Научная статья
УДК 664.959.5, 687.552
DOI 10.46845/1997-3071-2022-65-66-80

Биоэкологический потенциал морского плацентарного коллагена в косметологии

Наталья Анатольевна Рачкова[1], Владимир Владимирович Соклаков[2], Борис Юрьевич Воротников[3]
[1,2,3]Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[3]vorotnikov@klgtu.ru

Аннотация. Прогнозируемый рост производства рыбной продукции повлечет за собой увеличение объемов неиспользуемых отходов, белковая часть которых в значительной степени представлена коллагеном. Ожидается двукратный рост общемирового рынка этого белка за 10 лет в финансовом выражении, при этом морской коллаген обладает преимуществом по сравнению с коллагеном наземных животных вследствие его низкой иммуногенности, отсутствия связанных зоонозных заболеваний и религиозных ограничений на его потребление, а также низкой себестоимости. В результате сравнения наиболее широко производимого коллагена I типа с полученным нами коллагеном V типа выдвинуто предположение об уникальных характеристиках надмолекулярной структуры последнего, обусловленных цикличностью развития плацентарных тканей. Приведен обзор различных технологий фибриллообразующих и сетеобразующих морских коллагенов, которые не охватывают переработку вторичного плацентарного сырья. Предложена обобщенная функциональная схема получения растворимого коллагена, при конкретизации которой для частной технологии следует учитывать физико-химические особенности сырья и принадлежность извлекаемого белка к конкретному типу. Рассмотрены существующие направления использования коллагена в косметической промышленности, обусловленные его биосовместимостью, биоразлагаемостью, биомиметическими и кровоостанавливающими свойствами. Среди спектра назначения возможных косметических препаратов отмечены антивозрастная защита, смягчение и увеличение эластичности кожных покровов, анальгезирующее и регенерирующее действие, защита от УФ-излучения, восстановление структуры волос и укрепление ногтевой пластины. Предложены образцы товарных форм косметических средств на основе полученного нами морского плацентарного коллагена и иных нативных компонентов икры, извлекаемых из вторичного сырья. После применения изготовленных нами косметических препаратов у добровольцев отсутствовали какие-либо отрицательные эффекты. Спрогнозирован синергетический эффект при совместном использовании коллагена I и V типов. Отмечен экологический аспект производства морского плацентарного коллагена.

Ключевые слова: морской плацентарный коллаген, структура коллагена, технология морского коллагена, косметическая промышленность

© Рачкова Н. А., Соклаков В. В., Воротников Б. Ю.

Для цитирования: Рачкова Н. А., Соклаков В. В., Воротников Б. Ю. Биоэкологический потенциал морского плацентарного коллагена в косметологии // Известия КГТУ. 2022. № 65. С. 66–80.

Original article

Bioecological potential of marine placental collagen in cosmetology

Natalya A. Rachkova[1], Vladimir V. Soklakov[2], Boris Yu. Vorotnikov[3]
[1,2,3]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[3]vorotnikov@klgtu.ru

Abstract. The projected growth of fish products will entail an increase in the volume of unused waste, which protein part is significantly represented by collagen. The global market for this product is expected to double in 10 years in financial terms, while marine collagen has an advantage over the collagen of terrestrial animals due to its low immunogenicity, absence of associated zoonotic diseases and religious restrictions on its consumption, as well as low cost. As a result of comparing the most widely produced type I collagen with the type V collagen we obtained, a suggestion has been made about the unique characteristics of the supramolecular structure of the latter, due to the cyclical development of placental tissues. An overview is given of various technologies for the production of fibrillating and network-forming marine collagens, which do not cover processing of secondary placental raw materials. A generalized functional scheme for the production of soluble collagen has been proposed. And when one specifies it for a particular technology, it is necessary to take into account physicochemical characteristics of the raw material and the specific type of the extracted protein. The existing directions of the collagen use in the cosmetic industry have been considered, associated with its biocompatibility, biodegradability, biomimetic and hemostatic properties. Among the spectrum of possible cosmetic preparations, anti-aging protection, softening and increasing the elasticity of the skin, analgesic and regenerating effect, protection from UV radiation, restoration of the hair structure and strengthening of the nail bed have been noted. Samples of commercial forms of cosmetics based on the marine placental collagen and other native components of roe extracted from secondary raw materials have been proposed. The volunteers did not have any negative effects after using the cosmetic preparations developed by us. A synergistic effect is predicted with the joint use of collagen types I and V. The ecological aspect of the production of marine placental collagen has been mentioned.

Keywords: marine placental collagen, collagen structure, technology of marine collagen, cosmetics industry

For citation: Rachkova N. A., Soklakov V. V., Vorotnikov B. Yu. Bioecological potential of marine placental collagen in cosmetology. *Izvestiya KGTU = KSTU News.* 2022;(65):66–80. (In Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Общемировое производство рыбной продукции согласно оценкам ВОЗ планируется увеличить со 175 млн т в 2017 г. до 194 млн т в 2026 г., при этом, по

расчетам специалистов стран Евросоюза, неиспользуемыми остаются более 50 % отходов рыбопереработки, общий объем которых составляет порядка 32 млн т [1, 2].

Одним из основных по объему потенциальных продуктов переработки вторичного рыбного сырья представляется коллаген – самый распространенный в природе животный белок, составляющий до 35 % от общего количества протеинов [3]. Сфера применения коллагеновых препаратов крайне широка: она охватывает как минимум пищевую, фармацевтическую, химическую, косметическую промышленность и производство кормов.

