

УДК665.211

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.58206>

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ИЗ ГИДРОЛИЗАТОВ РЫБ ПОВЫШЕННОЙ ЖИРНОСТИ

© Е.Э. Куприна, Е.С. Гришина, А.Н. Яккола, А.Н. Мануйлов, П.И. Демидов, Ю.Г. Ивненко

Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО), Санкт-Петербург, Россия

**Резюме.** Разработана технология получения биологически активных веществ липоидной природы, обогащенных омега-3-кислотами, из отходов от переработки гидробионтов путем электрохимического гидролиза и криоконцентрирования. Проведен сравнительный анализ состава отходов от разделки сельди и форели и показана целесообразность их использования для получения биологически активных веществ липоидной природы. Разработана технологическая схема и определены выходы жира при его получении из отходов рыб электрохимическим способом. Определен жирнокислотный состав жира, полученного электрохимическим способом. Установлено, что криоконцентрированный жир, полученный из отходов от разделки форели и сельди электрохимическим способом, обладает существенно повышенным содержанием омега-3-кислот и, соответственно, биологической ценностью по сравнению с пищевым и медицинским рыбьим жиром из печени семейства тресковых. Установлено, что при криоконцентрировании концентрация полиненасыщенных жирных кислот возрастает, достигая значений, близких к 90%, что позволяет отнести полученный продукт к биологически активным добавкам. Расчетным путем показано, что для создания функциональных пищевых продуктов на рыбной основе из рыб семейства лососевых достаточно введения 4 г полученной биологически активной добавки на 100 г продукта. Также наблюдается улучшение органолептических свойств пищевых продуктов из нежирных видов рыб. Показано, что для удовлетворения 30% от рекомендуемой суточной нормы потребления омега-3-кислот, при разработке функциональных пищевых продуктов на основе форели радужной и сельди атлантической, необходимо ввести 1,98 г и 1,8 г криоконцентрированного рыбьего жира. После инкапсулирования в нанокapsулы препарат станет пригодным для обогащения омега-3-кислотами любых пищевых продуктов, что является предметом дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** биологически активные пищевые добавки; гидролизат; рыбий жир; криоконцентрирование; омега-3-жирные кислоты; омега-6-жирные кислоты; рыбные отходы; функциональные продукты питания; экстрагирование.

## Как цитировать:

Куприна Е.Э., Гришина Е.С., Яккола А.Н., Мануйлов А.Н., Демидов П.И., Ивненко Ю.Г. Разработка технологии получения эссенциальных жирных кислот из гидролизатов рыб повышенной жирности. // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2021. Т. 23, № 2. С. 119–130. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.58206>

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.58206>

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR PRODUCING ESSENTIAL FATTY ACIDS FROM HYDROLYSATES OF HIGH-FAT FISH

© E.E. Kuprina, E.S. Grishina, A.N. Yakkola, A.N. Manuylov, P.I. Demidov, Y.G. Ivnenko

National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics (ITMO), Saint Petersburg, Russia

**ABSTRACT:** The technology for obtaining biologically active substances of a lipid nature, enriched with omega-3 acids, from waste from the processing of hydrobionts by means of electrochemical hydrolysis and cryoconcentration has been developed. A comparative analysis of the composition of wastes from cutting herring and trout is carried out, and the expediency of their use for obtaining biologically active substances of a lipid nature is shown. A technological scheme has been developed and fat yields have been determined when it is obtained from fish waste by an electrochemical method. The fatty acid composition of the fat obtained by the electrochemical method has been determined. It was found that cryoconcentrated fat obtained from wastes from trout and herring cutting by the electrochemical method has a significantly increased content of omega-3 acids and, accordingly, biological value compared to edible and medical fish oil from the liver of the cod family. It was found that during cryoconcentration, the concentration of polyunsaturated fatty acids increases, reaching values close to 90%, which allows the resulting product to be classified as biologically active additives. It was shown by calculation that to create functional fish-based food products from fish of the salmon family, it is sufficient to introduce 4 g of the obtained biologically active additive per 100 g of the product. There is also an improvement in the organoleptic properties of foods from lean fish species. It has been shown that in order to meet 30% of the recommended daily intake of omega-3 acids in the development of functional food products based on rainbow trout and Atlantic herring, it is necessary to introduce 1.98 g and 1.8 g of cryoconcentrated fish oil. After encapsulation in nanocapsules, the drug will be suitable for enrichment with omega-3 acids in any food products, which is the subject of further research.

**Keywords:** biologically active food additives; hydrolyzate; fish oil; cryoconcentration; omega-3-fatty acids; omega-6-fatty acids; fish waste; functional food; extraction.

**To cite this article:**

Kuprina EE, Grishina ES, Yakkola AN, Manuylov AN, Demidov PI, Ivnenko YG. Development of technology for producing essential fatty acids from hydrolysates of high-fat fish. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2021;23(2):119–130. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma.58206>

Received: 04.01.2021

Accepted: 01.06.2021

Published: 20.06.2021

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует острая нехватка омега-3 и омега-6 ненасыщенных жирных кислот в суточном рационе жителей большинства европейских стран, поскольку их основные пищевые источники — жирная морская рыба, морепродукты [1] — необычная еда для людей в континентальных странах.

Структурные компоненты липидов предотвращают отложение липопротеинов низкой плотности и холестерина на стенках кровеносных сосудов, предотвращают агрегацию клеток крови и образование тромбов, снимают воспаления и т. д. [2]. В отсутствие этих основных факторов питания возникают тяжелые сердечно-сосудистые заболевания, сердечные приступы, инсульты, а продолжительность жизни населения снижается. Омега-3 также используется при лечении диабета и артрита [3, 4]. Потребление полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), согласно рекомендациям по диетическому питанию, заменяет насыщенные жирные кислоты для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний [5]. Самыми богатыми источниками омега-3 ПНЖК (омега-3 ЖК) являются жиры из морских рыб, потребление которых увеличивает защиту от сердечно-сосудистых заболеваний [6, 7]. Кроме того, было показано, что омега-3-ЖК из рыбьего жира являются более мощным средством, чем растительные омега-3-ЖК, для ингибирования опухлей молочной железы [8].

