



Экологические аспекты производства рыбного жира в России

DOI: 10.36038/0131-6184-2024-1-114-121

Научная статья
УДК 665.213

Петров Борис Федорович – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры технологий пищевых производств Мурманского арктического университета (ФГАОУ ВО «МАУ»), Мурманск, Россия
E-mail: petrovbf@mstu.edu.ru

Адрес: Россия, 183038, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13

Аннотация. Производство рыбных жиров связано с рядом экологических вопросов. Проблемой рыбной отрасли является переработка низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров с кислотным числом свыше 20 единиц. Традиционная очистка таких полуфабрикатов нерентабельна. Нерешенным остается вопрос использования соапстоков после рафинации полуфабрикатов рыбных жиров раствором щелочи. Также необходимо определить пути рационального использования, извлеченных при флотационной очистке, производственных стоков загрязняющих веществ – жировых пенных масс. Решение перечисленных экологических вопросов позволит повысить эффективность производства рыбных жиров и снизить его негативное воздействие на окружающую среду. Целью исследования было определение возможных направлений рационального использования указанных жировых объектов. Перечисленные объекты являются источником мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот. Поэтому их предложено рассматривать в качестве вторичного материального ресурса для получения технических продуктов различного назначения.

Ключевые слова: низкосортный полуфабрикат рыбного жира, soapstock, жировые пенные массы, поверхностно-активные свойства, пленкообразующие свойства, антифрикционные свойства, альтернативное топливо

Для цитирования: Петров Б.Ф. Экологические аспекты производства рыбного жира в России // Рыбное хозяйство. 2024. № 1. С. 114-121. DOI: 10.36038/0131-6184-2024-1-114-121

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF FISH OIL PRODUCTION IN RUSSIA

Boris F. Petrov – Candidate of Engineering Sciences, Docent, Professor of Department of Food Production Technologies. Murmansk Arctic University (MAU), Murmansk, Russia

Address: Russia, 183010, Murmansk, Sportivnaya street, 13

Annotation. The production of fish oils is associated with a number of environmental issues. The problem of the fishing industry is the processing of low-grade semi-finished fish oils with an acid number of over 20 units. Traditional cleaning of such semi-finished products is unprofitable. The issue of using soap water flows after refining semi-finished fish products with an alkali solution remains unresolved. It is also necessary to determine ways of rational use of pollutants extracted from industrial effluents during flotation treatment – fatty foam masses. Solving these environmental issues will increase the efficiency of fish oil production and reduce its negative impact on the environment. The purpose of the study was to determine the possible directions for the rational use of these fatty objects. These objects are a source of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids. Therefore, they should be considered as a secondary material resource for obtaining technical products for various purposes.

Keywords: low-grade semi-finished fish oil product, soap water flows, fatty foam masses, surface-active properties, film-forming properties, anti-friction properties, alternative fuel

For citation: Petrov B.F. Environmental aspects of fish oil production in Russia // Fisheries. 2024. No. 1. Pp. 114-121. DOI: 10.36038/0131-6184-2024-1-114-121

Рисунки – авторские / The drawings were made by the author

ВВЕДЕНИЕ

Производство рыбного жира в России на сегодняшний день не теряет своей актуальности. Спрос на данный продукт постоянно увеличивается и расширяется спектр его применения. Можно выделить следующих основных потребителей жировой продукции из водных биоресурсов: аквакультура, животноводство, фармацевтика, пищевая и химическая промышленности, кожевенное производство, мыловарение, изготовление лакокрасочных изделий. Текущая потребность российского рынка в рыбных жирах, по оценкам экспертов, оценивается в количестве более 300 тыс. т в год.

В соответствии со Стратегией развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года, в рамках программы инвестиционных квот предусмотрена государственная поддержка соз-

дания безотходного производства на новых судах и береговых рыбоперерабатывающих предприятиях. Строительство специализированных рыбомучных и жироперерабатывающих заводов или цехов при действующих рыбоперерабатывающих предприятиях, оснащение специальным оборудованием рыбодобывающих судов позволит решить задачу комплексной переработки водных биологических ресурсов и увеличить выпуск жировой продукции.