Общемировой рынок коллагена постоянно растет: так, в 2016 г. он оценивался в $3,71 млрд, в 2018 г. составил уже $4,27 млрд, и прогнозируется, что он достигнет $6,63 млрд к 2025 г. [4, 5]. При этом производство и использование морского коллагена становятся все более актуальными не только по причине поиска безотходных технологий переработки гидробионтов, но и по целому ряду причин, приводящих к снижению использования отходов переработки свиней и крупного рогатого скота, являющихся традиционным сырьем для его получения. Среди таких причин можно назвать характерные для указанного сырья зоонозные заболевания (губчатая энцефалопатия крупного рогатого скота, инфекционная спонгиформная энцефалопатия, свиной грипп, ящур), вследствие чего приняты законодательные ограничения для его использования в странах Евросоюза, а также неприемлемость получаемого коллагена для определенных потребительских групп по религиозным мотивам. Кроме того, по итогам регулярного длительного применения препаратов на основе коллагена млекопитающих отмечено возникновение аллергических реакций и незавершенного остеогенеза [5]. К достоинствам же морского коллагена можно отнести его большее содержание в сырье по сравнению с коллагеном наземных животных, меньшее содержание в нем биологических токсинов и различных контаминантов, меньшую иммуногенность и цитотоксичность, пониженный воспалительный ответ и метаболическое соответствие, что позволило Управлению по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США присвоить морскому коллагену оценку общепризнанно безопасного (GRAS) [1, 2, 4–18]. К тому же очевидно, что использование прилова, некондиционного пищевого сырья и пищевых отходов рыбопереработки, т. е. сырья с отрицательной товарной стоимостью, делает морской коллаген более дешевым, нежели коллаген наземных животных [8].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Особенности структуры коллагенов

Известно, что в основе молекулярной структуры коллагенов всех типов лежат три взаимно переплетенные спиральные полипептидные цепи, в значительной степени обусловливающие биохимические особенности этих белков. Другими отличительными характеристиками коллагенов являются массовые доли характерных аминокислот: глицина, составляющего около 33 %, суммы пролина и оксипролина, достигающей приблизительно 25 %, аланина – 10 и суммы аргинина, лизина, аспарагина и глутамина – 20 %, а также отсутствие в их составе цистеина и триптофана [5, 15, 19].

В современной классификации различают 29 типов коллагена. Коллагены I (производство которого имеет наибольшие масштабы) и V (полученный нами) типов относят к фибриллообразующим [2, 3, 8, 15]. Базовым элементом фибриллообразующего коллагена является так называемый тропоколлаген, или γ-цепь (рис. 1) – левозакрученная вокруг общей оси гетеротримерная молекула. Тропоколлаген состоит из димера, обозначаемого как β-цепь, который, в свою очередь, представляет собой две цепи типа α1 (в которых есть альтернативно-скрученная область), и одной цепи типа α2 (в которой альтернативно-скрученная область отсутствует). Каждая из таких цепей включает более 1400 аминокислотных остатков. В молекуле тропоколлагена выделяют три домена: N-концевой, у которого отсутствует тройная спираль (N-телопептид); центральный домен в виде тройной спирали, составляющий приблизительно 95 % размера всей молекулы белка, и также неспирализованный С-концевой (С-телопептид). Центральный домен образуется благодаря повторению участков (G-X-Y)n, где G – формирующий коллагеновую структуру глицин, а X и Y зачастую представлены соответственно пролином и оксипролином. В надмолекулярной структуре коллагена от четырех до восьми тропоколлагеновых молекул соединены в поперечной плоскости ковалентными связями, составляя структурную единицу коллагеновых фибрилл [2–5, 8–10, 12–14, 20].

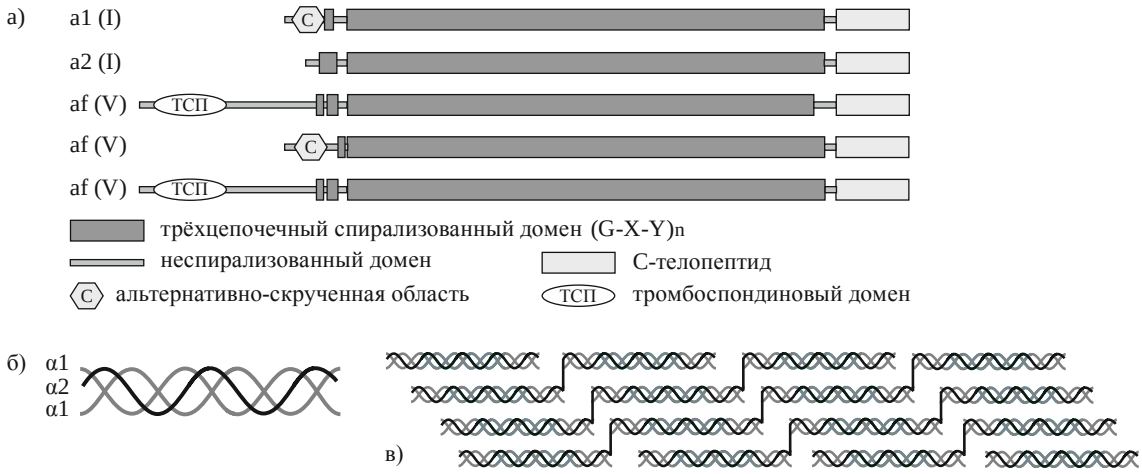

Рис. 1. Представление различных уровней структуры коллагена [3, 15]: а) схема первичных структур молекул изоформ коллагена I и V типов; б) структура спирализованного домена на примере коллагена I типа; в) надмолекулярная структура коллагена на примере коллагена I типа

Fig. 1. Representation of various levels of collagen structure [3, 15]: a) diagram of the primary structures of types I and V collagen isoforms; b) structure of the spiralized domain as in the case of type I collagen; c) supramolecular structure of collagen as in the case of type I collagen

Коллаген I типа – наиболее распространенный в природе тип, представленный повсеместно в организме и являющийся ключевым структурным элементом костей, кожи, сухожилий, роговицы. Коллаген V типа присутствует в костном матриксе, строме роговицы, интерцистальном матриксе мышц, печени, легких и особенно плаценты. Наиболее распространенная изоформа данного типа пред-

ставляет собой гетеротримерную молекулу, состоящую из двух цепей типа α1 и одной цепи типа α2. Помимо разницы в составе аминокислот α1- и α2-цепей рассматриваемых типов коллагенов, основным их структурным отличием является наличие у коллагена V типа тромбоспондинового домена, отсутствующего у коллагена I типа (рис. 1). Предполагается, что на супермолекулярном уровне тройная спираль у коллагена V типа расположена внутри фибриллы, в то время как коллаген I типа находится вдоль поверхности волокна. Соответственно, коллаген V типа в тканях зачастую дополняет и образует комплексы с коллагеном I типа, определяя толщину макромолекулярных фибрилл [3].

