

Научная статья  
УДК 664.951+573.6  
EDN: ZTSNWI  
DOI: 10.21285/achb.949



## Влияние метода су-вид и ферментативной реструктуризации мышечной ткани макруруса малоглазого на формирование качества готовой продукции

Т.Н. Пивненко✉, Ю.М. Позднякова, Е.М. Панчишина, Р.В. Есипенко

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
Владивосток, Российская Федерация

**Аннотация.** Цель проведенного исследования заключалась в обосновании технологии переработки глубоководного объекта промысла Тихоокеанского бассейна – макруруса малоглазого – на основе метода су-вид и ферментативной реструктуризации мышечной ткани. Были определены физико-химические свойства мышечной ткани на различных стадиях обработки, изменения фракционного состава белков, проведено сравнение предлагаемой технологии и традиционных способов термообработки; определены рациональные параметры процесса, изучена стабильность готовой продукции при хранении и показатели ее безопасности. Показатели качества при обработке различными способами (варка в воде, обработка паром и су-вид) отразили снижение плотности, разрушение структуры мышечной ткани и утрату потребительской привлекательности готового продукта во всех случаях. При обработке методом су-вид технологические потери были существенно меньшими, что соответствовало меньшей степени денатурации белка. Для достижения необходимых показателей качества была проведена предварительная реструктуризация мышечной ткани макруруса с использованием трансглутаминазы для формирования сшивок между молекулами белка. Дополнительными субстратами, усиливающими полимеризацию эндогенных белков, служили желатин и лактат хитозана. Продукты сохраняли целостность структуры при повышении ее прочности. Рассмотрено влияние трансглутаминазы на связывание саркоплазматических и миофибриллярных белков с образованием высокомолекулярных конъюгатов. При морозильном хранении образцов в течение 6 месяцев существенных изменений физико-химических показателей, включая степень денатурации белка и прочность готового продукта, не отмечено. За период хранения для всех образцов микробная контаминация не превышала  $10^2$  КОЕ/г. Добавление лактата хитозана значительно снизило рост психрофильных микроорганизмов.

**Ключевые слова:** су-вид, трансглутаминаза, желатин, хитозан, макрурус малоглазый

**Для цитирования:** Пивненко Т.Н., Позднякова Ю.М., Панчишина Е.М., Есипенко Р.В. Влияние метода су-вид и ферментативной реструктуризации мышечной ткани макруруса малоглазого на формирование качества готовой продукции // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2024. Т. 14. N 4. С. 586–595. DOI: 10.21285/achb.949. EDN: ZTSNWI.

### PHYSICOCHEMICAL BIOLOGY

Original article

## Effect of the sous-vide method and enzymatic rearrangement of giant grenadier muscle tissue on the quality of finished products

Tatyana N. Pivnenko✉, Julia M. Pozdnyakova,  
Ekaterina M. Panchishina, Roman V. Esipenko

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russian Federation

**Abstract.** The conducted study was aimed at validating a technology for processing a deep-sea fishing species of the Pacific Basin (giant grenadier) using the sous-vide method and enzymatic rearrangement of muscle tissue. The

physicochemical properties of muscle tissue at different processing stages were determined, as well as changes in protein fractions; the proposed technology and conventional heat treatment methods were compared; rational process parameters were established; the stability of finished products during storage and their safety characteristics were analyzed. With the use of different processing methods (cooking in water, steam treatment, and sous-vide), the quality indicators reflect a decrease in density, destruction of the muscle tissue structure, and loss of consumer appeal of finished products in all cases. For the sous-vide method, the process losses were significantly lower, which corresponded to a lower degree of protein denaturation. In order to achieve the required quality indicators, giant grenadier muscle tissue was preliminarily rearranged using transglutaminase to form cross-links between protein molecules. Gelatin and chitosan lactate served as additional substrates, enhancing the polymerization of endogenous proteins. The products maintained their structural integrity with an increase in strength. The paper examines the effect of transglutaminase on the binding of sarcoplasmic and myofibrillar proteins with the formation of macromolecular conjugates. With six-month freezer storage of samples, no significant changes in the physicochemical parameters were observed, including the degree of protein denaturation and the strength of finished products. During storage, microbial contamination did not exceed  $10^2$  CFU/g for all samples. The addition of chitosan lactate significantly reduced the growth of psychrophilic microorganisms.

**Keywords:** sous-vide, transglutaminase, gelatin, chitosan, giant grenadier

**For citation:** Pivnenko T.N., Pozdnyakova J.M., Panchishina E.M., Esipenko R.V. Effect of the sous-vide method and enzymatic rearrangement of giant grenadier muscle tissue on the quality of finished products. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(4):586-595. (In Russian). DOI: 10.21285/achb.949. EDN: ZTSNWI.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время значительно возрос интерес к продуктам, прошедшим минимально допустимую тепловую обработку, в процессе которой сохраняются нативные свойства исходных питательных компонентов. В наибольшей степени это относится к миофибрилярным белкам мышечной ткани, определяющим пищевую ценность и органолептические свойства мясных и рыбных продуктов. Максимальное сохранение исходной структуры и свойств соответствует требованиям современных потребителей, стремящихся к здоровому образу жизни и питания. Одновременно технологии щадящей/мягкой обработки выгодны и для предприятий пищевой промышленности, так как предлагаемое современное оборудование, достаточно легкое в эксплуатации, обеспечивает быстроту приготовления при соблюдении высокой степени гигиены. К щадящим методам обработки пищевых продуктов относят су-вид (от фр. *sous-vide* – «под вакуумом»); омический нагрев, радиочастотный нагрев, КЭЧ-технологии; LN-LN-технологии и другие [1–3]. Наибольшее распространение приобретает технология су-вид, при которой желаемая степень готовности достигается путем приготовления продуктов при контролируемых условиях температуры и времени в термостойких вакуумированных пакетах без непосредственного контакта с теплоносителем, перегрева и обводнения [1, 3]. Вакуумная герметизация обеспечивает эффективную передачу тепла от воды/пара к продуктам, исключает риск повторного загрязнения при хранении, препятствует окислению, сохраняет летучие вкусообразующие компоненты, уменьшает рост аэробных бактерий [4–6]. Данная технология первоначально была предложена и апробирована на мясном сырье, по использованию ее в рыбопереработке имеются лишь начальные исследования для отдельных видов рыб [7, 8].

