

Обоснование рациональных режимов термического выделения липидов из жиросодержащих рыбных отходов

EDN XPDINI, DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4-

Мезенова Ольга Яковлевна – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой пищевой биотехнологии, @ mezenova@klgtu.ru, Калининград, Россия;

Агафонова Светлана Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии, @ svetlana.agafonova@klgtu.ru, Калининград, Россия;

Романенко Наталья Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии, @ nataliya.mezenova@klgtu.ru, Калининград, Россия;

Калинина Наталья Сергеевна – зав. лабораториями кафедры пищевой биотехнологии, @ natalya.kalinina@klgtu.ru, Калининград, Россия;

Волков Владимир Владимирович – директор Центра передовых технологий использования белка кафедры пищевой биотехнологии, @ vladimir.volkov@klgtu.ru, Калининград, Россия – ФГОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

Адрес: 236022, Россия г. Калининград, Советский проспект, д. 1

Аннотация.

Многие рыбные отходы, остающиеся при разделке рыбы (головы, внутренности, кости), содержат повышенное количество жира, который обладает высокой биологической ценностью. Получение из них пищевого жира не всегда возможно по требованиям безопасности, а изготовление кормовой рыбной муки, со стандартными показателями качества, затруднено. Повышенная жирность сырья и параметры технологии способствуют быстрому прогорканию жира в муке и образованию токсичных веществ. Данное сырье может быть использовано для получения рыбного жира с последующими рекомендациями по применению, с учетом показателей окислительной и гидролитической порчи и в соответствии с требованиями стандартов. При превышении содержания нежелательных продуктов, жир может быть использован для технических целей или в промышленной биотехнологии, как субстрат для микробного синтеза биоразлагаемых биополимеров типа полигидроксиалканоев. В работе исследован термический способ выделения жира из голов скумбрии и кильки горячего копчения, как отходов рыбоконсервных предприятий Калининградской области. Установлено высокое содержание жира в сырье (соответственно 24,9 и 20,3%) и его характеристики. Определены рациональные параметры гидромодуля (1:0,5 и 1:1,0) при термоллизе, соответственно, измельченного килечного и скумбриевого сырья, при скорости вращения мешалки в термореакторе 15 об./мин. Определены рациональные диапазоны температуры и продолжительности термического выделения жира в экспериментах, с применением математического планирования. Параметрами оптимизации являлись выход жира, его кислотное и перекисное числа. Максимальный выход жира из рыбных голов достигается при температуре 73-94°C в течение 2 ч 15 мин - 2 ч 45 минут. Однако при этом жир имеет повышенные значения кислотного и перекисного чисел. Получение качественного жира с показателями пищевого рекомендуется при температуре 68-83°C в течение 43 мин. - 1 ч 22 минут.

Ключевые слова:

жиросодержащие рыбные отходы, липиды, рыбный жир, термоллиз, кислотное число, перекисное число

Для цитирования:

Мезенова О.Я., Агафонова С.В., Романенко Н.Ю., Калинина Н.С., Волков В.В. Обоснование рациональных режимов термического выделения липидов из жиросодержащих рыбных отходов // Рыбное хозяйство. 2023. № 4. С. EDN XPDINI, DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4-

SUBSTANTIATION OF RATIONAL MODES OF THERMAL ISOLATION OF LIPIDS FROM FAT-CONTAINING FISH WASTE

Olga Ya. Mezenova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Biotechnology,

@ mezenova@klgtu.ru, Kaliningrad, Russia;

Svetlana V. Agafonova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology,

@ svetlana.agafonova@klgtu.ru, Kaliningrad, Russia;

Natalia Yu. Romanenko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology,

@ nataliya.mezenova@klgtu.ru, Kaliningrad, Russia;

Natalia S. Kalinina – head laboratories of the Department of Food Biotechnology, @ natalya.kalinina@klgtu.ru, Kaliningrad, Russia;

Vladimir V. Volkov – Director of the Protein Center advanced technology use of the Department of Food Biotechnology

@vladimir.volkov@klgtu.ru, Kaliningrad, Russia – *Federal State Educational Institution of Higher Education "Kaliningrad State Technical University"*