С учетом того, что такой тип коллагена превалирует в высокоспецифичных по своей физиологической роли тканях биологических объектов, нами предположено наличие уникальных характеристик его надмолекулярной структуры. Такая уникальность заключается в возможной физиологической изменчивости супермолекул коллагена V типа, обусловленной цикличностью развития плацентарных тканей, отличающейся от сравнительно статичного состояния других органов, в которых превалирует I тип коллагена. С учетом физиологических особенностей таких плацентарных продуктов гидробионтов, как икра, можно предположить наличие у его оболочки надмолекулярной структуры не в виде фибрилл, а, скорее, в виде трехмерных поверхностей с гексагональным расположением макромолекул.

Получение морских коллагенов

В качестве источника морского коллагена используется значительное количество промысловых и аквакультурных видов рыб, а также нерыбных объектов промысла. Среди них можно отметить следующие [1, 4–6, 8–10, 12–18, 21–31]:

– лучеперые рыбы – представители incertae sedis семейств *Priacanthidae* Günther, горбылевые (*Sciaenidae* Cuvier), латовые (*Latidae* Jordan), луциановые (*Lutjanidae* Gill), нитеперовые (*Nemipteridae* Regan), спаровые (*Sparidae* Rafinesque), отрядов акропоматообразные (*Acropomatiformes*), аулопообразные (*Aulopiformes*), гоноринхообразные (*Gonorynchiformes*), иглобрюхообразные (*Tetraodontiformes*), иглообразные (*Syngnathiformes),* камбалообразные (*Pleuronectiformes*), карпообразные (*Cypriniformes*), корюшкообразные (*Osmeriformes*), лососеобразные (*Salmoniformes*), окунеобразные (*Perciformes*), осетрообразные (*Acipenseriformes*), сельдеобразные (*Clupeiformes*), скумбриеобразные (*Scombriformes*), сомообразные (*Siluriformes*), ставридообразные (*Carangiformes*), трескообразные (*Gadiformes*), угреобразные (*Anguilliformes*), цихлообразные (*Cichliformes*), щукообразные (*Esociformes*);

– хрящевые рыбы – представители отрядов воббегонгообразные (*Orectolobiformes*), карахинообразные (*Carcharhiniformes*), разнозубообразные (*Heterodontiformes*), скатообразные (*Rajiformes*);

– млекопитающие – представители отряда китопарнокопытные (*Cetartiodactyla*);

– пресмыкающиеся – представители семейства аллигаторовые (*Alligatoridae G*ray);

– головоногие моллюски – представители отрядов океанические кальмары (*Oegopsida*), осьминоги (*Octopoda*), каракатицы (*Sepiida*);

– двустворчатые моллюски – представители отряда *Pectinida*;

– морские звезды – представители отряда *Comatulida*;

– голотурии – представители отрядов *Holothuriida, Molpadida, Synallactida*;

– обыкновенные морские губки – представители отрядов *Chondrosiida, Dictyoceratida, Tetractinellida*;

– сцифоидные – представители отрядов дискомедузы (*Semaeostomeae*), корнероты (*Rhizostomeae*).

Несмотря на видовое разнообразие сырья, как правило, при переработке перечисленных гидробионтов использовались их кожа, чешуя или кости, в отдельных случаях – хрящи, поверхностная мышечная ткань, плавательный пузырь, отходы производства сурими, опорные пластинки, желудки, ротовые лопасти, зонтики, но не части гонад, что было предложено нами в рамках комплексной технологии икры [4, 8, 10, 14, 18, 20, 23, 31–34].

Помимо традиционно получаемого коллагена I типа, в качестве минорного компонента производят и коллаген V типа, сырьем для которых служат кожа и кости рыб, а также целенаправленно – коллаген II типа (фибриллообразующий) из хрящей хрящевых рыб и зонтика дискомедуз и коллаген IV типа (сетеобразующий) из морских губок [14]. При этом следует отметить, что в настоящее время особое внимание уделяется производству плацентарного коллагена, источником которого традиционно является крупный рогатый скот. Особенность такого коллагена заключается в том, что его основным типом является V, а коллаген I и III типов присутствуют в данном сырье в минорных количествах [11].

Нами была предложена обобщенная функциональная схема получения растворимого коллагена (рис. 2), которая может быть использована в качестве отправной точки для разработки конкретной технологии. Отдельная технология должна учитывать как физико-химические особенности конкретного вида коллагенсодержащего сырья, так и целевой тип извлекаемого коллагена. Тип коллагена при этом будет определять количество энергии, необходимой для разрушения его надмолекулярных структур: так, если солюбилизация коллагена I типа очевидно энергоемка, то солюбилизация коллагена IV типа требует абсолютно иных условий, которые энергетически можно охарактеризовать как сравнительно мягкие [14].

Упомянутые выше особенности плацентарного коллагена, а также физико-химические характеристики используемого сырья – ястычных пленок и лопанца икорного зерна – позволили нам получить морской плацентарный коллаген по упрощенной схеме, сократив значительное число этапов в каждой из трех основных частей технологической схемы получения растворимого коллагена, представленной на рис. 2 [35]. К таким физико-химическим особенностям можно отнести толщину используемых пленок и икорных оболочек, малое количество сопутствующих тканевых липидов, отсутствие пигментированных тканей. В производственных условиях на основе предложенных нами подходов был налажен коммерческий выпуск морского плацентарного коллагена под торговым наименованием «Плаценкол».

Перспективы использование биополимеров в косметической промышленности

Функциональное природное назначение коллагена – поддержание стабильности и прочности тканей организма за счет создания сетчатой опоры вдоль всех клеточных структур – определило большинство направлений его применения, в

