6 день было отмечено появление органолептических признаков порчи мяса, которое сопровождалось превышением КМАФАнМ 1×10^5 КОЕ/г, считающегося безопасным согласно ТР ЕАЭС 051/2021 «О безопасности мяса птицы и продукции его переработки». На основе КМАФАнМ были определены значения TVB-N (13-14 и 19 мг/100 г) и колориметрических параметров L^* , a^* и b^* индикаторных пленок, соответствующих мясу индейки сомнительной свежести и несвежему. Образцы пленок с экстрактом СВЦ2 проявили цветовую разницу $\Delta E > 5$ при переходе мяса к состоянию сомнительной свежести (9,80 на день 4 и 15,31 на день 6), что считается различимым для человеческого глаза, для образцов с другими экстрактами величина ΔE была меньше. В дальнейшем рекомендуется расширить индикаторный вкладыш, добавив шкалу окрашивания, характерного для свежего продукта, продукта сомнительной свежести и испорченного продукта, что позволит облегчить сравнение цветов и идентификацию состояния мяса.

**Финансирование**

Работа выполнена в рамках государственного задания (проект FSER-2025-0028).

Благодарности

Авторы выражают благодарность к.т.н., доценту, заведующему лабораторией факультета биотехнологий Университета ИТМО Федорову А.А. за помощь в организации определения TVB-N образцов мяса.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The work was carried out within the framework of the state assignment (project FSER-2025-0028).

Acknowledgement

The authors express their gratitude to Fedorov A.A., PhD in Engineering, Associate Professor and Head of the Laboratory at the Department of Biotechnology, ITMO University, for his assistance in organising the determination of TVB-N in meat samples.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Анализ рынка мяса индейки в России в 2021-2025 гг, прогноз на 2026-2030 гг. Структура розничной торговли // BusinesStat. — 2025. — URL: <https://businesstat.ru/catalog/id44760/> (дата обращения: 18.04.26)
2. Российское индейководство: уверенный рост продолжается // Животноводство России. — 2025. — URL: <https://zzr.ru/zzr-2025-03-001> (дата обращения: 18.04.26)
3. Orkusz A. Impact of refrigerated storage on microbial growth, color stability, and pH of turkey thigh muscles / A. Orkusz, G. Rampanti, M. Michalczyk et al. // Microorganisms. — 2024. — 12. — P. 1114. — DOI: 10.3390/microorganisms12061114
4. Soltani Firouz M. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development / M. Soltani Firouz, K. Mohi-Alden, M. Omid // Food Research International. — 2021. — 141. — P. 110113. — DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110113
5. Priyadarshi R. Recent Advances in Intelligent Food Packaging Applications Using Natural Food Colorants / R. Priyadarshi, P. Ezati, J.W. Rhim // ACS Food Science & Technology. — 2021. — 1. — P. 124–138. — DOI: 10.1021/acsfoodscitech.0c00039
6. Liu D. A colorimetric film based on polyvinyl alcohol/sodium carboxymethyl cellulose incorporated with red cabbage anthocyanin for monitoring pork freshness / D. Liu, Z. Cui, M. Shang et al. // Food Packaging and Shelf Life. — 2021. — 28. — P. 100641. — DOI: 10.1016/j.fpsl.2021.100641
7. Chen K. A pH indicator film based on sodium alginate/gelatin and plum peel extract for monitoring the freshness of chicken / K. Chen, J. Li, L. Li et al. // Food Bioscience. — 2023. — 53. — P. 102584. — DOI: 10.1016/j.fbio.2023.102584
8. Zeng F. Intelligent pH indicator composite film based on pectin/chitosan incorporated with black rice anthocyanins for meat freshness monitoring / F. Zeng, Y. Ye, J. Liu et al. // Food Chemistry: X. — 2023. — 17. — P. 100531. — DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100531
9. Фролова К.О. Разработка интеллектуальной пленки с добавлением растительных экстрактов как индикаторов / К.О. Фролова, Н.Б. Еремеева // Пищевая промышленность. — 2025. — 12. — С. 67–75. — DOI: 10.52653/PPI.2025.12.12.011
10. Kim J. Enzymatic extraction of anthocyanins from the pomace of aronia (*Aronia melanocarpa*) / J. Kim, Y. Lee, H.J. Suh et al. // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. — 2024. — 88. — P. 639–647. — DOI: 10.1093/bbb/zbbae037
11. Huynh T.D. Optimization of ultrasound-assisted enzymatic extraction of betalains from red beetroot (*Beta vulgaris*L.) / T.D. Huynh, H.T. Nguyen, T.K.N. Nguyen et al. // The Journal of Agriculture and Development. — 2023. — 22. — P. 65–77. — DOI: 10.52997/jad.7.06.2023
12. ГОСТ 32709-2014 Продукция соковая. Методы определения антоцианинов. — Введ. 2016-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 20 с.
13. Stintzing F.C. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices / F.C. Stintzing, A. Schieber, R. Carle // European Food Research and Technology. — 2003. — 216. — P. 303–311. — DOI: 10.1007/s00217-002-0657-0
14. ГОСТ 4919.2-2016 Реактивы и особо чистые вещества. Методы приготовления буферных растворов (с Поправкой). — Введ. 2016-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 20 с.
15. ГОСТ 7702.2.1-2017 Продукты убоя птицы, продукция из мяса птицы и объекты окружающей производственной среды. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. — Введ. 2019-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2018. — 6 с.
16. ТР ЕАЭС 051/2021 Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности мяса птицы и продукции его переработки». — Введ. 2021-10-29. — Нур-Султан: Совет Евразийской экономической комиссии, 2023. — 60 с.
17. ГОСТ Р 54374-2011 Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). — Введ. 2012-07-01. — Москва: Стандартинформ, 2012. — 5 с.



