

УДК 664.959.5:665.211

Разработка методологии создания технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов

Б. Ф. Петров

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;
e-mail: petrovbf@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9222-8437>*

Информация о статье

Реферат

Поступила
в редакцию
09.06.2023;

получена
после доработки
28.06.2023;

принята к публикации
29.06.2023

Ключевые слова:

рыбный жир,
жировая пенная масса,
соапсток,
прямая эмульсия,
концентрат жирных
кислот,
технические продукты

Развитие производства рыбных жиров в России требует решения ряда экологических вопросов; необходима разработка технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов. В настоящее время данная проблема остается нерешенной. В ходе исследования определены физико-химические свойства жиросодержащих объектов (полуфабриката технического рыбного жира с кислотным числом свыше 20 единиц; соапстока после рафинации рыбных жиров; жировой пенной массы после флотационной очистки производственных сточных вод производства рыбных жиров) и установлены рациональные направления их использования. Отмечено, что указанные объекты содержат липиды с высокой степенью гидролиза и непредельности. Разработанная методология создания частных технологий переработки технических рыбных жиров и жировых отходов в целевые продукты технического назначения позволяет получать из объектов исследования дисперсную систему "масло в воде" и концентрат жирных кислот. Полученные продукты могут быть использованы в качестве основы для производства антиадгезионных, поверхностно-активных, пленкообразующих и антифрикционных технических реагентов для различных отраслей промышленности (в том числе пищевой промышленности).

Для цитирования

Петров Б. Ф. Разработка методологии создания технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 264–271. DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-264-271.

Development of methodology for creating technologies for processing low-grade semi-finished products of fish oils and fatty waste

Boris F. Petrov

*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;
e-mail: petrovbf@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9222-8437>*

Article info

Abstract

Received
09.06.2023;

received
in revised
28.06.2023;

accepted
29.06.2023

Key words:

fish oil,
fatty foam mass,
soap stock, oil-in-water
emulsion, fatty acid
concentrate,
technical products

The development of fish oil production in Russia requires solving a number of environmental issues. It is necessary to develop technologies for processing low-grade semi-finished products of fish oils and fat waste. Currently, this problem remains unresolved. In the course of the study, the physicochemical properties of fat-containing objects (semi-finished product of technical fish oil with acid number of more than 20 units; soap stock after fish oil refining; fatty foam mass after flotation treatment of industrial wastewater from fish oil production) have been determined and rational directions for their use have been established. It is noted that these objects contain lipids with a high degree of hydrolysis and unsaturation. The developed methodology for creating private technologies for processing technical fish oils and fatty wastes into target products for technical purposes makes it possible to obtain an oil-in-water dispersed system and a fatty acid concentrate from the objects of study. The resulting products can be used as a basis for the production of anti-adhesive, surface-active, film-forming and anti-friction technical reagents for various industries (including food industry).

For citation

Petrov, B. F. 2023. Development of methodology for creating technologies for processing low-grade semi-finished products of fish oils and fat waste. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 264–271. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-264-271.

Введение

Внедрение малоотходных и безотходных технологий является приоритетным направлением развития рыбной отрасли, обеспечивающим комплексное и рациональное использование сырьевых ресурсов. В основополагающем нормативном документе "Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года"¹ предусмотрена государственная поддержка внедрения на предприятиях рыбной отрасли технологий переработки и использования отходов производства в качестве вторичного сырьевого ресурса.

Отходы при разделывании рыбы, некондиционные и малоценные экземпляры рыб традиционно направляют на выпуск кормовой продукции и рыбного жира. В России функционируют около 30 ведущих предприятий по выпуску рыбного жира; лидирующие позиции занимает Дальневосточный федеральный округ (61,9 % производства рыбного жира), на втором месте – Северо-Западный федеральный округ (27,6 %). В 2022 г. российскими предприятиями было выпущено свыше 9 тыс. т рыбного жира. Однако потребность ряда отраслей промышленности России (сельское хозяйство, рыбоводство, химическая промышленность и т. д.) в рыбных жирах составляет 300 тыс. т в год. До недавнего времени эта потребность закрывалась импортными поставками из США, Великобритании, Франции, Исландии, Норвегии. Сокращение импортных поставок рыбного жира требует расширения его отечественного производства.