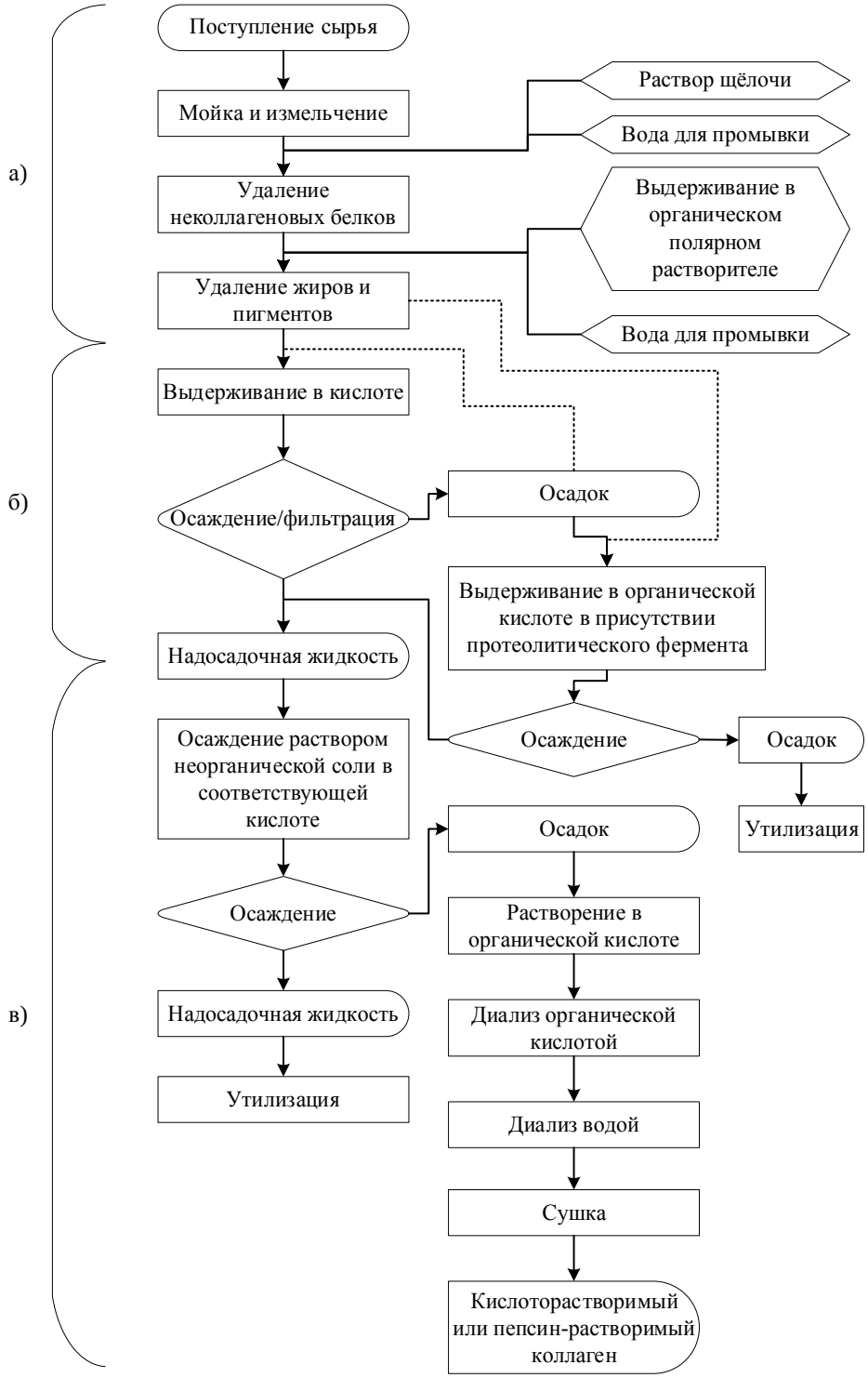

Рис. 2. Функциональная технологическая схема получения растворимых коллагенов (модифицировано на основе [9]): а) первичная обработка сырья; б) экстракция коллагена; в) восстановление коллагена

Fig. 2. Functional technological scheme for the production of soluble collagens (modified from [9]): a) primary processing of raw material; в) collagen extraction; c) collagen regeneration

том числе в косметической промышленности. Сама возможность использования коллагенов в данном направлении обусловлена их уникальными положительными свойствами: биосовместимостью (среди прочего – с другими белками, например, альбумином), биоразлагаемостью, биомиметическими и кровоостанавливающими [8, 9, 15, 36, 37]. Кроме того, в растворенном состоянии коллаген способен за счет возникающих ковалентных связей между отдельными молекулами формировать матрицы, создавая гидрогели подобно желатину [10]. Использование в косметической промышленности именно фибриллообразующих коллагенов объясняется их функциональным назначением, а применение коллагенов I – III и V типов можно объяснить как их наибольшей доступностью на рынке функциональных компонентов, так и тем, что основное количество коллагена человеческой кожи представлено именно этими типами [5, 15].

Спектр назначения косметических препаратов с коллагеном охватывает антивозрастную защиту кожных покровов, разглаживание морщин, смягчение и увеличение эластичности кожи, увлажняющее, анальгезирующее, регенерирующее действие (в том числе проявляя свойства микробиально-инфильтрующего барьера), защиту от УФ-излучения, восстановление структуры волос и укрепление ногтевой пластины [4–7, 11, 14, 17, 18, 21, 24, 37–41]. При этом эффект применения коллагена в косметических средствах связан помимо прочего и с его пленкообразующими свойствами, непосредственно влияющими на трансэпидермальную потерю влаги и позволяющими защитить кожу от агрессивного воздействия факторов внешней среды, что показано для ухода за сухой и нормальной кожей [4, 5, 15]. Содержание коллагена в косметических препаратах в зависимости от их назначения составляет 0,02–3,0 % масс [38–42]. В разработанных нами товарных формах косметических средств на основе морского плацентарного коллагена его содержание находилось в указанном диапазоне.

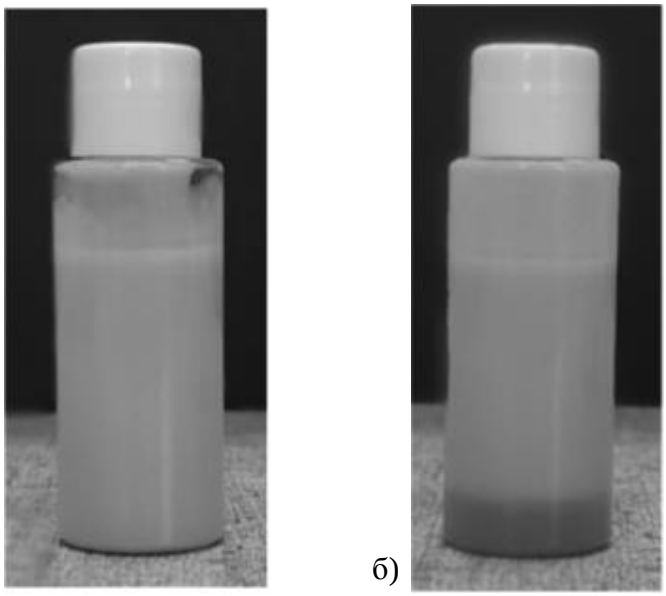

Рис. 3. Эмульсии с использованием морского плацентарного коллагена:
а) стойкая эмульсия с добавлением ПАВ; б) нестойкая эмульсия без ПАВ
Fig. 3. Emulsions using marine placental collagen: a) stable emulsion with surfactant added; б) non-stable emulsion without surfactant