Многочисленные исследования показывают, что, помимо самих гидробионтов, большое количество незаменимых жирных кислот также содержится в отходах от их разделки. Поэтому целесообразно использовать их для получения биологически активных добавок (БАД) в виде концентрированных растворов ненасыщенных жирных кислот. Для разработки технологии был изучен биохимический состав лосося и сельди и показана возможность их применения.

Известно, что для получения липидов БАД из жирного рыбного сырья, насыщенного омега-3- и омега-6-ЖК, витаминами и фосфолипидами, имеют преимущества технологии, основанные на гидролизе белковых компонентов сырья с последующим выделением масляных компонентов из белково-липидной эмульсии, например, технология производства концентрата витамина А [9].

Среди существующих технологий гидролиза отходов переработки гидробионтов, а именно кислотно-щелочных, ферментативных и др., была выбрана технология щелочного гидролиза, основанная на синтезе щелочи в процессе электрохимической обработки сырья [10, 11]. Параметры электрохимической обработки были разработаны нами ранее для выделения белка из ракообразных [12, 13]. Технология позволяет сочетать использование нереакционного раствора с непосредственным воздействием постоянного электрического поля на сырье, что обеспечивает быстрое достижение процесса

растворения и гидролиза дисперсного сырья при низких концентрациях гидроксильных ионов и сохранения качества питательных веществ. Липиды отделяют от раствора белка путем разделения с использованием стандартного оборудования.

При исследовании жирнокислотного состава выделенных липидов обнаружено присутствие в них большого количества омега-3-ЖК. Особая ценность липидов, выделенных из белковых гидролизатов, связана с тем, что липиды мышечных тканей (в частности, отходы от разделки гидробионтов), в отличие от липидов, содержащихся во внутренних органах гидробионтов, содержат вещества, обладающие высокой биологической ценностью (фосфолипиды, омега-3-, омега-6-ЖК, витамины), тогда как во внутренних органах преобладают триглицериды. Несмотря на трудности в разделении омега-3- и омега-6-ЖК (из-за связи с белками в виде липопротеиновых комплексов), нами проведено исследование по их получению из липидов в качестве целевого продукта в рамках электрохимической технологии переработки сырья [14–17].

Концентрация полученных компонентов жира является многообещающей из-за проблематичного потребления больших количеств (15–20 г в день) традиционных пищевых добавок — рыбного жира, в связи с его жирной и специфической консистенцией [16, 18]. В связи с этим особый интерес вызывает разработка технологии извлечения незаменимых жирных кислот из рыбьего жира, в частности методом криоконцентрирования, который позволяет сохранить качество жира благодаря использованию низкотемпературных режимов, что существенно замедляет процессы окисления.

**Цель исследования** — разработать технологию получения эссенциальных жирных кислот из гидролизатов рыб повышенной жирности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования для получения белково-жировой эмульсии (гидролизата) выбрано сырье из форели радужной (*Oncorhynchus mykiss*) и сельди атлантической (*Clupea harengus*). В качестве образца для криоконцентрирования взят жир, полученный путем отделения из эмульсии. Сырую рыбу получали в охлажденном (форель) и замороженном (сельдь) видах. Форель перевозилась в герметично упакованных пластиковых контейнерах. Хранение осуществлялось в холодильной камере при температуре +5 °С. Замороженная сельдь доставлялась блоками, хранение осуществлялось в морозильной камере при температуре –18 °С.

Для получения белкового гидролизата использовали процесс электрохимической обработки включавший в себя определенные стадии: набухания, экстракция водорастворимых компонентов (альбуминов, углеводов и т. д.) и экстракцию труднорастворимых компонентов

(миофибриллярных и других белков, белково-липидных, белково-гликозидных и др. комплексов). Процесс завершается переходом белков, полипептидов, липидов в раствор в виде эмульсии и выпадением в осадок костной или панцирной ткани. Выбранный способ имеет несколько преимуществ:

- высокий выход (95–98%) липидов из сырья;
- проведение одновременно экстракции жира и его рафинирования (за счет обработки в катодной камере электролизера при значениях  $\text{pH} \geq 12,2$ );
- сохранение высокого качества получаемых липидов благодаря щадящим режимам обработки (поскольку они не подвергаются длительному воздействию высоких температур, давления (как в технологии сушки прессованием) или растворителей).

В связи с тем, что жир, выделенный из белковых растворов, характеризуется высокими значениями  $\text{pH}$ , необходима стадия его нейтрализации. Первой стадией гидратации является промывание 10% раствором поваренной соли и горячей водой (температура  $+90$ – $100$  °C) в соотношении 1:1 до полного удаления щелочи и поверхностно-активных веществ. Количество промывок варьируется от 3 до 5. Каждая промывка завершается перемешиванием массы в течение 10–15 мин, отстаиванием в течение 1–2 ч и сливанием нижней части отстоя. Верхняя часть промывается снова. Для удаления оставшейся влаги промытый жир сушат при температуре около  $+140$  °C и вакууме не менее 79,98 кПа при непрерывной работе мешалки. После сушки жир не должен содержать более 0,6% влаги. Затем жир отправляют на сепарирование.

Физико-химические свойства сырья и полученных липидов определяли по ГОСТ 7636-85 [19], а именно, содержание влаги и золы для рыбного сырья, йодное и кислотное число для липидов.

Состав жирных кислот исследовали методом газовой хроматографии (с предварительным метилированием образцов). Полученные образцы рыбьего жира исследовали хроматографическим методом [20]. Анализ качественного состава рыбьего жира проводился на газовом хроматографическом масс-спектрометре GCMS-TQ8040 фирмы Shimadzu (Япония)). Сбор и обработка данных осуществлялись с использованием программного обеспечения указанного прибора. При установлении калибровочных характеристик и проведении измерений массы фракции жирных кислот определенных условий не наблюдалось.