Address: 1, Sovetsky Prospekt, Kaliningrad, 236022, Russia

Annotation. Many fish waste remaining during the cutting of fish (heads, entrails, bones) contain an increased amount of fat, which has a high biological value. Obtaining edible fat from them is not always possible due to safety requirements, and the production of feed fishmeal with standard quality indicators is difficult. The increased fat content of raw materials and the technology parameters contribute to the rapid rancidity of fat in flour and the formation of toxic substances. This raw material can be used to obtain fish oil with subsequent recommendations for use, taking into account the indicators of oxidative and hydrolytic spoilage and in accordance with the requirements of the standards. When the content of undesirable products is exceeded, it can be used for technical purposes or in industrial biotechnology, as a substrate for microbial synthesis of biodegradable biopolymers such as polyhydroxyalkanoates. In this paper, a thermal method for separating fat from the heads of mackerel and hot-smoked sprats, as waste products from fish canning enterprises in the Kaliningrad region, was studied. A high fat content in raw materials (respectively 24.9 and 20.3%) and its characteristics were established. The rational parameters of the hydromodulus (1:0.5 and 1:1.0) were determined during thermolysis of crushed sprat and mackerel raw materials, respectively, at a stirrer rotation speed in the thermoreactor of 15 rpm. Rational ranges of temperature and duration of thermal release of fat were determined in experiments using mathematical planning. The optimization parameters were the yield of fat, its acid and peroxide numbers. The maximum yield of fat from fish heads is achieved at a temperature of 73-94°C for 2 hours 15 minutes – 2 hours 45 minutes. However, at the same time, fat has increased values of acid and peroxide numbers. Obtaining high-quality fat with food indicators is recommended at a temperature of 68 - 83 °C for 43 min. – 1 h 22 minutes.

Keywords:

fat-containing fish waste, lipids, fish oil, thermolysis, acid number, peroxide number

For citation:

Mezenova O.Ya., Agafonova S.V., Romanenko N.Yu., Kalinina N.S., Volkov V.V. Substantiation of rational modes of thermal isolation of lipids from fat-containing fish waste. 2023. No. 4. Pp. EDN XPDINI, DOI: 10.37663/0131-6184-2023-4.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Рыбный жир обладает высокой биологической ценностью. Он содержится в повышенном количестве во многих рыбных отходах [1-4]. Это: головы, внутренности, кости и другие части тела рыб, удаляемые при производстве пищевой продукции и составляющие от 20 до 75% массы сырья [5]. Однако получение рыбного жира из жиродержащих рыбных отходов остается проблемой для специалистов, в сырье (печень, внутренности и др.) жир тесно контактирует с микрофлорой, обладающей активными липолитическими ферментами, а также водой и кислородом. Поэтому сырьевой жир быстро гидролизует и окисляется с потерей своих биологических свойств. Этот процесс также обусловлен высоким содержанием в рыбных липидах полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) – на уровне 40-60% [1; 6; 7]. При этом в коллагенсодержащих тканях, какими являются головы, кости, плавники рыб, содержится повышенное количество фосфолипидов, обладающих эмульгирующими свойствами, что затрудняет выделение жира, из-

за его связи с белками в прочные эмульсии, особенно при тепловом воздействии [8].

Основным направлением переработки рыбных отходов сегодня является производство кормовой рыбной муки [1; 2]. Но в реальности ее производят мало. Данный процесс рассчитан на высокие объемы сырья и поточность в переработке, требуют специального оборудования. В Калининградской области в настоящее время на рыбокомбинатах нет жиромучных цехов, и жиродержащие отходы, в том числе – головы копченой кильки (отходы шпротных производств) зачастую утилизируются сжиганием, как твердые бытовые отходы [9]. Поэтому представляется актуальным использовать жировой биопотенциал данного сырья путем обособления эффективного способа изолирования жировой фракции с оценкой показателей его качества.

Жир концентрируется в различных тканях и органах рыб (табл. 1) [1]. Его содержание и качество липидов зависят от вида рыб, возраста, сезона добычи. Жир может находиться в подкожном слое (сельдевые, палтус); во внутренних органах (печени, кишечнике), в брюш-

ной полости (тресковые, окуневые, судак), в костной ткани (лососевые, сиговые); равномерно по телу (скумбриевые, ставридовые, анчоусовые). Диапазон колебаний липидов в тканях может достигать от 1 до 50%. [1; 2; 10].

Из таблицы 1 следует, что отходы от разделки рыбы потенциально являются жиросодержащим сырьем, количество липидов может достигать 12-38% [1; 2; 10].