Сенсорные свойства рыбных продуктов определяются физико-химическими изменениями мышечной ткани рыб, основными компонентами которой являются миофибрилярные белки. В связи с этим преобразования, происходящие с белками, являются важными аспектами исследований для обоснования новых

технологий. Использованный в предлагаемой работе макрурус малоглазый *Albatrossia pectoralis* принадлежит к семейству глубоководных рыб Macrouridae, родственных тресковым Gadidae. Большие промысловые запасы и развитие глубоководного промысла обеспечивают возможности для его массового вылова и потребления. Данный вид рыб характеризуется хорошими вкусовыми качествами, полноценным составом аминокислот и низким содержанием липидов. В то же время высокая степень обводненности мышечной ткани (более 90%) определяет сложность его обработки, приводит к большим технологическим потерям и необходимости поиска приемлемых товарных форм готовой продукции [9]. Важно определить необходимые и достаточные режимы тепловой обработки макруруса малоглазого. С этой точки зрения технология су-вид способна обеспечить минимальное воздействие на весьма лабильные белки мышечной ткани малоглазого долгохвоста, как еще называют макруруса. Су-вид можно комбинировать с другими технологиями, в том числе могут быть использованы приемы, ранее предложенные нами, а именно реструктуризация под действием ферментного препарата трансглутаминазы, что обеспечивает сополимеризацию миозина и дополнительно вводимых пищевых субстратов [10]. Полученные результаты позволят увеличить объемы переработки и потребления этого сложного в технологическом плане объекта, а также выявить биохимические механизмы протекающих процессов.

Целью данного исследования явилось обоснование комбинированной технологии обработки мышечной ткани макруруса малоглазого, включающей низкотемпературную вакуумную обработку и ферментативную реструктуризацию, изучение изменений мышечных белков на различных стадиях обработки, а также исследование безопасности полученных продуктов.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследований служил глубоководный вид рыб макрурус малоглазый *Albatrossia pectoralis* (далее макрурус). Для исследования брали замороженные образцы сроком хранения 6–8 месяцев. Для ферментативной реструктуризации применяли препарат АСТИВА®

TG-TI (Ajinomoto Co., Inc., Япония). В качестве дополнительных субстратов использовали пищевой желатин (ГОСТ 11293-89<sup>1</sup>) и лактат хитозана, приготовленный в лабораторных условиях. Для приготовления лактата хитозана навеску высокомолекулярного хитозана («ФармОушенЛаб», Россия) растворяли в 0,3%-й уксусной кислоте при соотношении 1:100 (масса/объем). К полученному раствору добавляли 10%-й NaOH при объемном соотношении 1:50. Образовавшийся осадок отмывали дистиллированной водой. К переосажденному хитозану добавляли дистиллированную воду. Затем вводили 5%-ую молочную кислоту при постоянном перемешивании, доводя pH раствора до 5,5. При таком значении pH хитозан переходит в поликатионную форму лактата и растворяется в воде.

Предварительная обработка рыбы включала размораживание, удаление чешуи, разделку на филе с кожей, мойку, стекание, порционирование. Для установочных экспериментов были приготовлены образцы филе размером примерно 5×5 см и массой около 50 г. Для ферментативной обработки использовали фарш.

Для вакуумной упаковки использовали армированные трехслойные рулоны для су-вид марки Caso плотностью 115 мкр. Термическую обработку проводили на водяной бане.

Степень денатурационных изменений белков при термической обработке соответствует изменению способности миофибриллярных белков растворяться в стандартных солевых растворах. Количественное выражение степени денатурации (в процентах) рассчитывали по отношению разницы массовой доли белков до и после термической обработки к ее исходной величине. Изменения массы образцов (также в процентах) при тепловой обработке определяли как соотношение массы образца до и после обработки.

Для определения реологических показателей использовали текстурометр Брукфильда TextureProCTV 1.8 сборка 31, зонд TA 18. Измеряли следующие показатели: прочность, Н; твердость, г; пластическую деформацию, мм; упругую деформацию, мм; восстановимый рабочий цикл, мJ; адгезионную способность, мJ; коэффициент упругости.

Органолептическую оценку качества готовой продукции проводили с использованием количественного описательного анализа с применением балльной шкалы [9].

Электрофорез проводили в 10%-м полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия, напряжение 220 В, ток 10 мА, мощность 2,5 Вт, температура 15 °С. Окрашивали пластинки 0,01%-м раствором Кумасси G-250. Для экстракции 0,5 г измельченной мышечной ткани заливали 2 мл 2%-го раствора додецилсульфата натрия, через 30 мин центрифугировали 15 мин при 12000 об/мин, отбирали 0,25 мл раствора, добавляли 1,5 мл 0,5 М Трис-НСl буфера (pH 6,8), нагревали при 95 °С и фильтровали. Молекулярную массу белков определяли по калибровочному графику, построенному в координатах зависимости  $R_f$  от молекулярной массы по значениям, соответствующим маркерным белкам:

8, 12, 20, 30, 45, 60, 100, 220 кДа (наборы Sigma-Aldrich, США). Денситограммы снимали при помощи программы Image J для Windows (Wayne Rasband).

Оценку микробиологических показателей: количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, а также микроорганизмов порчи (дрожжи и плесневые грибы) определяли согласно ТР ЕАЭС 040/2016<sup>2</sup>.

Для выделения психрофильных микроорганизмов к навеске измельченного образца добавляли физраствор в соотношении 1:9. Далее готовили ряд последовательных 10-кратных разведений. Разведения переносили в чашки Петри, заливали рыбопитательным агаром, инкубировали при температуре 5, 20 и 36 °С в течение 10 дней. Подсчет колоний проводили в тех чашках, в которых выросло от 30 до 300 колоний. Количество микроорганизмов в 1 г продукта вычисляли путем умножения среднеарифметического числа колоний на разведение навески и делением на количество посевного материала, внесенного в чашку.