При этом следует учитывать, что производство и очистка рыбных жиров связаны с образованием твердых, жидких и газообразных отходов и выбросов. Из перечисленных факторов, способствующих загрязнению окружающей среды, наиболее существенным является наличие производственных стоков.

Например, при гидратации и сепарировании полуфабрикатов жиров, при мойке обо-



Рисунок 1. Установка по производству рыбной муки и жира
Figure 1. Fish meal and fat production plant



Рисунок 2. Участок выпотки рыбного жира
Figure 2. Fish oil heating site

рудования, очистке (стирке) фильтрующих материалов, в сточные воды попадают жировые вещества. В качестве локальной очистки таких стоков возможно использование процессов отстаивания и сепарирования. Выделяемая в результате очистки жировая фаза представляет собой низкосортный полуфабрикат жира, который может быть использован на технические цели.

Низкосортные полуфабрикаты рыбного жира предлагается рассматривать в качестве альтернативы мазуту в котельных [1] или основы для получения биодизельного топлива [2; 3].

В процессе щелочной нейтрализации полуфабрикатов рыбных жиров образуется soapstock – водно-жировая эмульсия с высоким содержанием натриевых солей жирных кислот (мыл). Данный локальный производственный сток может быть использован в ка-

честве поверхностно-активного вещества для различных технических процессов.

В масложировой промышленности soapstock после нейтрализации растительных масел используется для снижения вязкости нефти [4], в производстве шин [5], мыла, фармацевтических препаратов, косметических изделий, технических смазок и т. д. [6].

Объединенный сток производства рыбных жиров представляет собой водно-жировую эмульсию с высоким содержанием жировых компонентов. Перед сбросом в открытый водоем он обязательно проходит физико-химическую очистку для извлечения загрязняющих веществ. Образующаяся в результате очистки стока жировая пенная масса утилизируется посредством захоронения на специализированных полигонах. Это приводит к загрязнению окружающей среды жировыми веществами, которые могли бы быть использованы как вторичные материальные ресурсы для различных отраслей промышленности.

Жировые отходы масложировых и мясоперерабатывающих предприятий применяются в составе технологических жидкостей в металлообрабатывающей промышленности [7], служат основой для синтеза биодизельного топлива [8; 9; 10; 11], производства моющих средств, антифрикционных и антиадгезионных смазок, антикоррозионных покрытий и других технологических материалов [12].

Цель исследования – определение возможных направлений рационального использования низкосортных рыбных жиров и жиродержащих отходов для решения экологических проблем жиропроизводства в рыбной отрасли.



Рисунок 3. Участок нейтрализации рыбного жира
Figure 3. Fish oil neutralization site

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись: низкосортный полуфабрикат рыбного жира с кислотным числом свыше 20 мг КОН/г; соапсток – локальный производственный сток после нейтрализации раствором щелочи полуфабрикатов рыбных жиров; жировая пенная масса (жиропеномасса) – продукт, образующийся при очистке объединенного стока жирового производства методом химической коагуляции загрязнений с последующей их флотацией. Объекты исследования были предоставлены жироперерабатывающим предприятием АО «Полярис» (г. Мурманск), специализирующимся на выпуске пищевой, ветеринарной и технической продукции на основе рыбных жиров.

Химический состав объектов исследования определяли стандартными методами согласно ГОСТ 7636-85. Содержание натриевых мыл в соапстоке – с помощью титрования пробы соляной кислотой сначала в присутствии фенолфталеина, затем – метилового красного (Руководство по методам исследования, технохимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности). Фракционный состав липидов определяли с помощью токослойной хроматографии [13], жирнокислотный состав липидов – с помощью газовой хроматографии, в соответствии с ГОСТ 31663-2012. Однородность и стабильность прямой эмульсии, ее антиадгезионные свойства, при формировании железобетонных изделий, оценивали визуально, с учетом требований ГОСТ 6243-75. Пленкообразующие свойства кальциевых солей жирных кислот определяли по