Авторами была отмечена низкая эмульгирующая способность полученного морского плацентарного коллагена. Так, при изготовлении лосьона с солнцезащитным фактором мы столкнулись с необходимостью включения в состав соединений, обладающих поверхностно-активными свойствами, чтобы придать стойкость данной товарной форме (рис. 3), что согласуется с полученными нами ранее данными об эмульгирующих свойствах фибриллярных белков [43].

Разработанные первые образцы эмульсионных косметических средств были обогащены оставшимися нативными компонентами икры – глобулярными белками, каротиноидами, фосфолипидами по аналогии с имеющимися на рынке кремами под брендами Salmon и Caviar от компании Farmstay. При этом в качестве сырья мы использовали нетоварные ястыки аквакультурного и «дикого» происхождения, следуя предложенному нами подходу по комплексной переработке икры лососевых рыб [34, 44].

Образцы были опробованы добровольцами. Не было отмечено каких-либо аллергенных или иных отрицательных эффектов, что может служить аргументом для промышленного выпуска таких форм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, что производство морского плацентарного коллагена для его дальнейшего использования в косметической промышленности, помимо экономического стимула, обладает экологической перспективой. Так, утилизация образующихся отходов рыбопереработки снижает их воздействие на окружающую среду, для которой они являются одним из стратегических экологических составляющих во всей пищевой промышленности.

Применительно к икорной продукции, представляющей собой традиционный деликатес, можно утверждать, что проблема ее доступности в совокупности с решением проблем устойчивого развития будет решена в рамках аквакультуры, однако негативное воздействие отходов икорного производства решается исключительно посредством создания комплексной технологии переработки сырья, предполагающей концентрацию минорных компонентов. Таким стратегическим направлением развития технологий и может стать производство косметических средств с доказанной эффективностью, что будет особенно актуально уже в ближайшем будущем с учетом устойчивого тренда на рост объемов аквакультуры.

Список источников

1. Arvanitoyannis I. S., Kassaveti A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses // Int. J. of Food Sci. and Techn. 2008. No. 43. P. 726–745.

2. Seafood processing by-products: collagen and gelatin / C. Wang, T. Chang, L. Shi, H. Yang, M. Cui, L. Tambalu // Seafood processing by-products. Trends and applications / Ed. by S.-K. Kim. New York: Springer. 2014. P. 207–242.

3. Biochemistry of collagens, laminins and elastin. Structure, function and biomarkers / Ed. by M. A. Karsdal. London: Academic Press. 2016. 238 p.

4. Ahmed M., Verma A. K., Patel R. Collagen extraction and recent activities of collagen peptides derived from seafood waste: a review // Sustainable Chemistry and Pharmacy. 2020. Vol. 18. No. 100315. 13 p.

5. Avila Rodriguez M. I., Rodriguez Barroso L. G., Sánchez M. L. Collagen: a review on its sources and potential cosmetic application // J. Cosmet. Dermatol. 2017. No. 00:1-7. 7 p.

6. Cosmetic potential of marine fish skin collagen / A. L. Alves, A. L. P. Marques, E. Martins, T. H. Silva, R. L. Leis // Cosmetics. 2017. Vol. 39. No. 4. 16 p.

7. Brunt E. G., Burgess J. G. The promise of marine molecules as cosmetic active ingredients // Int. J. of Cosmetic Science. 2018. No. 40. 15 p.

8. Marine collagen from alternative and sustainable sources: extraction, processing and applications / D. Coppola, M. Oliviero, G. A. Vitale, C. Lauritano, I. D'Ambra, S. Iannace, D. de Pascale // Marine Drugs. 2020. Vol. 18. No. 214. 23 p.

9. Benjakul S., Nalinanon S., Shahidi F. Fish collagen // Food biochemistry and food processing / Ed. by B. K. Simpson. Ames: Wiley-Blackwell, 2012. P. 365–387.

10. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: a review / M. C. Gómez-Guillén, B. Giménez, M. E. López-Caballero, M. P. Montero // Food Hydrocolloids. 2011. No. 25. P. 1813–1827.

11. Gulevsky A. K., Shcheniavsky I. I. Collagen: structure, metabolism, production and industrial application // Biotechnologia Acta. 2020. Vol. 13. No. 5. P. 42–61.

12. Jeong H.-S., Venkatesan J., Kim S.-K. Isolation and characterization of collagen from marine fish (*Thunnus obesus*) // Biotechnology and Bioprocess Engineering. 2013. No. 18. P. 1185–1191.

13. Hydrolyzed collagen – sources and applications / A. Léon-López, A. Morales-Peñaloza, V. M. Martínez-Juárez, A. Vargas-Torres, D. I. Zeugolis, G. Aguirre-Álvarez // Molecules. 2019. Vol. 24. No. 4031. 16 p.

14. Marine origin collagens and its potential application / T. H. Silva, J. Moreira-Silva, A. L. P. Marques, A. Domingues, Y. Bayon, R. L. Reis // Marine Drugs. 2014, Vol. 12. P. 5881–5901.

15. Collagen based materials in cosmetic application: a review / A. Sionkowska, K. Adamiak, K. Musiał, M. Gadomska // Materials. 2020. Vol. 13. No. 4217. 15 p.

16. Fish and fish side streams are valuable sources of high-value components / A.-L. Välimaa, S. Mäkinen, P. Mattila, P. Marnila, A. Pihlanto, M. Mäki, J. Hiidenhovi // Food Quality and Safety. 2019. No. 3. P. 209–226.

17. Белковые ресурсы рыбного происхождения – источник здоровья и красоты / Л. В. Антипова, С. А. Сторублевцев, М. А. Пискова, Ю. З. Химишев // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 138–144.

