

Научная статья

УДК 665.219.2:662.6

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-686-694

EDN: EPIAZO



ПОЛУЧЕНИЕ БИОДИЗЕЛЯ ИЗ ЖИРА ВТОРИЧНОГО КРАБОВОГО СЫРЬЯ

О.Я. Мезенова¹, С.Н. Максимова^{2*}¹ Калининградский государственный технический университет,
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1;² Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52 Б

Аннотация. Получение энергии из альтернативных возобновляемых недовостребованных источников является актуальной проблемой. Исследовано получение биодизеля из жиросодержащих внутренностей камчатского краба, которые массово утилизируются выбросом в море при отделении конечностей. За основу взяты известные технологии биодизеля из растительного масла и рыбного жира. Проанализировали жирнокислотный состав крабового жира, кислотное и перекисное числа. Установлено высокое содержание ПНЖК (42,5 %), в том числе омега-3 (30,6 %) и омега-6 (12,3 %). Повышенные значения кислотного числа 5,5 мг КОН/г жира и перекисного числа 85,6 ммоль акт. кислорода/г свидетельствуют о несоответствии крабового жира требованиям к пищевым рыбным жирам. Получение биодизеля из крабового жира в форме этиловых эфиров жирных кислот проводили с тремя индикаторами NaOH, КОН и H₂SO₄. Реакции со щелочью не дали положительных результатов из-за образования повышенного количества мыла. Наилучший показатель по выходу эфиров был получен в эксперименте с серной кислотой. Из 50 г жира получено 52,2 г биодизеля. Приведены механизмы реакции и массовые балансы процесса. Анализ значений кинематической вязкости, общего загрязнения и кислотного числа биодизеля показал их соответствие требованиям национального стандарта ГОСТ Р 53605-2009 (ЕН 14214:2003).

Ключевые слова: биодизель, крабовые отходы, жир, жирнокислотный состав, этиловые эфиры жирных кислот, кислотное число, перекисное число, вязкость

Для цитирования: Мезенова О.Я., Максимова С.Н. Получение биодизеля из жира вторичного крабового сырья // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 3. — С. 686–694. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-686-694. EDN: EPIAZO.

Original article

Production of biodiesel from fat of secondary crab materials

Olga Y. Mezenova*, Svetlana N. Maksimova**

* Kaliningrad State Technical University, 1, Sovetsky prospect, Kaliningrad, 236022, Russia;

** Far Eastern State Technical Fisheries University, 52 B, Lugovaya Str., Vladivostok, 690087, Russia

* D.Tech., head of department, mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-4716-2571

** D.Tech., head of department, maxsvet28@mail.ru, ORCID 0000-0001-9654-1044

*Мезенова Ольга Яковлевна, доктор технических наук, заведующая кафедрой, mezenova@klgtu.ru, ORCID 0000-0002-4716-2571; Максимова Светлана Николаевна, доктор технических наук, заведующая кафедрой, maxsvet28@mail.ru, ORCID 0000-0001-9654-1044

© Мезенова О.Я., Максимова С.Н., 2023

Abstract. Production of biodiesel from the fat-containing entrails of king crab is investigated. These secondary raw materials are massively disposed (released into the sea) after separation of limbs. Routine technologies of the biodiesel production from vegetable and fish oils are used. The fatty acid composition of the fat is analyzed and the acid and peroxide numbers are determined. A high content of PUFAs (42.5 %) is detected, including the omega-3 (30.6 %) and omega-6 (12.3 %) fatty acids. High acid number (5.5 mg KOH per g fat) and peroxide number (85.6 mmol of active oxygen per g fat) of the crab fat do not meet the requirements for edible fish oils. The biodiesel in the form of fatty acid ethyl esters was produced from the crab fat with three indicators (NaOH, KOH, and H₂SO₄). Reactions with alkali did not give positive results due to formation of large amounts of soap. The best yield of esters was obtained in the experiment with sulfuric acid: 52.2 g of biodiesel was produced from 50.0 g of fat. Mechanisms of the reaction are explained and mass balances of the process are presented. Kinematic viscosity, total contamination, and acid number of biodiesel (4.96 mm²/s, 8 mg/kg, 0.35 mg KOH/g, respectively) meet the requirements of the national standard GOST R 53605-2009 (EN 14214:2003).