степени высыхания образующейся пленки при температуре 18...22 °С и относительной влажности воздуха 60...70% (Руководство по методам исследования, технохимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности). Антифрикционные свойства смазочной добавки (коэффициент трения, скорость износа стали) изучали с помощью машины трения МТ-2 по стандартной методике, в соответствии с СТО Газпром 2-3.2-011-2005. Физико-химические показатели (кинематическая и условная вязкость при 100 °С, зольность, температура вспышки, массовая доля воды и механических примесей, массовая доля серы, содержание сероводорода, температура застывания) жировой фракции определяли в соответствии с ГОСТ 10585-2013.

По результатам исследований оценивали возможности использования объектов и их производных в качестве поверхностно-активных, антифрикционных, пленкообразующих материалов и альтернативного топлива в котельных установках.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование химического состава объектов исследования, фракционного и жирнокислотного составов липидов показало, что они варьируют в широких пределах и зависят от обрабатываемого сырья и работы очистных сооружений. Низкосортный полуфабрикат рыбного жира содержит до 10% воды и 0,10...0,20% азотистых веществ. Соапсток представляет собой водно-жировую эмульсию, содержащую 3...10% липидов и 9...16% натриевых мыл. Жиропеномасса содержит 20...56% воды, 33...70%



Рисунок 4. Участок сепарирования рыбного жира
Figure 4. Fish oil separation site



Рисунок 5. Филт-пресс для очистки рыбного жира
Figure 5. Filter press for cleaning fish oil



Рисунок 6. Флотационная очистка стоков жиропроизводства

Figure 6. Flotation cleaning of office drains

липидов, 0,06...0,28% азотистых веществ. Жирнокислотный состав липидов объектов исследования представлен высокомолекулярными полиненасыщенными (37...46%) и мононенасыщенными (31...38%) жирными кислотами [14; 15]. Таким образом, объекты исследования следует рассматривать в качестве источника мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот для получения на их основе различных технических продуктов.

В продуктах технического назначения используются как свободные жирные кислоты, так и их производные – сложные эфиры с глицерином, метиловым или этиловым спиртом, щелочные соли (мыла). Указанные соединения входят в состав технических смазок, эмульгаторов, флотационных реагентов, лакокрасочных и антикоррозионных покрытий, биодизельного топлива или в качестве замены мазута [16; 17; 18; 19; 20]. Технические продукты могут представлять собой водно-жировые эмульсии или концентраты жировых веществ [14].

Присутствие в продуктах полиненасыщенных жирных кислот придает им ряд уникальных свойств: низкая температура плавления [21]; окислительная полимеризация в присутствии катализатора [22; 23]; образование поверхностно-активных мономолекулярных слоев [24]; способность удерживаться на вертикальных поверхностях и биоразлагаемость [25].

Жиропеномассу предложено использовать в качестве жировой фазы для получения технической эмульсии типа «масло в воде» (прямая эмульсия). При этом, для стабилизации получаемой дисперсной системы использовался соапсток, т.к. он содержит до 16% натриевых мыл. Полученная эмульсия апробирована в качестве антиадгезионной смазки при формировании желе-

зобетонных строительных конструкций. По своим антиадгезионным свойствам она сопоставима с традиционно используемой в строительной промышленности смазкой на основе веретенного масла и синтетических жирных кислот [14].

Низкосортный полуфабрикат рыбного жира и жиропеномассу предложено использовать для извлечения жирных кислот. С этой целью объекты подвергали гидролизу, а затем сепарированию для отделения жировой фазы от водной. Жировая фаза представляла собой концентрат жирных кислот с кислотным числом не ниже 100 мг КОН/г и содержанием воды 10...20%. Концентрат жирных кислот апробирован в качестве сырья для изготовления технического мыла, солевой олифы, флотационного реагента для обогащения апатито-нефелиновой руды и смазочного компонента бурового раствора [14; 17].