Фракционное деление липидов осуществлялось путем криоцентрирования. Для этого рыбий жир охлаждали в стеклянных пробирках объемом 50 мл, помещенных в емкость с 28% раствором хлористого кальция, охлаждаемого низкотемпературной холодильной установкой. Температура измерялась внутри образца и в охлаждающей среде с помощью электронных

термометров марки Varan (Россия). После фиксирования фазовых переходов в жире при температурах  $+4$ ,  $-6$ ,  $-14$  и  $-37$  °C жир смешивали с ацетоном в соотношении 1:8 и затем повторяли охлаждение от  $+20$  до  $-40$  °C. После каждого фазового перехода жир разделяли на твердую и жидкую фракции фильтрованием.

Достоверность данных была достигнута путем планирования количества экспериментов, необходимых и достаточных для достижения уровня достоверности при  $p < 0,05$ . Статистическая обработка данных проводилась с использованием стандартных методов оценки результатов испытаний для небольших выборок с использованием Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corp., США).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что отходы от разделки сельди атлантической и форели радужной, как и сами рыбы, характеризуются ценным химическим составом, высоким содержанием жира (табл. 1), что указывает на целесообразность использования их как сырьевого источника для получения биологически-активного вещества (БАВ) липоидной природы.

Существенных различий в биохимическом составе кожи, костей, плавников и голов сельди атлантической и форели радужной не выявлено. Поэтому для извлечения жира и других пищевых добавок можно использовать все отходы, перечисленные в табл. 1.

Для получения БАВ, насыщенных омега-3 и омега-6-кислотами, витаминами и фосфолипидами, из жирного рыбного сырья была выбрана технология, основанная на электрохимическом гидролизе белковых компонентов сырья с последующим выделением из белково-липидной эмульсии жировых компонентов [13].

Электрохимический способ воздействия на биологическое сырье включает прямое воздействие электрического поля на сырье и водную среду, что позволяет осуществлять точный контроль процессов, упрощает их автоматизацию, а также снижает энергетические затраты. При обработке сырья в электрическом поле ускоряются процессы диффузии и экстракции, увеличивается интенсивность и глубина протекания химических и физических процессов. Благодаря этому происходит интенсификация переработки сырья.

Для электрохимической обработки использовали электролизеры с плоскопараллельным расположением электродов, разделенных ионоселективной мембраной. Были выбраны оптимальные параметры обработки дисперсного сырья, что обеспечило полное растворение фракции белка: ток, напряжение, время обработки суспензии в электролизере, время нагрева суспензии после электролизера в реакторе с мешалкой. Нерастворимый костный остаток отделяли центрифугированием. Липиды из раствора белка выделяли методом сепарирования.

Технологическая схема комплексной переработки отходов (колтычки, плавники, кости, чешуя, кожа) от разделки лососевых рыб электрохимическим способом с получением липидов из белковых растворов представлена на рис. 1.

Выход жира из отходов от разделки форели и сельди при их переработке электрохимическим способом составил 7 и 8% соответственно, что приближается к 90% от теоретического. Данная технология была разработана с целью максимального сохранения качества БАВ липоидной природы благодаря щадящим условиям воздействия на сырье в процессе экстрагирования. Так как существующие технологии, основанные на использовании органических растворителей, высоких температур, химических реагентов, отличаются «жесткостью» воздействия на сырье, это приводит к окислительной порче БАВ из липидов и белков.

Установлено, что рыбий жир, полученный электрохимическим способом из отходов форели и сельди (табл. 2), содержит значительное количество омега-3 полиненасыщенных жирных кислот (около 30% от суммы жирных кислот), но в количествах, недостаточных для удовлетворения суточной потребности человека (согласно методическим рекомендациям (МР) 2.3.1.2432–08) [21], поэтому необходимо было разработать технологию их концентрирования, так как в работе стояла задача получить рыбий жир с повышенным содержанием омега-3-кислот для последующего капсулирования.

Жир из вторичного рыбного сырья фильтровали до получения прозрачной тягучей массы без включений

и хранили при +4 °С. Для концентрирования жира, содержащего омега-3-ЖК, объект исследования охлаждали. Жир помещался в стеклянные пробирки. Процесс охлаждения жира в пробирках проводился на установке, представляющей собой емкость с раствором хлористого кальция, охлаждаемого низкотемпературной холодильной установкой. Средняя скорость охлаждения и замораживания — 0,3 °С/с. Температура фиксировалась внутри образца и в охлаждающей среде термометрами [22, 23].

Установлено, что фазовые переходы в жире интенсивно происходят при температурах: минус 6, 14 и 37 °С. Фазовые переходы сопровождаются выпадением в осадок менее насыщенных двойными связями фракций липидов. После центрифугирования надосадочную фракцию липидов, обогащенную ненасыщенными жирными кислотами, подвергали дальнейшему охлаждению. На рис. 2 представлены фотоснимки выделившихся при криоконцентрировании фракций.

Эксперимент по охлаждению и замораживанию повторяли, смешивая жир с ацетоном в соотношении 1:8, чтобы обеспечить количественное разделение фракций во время замораживания.