Keywords: biodiesel, crab waste, fat, fatty acid composition, ethyl esters of fatty acid, acid number, peroxide value, viscosity

For citation: Mezenova O.Y., Maksimova S.N. Production of biodiesel from fat of secondary crab materials, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 3, pp. 686–694. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-686-694. EDN: EPIAZO.

Введение

Современное использование углеводородного дизеля представляет собой хищническую эксплуатацию нефтяного ресурса, при этом цены на данный энергоноситель в последнее время резко выросли. Около 250 млн лет потребовалось природе для создания месторождений нефти, а цивилизация смогла за последние 150 лет уменьшить их объем наполовину [Аблаев и др., 2006].

Преимуществом биодизельного топлива (биодизеля) по сравнению с нефтяным топливом является снижение выброса вредных веществ в атмосферу, низкое содержание серы и ароматических углеводородов, нетоксичность, биodeградация, антикоррозийность, содержание кислорода, что позволяет улучшить процесс горения топлива и обеспечить более высокую температуру вспышки. Достаточно высокое цетановое число биодизелей повышает безопасность их использования, улучшает смазывающую способность [Еникеев и др., 2011].

В качестве сырья для производства биодизеля сегодня в основном используются растительные масла (рапсовое, подсолнечное, соевое и др.), однако данный ресурс прежде всего нужен аграрной и пищевой отраслям промышленности [Аблаев и др., 2006; Потороко и др., 2021].

К проблемным отходам рыбной отрасли, обладающим высоким энергетическим ресурсом, можно отнести жиросодержащее сырье гидробионтов, которое, как правило, быстро теряет качество из-за высокого содержания полиненасыщенных жирных кислот и поэтому не перерабатывается на пищевую продукцию [Ржавская, 1976; Боева и др., 2016; Дамбарович, Агафонова, 2022]. К данному сырью относятся отходы от разделки рыбы и беспозвоночных, жиры низкого качества, получаемые при производстве рыбной муки и в других технологических процессах (бланширование, производство белковых гидролизатов), жиросодержащие сточные воды [Пат. РФ 2404230; Петров, Вепринцев, 2023].

К особо проблемному жиросодержащему сырью можно отнести пищеварительные органы камчатских крабов. Это гепатопанкреас — орган пищеварительной системы крабов, объединяющий функции печени и поджелудочной железы, который содержит от 10 до 27 % жира. Известны технологии получения из гепатопанкреаса ферментных препаратов коллагеназной активности, однако на их изготовление расходуется не более 0,1 % потенциальной массы данного сырья [Игнатова и др., 2015; Боева и др., 2016; Подкорытова и др., 2018; Максимова и др., 2019].

Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* — один из основных объектов лова на Дальнем Востоке [Максимова и др., 2020]. Как правило, крабов сразу после вылова разделяют на судах, отделяя конечности, обладающие высокими вкусовыми качествами, которые направляют на замораживание. При этом отходы (головогрудь, гепатопанкреас и др.) утилизируются в основном выбросом в море [Подкорытова и др., 2018; Максимова и др., 2019].

Жир крабовых отходов имеет особые характеристики качества, отличные от рыбного жира, и практически не используется. Прежде всего крабовый жир имеет повышенные природные кислотное и перекисное числа и высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК — более 45 %). Использование крабового жира на пищевые цели даже в свежем состоянии требует специальных технологий. Вследствие повышенной склонности к гидролитической и окислительной порче проблема переработки жиросодержащих крабовых отходов на жировые и иные продукты особенно актуальна [Подкорытова и др., 2018].

Таким образом, перспективным видится получение из жиросодержащего крабового вторичного сырья, проблемного для производства пищевой и другой полезной продукции (при его массовом аккумулировании), биоэнергетического материала, в том числе биодизеля.