Техническое мыло изготавливалось путем реакции нейтрализации концентрата жирных кислот 20% водным раствором гидроксида калия. Полученный продукт представлял собой жидкую субстанцию с содержанием омыленных жирных кислот (мыла) 40...45%. Продукт отвечал требованиям к техническому мылу и был апробирован в качестве стабилизатора технической эмульсии на основе веретенного масла и синтетических жирных кислот для строительной промышленности. Полученная эмульсия была однородной, стабильной; расслаивание композиции не наблюдалось.

Солевая олифа изготавливалась путем реакции нейтрализации концентрата жирных кислот кристаллическим гидроксидом кальция. Полученные кальциевые соли жирных кислот (солевая основа) растворялись в уайт-спирите с добавлением сиккатива. Время высыхания продукта, после нанесения на поверхность при заданной температуре и относительной влажности воздуха, соответствовало требованиям к солевой олифе.

Флотационный реагент изготавливался путем реакции нейтрализации концентрата жирных кислот 1% водным раствором гидроксида натрия. Полученный раствор натриевых солей жирных кислот вводился в количестве 25% в состав собирательной смеси для флотации апатита из апатито-нефелиновой руды. Введение нового компонента в состав собирательной смеси повысило извлечение оксида фосфора из руды на 0,7...0,9%. Расход предложенной смеси для флотации руды был сопоставим с расходом традиционного реагента.

Смазочная добавка к буровому раствору изготавливалась путем реакции нейтрализации

концентрата жирных кислот 30% водно-спиртовым раствором кремнийорганического соединения (алюмометилсилоксанолятом натрия или мононатриевой солью этилсилантриола). Полученный продукт добавлялся в количестве 1,5% к буровому раствору, с целью повышения его смазочных и противоизносных свойств. По своим антифрикционным свойствам предложенная добавка превосходила применяемые в нефтегазовой промышленности смазочные компоненты на основе синтетических жирных кислот, растительных масел и жидкого стекла, растительных масел с присадкой соединений бора.

Жировая фракция, выделенная из жиропенномассы успешно апробирована в качестве замены традиционного мазутного топлива М-100 (IFO-180) при работе котельной установки. По основным физико-химическим показателям (кинематическая и условная вязкость при 100°C, зольность, температура вспышки, массовая доля воды и механических примесей, массовая доля серы, содержание сероводорода, температура застывания) жировая фракция соответствовала требованиям ГОСТ 10585-2013 к топочному мазуту М-100. Эксперимент показал, что жировая фракция из жиропенномассы может полностью заменить мазут при эксплуатации парового котла марки ДКВР 4/13. При этом значительно снижается расход пара на собственные нужды котельной (подогрев ёмкостей с жиром, подача пара на форсунки), т.к. жировая фракция обладает большей текучестью и распыляемостью. Отмечено, что при использовании жировой фракции не требуется принципиально изменять конструкцию котельной установки, необходимо только произвести замену форсунок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экологическими аспектами современного производства рыбных жиров в России являются: проблема рационального использования низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров с кислотным числом свыше 20 единиц; soapstock после щелочной нейтрализации полуфабрикатов рыбных жиров; жировая пенная масса, извлекаемая при очистке объединенного стока жиропроизводства методом химической коагуляции загрязнений с последующей их флотацией. Установлено, что указанные продукты содержат значительное количество мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот и могут быть использованы