18. Antonacopoulos N. Determination of volatile basic nitrogen in fish: a third collaborative study by the West European Fish Technologists' Association (WEFTA) / N. Antonacopoulos, W. Vyncke // Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung. — 1989. — 189. — P. 309–316.
19. Fraqueza M.J. Spoilage of light (PSE-like) and dark turkey meat under aerobic or modified atmosphere package: Microbial indicators and their relationship with total volatile basic nitrogen / M.J. Fraqueza, M.C. Ferreira, A.S. Barreto // British Poultry Science. — 2008. — 49. — P. 12–20.
20. Jamróz E. The verification of intelligent properties of furcellaran films with plant extracts on the stored fresh Atlantic mackerel during storage at 2 °C / E. Jamróz, P. Kulawik, P. Guzik et al. // Food Hydrocolloids. — 2019. — 97. — P. 105211. — DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105211

Список литературы на английском языке / References in English

1. Analiz rinka myasa indeiki v Rossii v 2021-2025 gg, prognoz na 2026-2030 gg. Struktura roznicnoi trgovli [Analysis of turkey meat market in Russia in 2021-2025 and projections for 2026-2030. Organization of retail trading] // BusinesStat. — 2025. — URL: <https://businesstat.ru/catalog/id44760/> (accessed: 18.04.26) [in Russian]
2. Rossiiskoe indeikovodstvo: uverennii rost prodolzhaetsya [Turkey breeding in Russia: solid growth continues] // Livestock breeding in Russia. — 2025. — URL: <https://zsr.ru/zsr-2025-03-001> (accessed: 18.04.26) [in Russian]
3. Orkusz A. Impact of refrigerated storage on microbial growth, color stability, and pH of turkey thigh muscles / A. Orkusz, G. Rampanti, M. Michalczyk et al. // Microorganisms. — 2024. — 12. — P. 1114. — DOI: 10.3390/microorganisms12061114
4. Soltani Firouz M. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development / M. Soltani Firouz, K. Mohi-Alden, M. Omid // Food Research International. — 2021. — 141. — P. 110113. — DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110113
5. Priyadarshi R. Recent Advances in Intelligent Food Packaging Applications Using Natural Food Colorants / R. Priyadarshi, P. Ezati, J.W. Rhim // ACS Food Science & Technology. — 2021. — 1. — P. 124–138. — DOI: 10.1021/acsfoodscitech.0c00039
6. Liu D. A colorimetric film based on polyvinyl alcohol/sodium carboxymethyl cellulose incorporated with red cabbage anthocyanin for monitoring pork freshness / D. Liu, Z. Cui, M. Shang et al. // Food Packaging and Shelf Life. — 2021. — 28. — P. 100641. — DOI: 10.1016/j.fpsl.2021.100641
7. Chen K. A pH indicator film based on sodium alginate/gelatin and plum peel extract for monitoring the freshness of chicken / K. Chen, J. Li, L. Li et al. // Food Bioscience. — 2023. — 53. — P. 102584. — DOI: 10.1016/j.fbio.2023.102584
8. Zeng F. Intelligent pH indicator composite film based on pectin/chitosan incorporated with black rice anthocyanins for meat freshness monitoring / F. Zeng, Y. Ye, J. Liu et al. // Food Chemistry: X. — 2023. — 17. — P. 100531. — DOI: 10.1016/j.fochx.2022.100531
9. Frolova K.O. Razrabotka intellektual'noj plenki s dobavleniem rastitel'ny'x e'kstraktov kak indikatorov [Development of intelligent film with addition of plant extracts as indicators] / K.O. Frolova, N.B. Ereemeeva // Food industry. — 2025. — 12. — P. 67–75. — DOI: 10.52653/PPI.2025.12.12.011 [in Russian]