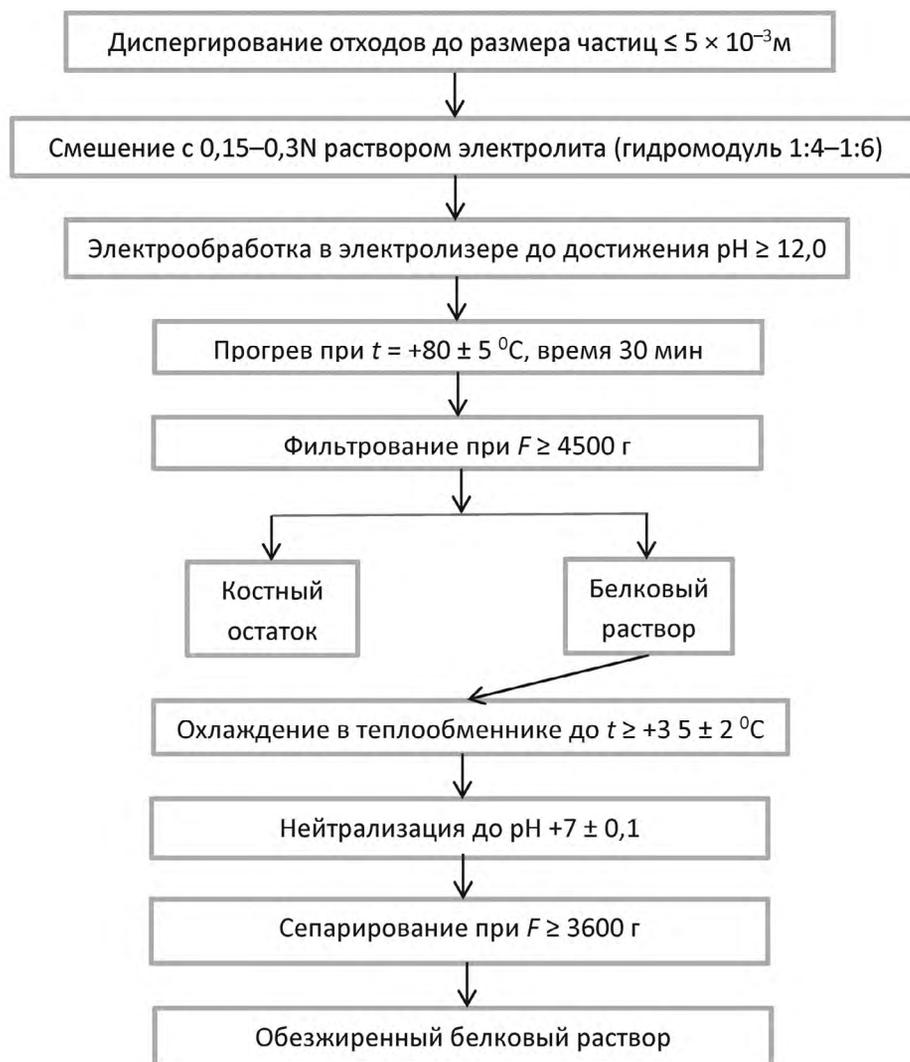
В ходе эксперимента охлаждения БАВ липоидной природы из вторичного рыбного сырья была получена кривая зависимости температуры от времени (рис. 3), где наблюдались участки фазовых переходов и разделения фракций, что соответствует данным патента РФ № 2031923 [17].

Измерения температуры проводились термометром Варан со стандартным отклонением 0,14. После каждого

**Таблица 1.** Химический состав отходов от разделки сельди атлантической и форели радужной, %  
**Table 1.** Chemical composition of waste from cutting Atlantic herring and rainbow trout, %

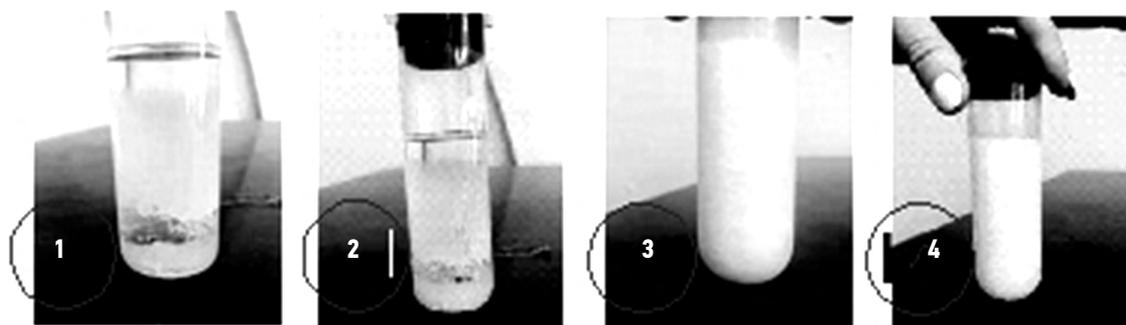
Часть тела	Влага	Жир	Белок	Зола	Энергетическая ценность, ккал
Сельдь атлантическая					
Мясо с кожей	69,0 ± 0,70	7,3 ± 0,39	22,6 ± 0,37	1,8 ± 0,03	161
Кости	58,6 ± 0,89	10,6 ± 0,33	18,8 ± 0,27	9,2 ± 0,38	175,7
Плавники	65,4 ± 0,95	9,4 ± 0,37	16,7 ± 0,31	10,0 ± 0,21	156
Голова	69,5 ± 0,98	9,7 ± 0,08	13,2 ± 0,20	4,7 ± 0,40	139
Форель радужная					
Мясо с кожей	71,3 ± 0,92	5,3 ± 0,26	22,0 ± 0,88	1,5 ± 0,10	139
Кости	62,4 ± 1,13	11,04 ± 0,72	18,2 ± 0,70	9 ± 0,40	176
Плавники	66,4 ± 0,53	6,6 ± 0,44	16,9 ± 0,70	9,75 ± 0,76	130,7
Голова	70,8 ± 0,64	10,2 ± 0,70	14,8 ± 0,40	3,4 ± 0,28	156

*Примечание:* различия между образцами сельди и форели статистически значимы,  $p < 0,05$ .



**Рис. 1.** Технологическая схема комплексной переработки отходов от разделки рыб электрохимическим способом с получением липидов из белковых растворов

**Fig. 1.** Technological scheme of complex processing of waste from fish cutting by electrochemical method with the production of lipids from protein solutions



**Рис. 2.** Жировые фракции, полученные при криоконцентрировании БАВ липоидной природы из вторичного рыбного сырья: 1 — образец жира при +4 °C; 2 — жидкая жировая фракция, отделенная от образца 1 при -6 °C; 3 — жидкая жировая фракция, выделенная из образца 2 при -14 °C; 4 — жидкая жировая фракция, выделенная из образца 3 при -37 °C

**Fig. 2.** Fat fractions obtained by cryoconcentration of lipid BAS from secondary fish raw materials: 1 — fat sample at +4 °C; 2 — liquid fat fraction separated from sample 1 at -6 °C; 3 — liquid fat fraction isolated from sample 2 at -14 °C; 4 — liquid fat fraction isolated from sample 3 at -37 °C

**Таблица 2.** Жирнокислотный состав жира образцов сельди и форели, % от суммы жирных кислот  
**Table 2.** Fatty acid composition of herring and trout samples, % of total fatty acids