Наиболее массовым видом отходов являются головы рыб, которые составляют от 17 до 52% массы тела, в зависимости от вида. Химический состав и содержание жира в головах некоторых промысловых видов рыб приведен в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что у сельди, сома, окуня и скумбрии в головах аккумулируется 14-25,3% жира, и данное сырье может быть источником его получения.

Особенностью химического состава рыбных липидов является преобладание в них нейтральных жиров (триглицериды), вторые по массе – фосфолипиды (в основном лецитин); в незначительных количествах присутствуют алкоксиглицериды, воск, углеводороды [1; 10]. Другой особенностью жиров рыб является присутствие жирных кислот (ЖК) с высоким числом атомов углерода (от C_{12} до C_{24}), представленных насыщенными (17,0-30% массы ЖК) и ненасыщенными ЖК (70-83% всех ЖК), при высокой концентрации ПНЖК, отличающихся по качеству от ПНЖК липидов растений, теплокровных животных, молочного жира. ПНЖК – необходимые БАВ для всех живых организмов, они выполняют многочисленные провитаминовые и гормональные функции [11-14]. Повышенное количество ПНЖК обуславливают жидкую консистенцию липидов рыб, что необходи-

мо учитывать при выборе способа получения жира [1; 2; 10].

Достоинством жиров рыб является повышенное количество ПНЖК класса омега-3, прежде всего, эйкозапентаеновой (0,63-8,54% жира) и докозагексаеновой ЖК (1,11- 19,02%), которые играют важную роль в обеспечении многих физиологических процессов. [1; 10; 12-14]. Недостаток рыбных жиров – нестабильность качества, повышенная способность к окислению и быстрая порча, особенно если сырье было недостаточно свежим. При превышении показателей жира (КЧ и ПЧ), более нормативных значений для пищевого и кормового назначения, рыбный жир может быть использован только на технические продукты (смазочные и технические масла, биодизель) [15], или для целей биотехнологии (например, в качестве субстрата для микробного синтеза биополимеров, белка) [16].

Способы выделения жира из рыбного сырья различны. Из жиросодержащего сырья получают жир-сырец тепловым способом (традиционный), механическим измельчением, криогенным воздействием, энзимологическим и химико-экстракционным методами [1, 2, 10, 11, 17]. Наиболее распространен тепловой способ, заключающийся в воздействии на измельченное сырье температурами около 100 °С, в результате чего происходит разрушение оболочек жировых клеток, из которых вытекает жир [1, 2, 10]. Для извлечения свободного жира и снижения степени эмульгирования, в систему вносят некоторое количество воды. При тепловой обработке жиросодержащих рыбных отходов, с повышенным количеством коллагеновых белков, может образовываться стойкая белково-жировая эмульсия. Причиной этого является пере-

Таблица 1. Диапазон варьирования химического состава рыбных отходов [10] / **Table 1.** The range of variation in the chemical composition of fish waste [10]

Вид рыбного сырья	Содержание, % массы			
	вода	липиды	белок	минеральные вещества
Кожа	35,1-73,2	0,22-37,3	19,6-38,5	1,8-7,6
Плавники	46,0-91,0	0,22-37,4	7,5-21,1	1,8-16,1
Чешуя	32,4-60,6	0,21-2,50	19,5-36,5	14,0-32,0
Кости	43,1-85,9	0,40-26,1	4,9-21,5	0,4-15,8
Головы	52,6-90,1	0,23-28,8	5,0-23,5	1,0-11,5
Плавательные пузыри	63,4-80,1	0,25-12,7	18,5-37,0	0,8-1,7

Таблица 2. Химический состав рыбных голов промысловых видов рыб, % массы [11] / **Table 2.** Chemical composition of fish heads of commercial fish species, wt % [11]

Вид рыбы	Вода	Липиды	Белок	Минеральные вещества
Окунь морской	63,2-71,8	7,7-14,2	12,7-17,6	5,3-6,7
Сельдь атлант.	60,6-76,2	6,2-15,7	12,1-20,2	4,6-7,7
Камбалы	75,3-78,4	1,6-6,4	12,7-15,8	4,2-8,4
Судак	65,3-74,6	2,1-6,7	15,7-20,2	5,2-11,3
Сом	64,1-85,2	0,7-15,8	12,7-18,8	4,7-8,2
Скумбрия	63,3-70,5	12,7-25,3	16,3-18,2	6,9-7,7



а)



б)