В рыбной отрасли предложено несколько технологий получения биодизельного топлива из рыбных и мясных жиров [Горохов и др., 2008; Фан и др., 2010; Еникеев и др., 2011; Мукатова, Чан Ньонг Тхи, 2012; Пат. РФ 2404230]. Все разработанные методы основаны на переэтерификации триглицеридов метанолом, этанолом, метилатом калия или натрия в метаноле при катализировании щелочью (KOH или NaOH) с последующим отделением образующихся эфиров, глицерина, влаги. Преимуществом применения этанола при переэтерификации перед другими реактивами является его доступность, получение из возобновляемого сырья, низкая цена, быстрое реагирование с жирами [Чан Ньонг Тхи и др., 2011]. Следует отметить, что не все разработанные технологии позволяют получать биодизель с высоким выходом и требуемыми значениями показателей качества. В этой сфере постоянно идет поиск рациональных технологий.

Цель исследования — обоснование возможности получения биодизеля из жира гепатопанкреаса камчатского краба с применением реакций переэтерификации этанолом при различных катализаторах и оценка его показателей качества.

Материалы и методы

В работе использовали крабовый жир, полученный методом теплового вытапливания из печени камчатских крабов *P. camtschaticus* при температуре 70 °С в водной среде при гидромодуле 1 : 1 с последующим разделением фаз центрифугированием.

Показатели качества жира (кислотное (КЧ) и перекисное (ПЧ) числа) определяли по ГОСТ 7636-85, жирнокислотный состав липидов — методом газовой хроматографии с идентификацией масс-спектрометрическим способом на хроматографе AT GC/MS 5975.

В экспериментах при обосновании рационального способа получения биодизеля из крабового жира использовали базовые подходы к технологии биодизеля из растительных масел [Аблаев и др., 2006] и рыбных жиров [Фан и др., 2010; Еникеев и др., 2011; Чан Ньонг Тхи и др., 2011; Мукатова, Чан Ньонг Тхи, 2012; Пат. РФ 2404230; Пат. РФ 2440405]. Также принимали во внимание классическую технологию получения эфиров жирных кислот [Тетюнников и др., 1992].

Для получения эфиров жирных кислот применяли абсолютизированный этиловый спирт, а в качестве катализатора — концентрированные щелочи (NaOH и KOH) и концентрированную серную кислоту (H₂SO₄).

Для экспериментов использовали навеску крабового жира массой 50 г. Соотношение масс «этиловый спирт : жир» составляло 6 : 1. Щелочные катализаторы

добавляли в количестве 1,5 % к массе жира, серную кислоту — 2,0 % к массе жира. Эксперимент проводили в круглодонной колбе с реакционной смесью, которую соединяли с обратным холодильником, поддерживая в течение 12 час температуру в смеси 80 °С (щелочи) и 40 °С (кислота). После проведения переэтерификации серную кислоту нейтрализовали спиртовым раствором едкого кали, далее отгоняли избыток этилового спирта. После охлаждения реакционную смесь центрифугировали, разделяя на глицерин (верхняя фракция) и этиловые эфиры жирных кислот, или биодизель (нижняя фракция).

В биодизеле определяли следующие показатели качества: плотность при 15 °С — на цифровом денсиметре DMA-4500 фирмы «Anton Paar» (по стандарту ASTM D 4052); кинематическую вязкость при 40 °С (по стандарту ASTM D 445) — с использованием капиллярного вискозиметра типа Уббелозе и вискозиметрической бани «TAMSON»; общее загрязнение (по стандарту IP 440) — весовым методом на оборудовании фирмы «Normalal Analisis».

Кислотное число биодизеля определяли по методике стандарта ASTM D 664 на автоматическом титраторе «Titando 835» фирмы «Metrohm».

Все полученные данные были статистически обработаны на 95 %-ном доверительном уровне с применением стандартных прикладных программ.

Результаты и их обсуждение

Химический анализ крабового жира по показателям КЧ и ПЧ показал, что их значения не соответствуют требованиям безопасности, предъявляемым к пищевым рыбным жирам (ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции»). Показатель КЧ был равен 5,5 мг КОН/г жира (норма для пищевого жира — не более 4,0 мг КОН/г жира), ПЧ — 85,6 ммоль акт. кислорода/кг (норма — не более 10 ммоль акт. кислорода/кг). Значения данных чисел свидетельствуют об активных гидролитических и окислительных процессах, делающих данные жиры проблемными для пищевого использования.