Жирная кислота	Индекс жирной кислоты	Средняя проба сельди	Жир из белкового гидролизата сельди	Средняя проба форели
Каприновая	10:0	0,12	0,02	0,02
Лауриновая	12:0	0,28	0,58	0,25
Миристиновая	14:0	2,18	5,98	1,15
Миристолеиновая	14:1	0,06	0,06	0,07
Изо-пентадекановая	15:0i	0,05	0,16	0,20
Антеизо-пентадекановая	15:0ai	0,05	0,05	0,09
Пентадекановая	15:0	0,26	0,31	0,42
Пентадеценовая	15:1	0,05	0,08	0,04
Пальмитиновая	16:0	13,48	10,65	13,15
Гексадеценовая	16:1	0,14	0,12	0,23
Пальмитолеиновая	16:1 9-цис	2,55	4,31	3,43
Маргариновая	17:0	0,22	0,40	0,62
Гептадеценовая	17:1	0,40	0,29	0,49
Стеариновая	18:0	4,1	3,81	4,84
Элаидиновая	18:1 9-транс	0,88	0,81	1,13
Олеиновая	18:1 9-цис	16,80	18,33	20,12
Вакценовая	18:1 11-транс	2,01	1,59	2,05
Октадеценовая	18:1 11-цис	0,09	0,22	0,14
Линолевая	18:2 ω-6	3,59	1,08	1,97
Линоленовая	18:3 ω-6	0,17	0,12	0,06
α-линоленовая	18:3 ω-3	5,80	0,86	0,67
Арахидиновая	20:0	0,11	0,16	0,21
Гондоиновая	20:1	6,90	14,31	10,83
Эйкозодиеновая	20:2	0,33	0,39	0,51
Эйкозатриеновая	20:3 8, 11, 14-транс	0,21	0,15	0,23
Арахидононовая	20:4 ω-6	0,87	0,41	1,08
Эйкозапентаеновая	20:5 ω-3	6,25	2,3	5,45
Бегеновая	22:0	0,07	0,06	0,07
Эруковая	22:1	5,99	15,99	11,23
Докозодиеновая	22:2	0,05	0,09	0,13
Докозапентаеновая	22:5 ω-6	3,66	3,71	3,54
Докозагексаеновая	22:6 ω-3	22,30	7,81	12,03
Лигноцериновая	24:0	0,04	0,10	0,04
Нервоновая	24:1	0,78	0,77	1,24

**Таблица 3.** Зависимость выхода твердой фракции биологически активных веществ липоидной природы из вторичного рыбного сырья от температуры

**Table 3.** Dependence of the yield of the solid fraction of biologically active substances of lipid nature from secondary fish raw materials on temperature

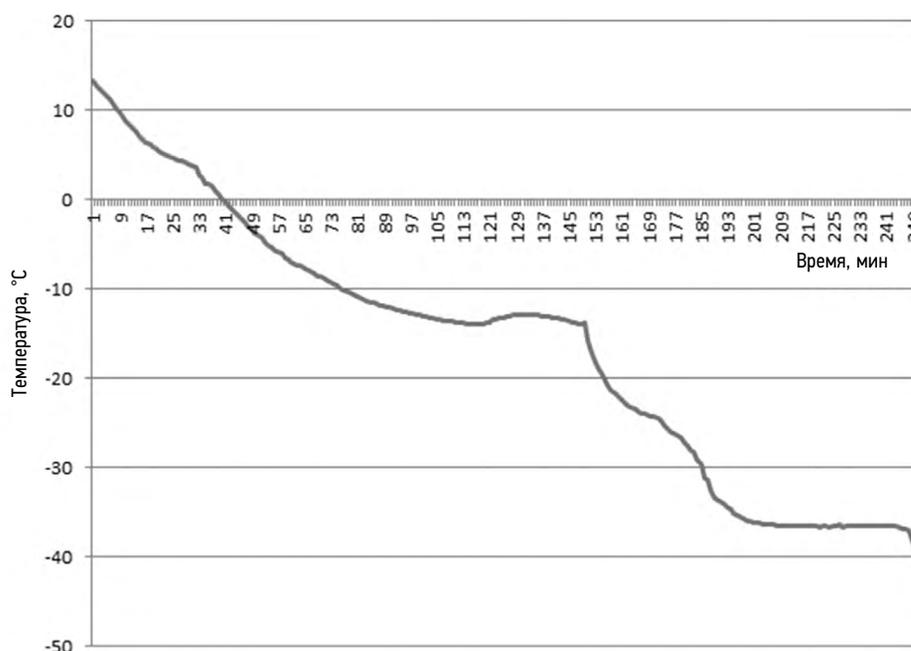
Температура, °С		+4	-14	-37
Отделившаяся фракция, %	Опыт 1	6,0	92,5	55,2
	Опыт 2	5,1	93,0	56,0

фазового перехода осуществлялось отделение выпавшего осадка липоидов и их количественное определение. Результаты фракционного анализа представлены в табл. 3 и на рис. 4.

Используя процесс криоконцентрирования удалось повысить содержание фракций жира, включающих омега-3-ЖК ориентировочно в 3 раза (табл. 4).

По данным МР 2.3.1.2432-08, суточная потребность в омега-3-ЖК составляет в среднем 7,3 г/сут. Расчет осуществлялся с учетом того, что суточная потребность должна соответствовать 1–2% от суточной калорийности рациона (например, 2400 ккал для II группы населения, включающей людей до 30 лет с коэффициентом активности 1,6). Учитывая, что сельдь атлантическая, отобранная для исследования, содержит 1,64 г /100 г рыбы омега-3, а форель содержит 0,97 г / 100 г, для удовлетворения суточной потребности в омега-3-ЖК, продукты из сельди и форели нуждаются в дополнительном обогащении этими кислотами, что достигается введением в них 22 г рыбьего жира в составе функционального пищевого продукта.