### **ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Для начальных экспериментов использовали филе макруруса размером около 5×5 см с массой 50 г. Образцы помещали в пакеты, вакуумировали и выдерживали при заданном режиме. Температура обработки составила 60 °С, продолжительность обработки – 30 мин. Выбор данных показателей был обоснован результатами проведенных ранее исследований [11]. Образцы для варки в воде и обработки паром подготавливали аналогичным образом до стадии термообработки. Варку в воде проводили при 96±2,0 °С в течение 10–12 мин, обработку насыщенным водяным паром – при 98±2,0 °С в течение 10–12 мин. По завершении термообработки пакеты с рыбой охлаждали, проводили запланированные исследования или замораживали для дальнейшего хранения.

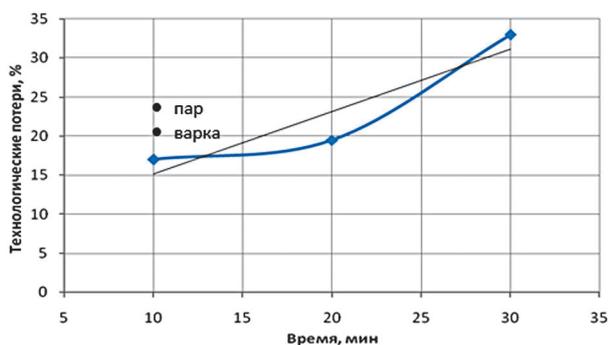
Отличия сенсорных характеристик для образцов филе макруруса не были выражены при различных способах обработки: варке в воде, обработке при помощи пара и технологии су-вид. Во всех случаях наблюдали значительное отделение воды, снижение плотности, разрушение структуры и утрату потребительской привлекательности готового продукта. Снижение времени обработки при помощи технологии су-вид от 30 до 10 мин не дало существенных отличий в реологических и сенсорных показателях. Однако технологические потери при использовании метода су-вид были меньшими, чем при других видах обработки (рис. 1). В связи с этим для дальнейших исследований была выбрана продолжительность обработки при помощи технологии су-вид 10 мин.

В этих условиях миофибриллярные белки мышечной ткани макруруса менее всего подвержены термоденатурации, поэтому сохраняют способность к связыванию большего количества воды (рис. 2).

В этих же условиях при обработке методом су-вид реологические показатели образцов практически не

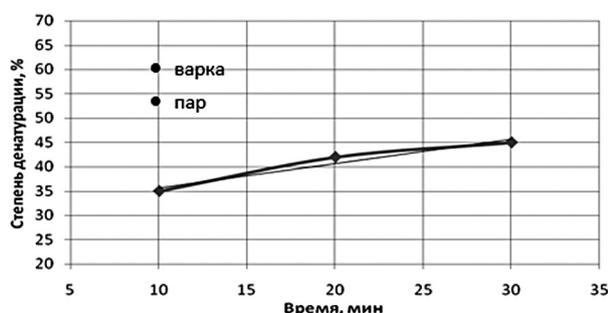
<sup>1</sup> ГОСТ 11293-89. Желатин. Технические условия // Docs.cntd.ru. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200023164> (дата обращения: 17.03.2024).

<sup>2</sup> ТР ЕАЭС 040/2016. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции» // Docs.cntd.ru. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420394425?ysclid=m4hyb4ekx326852996> (дата обращения: 12.07.2024).



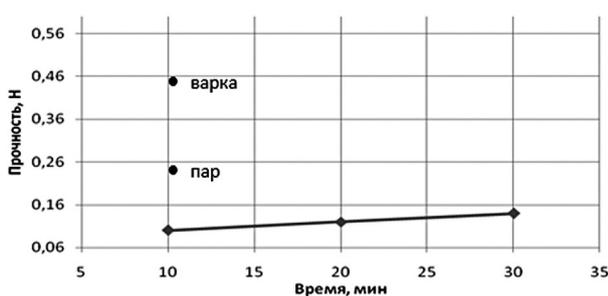
**Рис. 1.** Динамика технологических потерь при обработке макруруса методом су-вид при 60 °С (точками обозначены потери при других способах термообработки)

**Fig. 1.** Dynamics of technological losses during giant grenadier processing by sous-vide at 60 °C (points indicate losses at other methods of heat treatment)



**Рис. 2.** Динамика денатурационных изменений миофибриллярных белков мышечной ткани макруруса при обработке методом су-вид при 60 °С (точками обозначена степень денатурации при других методах термообработки)

**Fig. 2.** Dynamics of denaturation of the myofibrillar proteins of the giant grenadier muscle tissue during sous-vide processing at 60 °C (points indicate the degree of denaturation at other methods of heat treatment)



**Рис. 3.** Изменения прочности мышечной ткани макруруса при обработке методом су-вид при 60 °С (точками обозначена прочность при других методах термообработки)

**Fig. 3.** Changes in the strength of the giant grenadier muscle tissue during sous-vide processing at 60 °C (points indicate strength with other heat treatment methods)

изменялись, но были значительно ниже, чем при других способах обработки (рис. 3).

По мере увеличения времени обработки методом су-вид был отмечен незначительный прирост других реологических показателей (твёрдости, упругости и др.). Исключением явилась адгезивность, показавшая тенденцию к снижению. Наиболее прочными и упругими были образцы, отваренные в воде, что тем не менее не обеспечивало сохранения их целостности.

Полученные данные позволяют говорить о том, что все использованные методы не обеспечивают необходимых показателей качества при обработке филе макруруса. В связи с этим дальнейшие эксперименты были направлены на предварительное обеспечение реструктуризации мышечной ткани макруруса с использованием трансглутаминазы для формирования ковалентных сшивок между отдельными молекулами белка [12–14]. Эти сшивки могут образовываться как между молекулами аналогичных белков (например, миозинов), так и между различными белками, в том числе вводимыми извне (например, коллагеном или казеином). Проведенные ранее исследования показали эффективность применения различных специфических для трансглутаминазы субстратов с целью реструктуризации мышечной ткани рыб. Среди них наиболее эффективными были желатин, казеин, а также растворимые производные хитозана [14–16].