18. Болгова С. Б. Рыбные коллагены: получение, свойства и применение: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.18.07. Воронеж, 2015. 20 с.

19. Biochemistry of collagen / Ed. by G. N. Ramachandran, A. H. Reddi. New York: Springer Science+Business Media, 1976. 536 p.

20. Kuwahara J. Extraction of type I collagen from tilapia scales using acetic acid and ultrafine bubbles // Processes. 2021. Vol. 9. No. 288. 11 p.

21. Improving the technology of collagen substance from raw fish materials for obtaining porous materials for cosmetology and medicine / L. V. Antipova, I. V. Sukhov, V. S. Slobodyanik, I. I. Kotov, S. S. Antipov // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 640. 7 p.

22. Hydrolysates of fish skin collagen: an opportunity for valorizing fish industry byproducts / M. Blanco, J. A. Vázquez, R. I. Pérez-Martín, C. G. Sotelo // Marine Drugs. 2017. Vol. 15. No. 131. 15 p.

23. Isolation and characterization of acid-soluble collagen from the skin of *Amiurus nebulosus* / L. L. Chen, L. Zhao, M. Yuan, W. Su, H. Liu // Advanced Materials Research. 2013. Vol. 781–784. P. 1728–1735.

24. *Asterias pectinifera* derived collagen peptide-encapsulating elastic nanopolisomes for the cosmetic application / S.-B. Han, B. Won, S.-C. Yang, D.-H. Kim // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2021. Vol. 98. P. 289–297.

25. Collagen extracted from bigeye tuna (*Thunnus obesus*) skin by isoelectric precipitation: physicochemical properties, proliferation and migration activities / X. Lin, Yi. Chen, H. Jin, Q. Zhao, C. Liu, R. Li, F. Yu, Ya. Chen, F. Huang, Z. Yang, G. Ding, Y. Tang // Marine Drugs. 2019. Vol. 17. 12 p.

26. Characterization of collagen extract from the skins of commercial freshwater fish / A. A. S. Muhammad, R. H. Hamdan, R. Shaari, M. F. M. Nordin, R. A. Saufi, S. J. Mei // Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering). 2015. Vol. 77. No. 33. P. 43–48.

27. Nagai T. Collagen from diamondback squid (*Thysanoteuthis rhombus*) outer skin // Zeitschrift für Naturforschung C. 2004. Vol. 59. Iss. 3–4. P. 271–275.

28. Characterization of collagen from sakhalin taimen skin as useful biomass / T. Nagai, M. Saito, Y. Tanoue, N. Kai, N. Suzuki // Food Technology & Biotechnology. 2020. Vol. 58. No. 4. P. 445–454.

29. Способ получения коллагенового продукта: пат. 2614273 Рос. Федерация. № 2014146938 / Антипова Л. В., Сторублевцев С. А., Болгова С. Б.; заявл. 24.11.2014; опубл. 24.03.2017. Бюл. № 9. 6 с.

30. Способ получения коллагеновой дисперсии: пат. 2259779 Рос. Федерация. № 2002126623/13 / Антипова Л. В., Глотова И. А., Дворянинова О. П.; заявл. 08.10.2002; опубл. 10.09.2005. Бюл. № 25. 11 с.

31. Способ получения сухого микропорошка коллагена: пат. 2604504 Рос. Федерация. № 2015111757/13 / Гармаева Д. К., Никифоров П. В.; заявл. 31.03.2015, опубл. 10.12.2016. Бюл. № 34. 5 с.

32. Способ изготовления сухого рыбного коллагена: пат. 2232515 Рос. Федерация. № 2002113968/13 / Чертова Е. Н., Заметалина Л. Г., Харченко О. А., Истранов Л. П., Абоянц Р. К.; заявл. 28.05.2002; опубл. 20.07.2004. Бюл. № 20. 6 с.

33. Способ получения коллагена: пат. 2272808 Рос. Федерация. № 2004106115/13 / Баер Н. А., Неклюдов А. Д., Зиборов В. А., Леонов А. Ю.; заявл. 03.03.2004; опубл. 27.03.2006. Бюл. № 9. 5 с.

34. К вопросу необходимости разработки комплексной технологии икры / Н. А. Рачкова, А. В. Строшкова, В. В. Соклаков, Е. С. Вайнерман, Б. Ю. Воротников // Балтийский морской форум: матер. VI Междунар. Балтийского морского форума 3-6 сентября 2018 года: В 6 т. Т. 1. «Инновации в науке, образовании и Предпринимательстве-2018», XVI Междунар. науч. конф. Калининград, 2018. С. 88–95.

35. Способ комплексной переработки икры гидробионтов: пат. 2733896 Рос. Федерация. № 2019128233 / Воротников Б. Ю., Рачкова Н. А., Вайнерман Е. С., Соклаков В. В.; заявл. 09.09.2019; опубл. 09.10.2020. Бюл. № 28. 5 с.

36. Biochemical and structural characterization of sturgeon fish skin collagen (*Huso huso*) / M. Atef, S. M. Ojagh, A. M. Latifi, M. Esmaeili, C. C. Udenigwe // J. Food Biochem. 2020. No. 00:e13256. 10 p.

37. Geanaliu-Nicolae R.-E., Andronescu E. Blended natural support materials – collagen based hydrogels used in biomedicine // Materials. 2020. Vol. 13. 31 p.

38. Дневной крем-гель для сухой и нормальной кожи: пат. 2384322 Рос. Федерация. № 2008116525/15 / Киппер С. Н.; заявл. 25.04.2008, опубл. 20.03.2010. Бюл. № 8. 11 с.

39. Крем для кожи: пат. 2090179 Рос. Федерация. № 93039310/14 / Кучумова Л. Я., Сидоркина О. М., Маяцкая Т. В.; заявл. 02.08.1993; опубл. 20.09.1997. 9 с.

40. Лечебно-косметическое средство наружного применения: пат. 2643928 Рос. Федерация. № 2016112347 / Аллахвердов Г. Р., Алейников В. А., Дегтярев Ю. Ю., Матковская Т. А., Юрьева Э. А.; заявл. 01.04.2016; опубл. 06.02.2018. Бюл. № 4. 9 с.