Однако технологически затруднительно ввести такое количество липидов в функциональные продукты питания (ФПП), особенно для продуктов не на фаршевой основе. Этот недостаток позволяет устранить разработанная технология криоконцентрирования липидов. С учетом того,

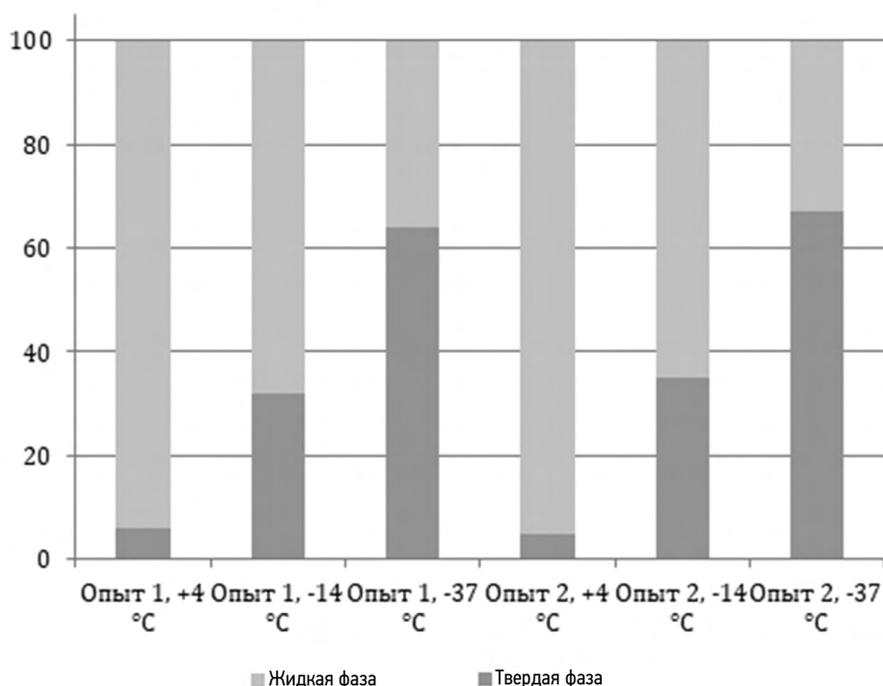


**Рис. 3.** Зависимость фазовых переходов рыбьего жира от температуры и времени охлаждения и замораживания  
**Fig. 3.** Dependence of phase transitions of fish oil on temperature and time of cooling and freezing

**Таблица 4.** Биохимические свойства криоконцентрированного жира, выделенного из гидролизата отходов от разделки форели радужной

**Table 4.** Biochemical properties of cryoconcentrated fat isolated from hydrolysate of waste from cutting rainbow trout

Показатель	БАВ при $t +4$ °С	БАВ при $t -14$ °С	Осадок при $t -14$ °С	БАВ при $t -37$ °С
Кислотное число, мг КОН/г	1,6	1,7	2,3	2,5
Йодное число, г/100 г	109,03	298,29	207,52	341,38
Эйкозопентаеновая кислота, % в жире	0,75	10,00	–	31,3
Докозагексаеновая кислота, % в жире	1,80	24,07	–	62,7



**Рис. 4.** Фракционный состав биологически активных веществ липоидной природы, полученный из отходов от разделки форели радужной

**Fig. 4.** Fractional composition of biologically active substances of lipid nature obtained from waste from cutting rainbow trout

что при криоконцентрировании концентрация омега-3-ЖК увеличивается в 3 раза, достаточно введения 6 г жира на 100 г продукта из сельди и 6,6 г жира на 100 г продукта из форели для удовлетворения суточной нормы потребления омега-3-ЖК. Для удовлетворения 30% от суточной нормы потребления омега-3-ЖК необходимое количество вводимого криоконцентрированного жира составляет до 1,8 и 1,98 г соответственно, что технологически легко реализуемо.

По данным Всемирной организации здравоохранения [24], пищевой продукт относится к группе ФПП, если его потребляемая порция (100 г) обеспечивает на 30% суточную норму потребления целевого компонента.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана технология получения БАВ липоидной природы, обогащенных омега-3-ЖК, из отходов от переработки гидробионтов путем электрохимического гидролиза и криоконцентрирования. Проведен сравнительный анализ состава отходов от разделки сельди и форели,

показана целесообразность их использования для получения БАВ липоидной природы.

2. Создана технологическая схема и определены выходы жира при его получении из отходов рыб электрохимическим способом. Определен жирнокислотный состав жира, полученного электрохимическим способом.

3. Криоконцентрированный жир, полученный из отходов от разделки форели и сельди электрохимическим способом, обладает существенно повышенным содержанием омега-3-ЖК и, соответственно, биологической ценностью по сравнению с пищевым и медицинским рыбным жиром из печени семейства тресковых.