Современное производство и очистка рыбного жира от примесей связаны с большим расходом воды и образованием значительного объема производственных стоков. Одним из локальных производственных стоков жиропроизводства является соапсток, который образуется в процессе щелочной нейтрализации полуфабрикатов рыбных жиров. Данный производственный сток представляет собой водно-жировую эмульсию с высоким уровнем содержания натриевых солей жирных кислот – мыл. Соапсток, как правило, не подвергается очистке, а сбрасывается в объединенный производственный сток жиропроизводства.

Соапсток после нейтрализации растительных масел находит применение в качестве депрессаторов для изменения вязкости высоковязких сортов нефти (*Рахимов и др., 2021*); выделенные из соапстока свободные жирные кислоты могут входить в состав шинного регенерата (*Калматаева и др., 2022*), являются сырьем в мыловарении, производстве фармацевтических препаратов, косметики, смазочных материалов и т. д. (*Горелова и др., 2020*).

Объединенный сток представляет собой смесь локальных производственных стоков и содержит в основном жировые вещества, мыла и небольшое количество азотистых и минеральных компонентов. Перед сбросом его подвергают флотационной очистке с целью извлечения загрязняющих веществ. В результате очистки стока образуются пенные жировые продукты, которые направляют на захоронение на специально отведенные полигоны. В результате происходит не только загрязнение окружающей среды, но и потеря жировых компонентов, которые могли бы быть использованы в качестве вторичных сырьевых ресурсов.

Жировые отходы масложировой промышленности и мясоперерабатывающих предприятий находят применение в качестве смазочно-охлаждающей жидкости при обработке металлов (*Губанов и др., 2017*), основы для биодизельного топлива (*Романцова и др., 2021; Способ выделения..., 2021; Antonio et al., 2018; Otero et al., 2021*) и могут быть использованы для получения поверхностно-активных веществ (амидов жирных кислот) при производстве моющих средств, технологических жидкостей, смазочных композиций, ингибиторов атмосферной коррозии и других эксплуатационных материалов (*Гайдар и др., 2023*).

Не менее важной проблемой жиропроизводства в рыбной отрасли является переработка низкосортных полуфабрикатов технических рыбных жиров с повышенным кислотным числом (более 20 единиц). Очистка таких полуфабрикатов требует значительных затрат энергии и вспомогательных материалов. При этом выход очищенного жира не превышает 60 % от массы направляемого полуфабриката. Низкосортные полуфабрикаты жира чаще всего рассматриваются в качестве альтернативного жидкого топлива в котельных (*Штым и др., 2015*) или основы для получения биодизельного топлива (*Valentini et al., 2022; Nguyen et al., 2021*).

Таким образом, для расширения производства рыбных жиров необходимо всесторонне проанализировать его экологические аспекты, изучить физико-химические свойства недоиспользуемых жиросодержащих объектов (низкосортных рыбных жиров и жировых отходов), предложить рациональные способы переработки их в целевые продукты для различных отраслей промышленности.

Целью исследования являлась разработка методологии создания технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов в технические продукты целевого назначения. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: изучение физико-химических свойств объектов

¹ Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08 сентября 2022 г. № 2567-р. URL : <http://government.ru/docs/all/143037/>.

исследования; анализ возможных способов их модификации в продукты целевого назначения и направлений дальнейшего использования.

Материалы и методы

Объекты исследования были предоставлены жироперерабатывающим предприятием АО "Полярис" (г. Мурманск), специализирующимся на выпуске пищевой, ветеринарной и технической продукции на основе рыбных жиров.

В качестве объектов исследования использовались низкосортный полуфабрикат рыбного жира технического; пенные жировые продукты (жиропеномасса и пеномасса), образующиеся при очистке промышленных сточных вод жиропроизводства методом флотации; soapstock – локальный производственный сток после щелочной нейтрализации полуфабрикатов рыбных жиров.