Заключение о проблемности пищевого использования крабового жира согласуется с выводами других авторов [Игнатова и др., 2015; Боева и др., 2016; Подкорытова и др., 2018; Максимова и др., 2019]. Одним из объясняющих факторов данного вывода может быть повышенное содержанием в крабовом жире полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Данные по жирнокислотному составу исследованного жира приведены в табл. 1.

Из данных табл. 1 следует, что крабовый жир отличается повышенным содержанием ПНЖК (42,5 %), в том числе жирных кислот семейства омега-3 (30,6 %) и омега-6 (12,3 %). Установлено, что в жирах крабовых отходов содержание НЖК составляет 19,3 % (в том числе пальмитиновой ЖК 10,6 %), МНЖК — 37,3 % (в том числе олеиновой ЖК 11,2 % и вакценовой ЖК 12,0 %). Следует отметить, что основную долю ПНЖК в жире камчатского краба составили жирные кислоты семейства омега-3, доля которых составила 30,6 %, при этом преобладающими ЖК являются эйкозапентаеновая (15,2 %) и докозагексаеновая (5,7 %). Массовая доля омега-6 жирных кислот составила 12,3 % за счет преобладания линоленовой кислоты (7,5 %).

Результаты испытания по получению биодизеля из крабового жира методами переэтерификации этиловым спиртом с применением трех различных индикаторов (щелочи NaOH и КОН и концентрированная серная кислота H₂SO₄) показали, что использование щелочных индикаторов в данном случае нерационально. В реакционной жировой крабовой системе реакции переэтерификации проходят неэффективно, что обусловлено высокой ненасыщенностью жирных кислот. Их повышенная активность по отношению к щелочным металлам способствует образованию мыла (солей органических кислот со щелочами), что приводит к нарушению однородности дисперсии.

Таблица 1

Жирнокислотный состав липидов из печени камчатского краба, % массы жира

Table 1

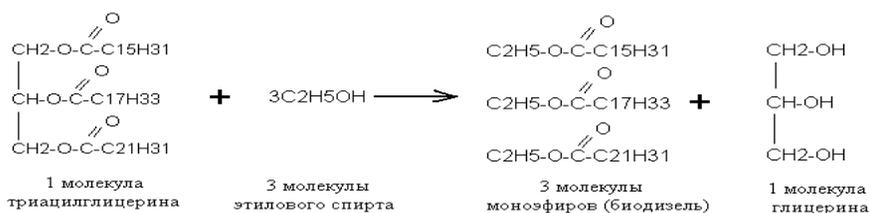
Fatty acid composition of fat from the liver of king crab, %

Жирная кислота	Содержание
14:0 Миристиновая	1,8
15:0 Пентадекановая	0,5
16:0 Пальмитиновая	10,6
16:1 ω 7 Пальмитолеиновая	9,2
17:0 Маргариновая	1,3
17:1 Маргаринолеиновая	1,2
18:0 Стеариновая	3,7
cis 18:1 ω 9 trans Элаидиновая	0,7
cis 18:1 ω 9 Олеиновая	11,2
cis 18:1 ω 7 Вакценовая	12,0
trans 18:2 ω 6 Октадекадиеновая	0,3
cis 18:2 ω 6 Линолевая	0,9
cis 18:3 ω 6 Гамма-линоленовая	7,5
cis 20:0 Арахидиновая	0,4
cis 18:3 ω 3 Альфа-линоленовая	3,6
cis 20:1 ω 9 Гондоиновая	2,7
cis 20:2 ω 6 Эйкозодиеновая	1,2
cis 20:3 ω 3 Эйкозатриеновая	4,4
cis 22:0 Бегеновая	0,3
cis 20:4 ω 6 Арахидоновая	2,4
cis 20:5 ω 3 Эйкозапентаеновая	15,2
24:0 Лигноцеридиновая	0,9
cis 24:1 n9 Нервоновая	0,5
cis 22:5 ω 3 Докозапентаеновая	1,8
cis 22:6 ω 3 Докозагексаеновая	5,7
Сумма	100,0
Сумма насыщенных жирных кислот (НЖК)	19,3
Сумма мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК)	37,3
Сумма полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК)	42,5
Сумма trans ЖК	0,9
Сумма ω 6 ЖК, входят в ПНЖК	12,3
Сумма ω 3 ЖК, входят в ПНЖК	30,6