В настоящее время вопросы безопасности использования препаратов трансглутаминазы в пищевой промышленности не имеют однозначного решения. Большинство научных исследований подтверждает отсутствие реакционного действия этого фермента в продуктах после термической обработки [2, 12, 14]. Согласно постановлению Европейского Парламента и Совета № 1169 от 25 октября 2011 года, трансглутаминазы являются вспомогательным веществом, не исполняют технологической функции в конечном продукте, поэтому их не следует указывать на этикетке в перечне компонентов<sup>3</sup>. Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (англ.: Food and Drug Administration, FDA) определило, что, согласно выводам научной группы экспертов, препарат трансглутаминазы Activa признан безопасным (имеет сертификат GRAS – Generally recognized as safe / Общепризнанный как безопасный) для использования в продуктах, контролируемых FDA, включая продукты из мяса, птицы и рыбы, сыры, йогурт, замороженные десерты, блюда из растительного белка, заменители мяса, пасту, хлебобулочные, кондитерские, готовые крупяные изделия, пиццу, тесто и зерновые смеси.

В то же время в Российской Федерации, где регулирование использования ферментных препаратов происходит согласно техническому регламенту Таможенного союза ТР ТС 029/2012<sup>4</sup>, данный препарат отсутствует в списке разрешенных добавок. В связи с этим предлагаемые нами результаты могут быть рассмотрены в настоящий

<sup>3</sup> Регламент (ЕС) № 1169/2011 Европейского Парламента и Совета от 25 октября 2011 года о предоставлении потребителям информации о пищевых продуктах // Fsvps.gov.ru. Режим доступа: <https://fsvps.gov.ru/files/reglament-es-1169-2011-evropejskogo-parlam/> (дата обращения: 13.12.2024).

<sup>4</sup> ТР ТС 029/2012. Технический регламент Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» // Docs.cntd.ru. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902359401?yscl=id=m4i2978yfo120915691> (дата обращения: 12.12.2024)..

момент только в качестве научного обоснования процессов структурообразования в мышечных системах.

Для проведения экспериментов были подготовлены образцы, состав которых представлен в табл. 1.

**Таблица 1.** Состав экспериментальных образцов

**Table 1.** Composition of experimental samples

Компонент	Образец			
	1	2	3	4
Фарш макруруса, %	100	99	94	93
Трансглутаминаза, %	-	1	1	1
Желатин, %	-	-	5	5
Лактат хитозана, %	-	-	-	1

Подготовку образцов проводили следующим образом: образец 1 – измельченную мышечную ткань помещали в пакеты, вакуумировали, обрабатывали при 60 °С 10 мин; образец 2 – к измельченной мышечной ткани добавляли трансглутаминазу, предварительно растворенную в минимальном количестве воды, перемешивали, помещали в пакеты, выдерживали при 40 °С в течение 2 ч, вакуумировали, обрабатывали при 60 °С 10 мин; образец 3 – к измельченной мышечной ткани добавляли водорастворимый желатин, перемешивали, после добавления трансглутаминазы повторяли действия, изложенные в предыдущем пункте; образец 4 – к измельченной мышечной ткани добавляли водорастворимый желатин, перемешивали, добавляли лактат хитозана, перемешивали, после добавления трансглутаминазы повторяли действия, изложенные в предыдущем пункте. Органолептические свойства полученных продуктов представлены в табл. 2.

Полученные результаты подтверждают установленные нами ранее данные о том, что концентрация собственных миофибриллярных белков в мышечной ткани макруруса малогазого недостаточна для образования устойчивой полимерной сети. Только введение дополнительных белковых и/или углеводных субстратов инициирует формирование полимерной сети, стабилизирующей структуру мышечного геля [10, 12, 16]. Отмечено влияние субстратов на цвет и запах продуктов. Результаты измерения реологических показателей образцов представлены в табл. 3.

Для измерений были взяты только образцы 2, 3 и 4, так как жидкая консистенция образца 1 (без добавок)

**Таблица 2.** Органолептические свойства образцов из мышечной ткани макруруса с добавлением трансглутаминазы и субстратов после обработки методом су-вид

**Table 2.** Organoleptic properties of samples from giant grenadier muscle tissue with the addition of transglutaminase and substrates after sous-vide processing

Образец	Цвет	Запах	Консистенция	Прочее
1	Молочно-белый	Свойственный данному виду рыбной продукции	Жидкая, однородная	Большое количество отстоя
2	Молочно-белый	Свойственный данному виду рыбной продукции	Мягкая, однородная	Частичное отделение жидкой фракции
3	Молочный с желтоватым оттенком	Слабый оттенок рыбного запаха	Плотная	Отсутствие отстоя
4	Молочный с желтоватым оттенком	Слабый оттенок рыбного запаха	Плотная, пористая	Отсутствие отстоя

**Таблица 3.** Реологические свойства образцов фарша мышечной ткани макруруса с добавлением трансглутаминазы и субстратов после обработки методом су-вид

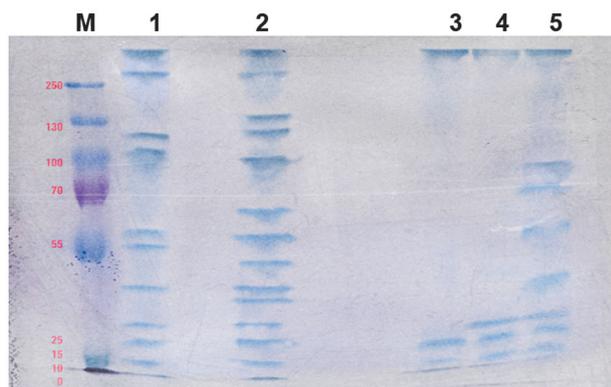
**Table 3.** Rheological properties of samples of the minced giant grenadier muscle tissue with the addition of transglutaminase and substrates after sous-vide processing