для получения на их основе поверхностно-активных, пленкообразующих, антифрикционных веществ и альтернативного топлива. Это позволяет снизить отрицательное воздействие жиропроизводства на окружающую среду и предложить рациональные пути использования низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов в качестве вторичных материальных ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Штым К.А., Лесных А.В., Цой К.А. Опыт применения в котельных установках рыбьего жира в качестве альтернативного жидкого топлива // Энергетик. 2015. № 2. С. 22–23. EDN: RKKSMT.
2. Valentini M.H.K., Duarte V.H., Nadaleti W.C., Vieira B.M. Fish oil mixed to castor oil for biodiesel production: antioxidant effects and renewable energy generation // International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2022. Vol. 13, Iss. 1. Pp. 57-65. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00411-2>. EDN: WGIFXI.
3. Nguyen T.N., Khoa N.X., Tuan L.A. The correlation of biodiesel blends with the common rail diesel engine's performance and emission characteristics // Energies. 2021. Vol. 14, Iss. 11. Article number: 2986. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14112986>. EDN: REARMB.
4. Рахимов Б.Р., Адизов Б.З., Абдурахимов С.А., Аноров Р.А. [и др.]. Использование soapstock в качестве депрессаторов для изменения вязкости местных нефтей // Universum: технические науки. 2021. № 5-4 (86). С. 82-85. EDN: CCCAXR.
5. Калматаева Г.Н., Сагитова Г.Ф., Трусов В.И., Сакибаева С.А. Получение жирных кислот из soapstock и использование их в рецептуре регенерата // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2022. № 3(3). С. 48-60. DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2022_03_48. EDN: ZXOBIY.
6. Горелова О.М., Куртукова Л.В., Хавкунова М.Н. Поиск путей утилизации отходов в производстве растительных масел // Химия. Экология. Урбанистика. 2020. Т. 1. С. 70-73. EDN: EYGEMR.
7. Губанов А.В., Постолов Ю.М., Губанов С.А., Яковлев В.И. [и др.]. Концентрат СОЖ для обработки металлов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института

- жиров. 2017. № 1-2. С. 79-81. DOI: 10.25812/VNIIG.2017.2017.19533. EDN: YUUANJ.
8. Романцова С.В., Гладышева И.В., Вервеккина Н.В., Нагорнов С.А. [и др.]. Расчет физико-химических и эксплуатационных характеристик биодизельного топлива, синтезированного из жидких и твердых жиров // Наука в центральной России. 2021. № 4(52). С. 124-137. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-124-137>. EDN: EVCSMW.
9. Способ выделения жиромассы из сточных вод и ее подготовки для производства биодизеля: пат. 2749371 Рос. Федерация / Кадревич А.А., Щербак Ю.А., Зубов М.Г. № 2020127539; заявл. 18.08.2020; опубл. 09.06.2021, Бюл. № 16.
10. Antonio D.C., Amancio L.P., Rosset I.G. Biocatalytic ethanolysis of waste chicken fat for biodiesel production // Catalysis Letters. 2018. Vol. 148, Iss. 10. P. 3214-3222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10562-018-2529-7>. EDN: MHPTXL.
11. Otero A., Mendoza M., Carreras R., Fernández B. Biogas production from slaughterhouse waste: Effect of blood content and fat saponification // Waste Management. 2021. Vol. 133. P. 119-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.035>. EDN: BEBQLI.
12. Гайдар С.М., Пикуина А.М., Лапсарь О.М., Голубев И.Г. Разработка технологии переработки жировых отходов в продукты технического назначения // Техника и оборудование для села. 2023. № 3(309). С. 32-35. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-3-32-35>. EDN: WUTRYF.
13. Кондрахин И.П., Курилов Н.В., Малахов А.Г. [и др.]. Клиническая лабораторная диагностика в ветеринарии. М.: Агропромиздат. 1985. 287 с.
14. Петров Б.Ф. Разработка технологических процессов переработки жировых отходов и низкосортных рыбных жиров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мурманск, 1997. 26 с. EDN: ZJVCXJ.
15. Мукатова М.Д. Научные и практические основы создания малоотходных технологий кормовой продукции из гидробионтов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 1994. 72 с. EDN: ZLEMLV.
16. Боева Н.П., Бредихина О.В., Бредихин С.А., Бочкарев А.И. К вопросу об утилизации вторичных сырьевых ресурсов рыбной отрасли // Труды ВНИРО. 2004. Т. 143. С. 201-203. EDN: TRFBKJ.
17. Мотылева Т.А., Петров Б.Ф., Деркач С.Р., Берестова Г.И. [и др.]. Использование рыбного жира в качестве поверхностно-активных веществ в технологических процессах // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 1. С. 54-57. EDN: RGQUFF.
18. Чан Тхи Ньонг. Глубокая переработка жиродержащих отходов гидробионтов с получением биотоплива : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж. 2013. 24 с.
19. Мухин М.М., Магадова Л.А., Василевич В.В., Федосеев П.О. [и др.]. Характеристика рыбных жиров, используемых для синтеза ПАВ в нефтяной промышленности // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 2. С. 32-37. EDN: TIBWZT.
20. Василевич В.В., Силин М.А., Губанов В.Б., Мухин М.М. Эмульгаторы на основе рыбных жиров для повышения нефтеотдачи пласта // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина. 2018. № 2(291). С. 107-117. EDN: UUCANU.
21. Ржавская Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Пищевая промышленность. 1976. 470 с.
22. Семенов Н.Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. М.: АН СССР. 1958. 686 с. EDN: ZHGNLH.
23. Yoshimura Y., Tanaka H., Tamura K., Ohsaw K. [et al.]. Stability of fish oil as evaluated by oxygen absorption method // Analytical Sciences. 1986. Vol. 2, Iss. 6. P. 581-584. DOI: <https://doi.org/10.2116/analsci.2.581>. EDN: KMPCRJ.
24. Тютюнников Б.Н., Бухштаб З.И., Гладкий Ф.Ф. [и др.]. Химия жиров. М.: Колос. 1992. 448 с.
25. Стрельцов В.В., Стребков С.В. Тенденции использования биологических смазочных материалов // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В. П. Горячкина. 2009. № 2(33). С. 66-69. EDN: KZGPTJ.