Рисунок 1. Виды шпротных отходов и голов скумбрии атлантической (верхняя часть) и рыбных жиров, выделенных из данного сырья: а – балтийской кильки горячего копчения; б – скумбрии атлантической
Figure 1. Types of sprat waste and heads of Atlantic mackerel (upper part) and fish oils isolated from this raw material: а – hot smoked Baltic sprat; б – Atlantic mackerel

ход коллагена в водорастворимый глютин, обладающий повышенной адгезией. В итоге образуется стойкая клейкая масса, из которой трудно выделить свободный жир. Избежать этого можно воздействием более высоких температур, разрушающих белки до низкомолекулярных пептидов, не обладающих желирующими свойствами. При этом вязкость жира уменьшается, он приобретает текучесть и отделяется от других тканей [8; 9].

Цель исследования – обоснование рациональных параметров выделения липидов из жиросодержащих рыбных отходов термическим способом, изучение зависимостей качества жира от основных факторов процесса и разработка рекомендаций по использованию полученных жиров, в зависимости от степени гидролитических и окислительных изменений.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования были взяты головы скумбрии и балтийской кильки горячего копчения (отходы производства консервов «Шпроты в масле»), полученные от рыбоперерабатывающих предприятий Калининградской области (ООО «РосКон» и РК «За Родину»), а также – выделенные жиры (рис. 1). Жир из шпротных отходов имел светло-коричневый цвет, был непрозрачным, имел ярко выражен-

ный аромат копченой рыбы (рис. 1а). Жир из голов скумбрии характеризовался желтым цветом, был мутноватый, слегка опалесцирующий над отстоем, с легким рыбным запахом (рис. 1б).

Отбор средних проб, подготовку их к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 31339-2006. Содержание воды, белка, жира, минеральных веществ, показатели гидролитической и окислительной порчи (кислотное и перекисное число) определяли по ГОСТ 7636-85. Для извлечения жира сырье предварительно измельчали, добавляли воду в соотношении 1:0,5 (килька), 1:1 (скумбрия) к массе сырья и помещали в термореактор с мешалкой, где оно находилось от 15 мин. до 5 ч. при заданной температуре (65-115°C). Скорость перемешивания рыбной массы составляла 15 об./минуту. При проведении исследований, при температуре 115°C, в термореакторе поднимали давление до 2,5 атмосфер. По окончании заданного времени, рыбную систему центрифугировали при 3500 об./мин. и декантировали для отделения жировой фракции.

Для оптимизации температуры и продолжительности термогидролиза, при выделении рыбных липидов, использовали метод математического планирования эксперимента, варьируя данные факторы, при постоянной скорости перемешивания (15 об./мин.) и заданном ги-

дромодуле (1:05 и 1:1), в соответствии с матрицей центрального композиционного плана второго порядка для 2-х факторов (ОЦКП). Параметрами оптимизации термогидролиза являлись массовый выход жира из сырья и показатели его порчи – КЧ и ПЧ, объединенные в обобщенный параметр оптимизации по методу «приближения к идеалу». При обособлении пищевого уровня жира исходили из того, что его показатели не должны превышать регламентированных нормативных значений: кислотное число жира (КЧ) – не более 4 мг КОН/г, перекисное число жира (ПЧ) – не более 10 ммоль активного кислорода /кг (ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции»).

Планируемые уровни варьирования факторов, в соответствии с матрицей ОЦКП, приведены в таблице 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав изученных жиросодержащих отходов приведен в таблице 4. Как видно, данное сырье содержит значительное количество жира (20,3-24,9%), особенно много его в головах скумбрии.

В таблице 5 приведены показатели выхода жира, гидролитической и окислительной порчи жира (КЧ и ПЧ), выделенного из измельченного рыбного сырья центрифугированием, без теплового воздействия. Данные значения можно считать «нулевыми» или «идеальными», установленными без влияния факторов термолиза.

Из таблицы 5 видно, что, по показателям КЧ и ПЧ выделенные жиры удовлетворяют требо-

ваниям ТР ЕАЭС 040/2016 и могут быть рекомендованы для пищевого использования.

В таблице 6 приведены результаты экспериментов по оптимизации температуры и продолжительности термолиза, согласно ОЦКП 2-го порядка для 2-х факторов, и соответствующие частные параметры-отклики (выход, КЧ, ПЧ) с безразмерными отклонениями от «идеалов», объединенные в обобщенный параметр оптимизации.