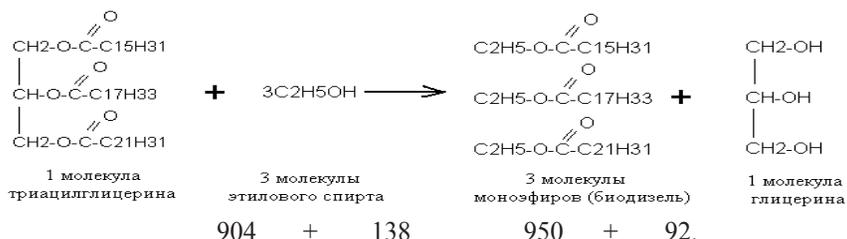
В случае применения NaOH реакционная смесь затвердевает при охлаждении. При использовании KOH образующиеся мыла, как поверхностно-активные вещества, не позволяют разделить образующуюся устойчивую эмульсию на две фракции — глицерин и эфиры жирных кислот (биодизель).

Положительные результаты были получены при использовании в качестве катализатора серной кислоты. После проведения реакции переэтерификации и отстаивания смесь четко разделялась на две фракции: верхнюю — глицерин и нижнюю — эфиры жирных кислот (биодизель). После разделения реакционной смеси были определены качественные показатели биодизеля, свидетельствующие о его функциональности.

Практически полученные результаты эксперимента сравнивали с расчетными данными. Теоретический расчет выхода биодизеля осуществляли через определение молекулярной массы компонентов, участвующих в реакции получения биодизеля:



Молекулярно-массовое соотношение компонентов реакции выглядит следующим образом:



Исходя из реакции переэтерификации и молекулярных масс каждого соединения, теоретический выход биодизеля составляет 105,1 % массы жира.

Практический выхода биодизеля, определенный в экспериментах взвешиванием продуктов реакции, составил 52,2 г из 50,0 г жира, т.е. 104,3 % массы исходного жира. При этом было получено 5,6 г глицерина (второй продукт реакции). Близость теоретических и практических данных по массовому выходу биодизеля свидетельствует о реальной возможности получать рассмотренным способом максимально возможное его количество из крабового жира.

Анализ качества полученного биодизеля проводили по характеристикам, регламентированным в национальном стандарте ГОСТ Р 53605-2009 (EN 14214:2003) «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метилловые эфиры жирных кислот (fame) для дизельных двигателей. Общие технические требования» (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительные данные показателей качества полученного биодизеля и требований стандарта

Table 2

Comparative data on the quality indicators of the obtained biodiesel and the requirements of the standard

Показатель	Размерность	Полученный биодизель	ГОСТ Р 53605-2009 (EN 14214-2003)
Плотность при 15 °С	Кг/м ³	885,4	860–900
Кинематическая вязкость при 40 °С	Мм ² /с	4,96	3,5–5,0
Общее загрязнение (содержание механических примесей)	Мг/кг	8,0	Не более 24
Кислотное число	Мг КОН/г	0,35	Не более 0,5

Из данных табл. 2 видно, что показатели полученного биодизеля соответствуют требованиям ГОСТ Р 53605-2009 (EN 14214-2003). Следует подчеркнуть, что экспериментальный биодизель имеет плотность, соответствующую рекомендуемой (885,4 кг/м³), и содержит в три раза меньше механических примесей, регламентированных стандартом.