10. Kim J. Enzymatic extraction of anthocyanins from the pomace of aronia (*Aronia melanocarpa*) / J. Kim, Y. Lee, H.J. Suh et al. // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. — 2024. — 88. — P. 639–647. — DOI: 10.1093/bbb/zbab037
11. Huynh T.D. Optimization of ultrasound-assisted enzymatic extraction of betalains from red beetroot (*Beta vulgaris*L.) / T.D. Huynh, H.T. Nguyen, T.K.N. Nguyen et al. // The Journal of Agriculture and Development. — 2023. — 22. — P. 65–77. — DOI: 10.52997/jad.7.06.2023
12. GOST 32709-2014 Produktsiya sokovaya. Metodi opredeleniya antotsianinov [GOST 32709-2014 Juice products. Methods for determination of Anthocyanins]. — Introduced 2016-01-01. — Moscow: Standartinform, 2014. — 20 p. [in Russian]
13. Stintzing F.C. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices / F.C. Stintzing, A. Schieber, R. Carle // European Food Research and Technology. — 2003. — 216. — P. 303–311. — DOI: 10.1007/s00217-002-0657-0
14. GOST 4919.2-2016 Reaktiv i osobo chistie veshchestva. Metodi prigotovleniya bufernikh rastvorov (s Popravkoi) [GOST 4919.2-2016 Reagents and matters of special purity. Methods for preparation of buffer solutions]. — Introduced 2016-01-01. — Moscow: Standartinform, 2014. — 20 p. [in Russian]
15. GOST 7702.2.1-2017 Produkti uboya ptitsi, produktsiya iz myasa ptitsi i obekti okruzhayushchei proizvodstvennoi sredi. Metodi opredeleniya kolichestva mezofilnikh aerobnikh i fakultativno-anaerobnikh mikroorganizmov [GOST 7702.2.1-2017 Poultry slaughtering products, poultry meat products and environment production objects. The method of identification of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms]. — Introduced 2019-01-01. — Moscow: Standartinform, 2018. — 6 p. [in Russian]
16. TP YeAES 051/2021 Tekhnicheskii reglament Yevraziiskogo ekonomicheskogo soyuza «O bezopasnosti myasa ptitsi i produktsii yego pererabotki» [TR EAEU 051/2021 The Technical Regulation of the Eurasian Economic Union «On the Safety of Poultry Meat and its Processing Products»]. — Introduced 2021-10-29. — Nur-Sultan: Sovet Yevraziiskoi ekonomicheskoi komissii, 2023. — 60 p. [in Russian]
17. GOST R 54374-2011 Myaso ptitsi, subprodukti i polufabrikati iz myasa ptitsi. Metodi viyavleniya i opredeleniya kolichestva bakterii gruppi kishechnik palochek (koliformnikh bakterii) [GOST R 54374-2011 Poultry meat, edible offal and ready to cook products. Methods for detection and quantity determination of coliform bacteria]. — Introduced 2012-07-01. — Moscow: Standartinform, 2012. — 5 p. [in Russian]



18. Antonacopoulos N. Determination of volatile basic nitrogen in fish: a third collaborative study by the West European Fish Technologists' Association (WEFTA) / N. Antonacopoulos, W. Vyncke // *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*. — 1989. — 189. — P. 309–316.
19. Fraqueza M.J. Spoilage of light (PSE-like) and dark turkey meat under aerobic or modified atmosphere package: Microbial indicators and their relationship with total volatile basic nitrogen / M.J. Fraqueza, M.C. Ferreira, A.S. Barreto // *British Poultry Science*. — 2008. — 49. — P. 12–20.
20. Jamróz E. The verification of intelligent properties of furcellaran films with plant extracts on the stored fresh Atlantic mackerel during storage at 2 °C / E. Jamróz, P. Kulawik, P. Guzik et al. // *Food Hydrocolloids*. — 2019. — 97. — P. 105211. — DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105211