LITERATURE AND SOURCES

1. Shtym K.A., Lesnyh A.V., Coj K.A. (2015). Experience in the use of fish oil as an alternative liquid fuel in boiler plants. *Energetik*, 2, pp. 22-23. EDN: RKKSMT. (In Russ.).
2. Valentini M.H.K., Duarte V.H., Nadaleti W. C., Vieira B.M. (2022). Fish oil mixed to castor oil for biodiesel production: antioxidant effects and renewable energy generation. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 13(1), Pp. 57-65. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00411-2>. EDN: WGIFXI.
3. Nguyen T.N., Khoa N.X., Tuan L.A. (2021). The correlation of biodiesel blends with the com-

- mon rail diesel engine's performance and emission characteristics. *Energies*, 14(11). Article number: 2986. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14112986>. EDN: REARMB.
4. Rakhimov B. P., Adizov B. Z., Abdurahimov S. A., Anorov R. A. et al. (2021). Use of soapstoks as depressants to change viscosity of local oils. *Universum: Technical Sciences*, 5–4(86), pp. 82–85. EDN: CCCAXR. (In Russ.).
 5. Kalmataeva G. N., Sagitova G. F., Trusov V. I., Sakibaeva S. A. (2022). Preparation of fatty acids from soapstock and their use in regenerate formulation. *SMTU Transactions*, 3(3), pp. 48–60. DOI: https://doi.org/10.52899/24141437_2022_03_48. EDN: ZXOBIY. (In Russ.).
 6. Gorelova O. M., Kurtukova L. V., Havkunova M. N. (2020). Finding ways to dispose of waste in the production of vegetable oils. *Chemistry. Ecology. Urbanistics*, 1, Pp. 70–73. EDN: EYGEMR. (In Russ.).
 7. Gubanov A. V., Postolov Yu. M., Gubanov S. A., Yakovlev V. I. et al. (2017). A cutting fluid concentrate for metal processing. *Vestnik Vserossijskogo Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Zhirov*, 1–2, Pp. 79–81. DOI: 10.25812/VNIIG.2017.2017.19533. EDN: YUUANJ. (In Russ.).
 8. Romancova S. V., Gladysheva I. V., Vervekina N. V., Nagornov S. A. et al. (2021). Calculation of physical, chemical and operational characteristics of biodiesel fuel synthesized from liquid and solid fats. *Science in the Central Russia*, 4(52), Pp. 124–137. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-124-137>. EDN: EVCSMW. (In Russ.).
 9. Kadrevich A. A., Shcherbakova Yu. A., Zubov M. G., EKOTECH Research Center LLC (2021), Method for separating fatty mass from wastewater and preparation it for biodiesel production, RU. Pat. 2749371 C1. EDN: OLAJZZ. (In Russ.).
 10. Antonio D. C., Amancio L. P., Rosset I. G. (2018). Biocatalytic ethanolysis of waste chicken fat for biodiesel production. *Catalysis Letters*, 148(10), Pp. 3214–3222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10562-018-2529-7>. EDN: MHPTXL.