Показатель	Образец		
	2	3	4
Прочность, Н	0,69±0,09	0,84±0,06	0,58±0,06
Твердость, г	69,50±4,12	84,00±5,07	49,50±3,81
Сила сцепления, г	1,50±0,02	1,50±0,02	2,50±0,03
Адгезивность, мДж	0,02±0,01	0,03±0,03	0,06±0,03
Коэффициент упругости, %	0,25±0,06	0,23±0,04	0,25±0,04

не позволила получить достоверные данные. Прочность всех анализируемых образцов фарша макруруса, подвергнутого ферментативной обработке, была выше, чем у образцов филе. При прочих равных условиях добавление желатина позволило увеличить прочность образцов почти на 12%, а присутствие лактата хитозана снизило этот показатель почти на ту же величину. Будет правильным отметить, что при этом образцы с лактатом хитозана сохраняли целостность и не имели отделяемой влаги в отличие от образцов без дополнительных субстратов.

Для того чтобы установить изменения фракционного состава белков и их молекулярно-массового распределения, был применен метод электрофореза (рис. 4).

Сравнение полученных результатов с результатами проведенных ранее исследований [10] для исходного сырья без применения технологии су-вид, но с добавлением трансглутаминазы и аналогичных субстратов позволяет говорить о том, что режим тепловой обработки не изменяет направленности процессов ферментативной полимеризации и комплексообразования между мышечными белками и желатином и хитозаном. Без ферментирования в мышечной ткани макруруса и до, и после обработки методом су-вид преобладали водорастворимые белки с молекулярной массой 43–52 кДа, относящиеся к группе миогенов, миофибриллярные белки с молекулярной массой более 220 кДа составили меньшую часть. Незначительные отличия между этими образцами связаны с перераспределением компонентов, имеющих молекулярную массу в диапазоне 53–110 кДа.



**Рис. 4.** Электрофореграмма разделения белковых фракций в 10%-м полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия для образцов мышечной ткани макруруса: М – маркеры молекулярной массы; 1 – обработка методом су-вид без добавок; 2 – без обработки, без добавок; 3 – добавление трансглутаминазы, желатина, лактата хитозана, обработка методом су-вид; 4 – добавление трансглутаминазы, желатина, обработка методом су-вид; 5 – добавление трансглутаминазы, обработка методом су-вид

**Fig. 4.** Electrophoregram of the separation of protein fractions in 10% polyacrylamide gel in the presence of sodium dodecyl sulfate for giant grenadier muscle tissue: M – molecular weight markers; 1 – sous-vide without additives; 2 – without processing, without additives; 3 – adding transglutaminase, gelatin, chitosan lactate, sous-vide; 4 – adding transglutaminase, gelatin, sous-vide; 5 – adding transglutaminase, sous-vide

Для расчета молекулярной массы белковых фракций использовали денситометрию (табл. 4).

При добавлении трансглутаминазы и последующей обработке методом су-вид наблюдали следующее перераспределение белковых фракций: снижение общего количества фракций как водорастворимых, так и миофибриллярных белков, вероятно, за счет образования высокомолекулярных конъюгатов, не входящих в диапазон, определяемый использованными маркерами. Более значительные изменения в распределении фракций наблюдали после воздействия трансглутаминазы в присутствии желатина и лактата хитозана. Желатин является хорошим субстратом для трансглутаминазы, степень его полимеризации имеет прямую зависимость от концен-

трации трансглутаминазы. Известно, что добавление хитозана улучшает реологические свойства рыбных продуктов со слабой гелеобразующей способностью, зависит от типа и концентрации используемого хитозана и системы, в которую его добавляют. Предполагают, что воздействие на текстуру мышечной ткани рыб может быть связано с его влиянием на ферментативную активность эндогенной трансглутаминазы. В то же время хитозан сам по себе способен к гелеобразованию и может образовывать собственную полимерную сетку внутри продукта [15–17].

Наблюдаемые нами изменения молекулярно-массового распределения белков мышечной ткани макруруса в присутствии систем желатин + трансглутаминаза и желатин + хитозан + трансглутаминаза свидетельствуют об отсутствии практически всех белковых фракций в диапазоне от 15 до 220 кД. В этих образцах визуализируются только фракции низкомолекулярных компонентов (меньше 28 кД для желатина + трансглутаминазы и меньше 15 кД для желатина + хитозана + трансглутаминазы) и высокомолекулярные конъюгаты (280 кД и более). Наиболее очевидны данные изменения для системы желатин + хитозан + трансглутаминаза. Это свидетельствует о том, что указанные компоненты способны связывать как саркоплазматические, так и миофибриллярные белки мышечной ткани макруруса.

Несмотря на сходство в распределении белковых фракций, образцы с добавлением лактата хитозана имели пористость и меньшую прочность, что указывает на различия в образуемых полимерных структурах.

На следующем этапе работы были проведены исследования изменения органолептических, физико-химических и микробиологических показателей продукции для определения ее хранимоспособности. Хранение проводили при температуре минус 18 °С, пробы отбирали через 2 и 6 месяцев хранения. За этот период существенных изменений физико-химических показателей, степени денатурации белка и прочности готового продукта отмечено не было.

При изучении микробиологических показателей определяли изменение количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов в готовом продукте по истечении 2 и 6 месяцев морозильного хранения при температуре минус 18±2 °С, обсемененность всех образцов была в пределах нормы (5×10<sup>4</sup> КОЕ/г) и не превышала 10<sup>2</sup> КОЕ/г.