Результаты экспериментов свидетельствуют о том, что крабовый жир может быть использован в качестве сырья для производства биодизеля. При этом возможно решение проблемы переработки гепатопанкреаса вторичного крабового сырья с получением альтернативного биотоплива из возобновляемых источников. Технология переэтерификации крабового жира с получением этиловых эфиров жирных кислот

рациональна с применением в качестве индикатора серной кислоты, но требует дальнейшего совершенствования.

Выводы

Определены показатели качества жира камчатского краба *P. camtschaticus*, полученного методом теплового вытапливания из его пищеварительных органов: КЧ — 5,5 мг КОН/г жира; ПЧ — 85,6 ммоль акт. кислорода/кг. Жирнокислотный анализ показал высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот в крабовом жире (42,5 %). Полученные данные свидетельствуют о специфике данного сырья, которую необходимо учитывать при обосновании технологии получения биодизеля.

Общепринятая технология производства биодизеля из растительного сырья, основанная на реакции переэтерификации триацилглицеридов в присутствии щелочей, при использовании крабового жира нерациональна. В системе образуется повышенное количество солей жирных кислот, препятствующих разделению фаз; данный эффект связан с высокой непредельностью жирных кислот в крабовом жире.

Получение биодизеля из крабового жира реакциями переэтерификации с этиловым спиртом с применением в качестве катализатора серной кислоты дает возможность достичь выхода готового продукта, близкого к теоретически возможному (105,1 % массы жира — расчетный выход биодизеля; 104,3 % — практический выход).

Определены некоторые показатели качества биодизеля, регламентированные в ГОСТ Р 53605-2009 (ЕН 14214:2003) «Топливо для двигателей внутреннего сгорания»: плотность 885,4 кг/м³; кинематическая вязкость 4,96 мм²/с; общее загрязнение 8 мг/кг; кислотное число — 0,35 мг КОН/г жира; показано их соответствие требованиям стандарта.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают глубокую признательность доктору Йорг-Томасу Мерзелю, руководителю научно-исследовательской и консультационной лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия), за помощь в аналитических исследованиях.

The authors are deeply grateful to Dr. Jörg-Thomas Merzel, head of UBF Research and Consulting Laboratory (Altlandsberg, Germany) for his assistance in chemical analysis.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование выполнено при госбюджетной финансовой поддержке НИР Госзадания № 01-36-04.1 по теме: «Получение биологически активных веществ из побочных и недо востребовавшихся водных биологических ресурсов для рыбоводных и технических целей».

The study was funded from the state budgetary financial support for the research work of State Assignment No. 01-36-04.1 on the topic: «Obtaining biologically active substances from by-products and under-demanded aquatic biological resources for fish farming and technical purposes».

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors state that they have no conflict of interest.

Список литературы

Аблаев А.Р., Гумеров Ф.М., Левин И.Ф. и др. Производство и применение биодизеля : справ. пос. — М. : АПК и ППРО, 2006. — 78 с.

Боева Н.П., Бредихина О.В., Петрова М.С., Баскакова Ю.А. Технология жиров из водных биологических ресурсов : моногр. — М. : ВНИРО, 2016. — 107 с.

Горохов Д.Г., Бабурина М.И., Иванкин А.Н., Горбунова Н.А. Жиры хороши только в топливном баке. Переработка жиров в биодизель как возможное решение проблемы производства энергии из возобновляемого сырья // Все о мясе. — 2008. — № 2. — С. 30–33.

Дамбарович Л.В., Агафонова С.В. Ферментативная экстракция жира из вторичного сырья атлантической скумбрии и его использование в функциональном питании // Вестн. Междунар. академии холода. — 2022. — № 2. — С. 48–55. DOI: 10.17586/1606-4313-2022-21-2-48-55.

Еникеев А.Х., Гарабаджиу А.В., Козлов Г.В., Карасёв М.М. Перспективная сырьевая база для получения биодизельного топлива и технологии его производства // Рос. хим. журнал. — 2011. — Т. 55, № 1. — С. 63–69.

Игнатова Т.А., Родина Т.В., Подкорытова А.В. Биотехнологическая конверсия отходов от разделки краба *Paralithodes camtschaticus* при получении кормовой добавки с хитином // Вестн. биотехнол. и физ.-хим. биологии им. Ю.А. Овчинникова. — 2015. — Т. 11, № 1. — С. 20–27.