Химический состав объектов исследования определяли стандартными методами согласно ГОСТ 7636-85². Содержание натриевых мыл в техническом полуфабрикате жира, жиропеномассе и пеномассе определяли по ГОСТ 5480-59³, в soapstock – с помощью титрования пробы соляной кислотой сначала в присутствии фенолфталеина, затем метилового красного (Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности⁴). Фракционный состав липидов устанавливали с помощью тонкослойной хроматографии (*Кондрахин и др., 1985*); жирнокислотный состав липидов – с использованием газовой хроматографии в соответствии с ГОСТ 31663-2012⁵.

Результаты и обсуждение

Исследование химических составов объектов анализа показало, что они являются жиросодержащими объектами с высокой степенью гидролиза липидов (табл. 1), которые могут быть использованы в качестве основы для получения различных технических продуктов.

Таблица 1. Химический состав объектов исследования
Table 1. Chemical composition of study objects

Объект исследования	Массовая доля, %			Кислотное число продукта, мгКОН/г
	воды	липидов	мыла	
Низкосортный полуфабрикат рыбного жира технического	3,5–16,5	80,2–96,2	Отсутствует	46,9–55,7
Жиропеномасса	20,5–49,5	41,9–70,5	2,7–11,5	32,5–52,9
Пеномасса	41,7–56,3	43,9–54,3	Следы	70,1–80,5
Soapstock	64,8–92,0	3,1–10,7	8,7–16,3	–

В технических продуктах жировая фракция, как правило, представлена свободными жирными кислотами или их производными (глицеридами, метиловыми или этиловыми эфирами, солями жирных кислот – мылами). Указанные соединения препятствуют силам адгезии (антифрикционные смазки), снижают коэффициент трения (антифрикционные смазки), проявляют поверхностно-активные свойства (эмульгаторы, флотационные реагенты), образуют защитные пленки (лакокрасочные, антикоррозионные покрытия), используются в качестве альтернативного жидкого топлива (замена мазута, биодизельное топливо) (*Боева и др. 2004; Мотылева и др., 2012; Чан Тхи Ньюнг, 2013; Мухин и др. 2015; Василевич и др., 2018*). Жировая фракция может быть эмульгирована в виде дисперсной системы "масло в воде" (прямая эмульсия) для равномерного распределения ее по обрабатываемой поверхности либо представлять собой концентрат жирных кислот или их производных (*Петров, 1997*).

Исследованные объекты целесообразно рассматривать в качестве источника жировой фазы для получения дисперсной системы "масло в воде" (прямая эмульсия), так как они содержат 42–96 % липидов. В качестве стабилизатора (эмульгатора) дисперсной системы и дополнительного источника жировой фазы можно использовать soapstock после нейтрализации рыбных жиров, поскольку он содержит 9–16 % натриевых мыл и 3–11 % липидов. Кроме того, soapstock может выступать в качестве самостоятельного технического продукта, так как тоже является дисперсной системой.

² ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М., 2010.

³ ГОСТ 5480-59. Масла растительные и натуральные жирные кислоты. Методы определения мыла. М., 2001.

⁴ Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / ВНИИЖ; под общ. ред. В. П. Ржехина, А. Г. Сергеева. Т. 3. Л. 1964. 494 с.

⁵ ГОСТ 31663-2012. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот. М., 2019.

Анализ фракционного состава липидов низкосортного полуфабриката рыбного жира технического и пенных жировых продуктов свидетельствует о наличии в них 50–64 % триглицеридов и 8–44 % диглицеридов (табл. 2).

Таблица 2. Фракционный состав липидов объектов исследования
Table 2. Fractional composition of lipids of study objects

Объект исследования	Массовая доля, %			
	триглицеридов	свободных жирных кислот	диглицеридов	моноглицеридов и оксикислот
Низкосортный полуфабрикат рыбного жира технического	59,6–64,0	15,9–27,7	10,2–12,4	4,0–6,4
Жиропеномасса	50,2–58,8	19,0–34,2	8,3–11,9	7,4–10,2
Пеномасса	Отсутствует	50,0–67,6	24,1–43,9	5,1–9,3

Для получения концентратов жирных кислот указанные жиросодержащие объекты необходимо подвергать гидролизу для выделения свободных жирных кислот из глицеридов, а затем отделять гидролизованную жировую фазу от водной. В случае если в жиросодержащем объекте липиды уже находятся в достаточно гидролизованном виде (например, содержание свободных жирных кислот в липидах пеномассы изначально составляет 50–68 %), то их целесообразно не подвергать гидролизу, а сразу направлять на отделение жировой фазы от водной.