**Таблица 4.** Молекулярно-массовое распределение белковых фракций при разделении образцов фарша макруруса методом электрофореза в 10%-м полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия, кДа

**Table 4.** Molecular mass distribution of protein fractions for separation of the muscle tissue of giant grenadier patterns by electrophoresis in 10% polyacrylamide gel in the presence of sodium dodecyl sulfate, kDa

Образец	Фракция												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII
Молекулярная масса, кДа													
1	10	15	28		48		68		100	110		225	280
2	10	15	28	30	48	53	68	80	100	110	125	225	280
3	10	15											280
4	10	15	28										280
5	10	15	28	30	48	53	68	80					280

**Таблица 5.** Влияние температуры инкубации образцов макруруса на рост психрофильной микрофлоры

**Table 5.** Effect of the incubation temperature of giant grenadier samples on the growth of psychrophilic microflora

Образец	Рост микроорганизмов, КОЕ/г		
	при 5 °С	при 20 °С	при 36 °С
Фарш без добавок	8,0×10 <sup>2</sup>	1,5×10 <sup>3</sup>	отсутствует
Фарш + трансглутаминаза	6,3×10 <sup>3</sup>	8,5×10 <sup>3</sup>	отсутствует
Фарш + трансглутаминаза + желатин	2,4×10 <sup>3</sup>	6,2×10 <sup>3</sup>	отсутствует
Фарш + трансглутаминаза + желатин + лактат хитозана	отсутствует	6,0×10 <sup>2</sup>	отсутствует

Также в хранившихся образцах исследовали количество психрофильных микроорганизмов. Известно, что качественный состав микрофлоры на поверхности свежельвленной рыбы близок к составу микрофлоры морской воды. В основном это психрофильные микроорганизмы с оптимумом развития около 20 °С, способные размножаться при низких температурах. В большей степени данная микрофлора представлена грамотрицательными бактериями, в меньшей степени – грамположительными, спорообразующие аэробные бактерии на поверхности рыбы отсутствуют. Ввиду своих выраженных протеолитических свойств присутствующие бактерии играют решающую роль в процессе порчи рыбной продукции [18]. При хранении рыбы их количество в объеме всей микрофлоры быстро возрастает<sup>5</sup>. В табл. 5 представлены результаты подсчетов роста психрофильных микроорганизмов в исследованных образцах из фарша макруруса при различных температурах инкубации.

Рост выделенных психрофильных микроорганизмов наблюдался в глубине питательного агара, что характерно для анаэробных форм, образованные колонии были мелкими и тонкими – не более 2 мм в диаметре. Общее число микроорганизмов во всех образцах было в границах нормы, однако в образцах с добавлением лактата хитозана роста микроорганизмов при 5 °С не наблюдали, а при 20 °С он был на порядок меньше, чем во всех остальных образцах. Указанные данные подтверждают сведения об антимикробных свойствах хитозана и его производных, добавляемых в пищевые продукты [19, 20].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в течение 6 месяцев морозильного хранения образцы

готовой продукции из макруруса малогазлого сохраняли микробиологическую безопасность.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, обработка филе макруруса малогазлого методом су-вид приводила к существенным технологическим потерям, снижению прочности и потере целостности готового продукта. Степень денатурации миофибриллярных белков при этом снижалась прямо пропорционально времени теплового воздействия. Обеспечение приемлемой текстуры, соответствующей формованным изделиям из мышечной ткани макруруса, может быть достигнуто при добавлении трансглутаминазы в присутствии желатина и лактата хитозана для сшивки белковых молекул и образования гетерогенных конъюгатов и повышения прочности. Изучение фракционного состава белков и их молекулярно-массового распределения методом электрофореза показало перераспределение белковых фракций, при котором отмечено снижение числа фракций саркоплазматических и миофибриллярных белков за счет образования высокомолекулярных сополимеров. Хранимоспособность полученных образцов в течение 6 месяцев при температуре минус 18 °С обеспечивается практически полным отсутствием изменений в степени денатурации белков и прочности продукции после размораживания и микробиологической безопасностью. Установлено снижение общего числа микроорганизмов, включая психрофильные формы, при добавлении лактата хитозана. Полученные результаты позволяют дать обоснование для разработки технологии формованных изделий из объекта глубоководного промысла – макруруса малогазлого.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Abel N., Rotabakk B.T., Lerfall J. Mild processing of seafood – a review // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2022. Vol. 21, no. 1. P. 340–370. DOI: 10.1111/1541-4337.12876.
2. Jermann C., Koutchma T., Margas E., Leadley C., Ros-Polski V. Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2015. Vol. 31. P. 14–27. DOI: 10.1016/j.ifset.2015.06.007.
3. Rodgers S. Minimally processed functional foods: technological and operational pathways // *Journal of Food Science*. 2016. Vol. 81, no. 10. P. R2309–R2319. DOI: 10.1111/1750-3841.13422.
4. Baldwin D.E. Sous vide cooking: a review // *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2012. Vol. 1, no. 1. P. 15–30. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2011.11.002.
5. Фофанова Т.С. Технология су-вид – некоторые аспекты качества и микробиологической безопасности // *Теория и практика переработки мяса*. 2018. Т. 3. N 1. С. 59–68. DOI: 10.21323/2414-438X-2018-3-1-59-68. EDN: YUDWZJ.
6. Cui Z., Yan H., Manoli T., Mo H., Bi J., Zhang H. Advantage and challenge of sous vide cooking // *Food Science and Technology Research*. 2021. Vol. 27, no. 1. P. 25–34. DOI: 10.3136/fstr.27.25.
7. Erdem N., Karakaya M., Babaoğlu A.S., Unal K. Effects of sous vide cooking on physicochemical, structural and microbiological characteristics of cuttlefish, octopus and squid // *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2022. Vol. 31, no. 7. P. 636–648. DOI: 10.1080/10498850.2022.2092433.
8. Cropotova J., Mozuraityte R., Standal I.B., Rustad T. The influence of cooking parameters and chilled storage time on quality of sous-vide Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*) //

<sup>5</sup> Ким И.Н., Кращенко В.В. Микробиология переработки водных биологических ресурсов: учеб. пособие для вузов. М.: Моркнига, 2015. 349 с.

Journal of Aquatic Food Product Technology. 2019. Vol. 28, no. 5. P. 505-518. DOI: 10.1080/10498850.2019.1604595.