 11. Otero A., Mendoza M., Carreras R., Fernández B. (2021). Biogas production from slaughterhouse waste: effect of blood content and fat saponification. *Waste Management*, 133, Pp. 119–126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.035>. EDN: BEBQLI.
 12. Gajdar S. M., Pikina A. M., Lapsar' O. M., Golubev I. G. (2023). Development of technology for processing fat waste into technical products. *Machinery and Equipment for Rural Area*, 3(309), Pp. 32–35. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-3-32-35>. EDN: WUTRYF. (In Russ.).
 13. Kondrakhin I. P., Kurilov N. V., Malahov A. G. et al. (1985). *Clinical laboratory diagnostics in veterinary medicine*. Moscow. (In Russ.).
 14. Petrov B. F. (1997). Development of processes for processing fat waste and low-grade fish oils. Abstract of Cand. of Sci. dissertation. Murmansk. EDN: ZJVCXJ. (In Russ.).
 15. Mukatova M. D. (1994). Scientific and practical basis for the creation of low-waste technologies for feed products from hydrobionts. Abstract of Ph.D. dissertation. Moscow. EDN: ZLEMLV. (In Russ.).
 16. Boeva N. P., Bredihina O. V., Bredihin S. A., Bochkarev A. I. (2004). On the utilization of secondary raw materials of the fishing industry. *Trudy VNIRO*, 143, Pp. 201–203. EDN: TPFBJK. (In Russ.).
 17. Motyleva T. A., Petrov B. F., Derkach S. R., Berestova G. I. et al. (2012). Use of fish oil as surfactants in technological processes. *Vestnik of MSTU*, 15(1), Pp. 54–57. EDN: RGQUFF. (In Russ.).
 18. Chan Thi N'jung. (2013). Deep processing of fat-containing wastes of hydrobionts to obtain biofuels. Abstract of Cand. of Sci. dissertation. Voronezh. EDN: SUTXBD. (In Russ.).
 19. Muhin M. M., Magadova L. A., Vasilevich V. V., Fedoseev P. O. et al. (2015). Characteristics of fish oils used for the synthesis of surfactants in the petroleum industry. *Environmental Protection in Oil and Gas Complex*, 2, Pp. 32–37. EDN: TIBWZT. (In Russ.).
 20. Vasilevich V. V., Silin M. A., Gubanov V. B., Muhin M. M. (2018). Fish oil-based emulsifiers for enhanced oil recovery. *Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2(291), Pp. 107–117. EDN: UUCAHU. (In Russ.).
 21. Rzhavskaya F. M. (1976). *Fish and marine mammal fats*. Moscow. (In Russ.).
 22. Semenov N. N. (1958). About some problems of chemical kinetics and reactivity. Moscow. EDN: ZHGNLH. (In Russ.).
 23. Yoshimura Y., Tanaka H., Tamura K., Ohsaw K. et al. (1986). Stability of fish oil as evaluated by oxygen absorption method. *Analytical Sciences*, 2(6), Pp. 581–584. DOI: <https://doi.org/10.2116/analsci.2.581>. EDN: KMPCRJ.
 24. Tyutyunnikov B. N., Buhstabs Z. I., Gladkij F. F. et al. (1992). *Fat chemistry*. Moscow. (In Russ.).
 25. Strel'cov V. V., Strebkov S. V. (2009). Trends in the use of biological lubricants. *Vestnik of Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin*, 2(33), Pp. 66–69. EDN: KZGPTJ. (In Russ.).