Повышенное содержание воды в жировой фазе (свыше 15 %) может снизить ее реакционную способность при последующем получении производных жирных кислот. Поэтому необходимо снижать содержание воды либо в исходных жиросодержащих продуктах, либо в продуктах после гидролиза жира.

Жирнокислотный состав липидов низкосортного полуфабриката рыбного жира технического и пенных жировых продуктов представлен высокомолекулярными полиненасыщенными (37–46 %) и мононенасыщенными (31–38 %) жирными кислотами (табл. 3).

Таблица 3. Жирнокислотный состав липидов объектов исследования
Table 3. Fatty acid composition of lipids of study subjects

Объект исследования	Массовая доля жирных кислот, %		
	насыщенных	мононенасыщенных	полиненасыщенных
Низкосортный полуфабрикат рыбного жира технического	21,05–22,85	31,5–32,5	45,55–46,45
Жиропеномасса	24,16–26,46	35,45–37,85	37,40–38,60
Пеномасса	21,0–24,0	32,80–35,20	41,30–44,40

В soap-стоке массовая доля полиненасыщенных жирных кислот в среднем составляет: пентаеновых – 25 %, гексаеновых – 31 % (Мукатова, 1994).

Значительное содержание полиненасыщенных жирных кислот в липидах объектов исследования позволяет предположить, что продукты на их основе будут обладать низкой температурой плавления (Ржавская, 1976); способностью к окислительной полимеризации в присутствии катализатора (Семенов, 1958; Yoshihiro et al., 1986) и образованию плотных поверхностно-активных мономолекулярных слоев (Тютюнников и др., 1992); способностью удерживаться на вертикальных поверхностях и биоразлагаемостью (Стрельцов и др., 2009).

Таким образом, целесообразно рассмотреть возможность использования низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров технических и жировых отходов в качестве основы для получения антиадгезионных, поверхностно-активных, пленкообразующих и антифрикционных технических реагентов для различных отраслей промышленности, в том числе пищевой промышленности.

Методология предполагает:

- оценку физико-химических свойств исходного сырья и определение способа его дальнейшей переработки;
- эмульгирование жировой фазы исходного сырья с целью получения дисперсной системы "масло в воде" (прямая эмульсия);
- выделение свободных жирных кислот из глицеридов исходного сырья посредством гидролиза;
- отделение гидролизованной жировой фазы исходного сырья от водной с целью получения концентрата кислот рыбного жира;
- исследование физико-химических свойств полученных продуктов и их апробацию в различных технических направлениях.

Схема разработанной методологии создания частных технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов в целевые продукты технического назначения представлена на рисунке.