**9.** Pivnenko T.N., Karpenko Yu.V., Krashchenko V.V., Pozdnyakova Yu.M., Esipenko R.V. Biochemical factors affecting the quality of products and the technology of processing deep-sea fish, the Giant Grenadier *Albatrossia pectoralis* // Journal of Ocean University of China. 2020. Vol. 19. P. 681-690. DOI: 10.1007/s11802-020-4273-z.

**10.** Пивненко Т.Н., Карпенко Ю.В., Позднякова Ю.М., Кращенко В.В., Есипенко Р.В. Обоснование условий применения транsgлутаминазы в технологии формованной продукции из обводненного рыбного сырья // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. N 2. С. 205-215. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-2-205-215. EDN: WJWUSG.

**11.** Карпенко Ю.В., Панчишина Е.М., Скальская В.А. Оценка показателей качества и безопасности рыбной кулинарной продукции, полученной по технологии sous vide (су-вид) // Научные труды Дальрыбвтуза. 2019. Т. 48. N 2. С. 52-61. EDN: YLDBGW.

**12.** Пивненко Т.Н. Применение транsgлутаминазы в пищевой промышленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 55. N 1. С. 5-22. EDN: ERKAKN.

**13.** Rachel N.M., Pelletier J.N. Biotechnological applications of transglutaminases // Biomolecules. 2013. Vol. 3, no. 4. P. 870-888. DOI: 10.3390/biom3040870.

**14.** Kieliszek M., Misiewicz A. Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review // Folia Microbiologica. 2014. Vol. 59. P. 241-250. DOI: 10.1007/s12223-013-0287-x.

**15.** Benjakul S., Visessanguan W., Tanaka M., Ishizaki S., Suthidham R., Sungpech O. Effect of chitin and chitosan on gelling properties of surimi from barred garfish (*Hemiramphus far*) // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2001. Vol. 81, no. 1. P. 102-108. DOI: 10.1002/1097-0010(20010101)81:1<102::AID-JSFA792>3.0.CO;2-O.

**16.** Gómez-Guillén M.C., Montero P., Solas M.T., Pérez-Mateos M. Effect of chitosan and microbial transglutaminase on the gel forming ability of horse mackerel (*Trachurus* spp.) muscle under high pressure // Food Research International. 2005. Vol. 38, no. 1. P. 103-110. DOI: 10.1016/j.foodres.2004.09.004.

**17.** Huang M., Xu Y., Xu L., Bai Y., Xu X. Interactions of water-soluble myofibrillar protein with chitosan: phase behavior, microstructure and rheological properties // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2022. Vol. 78. P. 103013. DOI: 10.1016/j.ifset.2022.103013.

**18.** Mol S., Erkan N., Üçok D.Ş., Tosun Y. Effect of psychrophilic bacteria to estimate fish quality // Journal of Muscle Food. 2007. Vol. 18, no. 1. P. 120-128. DOI: 10.1111/j.1745-4573.2007.00071.x.

**19.** Максимова С.Н., Сафронова Т.М., Суровцева Е.В. Использование хитозана в технологии пищевых продуктов из водных биоресурсов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2017. N 2-3. С. 35-40. EDN: ZAUJYL.

**20.** Kabanov V.L., Novinyuk L.V. Chitosan application in food technology: a review of recent advances // Пищевые системы. 2020. Т. 3. N 1. С. 10-15. DOI: 10.21323/2618-9771-2020-3-1-10-15. EDN: VYTAIH.

## REFERENCES

**1.** Abel N., Rotabakk B.T., Lerfall J. Mild processing of seafood – a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2022;21(1):340-370. DOI: 10.1111/1541-4337.12876.

**2.** Jermann C., Koutchma T., Margas E., Leadley C., Ros-Polski V. Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2015;31:14-27. DOI: 10.1016/j.ifset.2015.06.007.

**3.** Rodgers S. Minimally processed functional foods: technological and operational pathways. *Journal of Food Science*. 2016;81(10):R2309-R2319. DOI: 10.1111/1750-3841.13422.

**4.** Baldwin D.E. Sous vide cooking: a review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2012;1(1):15-30. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2011.11.002.

**5.** Fofanova T.S. Sous vide technology – several aspects of quality and microbiological safety. *Theory and practice of meat processing*. 2018;3(1):59-68. (In Russian). DOI: 10.21323/2414-438X-2018-3-1-59-68. EDN: YUDWZJ.

**6.** Cui Z., Yan H., Manoli T., Mo H., Bi J., Zhang H. Advantage and challenge of sous vide cooking. *Food Science and Technology Research*. 2021;27(1):25-34. DOI: 10.3136/fstr.27.25.

**7.** Erdem N., Karakaya M., Babaoğlu A.S., Unal K. Effects of sous vide cooking on physicochemical, structural and microbiological characteristics of cuttlefish, octopus and squid. *Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2022;31(7):636-648. DOI: 10.1080/10498850.2022.2092433.

**8.** Cropotova J., Mozuraityte R., Standal I.B., Rustad T. The influence of cooking parameters and chilled storage time on quality of sous-vide Atlantic mackerel (*Scorpaenidae*).

*Journal of Aquatic Food Product Technology*. 2019;28(5):505-518. DOI: 10.1080/10498850.2019.1604595.

**9.** Pivnenko T.N., Karpenko Yu.V., Krashchenko V.V., Pozdnyakova Yu.M., Esipenko R.V. Biochemical factors affecting the quality of products and the technology of processing deep-sea fish, the Giant Grenadier *Albatrossia pectoralis*. *Journal of Ocean University of China*. 2020;19:681-690. DOI: 10.1007/s11802-020-4273-z.

**10.** Pivnenko T.N., Karpenko Yu.V., Pozdnyakov Yu.M., Kraschenko V.V., Esipenko R.V. Application of transglutaminase in moulded food processing from waterlogged fish raw materials. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(2):205-215. (In Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-2-205-215. EDN: WJWUSG.

**11.** Karpenko Ju.V., Panchishina E.M., Skalskaya V.A. The evaluation of quality and safety indicators ready-to-eat fish products by sous vide. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*. 2019;48(2):52-61. (In Russian). EDN: YLDBGW.