Максимова С.Н., Полещук Д.В., Верещагина К.К. и др. Перспективы биомодификации отходов от разделки синего краба *Paralithodes platypus* // Вестн. ВСГУТУ. — 2020. — № 3 (78). — С. 14–23.

Максимова С.Н., Полещук Д.В., Суровцева Е.В. и др. Потенциал вторичных ресурсов камчатского краба как технологически ценного сырья // Индустрия питания. — 2019. — Т. 4, № 4. — С. 30–36. DOI: 10.29141/2500-1922-2019-4-4-4.

Мукатова Н.Д., Чан Ньонг Тхи. Обоснование и разработка технологии производства биодизеля из жиросодержащих рыбных отходов // Вестн. АГТУ. Сер.: Рыб. хоз-во. — 2012. — № 2. — С. 158–163.

Пат. РФ 2404230. Способ получения биодизельного топлива / В.А. Галынкин, А.В. Гарабаджиу, А.Х. Еникеев. — Заяв. 12.03.2009; Опубл. 20.11.2010. — 8 с.

Пат. РФ 2440405. Способ получения биотоплива / Н.П. Боева, М.С. Петрова, А.М. Макарова. — Заявл. 16.06.2010; Опубл. 20.01.2012. — 7 с.

Петров Б.Ф., Вепринцев Р.А. Использование технических жиров в рыбной промышленности // Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. — М. : ВНИРО, 2023. — С. 327–332.

Подкорытова А.В., Строкова Н.Г., Семикова Н.В. Комплексная переработка камчатского краба при производстве пищевой продукции и биологически активных веществ // Тр. ВНИРО. — 2018. — Т. 172. — С. 198–212. DOI: 10.36038/2307-3497-2018-172-198-212.

Потороко И.Ю., Цирульниченко Л.А., Попова Н.В., Венката Мохан С. Отходы пищевых производств как возобновляемые источники энергии: перспективность и технологические решения // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Пищевые и биотехнологии. — 2021. — Т. 9, № 2. — С. 16–25. DOI: 10.14529/food210202.

Ржавская Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих : моногр. — М. : Пищ. пром-сть, 1976. — 473 с.

Тетюльников Б.Н., Гладкий Ф.Ф., Бухштаб З.И. и др. Химия жиров : учеб. для вузов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М. : Колос, 1992. — 448 с.

Фан К., Баргон Р., Аустик Г. Получение биодизеля из рыбьего жира // Химия и технология топлив и масел. — 2010. — № 5 (561). — С. 3–7.

Чан Ньонг Тхи, Мукатова М.Д., Киричко Н.А. Способ получения биодизеля из жиросодержащих рыбных отходов методом проведения реакции переэтерификации // Вест. АГТУ. Сер.: Рыб. хоз-во. — 2011. — № 1. — С. 152–157.

References

Ablaev, A.R., Gumerov, F.M., Levin, I.F., Matveeva, O.A., Mitusova, T.N., Namakshtansky, Ya.V., Semenov, V.G., Khaibullin, D.V., and Yarullin, R.S., *Proizvodstvo i primeneniye biodizelya* (Production and use of biodiesel), Moscow: APK and PPRO, 2006.

Boeva, N.P., Bredikhina, O.V., Petrova, M.S., and Baskakova, Yu.A., *Tekhnologii zhиров iz vodnykh biologicheskikh resursov* (Technology of fats from aquatic biological resources), Moscow: VNIRO, 2016.

Gorokhov, D.G., Baburina, M.I., Ivankin, A.N., and Gorbunova, N.A., Fat processing into biodiesel as a possible solution of the problem of energy production from renewable raw materials, *Vse o myase*, 2008, no. 2, pp. 30–33.