41. Средство для укрепления волос: пат. 2074705 Рос. Федерация. № 94010087/14 / Сидоркина О. М., Кучумова Л. Я.; заявл. 18.03.1994; опубл. 10.03.1997. 9 с.

42. Крем-гель противоугревой: пат. 2405534 Рос. Федерация. № 2009132233/15 / Киппер С. Н.; заявл. 26.08.2009; опубл. 10.12.2010. Бюл. № 34. 12 с.

43. Воротников Б. Ю., Мухин М. А. Исследование стабильности эмульсий, используемых для получения икры белковой красной // Технология криля. М.: Информцентр, 1988. С. 48–53.

44. Воротников Б. Ю., Соклаков В. В., Рачкова Н. А. Технологические перспективы выделения биомедицинских продуктов из гидробионтов Мирового океана физико-химическими методами // Балтийский морской форум: матер.VIII Междунар. Балтийского морского форума 5–10 октября 2020 года: В 6 т. Т. 1. «Инновации в науке, образовании и предпринимательстве – 2020», XVIII Междунар. науч. конфе. Калининград, 2020. С. 65–69.

References

1. Arvanitoyannis I. S., Kassaveti A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *Int. J. of Food Sci. and Techn.*, 2008, no. 43, pp. 726–745.

2. Seafood processing by-products. Trends and applications. Ed. by S.-K. Kim. New York, Springer, 2014, 593 p.

3. Biochemistry of collagens, laminins and elastin. Structure, function and biomarkers. Ed. by M. A. Karsdal. London, Academic Press, 2016, 238 p.

4. Ahmed M., Verma A. K., Patel R. Collagen extraction and recent activities of collagen peptides derived from seafood waste: a review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 2020, vol. 18, no. 100315, 13 p.

5. Avila Rodriguez M. I., Rodriguez Barroso L. G., Sánchez M. L. Collagen: a review on its sources and potential cosmetic application. *J. Cosmet. Dermatol*., 2017, no. 00:1-7, 7 p.

6. Alves A. L., Marques A. L. P., Martins E., Silva T. H., Leis R. L. Cosmetic potential of marine fish skin collagen. *Cosmetics*, 2017, vol. 39, no. 4, 16 p.

7. Brunt E. G., Burgess J. G. The promise of marine molecules as cosmetic active ingredients. *Int. J. of Cosmetic Science*, 2018, no. 40, 15 p.

8. Coppola D. Oliviero M., Vitale G. A., Lauritano C., D'Ambra I., Iannace S., de Pascale D. Marine collagen from alternative and sustainable sources: extraction, processing and applications. *Marine Drugs*, 2020, vol. 18, no. 214, 23 p.

9. Food biochemistry and food processing. Ed. by B. K. Simpson. Ames, Wiley-Blackwell, 2012, 896 p.

10. Gómez-Guillén M. C., Giménez B., López-Caballero M. E., Montero M. P. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: a review. *Food Hydrocolloids*, 2011, no. 25, pp. 1813–1827.

11. Gulevsky A. K., Shcheniavsky I. I. Collagen: structure, metabolism, production and industrial application. *Biotechnologia Acta*, 2020, vol. 13, no. 5, pp. 42–61.

12. Jeong H.-S., Venkatesan J., Kim S.-K. Isolation and characterization of collagen from marine fish (*Thunnus obesus*). *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2013, no. 18, pp. 1185–1191.

13. Léon-López A., Morales-Peñaloza A., Martínez-Juárez V. M., Vargas-Torres A., Zeugolis D. I., Aguirre-Álvarez G. Hydrolyzed collagen – sources and applications. *Molecules*, 2019, vol. 24, no. 4031, 16 p.

14. Silva T. H., Moreira-Silva J., Marques A. L. P., Domingues A., Bayon Y., Reis R. L. Marine origin collagens and its potential application. *Marine Drugs*, 2014, vol. 12, pp. 5881–5901.

15. Sionkowska A., Adamiak K., Musiał K., Gadomska M. Collagen based materials in cosmetic application: a review. *Materials*, 2020, vol. 13, no. 4217, 15 p.

16. Välimaa A.-L., Mäkinen S., Mattila P., Marnila P., Pihlanto A., Mäki M., Hiidenhovi J. Fish and fish side streams are valuable sources of high-value components. *Food Quality and Safety*, 2019, no. 3, pp. 209–226.

17. Antipova L. V., Storublevtsev S. A., Piskova M. A., Khimishev Yu. Z. *Belkovye resursy rybnogo proiskhozhdeniya – istochnik zdorov'ya i krasoty* [Protein resources of fish origin – a source of health and beauty]. *Vestnik VGUIT*, 2018, vol. 80, no. 4, pp. 138–144.

18. Bolgova S. B. *Rybnye kollageny: poluchenie, svoystva i primenenie. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Fish collagens: derivation, properties and application. Abstract of dis. Ph.d.]. Voronezh, 2015, 20 p.

19. Biochemistry of collagen. Ed. by G. N. Ramachandran, A. H. Reddi. New York, Springer Science+Business Media, 1976, 536 p.

20. Kuwahara J. Extraction of type I collagen from tilapia scales using acetic acid and ultrafine bubbles. *Processes*, 2021, vol. 9, no. 288, 11 p.

21. Antipova L. V., Sukhov I. V., Slobodyanik V. S., Kotov I. I., Antipov S. S. Improving the technology of collagen substance from raw fish materials for obtaining porous materials for cosmetology and medicine. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 640, 7 p.

22. Blanco M., Vázquez J. A., Pérez-Martín R. I., Sotelo C. G. Hydrolysates of fish skin collagen: an opportunity for valorizing fish industry byproducts. *Marine Drugs*, 2017, vol. 15, no. 131, 15 p.

23. Chen L. L., Zhao L., Yuan M., Su W., Liu H. Isolation and characterization of acid-soluble collagen from the skin of *Amiurus nebulosus*. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 781–784, pp. 1728–1735.

24. Han S.-B., Won B., Yang S.-C., Kim D.-H. *Asterias pectinifera* derived collagen peptide-encapsulating elastic nanopolisomes for the cosmetic application. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2021, vol. 98, pp. 289–297.