**12.** Pivnenko T.N. Application of transglutaminase in the food industry. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*. 2021;55(1):5-22. (In Russian). EDN: ERKAKN.

**13.** Rachel N.M., Pelletier J.N. Biotechnological applications of transglutaminases. *Biomolecules*. 2013;3(4):870-888. DOI: 10.3390/biom3040870.

**14.** Kieliszek M., Misiewicz A. Microbial transglutaminase and its application in the food industry. A review. *Folia Microbiologica*. 2014;59:241-250. DOI: 10.1007/s12223-013-0287-x.

**15.** Benjakul S., Visessanguan W., Tanaka M., Ishizaki S., Suthidham R., Sungpech O. Effect of chitin and chitosan on gelling properties of surimi from barred garfish (*Hemiramphus far*). *Journal of the Science Food and Agriculture*. 2001;81(1):102-108. DOI: 10.1002/1097-0010(20010101)81:1<102::AID-JSFA792>3.0.CO;2-O.

**16.** Gómez-Guillén M.C., Montero P., Solas M.T., Pérez-Mateos M. Effect of chitosan and microbial transglutaminase on the gel forming ability of horse mackerel (*Trachurus spp.*) muscle under high pressure. *Food Research International*. 2005;38(1):103-110. DOI: 10.1016/j.foodres.2004.09.004.

**17.** Huang M., Xu Y., Xu L., Bai Y., Xu X. Interactions of water-soluble myofibrillar protein with chitosan: phase behavior, microstructure and rheological properties.

*Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2022;78:103013. DOI: 10.1016/j.ifset.2022.103013.

**18.** Mol S., Erkan N., Üçok D.,Ş., Tosun Y. Effect of psychrophilic bacteria to estimate fish quality. *Journal of Muscle Food*. 2007;18(1):120-128. DOI: 10.1111/j.1745-4573.2007.00071.x.

**19.** Maksimova S.N., Safronova T.M., Surovtseva E.V. Use of chitosanin technology of foodstuff from aquatic bioresources. *Izvestiya vuzov. Food technology*. 2017;2-3:35-40. (In Russian). EDN: ZAUJYL.

**20.** Kabanov V.L., Novinyuk L.V. Chitosan application in food technology: a review of recent advances. *Food systems*. 2020;3(1):10-15. DOI: 10.21323/2618-9771-2020-3-1-10-15. EDN: VYTAIH.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Пивненко Татьяна Николаевна,**

д.б.н., профессор, профессор,  
Дальневосточный государственный  
технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б,  
Российская Федерация,  
✉ [tnpivnenko@mail.ru](mailto:tnpivnenko@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-0330-489X>

**Позднякова Юлия Михайловна,**

к.т.н., директор,  
Научно-исследовательский институт  
инновационных биотехнологий,  
Дальневосточный государственный  
технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б,  
Российская Федерация,  
[pozdneyakova.julia@yandex.ru](mailto:pozdneyakova.julia@yandex.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-9078-0850>

**Панчишина Екатерина Мироновна,**

к.т.н., доцент,  
Дальневосточный государственный  
технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б,  
Российская Федерация,  
[ekaterina.pan.8@mail.ru](mailto:ekaterina.pan.8@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-0330-489X-5245>

**Есипенко Роман Владимирович,**

к.т.н., научный сотрудник,  
Научно-исследовательский институт  
инновационных биотехнологий,  
Дальневосточный государственный  
технический рыбохозяйственный университет,  
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б,  
Российская Федерация,  
[azt@bk.ru](mailto:azt@bk.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-8263-6939>

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Tatiana N. Pivnenko,**

Dr. Sci. (Biology), Professor, Professor,  
Far Eastern State Technical Fisheries University, 52b,  
Lugovaia St., Vladivostok, 690087,  
Russian Federation,  
✉ [tnpivnenko@mail.ru](mailto:tnpivnenko@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-0330-489X>

**Yuliya M. Pozdneyakova,**

Cand. Sci. (Engineering), Director,  
Innovative Biotechnologies Institute,  
Far Eastern State Technical Fisheries University, 52b,  
Lugovaia St., Vladivostok, 690087,  
Russian Federation,  
[pozdneyakova.julia@yandex.ru](mailto:pozdneyakova.julia@yandex.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-9078-0850>

**Ekaterina M. Panchishina,**

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,  
Far Eastern State Technical Fisheries University, 52b,  
Lugovaia St., Vladivostok, 690087,  
Russian Federation,  
[ekaterina.pan.8@mail.ru](mailto:ekaterina.pan.8@mail.ru)  
<http://orcid.org/0000-0002-0330-489X-5245>

**Roman V. Esipenko,**

Cand. Sci. (Engineering), Researcher,  
Innovative Biotechnologies Institute,  
Far Eastern State Technical Fisheries University, 52b,  
Lugovaia St., Vladivostok, 690087,  
Russian Federation,  
[azt@bk.ru](mailto:azt@bk.ru)  
<https://orcid.org/0000-0002-8263-6939>

**Вклад авторов**

Т.Н. Пивненко – постановка задачи, разработка концепции исследования, написание текста статьи.  
Е.М. Панчишина – проведение экспериментов, обсуждение результатов.  
Ю.М. Позднякова – разработка методологии исследований, обсуждение результатов.  
Р.В. Есипенко – проведение экспериментов, обсуждение результатов.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

**Информация о статье**

Поступила в редакцию 19.03.2024.  
Одобрена после рецензирования 04.06.2024.  
Принята к публикации 30.11.2024.

**Contribution of the authors**

Tatiana N. Pivnenko – problem formulation, research concept development, preparing the text of manuscript.  
Ekaterina M. Panchishina – conducting experiments, results discussion.  
Yuliya M. Pozdnyakova – research methodology development, results discussion.  
Roman V. Esipenko – conducting experiments, results discussion.

**Conflict interests**

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

*The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.*

**Information about the article**

The article was submitted 19.03.2024.  
Approved after reviewing 04.06.2024.  
Accepted for publication 30.11.2024.