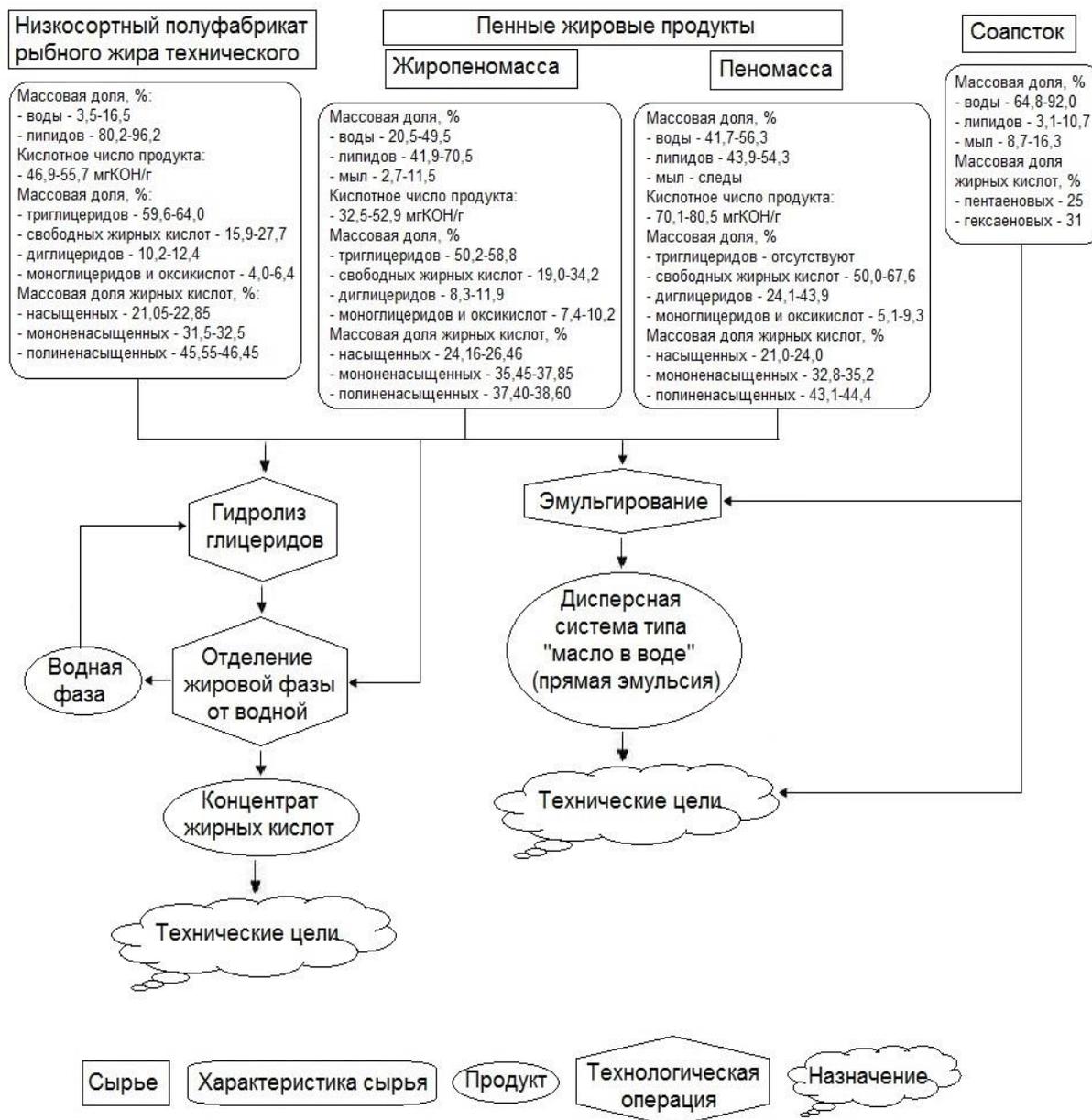


Рис. Методология создания частных технологий переработки технических рыбных жиров и жировых отходов
 Fig. Methodology for the creation of private technologies for processing of technical fish oils and fat waste

Оценка физико-химических свойств исходного жиросодержащего сырья предусматривает определение в нем следующих показателей: содержания воды, липидов, мыл; кислотного числа продукта; фракционного и жирнокислотного состава липидов. Перечисленные показатели позволяют определить дальнейшее направление переработки и использования исходного жиросодержащего сырья.

Получение дисперсной системы "масло в воде" (прямая эмульсия) возможно путем смешивания жиросодержащих компонентов (низкосортного полуфабриката рыбного жира технического или пенных жировых продуктов) с соапстоком. Наличие в соапстоке значительного количества натриевых мыл будет обеспечивать стабильность получаемой дисперсной системы.

Выделение свободных жирных кислот из липидов жиросодержащего сырья предусматривает сначала гидролиз глицеридов, а затем отделение жировой фазы от водной. Способы осуществления гидролиза липидов весьма разнообразны: ферментативный гидролиз с использованием липазы; щелочное омыление;

кислотный гидролиз; гидролиз с использованием гетерогенных катализаторов – оксидов металлов; безреактивный гидролиз. Отделение жировой фазы от водной фазы предполагает использование реактора с паровой рубашкой и центрифуги (сепаратора).

Получаемые продукты [дисперсная система "масло в воде" (прямая эмульсия) и концентрат жирных кислот] целесообразно апробировать в следующих технических направлениях: производство антиадгезионной и антифрикционной смазок; изготовление технического мыла, получение антикоррозионного или лакокрасочного покрытий.