4. Для удовлетворения 30% от рекомендуемой суточной нормы потребления омега-3-ЖК при разработке функциональных пищевых продуктов на основе форели радужной и сельди атлантической необходимо ввести 1,98 г и 1,8 г криоконцентрированного рыбьего жира. После инкапсулирования в нанокapsулы препарат станет пригодным для обогащения омега-3-ЖК любых пищевых продуктов, что является предметом дальнейших исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ryckebosch E., Bruneel C., Muylaert K., & Foubert I. Microalgae as an alternative source of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids // *Lipid Technology*. 2012. Vol. 24. No. 6. P. 128–130. DOI: 10.1002/lite.20120019
2. De Caterina R., Zampolli A., Del Turco, et al. Nutritional mechanisms that influence cardiovascular disease // *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2006. Vol. 83. No. 2. P. 421–426. DOI: 10.1093/ajcn/83.2.421s
3. Weylandt K.H., Kang J.X. Rethinking lipid mediators // *The Lancet*. 2005. Vol. 366. No. 9486. P. 618–620. DOI: 10.1016/s0140-6736(05)67119-x
4. Hurst S., Zainal Z., Catterson B., et al. Dietary fatty acids and arthritis // *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA)*. 2010. Vol. 82. No. 4-6. P. 315–318. DOI: 10.1016/j.plefa.2010.02.008
5. Chowdhury R., Steur M. Invited commentary: dietary polyunsaturated Fatty acids and chronic systemic inflammation – a potentially intriguing link // *American Journal of Epidemiology*. 2015. Vol. 181. No. 11. P. 857–860. DOI: 10.1093/aje/kwv023
6. Nogueira M.S., Scolaro B., Milne G.L., Castro I.A. Oxidation products from omega-3 and omega-6 fatty acids during a simulated shelf life of edible oils // *LWT*. 2019. Vol. 101. P. 113–122. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.11.044
7. Lee J.H., O'Keefe J.H., Lavie C.J., Harris W.S. Omega-3 fatty acids: cardiovascular benefits, sources and sustainability // *Nature Reviews Cardiology*. 2009. Vol. 6. No. 12. P. 753–758. DOI: 10.1038/nrcardio.2009.188
8. Liu J., Abdelmagid S.A., Pinelli C.J., et al. Marine fish oil is more potent than plant-based n-3 polyunsaturated fatty acids in the prevention of mammary tumors // *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2018. Vol. 55. P. 41–52. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2017.12.011
9. García-Moreno P.J., Pérez-Gálvez R., Espejo-Carpio F.J., et al. Lipid characterization and properties of protein hydrolysates obtained from discarded Mediterranean fish species // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013. Vol. 93. No. 15. P. 3777–3784. DOI: 10.1002/jsfa.6266
10. Gajanan P.G., Elavarasan K., Shamasundar B.A. Bioactive and functional properties of protein hydrolysates from fish frame processing waste using plant proteases // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23. No. 24. P. 24901–24911. DOI: 10.1007/s11356-016-7618-9
11. Hleap Zapata J.I., Gutiérrez Castañeda C.A. Hidrolizados de pescado — producción, beneficios y nuevos avances en la industria // *Una revisión Acta Agronómica*. 2017. Vol. 66. No. 3. P. 311–322. DOI: 10.15446/acag.v66n3.52595
12. Kuprina E.E., Kirillov A.I., Ishevski A.L., Murashev S.V. Food supplement based on chitin with enhanced lipid-lowering and sorption properties // *Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivatives*. 2015. No. 20. P. 156–161. DOI: 10.15259/pcacd.20.14
13. Kuprina E.E., Brosalina A.A., Bobilev V.S., Kirillov A.I. Development of food improving calcium-enriched bioactive agents produced from chitinous wastes generated in the process of aquatic animal processing // *Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivatives*. 2014. No. 19. P. 53–64. DOI: 10.15259/pcacd.19.06
14. Najm S., Löfqvist C., Hellgren G., et al. Effects of a lipid emulsion containing fish oil on polyunsaturated fatty acid profiles, growth and morbidities in extremely premature infants: a randomized controlled trial // *Clinical Nutrition ESPEN*. 2017. Vol. 20. P. 17–23. DOI: 10.1016/j.clnesp.2017.04.004
15. Jacobsen C., Sørensen A.D., Nielsen N.S. Stabilization of omega-3 oils and enriched foods using antioxidants. Food enrichment with omega-3 fatty acids // *Woodhead Publishing*. 2013. P. 130–149. DOI: 10.1533/9780857098863.2.130
16. Ghelichi S., Sørensen A.D., García-Moreno P.J., et al. Physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions fortified with enzymatic hydrolysates from common carp (*Cyprinus carpio*) roe // *Food chemistry*. 2017. Vol. 237. P. 1048–1057. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.06.048
17. Патент РФ на изобретение № 2031923/ 27.03.1995. Бюл. № 9. Захарчук А.В., Лобова Е.И., Дубницкая Г.М., Мушин А.А., Левачев М.М. Способ получения рыбьего жира. Доступно по: [https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet?DB=RUPAT&rn=783&DocNumber=2031923&TypeFile=html](https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=783&DocNumber=2031923&TypeFile=html). Ссылка активна на 06.01.2021.
18. Honold P.J., Nouard M.L., Jacobsen C. Fish oil extracted from fish-fillet by-products is weakly linked to the extraction temperatures but strongly linked to the omega-3 content of the raw material // *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2016. Vol. 118. No. 6. P. 874–884. doi: 10.1002/ejlt.201500343
19. ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. Межгосударственный стандарт для стран Евразийского экономического союза: сб. ГОСТов. М.: Стандартиформ, 2010.
20. Godoy HT, Rodriguez-Amaya D. Avaliacao De Metodologias Para A Determinacao De Pro-vitaminas A. Evaluation Of Methodologies For The Determination Of Provitamins A. *Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo*. 1993.
21. Роспотребнадзор. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.
22. Drusch S. An industry perspective on the advantages and disadvantages of different fish oil delivery systems. Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals // *Woodhead Publishing*. 2012. P. 488–504. DOI: 10.1533/9780857095909.4.488
23. Adeyemi W.J., Olayaki L.A. Diclofenac-induced hepatotoxicity: low dose of omega-3 fatty acids have more protective effects // *Toxicology Reports*. 2018. Vol. 5. P. 90–95. DOI: 10.1016/j.toxrep.2017.12.002
24. Fao. Codex Alimentarius: Organically Produced Foods. FAO/WHO, 2001.