Dambarovich, L.V. and Agafonova S.V., Enzymatic extraction of oil from atlantic mackerel waste and its use in functional nutrition, *Vestn. Mezhdunar. akademii kholoda*, 2022, no. 2, pp. 48–55. doi 10.17586/1606-4313-2022-21-2-48-55

Enikeev, A.Kh., Garabagiu, A.V., Kozlov, G.V., and Karasev, M.M., Perspective raw material base for obtaining biodiesel fuel and technology of its production, *Ros. khim. zhurnal*, 2011, vol. 55, no. 1, pp. 63–69.

Ignatova, T.A., Rodina, T.V., and Podkorytova, A.V., Biotechnological conversion of waste from the butchering of the Paralithodes camtschaticus crab when receiving a feed additive with chitin, *Vestn. biotekhnol. i fiz.-khim. biology im. Yu.A. Ovchinnikova*, 2015, vol. 11, no. 1, pp. 20–27.

Maksimova, S.N., Poleshchuk, D.V., Vereshchagina, K.K., Panchishina, E.M., and Surovtseva, E.V., Prospects for biomodification of waste from cutting the blue crab Paralithodes platypus, *Vestn. Vostochno-Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologiy i upravleniya*, 2020, no. 3 (78), pp. 14–23.

Maksimova, S.N., Poleshchuk, D.V., Surovtseva, E.V., Vereshchagina, K.K., and Milovanov, A.V., Potential of secondary resources of king crab as a technologically valuable raw materia, *Industriya pitaniya*, 2019, vol. 4, no. 4, pp. 30–36. doi 10.29141/2500-1922-2019-4-4-4

Mukatova, N.D. and Chan, Nhung Thi, Grounds and development of technology of biodiesel production from fat-containing fish waste, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2012, no. 2, pp. 158–163.

Galynkin, V.A., Garabadzhiu, A.V., and Yenikeev, A.Kh., Method for obtaining biodiesel fuel, Patent RU 2404230 C1, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2010.

Boeva N.P., Petrova M.S., and Makarova, A.M., Patent RU 2440405 C1, Method for obtaining biofuel, *Izobret., Polezn. Modeli*, 2012.

Petrov, B.F. and Veprintsev, R.A., The use of industrial fats in the fishing industry, in *Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. Konf. "Rybokhozyaystvennyy kompleks Rossii: problemy i perspektivy razvitiya"* (Proc. of the Intern. Scie. and Prac. Conf. "Fishery industry of Russia: problems and development prospects"), Moscow: VNIRO, 2023, pp. 327–332.

Podkorytova, A.V., Strokov, N.G., and Semikova, N.V., Complex processing of king crab in the production of food products and biologically active substances, *Tr. Vseross. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 172, pp. 198–212. doi 10.36038/2307-3497-2018-172-198-212

Potoroko, I.Yu., Tsirulnichenko, L.A., Popov, N.V., and Venkata, Mohan, S., Food production waste as renewable energy sources, Food Production Waste as Renewable Energy Sources: Prospects and Technological Solutions, *Bull. of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2021, vol. 9, no. 2, pp. 16–25. doi 10.14529/food210202

Rzhavskaya, F.M., *Zhiry ryb i morskikh mlekopitayushchikh* (Fats of fish and marine mammals), Moscow: Pishchevaya Promyshlennost', 1976.

Tetyunnikov, B.N., Gladkiy, F.F., Bukhshtab, Z.I., Mel'nik, A.P., Butenev, V.P., Demidov, I.N., Timchenko, V.K., and Perevalov, L.I., *Khimiya zhirov* (Chemistry of fats, 3rd ed., revised. and additional), Moscow: Kolos, 1992.

Fan, X., Barton, R., and Austik, G., Manufacture of biodiesel from fish oil, *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*, 2010, no. 5 (561), pp. 3–7.

Chan, Nhung Thi, Mukatova, M.D. and Kirichko, N.A., The method of biofuel extraction from fat-containing fish wastes using the method interesterification, *Vestnik Astrakh. Gos. Tekh. Univ., Ser. Ryb. khoz-vo*, 2011, no. 1, pp. 152–157.

Поступила в редакцию 28.06.2023 г.

После доработки 7.07.2023 г.

Принята к публикации 4.09.2023 г.

The article was submitted 28.06.2023; approved after reviewing 7.07.2023; accepted for publication 4.09.2023