Заключение

В результате исследования разработана методология создания частных технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов в целевые продукты технического назначения. Объекты анализа следует рассматривать в качестве источников высокомолекулярных непредельных жирных кислот, которые могут найти применение в составе различных технических продуктов в качестве замены традиционно применяемых парафиновых углеводородов нефти и их производных.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- 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: TPFBKJ.
- 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.
- Гайдар С. М., Пикина 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.
- 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.
- 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/VNPIG.2017.2017.19533. EDN: YUUANJ.
- Калматаева Г. Н., Сагитова Г. Ф., Трусов В. И., Сакибаева С. А. Получение жирных кислот из соапстока 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.
- Кондрахин И. П., Курилов Н. В., Малахов А. Г. [и др.]. Клиническая лабораторная диагностика в ветеринарии. М. : Агропромиздат, 1985. 287 с.
- 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.
- 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.
- 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.
- Петров Б. Ф. Разработка технологических процессов переработки жировых отходов и низкосортных рыбных жиров : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мурманск, 1997. 26 с. EDN: ZJVCXJ.
- Рахимов Б. Р., Адизов Б. З., Абдурахимов С. А., Аноров Р. А. [и др.]. Использование соапстоков в качестве депрессаторов для изменения вязкости местных нефтей // Universum: технические науки. 2021. № 5–4 (86). С. 82–85. EDN: CCCAXR.
- Ржавская Ф. М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М. : Пищевая промышленность, 1976. 470 с.
- Романцова С. В., Гладышева И. В., Вerveкина 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.
- Семенов Н. Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. М. : АН СССР, 1958. 686 с. EDN: ZHGNLH.

- Способ выделения жиромассы из сточных вод и ее подготовки для производства биодизеля: пат. 2749371 Рос. Федерация / Кадревич А. А., Щербакова Ю. А., Зубов М. Г. № 2020127539 ; заявл. 18.08.2020 ; опублик. 09.06.2021, Бюл. № 16.
- 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.
- Тютюнников Б. Н., Бухштаб З. И., Гладкий Ф. Ф. [и др.]. Химия жиров. М. : Колос, 1992. 448 с.
- Чан Тхи Ньонг. Глубокая переработка жиродержащих отходов гидробионтов с получением биотоплива : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2013. 24 с.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. P. 57–65. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00411-2>. EDN: WGIFXI.
- 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.

References

- 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.)
- 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.)
- 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.)
- 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.)
- 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.)
- 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.)
- Kondrakhin, I. P., Kurilov, N. V., Malahov, A. G. et al. 1985. Clinical laboratory diagnostics in veterinary medicine. Moscow. (In Russ.)
- 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.)
- 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.)
- 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.)
- 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.)
- Rakhimov, B. P., Adizov, B. Z., Abdurahimov, S. A., Anorov, R. A. et al. 2021. Use of soapstocks as depressants to change viscosity of local oils. *Universum: Technical Sciences*, 5–4(86), pp. 82–85. EDN: CCCAXR. (In Russ.)
- Rzhavskaya, F. M. 1976. Fish and marine mammal fats. Moscow. (In Russ.)

- 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.)
- Semenov, N. N. 1958. About some problems of chemical kinetics and reactivity. Moscow. EDN: ZHGNLH. (In Russ.)
- 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.)
- 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.)
- Тютюнников, В. Н., Бушстаб, З. И., Гладкий, Ф. Ф. et al. 1992. Fat chemistry. Moscow. (In Russ.)
- Chan, Thi N'young. 2013. Deep processing of fat-containing wastes of hydrobionts to obtain biofuels. Abstract of Cand. of Sci. dissertation. Voronezh. EDN: SUTXBD. (In Russ.)
- 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: RKKSMТ. (In Russ.)
- 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.
- Nguyen, T. N., Khoa, N. X., Tuan, L. A. 2021. The correlation of biodiesel blends with the common rail diesel engine's performance and emission characteristics. *Energies*, 14(11). Article number: 2986. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14112986>. EDN: REARMB.
- 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.
- 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.
- 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.

Сведения об авторе

Петров Борис Федорович – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук, профессор;
e-mail: petrovbf@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9222-8437>

Boris F. Petrov – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;
Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: petrovbf@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9222-8437>