## REFERENCES

1. Ryckebosch E, Bruneel C, Muylaert K, & Foubert I. Microalgae as an alternative source of omega-3 long chain polyunsaturated fatty acids. *Lipid Technology*. 2012;24(6):128–130. DOI: 10.1002/lite.20120019
2. De Caterina R., Zampolli A., Del Turco, et al. Nutritional mechanisms that influence cardiovascular disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2006;83(2):421–426. DOI: 10.1093/ajcn/83.2.421s
3. Weylandt KH, Kang JX. Rethinking lipid mediators. *The Lancet*. 2005;366(9486):618–620. DOI: 10.1016/s0140-6736(05)67119-x
4. Hurst S, Zainal Z, Caterson B, et al. Dietary fatty acids and arthritis. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA)*. 2010;82(4–6):315–318. DOI: 10.1016/j.plefa.2010.02.008
5. Chowdhury R, Steur M. Invited commentary: dietary polyunsaturated Fatty acids and chronic systemic inflammation – a potentially intriguing link. *American Journal of Epidemiology*. 2015;181(11):857–860. DOI: 10.1093/aje/kww023
6. Nogueira MS, Scolaro B, Milne GL, Castro IA. Oxidation products from omega-3 and omega-6 fatty acids during a simulated shelf life of edible oils. *LWT*. 2019;101:113–122. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.11.044
7. Lee JH, O'Keefe JH, Lavie CJ, Harris WS. Omega-3 fatty acids: cardiovascular benefits, sources and sustainability. *Nature Reviews Cardiology*. 2009;6(12):753–758. DOI: 10.1038/nrcardio.2009.188
8. Liu J, Abdelmagid SA, Pinelli CJ, et al. Marine fish oil is more potent than plant-based n-3 polyunsaturated fatty acids in the prevention of mammary tumors. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 2018;55:41–52. DOI: 10.1016/j.jnutbio.2017.12.011
9. García-Moreno PJ, Pérez-Gálvez R, Espejo-Carpio FJ, et al. Lipid characterization and properties of protein hydrolysates obtained from discarded Mediterranean fish species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013;93(15):3777–3784. DOI: 10.1002/jsfa.6266
10. Gajanan PG, Elavarasan K, Shamasundar BA. Bioactive and functional properties of protein hydrolysates from fish frame processing waste using plant proteases. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23(24):24901–24911. DOI: 10.1007/s11356-016-7618-9
11. Hleap Zapata JI, Gutiérrez Castañeda CA. Hidrolizados de pescado – producción, beneficios y nuevos avances en la industria. *Una revisión Acta Agronómica*. 2017;66(3):311–322. DOI: 10.15446/acag.v66n3.52595
12. Kuprina EE, Kirillov AI, Ishevski AL, Murashev SV. Food supplement based on chitin with enhanced lipid-lowering and sorption properties. *Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivatives*. 2015;(20):156–161. DOI: 10.15259/pcacd.20.14
13. Kuprina EE, Brosalina AA, Bobylev VS, Kirillov AI. Development of food improving calcium-enriched bioactive agents produced from chitinous wastes generated in the process of aquatic animal processing. *Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivatives*. 2014;(19):53–64. DOI: 10.15259/pcacd.19.06
14. Najm S, Löfqvist C, Hellgren G, et al. Effects of a lipid emulsion containing fish oil on polyunsaturated fatty acid profiles, growth and morbidities in extremely premature infants: a randomized controlled trial. *Clinical Nutrition ESPEN*. 2017;20:17–23. DOI: 10.1016/j.clnesp.2017.04.004
15. Jacobsen C, Sørensen AD, Nielsen NS. Stabilization of omega-3 oils and enriched foods using antioxidants. Food enrichment with omega-3 fatty acids. *Woodhead Publishing*. 2013:130–149. DOI: 10.1533/9780857098863.2.130
16. Ghelichi S, Sørensen AD, García-Moreno PJ, et al. Physical and oxidative stability of fish oil-in-water emulsions fortified with enzymatic hydrolysates from common carp (*Cyprinus carpio*) roe. *Food chemistry*. 2017;237:1048–1057. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.06.048
17. Patent RUS №2031923/27.03.95. Byul. №9. Zaharchuk AV, Lobova EI, Dubnickaja GM, Munin AA, Levachev MM. *Sposob poluchenija ryb'ego zhira*. (In Russ.).
18. Honold PJ, Nouard ML, Jacobsen C. Fish oil extracted from fish-fillet by-products is weakly linked to the extraction temperatures but strongly linked to the omega-3 content of the raw material. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2016;118(6):874–884. DOI: 10.1002/ejlt.201500343
19. GOST 7636–85. Ryba, morskie mlekoopitajushhie, bespozvonochnye i produkty ih pererabotki. Metody analiza. Mezhgosudarstvennyj standart dlja countries of the Eurasian Economic Community. Sb. GOSTov. Moscow: Standartinform; 2010. (In Russ.).
20. Godoy HT, Rodriguez-Amaya D. Avaliacao De Metodologias Para A Determinacao De Pro-vitaminas A. Evaluation Of Methodologies For The Determination Of Provitamins A. *Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo*; 1993.
21. Rospotrebnadzor. Normy fiziologicheskikh potrebnostej v jenerгии i pishhevyyh veshhestvah dlja razlichnyh grupp naselenija Rossijskoj Federacii. Metodicheskie rekomendacii. Moscow: Federal'nyj centr gigeny i jepidemiologii Rospotrebnadzora; 2009. (In Russ.).
22. Drusch S. An industry perspective on the advantages and disadvantages of different fish oil delivery systems. Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals. *Woodhead Publishing*; 2012:488–504. DOI: 10.1533/9780857095909.4.488
23. Adeyemi WJ, Olayaki LA. Diclofenac-induced hepatotoxicity: low dose of omega-3 fatty acids have more protective effects. *Toxicology Reports*. 2018;5:90–95. DOI: 10.1016/j.toxrep.2017.12.002
24. Fao. Codex Alimentarius: Organically Produced Foods. FAO/WHO; 2001.

## ОБ АВТОРАХ

**\*Елена Эдуардовна Куприна**, доктор технических наук, профессор; e-mail: elkuprina@yandex.ru

**Евгения Сергеевна Гришина**, магистрант;  
e-mail: grishinas@yandex.ru

**Анастасия Николаевна Яккола**, аспирант;  
e-mail: shokoladnitsa@list.ru

**Андрей Николаевич Мануйлов**, аспирант;  
e-mail: manu2@mail.ru

**Павел Игоревич Демидов**, аспирант;  
e-mail: pademido@mail.ru

**Юлия Георгиевна Ивненко**, магистрант;  
e-mail: tehnojul@mail.ru

## AUTHORS INFO

**\*Elena E. Kuprina**, doctor of technical sciences, professor;  
e-mail: elkuprina@yandex.ru

**Evgeniya S. Grishina**, master's student;  
e-mail: grishinas@yandex.ru

**Anastasia N. Yakkola**, postgraduate student;  
e-mail: shokoladnitsa@list.ru

**Andrey N. Manuilov**, postgraduate student;  
e-mail: manu2@mail.ru

**Pavel I. Demidov**, postgraduate student;  
e-mail: pademido@mail.ru

**Yulia G. Ivnenko**, master's student;  
e-mail: tehnojul@mail.ru