25. Lin X., Chen Yi., Jin H., Zhao Q., Liu C., Li R., Yu F., Chen Ya., Huang F., Yang Z., Ding G., Tang Y. Collagen extracted from bigeye tuna (*Thunnus obesus*) skin by isoelectric precipitation: physicochemical properties, proliferation and migration activities. *Marine Drugs*, 2019, vol. 17, 12 p.

26. Muhammad A. A. S., Hamdan R. H., Shaari R., Nordin M. F. M., Saufi R. A., Mei S. J. Characterization of collagen extract from the skins of commercial freshwater fish. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 2015, vol. 77, no. 33, pp. 43–48.

27. Nagai T. Collagen from diamondback squid (*Thysanoteuthis rhombus*) outer skin. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 2004, vol. 59, iss. 3–4, pp. 271–275.

28. Nagai T., Saito M., Tanoue Y., Kai N., Suzuki N. Characterization of collagen from sakhalin taimen skin as useful biomass. *Food Technology & Biotechnology*, 2020, vol. 58, no. 4, pp. 445–454.

29. Antipova L. V., Storublevtsev S. A., Bolgova S. B. Sposob polucheniya kollagenovogo produkta [Method of obtaining collagen product]. Patent RF, no. 2014146938, 2017.

30. Antipova L. V., Glotova I. A., Dvoryaninova O. P. Sposob polucheniya kollagenovoy dispersii [Method of obtaining collagen dispersion]. Patent RF, no. 2002126623/13, 2005.

31. Garmaeva D. K., Nikiforov P. V. Sposob polucheniya sukhogo mikroporoshka kollagena [Method of obtaining dry collagen powder]. Patent RF, no. 2015111757/13, 2016.

32. Chertova E. N., Zametalina L. G., Kharchenko O. A., Istranov L. P., Aboyants R. K. Sposob izgotovleniya sukhogo rybnogo kollagena [Method of dry fish collagen producing]. Patent RF, no. 2002113968/13, 2004.

33. Baer N. A., Neklyudov A. D., Ziborov V. A., Leonov A. Yu. Sposob polucheniya kollagena [Method of obtaining collagen]. Patent RF, no. 2004106115/13, 2006.

34. Rachkova N. A., Stroshkova A. V., Soklakov V. V., Vaynerman E. S., Vorotnikov B. Yu. K voprosu neobkhodimosti razrabotki kompleksnoy tekhnologii ikry [Revisiting the needs of complex roe technology]. *Materialy VI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma. XVI Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Innovatsii v nauke, obrazovanii i predprinimatel'stve-2018"(3–6 sentyabrya 2018 g.)* [Proceedings of VI Int. Baltic Maritime Forum. XVI Int. Sci. Conf. "Innovations in science, education and entrepreneurship-2018 (3–6 September 2018]. Kaliningrad, 2018, vol. 1, pp. 88–95.

35. Vorotnikov B. Yu., Rachkova N. A., Vaynerman E. S., Soklakov V. V. Sposob kompleksnoy pererabotki ikry gidrobiontov [Method of hydrobionts roe complex processing]. Patent RF, no. 2019128233, 2020.

36. Atef M., Ojagh S. M., Latifi A. M., Esmaeili M., Udenigwe C. C. Biochemical and structural characterization of sturgeon fish skin collagen (*Huso huso*). *J. Food Biochem*, 2020, no. 00:e13256, 10 p.

37. Geanaliu-Nicolae R.-E., Andronescu E. Blended natural support materials – collagen based hydrogels used in biomedicine. Materials, 2020, vol. 13, 31 p.

38. Kipper S. N. Dnevnoy krem-gel' dlya sukhoy i normal'noy kozhi [Day gel cream for dry and normal skin]. Patent RF, no. 2008116525/15, 2010.

39. Kuchumova L. Ya., Sidorkina O. M., Mayatskaya T. V. Krem dlya kozhi [Skin cream]. Patent RF, no. 93039310/14, 1997.

40. Allakhverdov G. R., Aleynikov V. A., Degtyarev Yu. Yu., Matkovskaya T. A., Yur'eva E. A. Lechebno-kosmeticheskoe sredstvo naruzhnogo primeneniya [Therapeutic and cosmetic cure for external use]. Patent RF, no. 2016112347, 2018.

41. Sidorkina O. M., Kuchumova L. Ya. Sredstvo dlya ukrepleniya volos [Cure for hair strengthening]. Patent RF, no. 94010087/14, 1997.

42. Kipper S. N. Krem-gel' protivougrevoy [Anti-acne gel cream]. Patent RF, № 2009132233/15, 2010.

43. Vorotnikov B. Yu., Mukhin M. A. Issledovanie stabil'nosti emul'siy, ispol'zuemykh dlya polucheniya ikry belkovoy krasnoy [Research of the stability of emulsions used to produce red protein roe]. *Tekhnologiya krilya* [Kril technology]. Moscow, 1988, pp. 48–53.

44. Vorotnikov B. Yu., Soklakov V. V., Rachkova N. A. Tekhnologicheskie perspektivy vydeleniya biomeditsinskikh produktov iz gidrobiontov Mirovogo okeana fiziko-khimicheskimi metodami [Technological prospects for biomedical products isolation from the World ocean hydrobionts using physical and chemical methods]. *Materialy VIII Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma. XVIII Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "Innovatsii v nauke, obrazovanii i predprinimatel'stve-2020"(5–10 oktyabrya 2020 g.)* [Proceedings of VIII Int. Baltic Maritime Forum. XVIII Int. Sci. Conf. "Innovations in science, education and entrepreneurship-2020 (5–10 October 2020)]. Kaliningrad, 2020, pp. 65–69.

Информация об авторах

Н. А. Рачкова – инженер 1-й категории кафедры «Химия», natalya.rachkova@klgtu.ru
В. В. Соклаков – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания», vladimir.soklakov@klgtu.ru
Б. Ю. Воротников – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия»

Information about the authors

N. A. Rachkova – 1 Category Engineer, Department of Chemistry, natalya.rachkova@klgtu.ru
V. V. Soklakov – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Food Products Technology, vladimir.soklakov@klgtu.ru
B. Yu. Vorotnikov – PhD in Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Chemistry

Статья поступила в редакцию 12.01.2022; одобрена после рецензирования 21.03.2022; принята к публикации 12.04.2022.
The article was submitted 12.01.2022; approved after reviewing 21.03.2022; accepted for publication 12.04.2022.