Анализ результатов термического способа выделения жира из голов скумбрии (табл. 5) показывает, что для получения его максимального выхода из данного сырья (55,8% при «идеале» 60%) рационально процесс проводить при высокой температуре 115°C в течение 2,62 ч (2 ч 42 мин.). Однако, при этом значения КЧ (14,8 мг КОН/г жира) и ПЧ (12,3 ммоль активного кислорода/кг) становятся неприемлемыми для пищевого жира, что, очевидно, связано с нежелательным высокотемпературным воздействием достаточно продолжительное время. Наименьший выход жира из сырья отмечается при его гидротермической деструкции при 90°C в течение 5 ч (14,3%), что обусловлено образованием белково-жировых эмульсий (плотной клейкой массы) при данных условиях, препятствующих освобождению жира.

Длительный высокотемпературный термолиз (более 3 ч. при температуре более 100°C) не способствует сохранению качества жира. При этом, существенной интенсификации их выделения не наблюдается. После термолиза, при высокой температуре и фракционирования центрифугированием, жир в этих пробах плохо отделяется, образуется густая эмульсия жира

Таблица 3. Значения изменяемых факторов, их интервалы варьирования /

Table 3. Values of variable factors, their intervals

Факторы	Уровни			Интервал варьирования
	Нижний -1	Основной 0	Верхний +1	
Температура термолиза, °С	65	90	115	25
Продолжительность термолиза, ч	0,25	2,62	5,0	2,38

Таблица 4. Химический состав исследованных рыбных голов /

Table 4. Chemical composition of the studied fish heads

Виды рыб и вторичного сырья	Компоненты, %			
	Вода	Липиды	Протеин	Минеральные вещества
Головы скумбрии атлантической	56,4	24,9	14,6	4,1
Головы копченой кильки	55,6	20,3	18,3	5,78, в т.ч. пов. соль 1,82

Таблица 5. Показатели выхода жира, значения кислотного и перекисного чисел жира, выделенного из необработанного рыбного сырья / **Table 5.** Indicators of fat yield, values of acid and peroxide numbers of fat isolated from raw fish raw materials

Вид сырья	Выход жира, % от содержания в сырье	Кислотное число (КЧ), мг КОН / г	ПЧ, ммоль активного кислорода / кг
Головы скумбрии	11,7	1,3	4,6
Головы копченой кильки	8,9	3,3	6,6

Таблица 6. Выход жира и показатели качества жира при различных температурах и продолжительности термогидролиза, варьируемых в соответствии с ОЦКП / **Table 6.** Fat yield and fat quality indicators at different temperatures and durations of thermohydrolysis, varied in accordance with the BCCP

№	Режим выделения жира		Выход жира, % от содержания в сырье («идеал» для скумбрии 60%, для кильки 40%)		КЧ, мг КОН / г жира («идеал» для скумбрии 1,3; для кильки 3,3)		ПЧ, ммоль активного кислорода / кг («идеал» для скумбрии 4,6; для кильки 6,6)		Обобщенный параметр оптимизации	
	Т-ра, Т, °С	Время, т, ч								
Головы скумбрии										
			*	**	*	**	*	**		
1	115	5,0	14,5	0,56	6,5	16,0	20,1	11,5	28,02	
2	65	5,0	22,3	0,39	6,7	17,23	17,1	11,36	28,98	
3	115	0,25	16,1	0,53	10,6	51,15	15,2	5,3	56,98	
4	65	0,25	27,9	0,59	13,7	91,0	6,4	0,15	94,44	
5	115	2,62	55,8	0,005	14,8	107,8	12,3	2,8	110,6	
6	65	2,62	13,6	0,59	1,9	0,21	4,8	0,0017	0,80	
7	90	5,0	14,3	0,58	11,6	62,75	12,1	2,66	65,99	
8	90	0,25	44,3	0,068	4,4	5,68	6,7	0,45	6,20	
9	90	2,62	30,6	0,24	3,8	3,69	9,6	1,17	5,10	
Головы копченой кильки										
1	115	5,0	26	0,35	5,8	0,58	7,2	0,0082	0,94	
2	65	5,0	23	0,18	3,9	0,032	8,4	0,074	0,286	
3	115	0,25	17	0,33	3,8	0,023	7,3	0,012	0,365	
4	65	0,25	14	0,42	3,6	0,023	6,9	0,002	0,45	
5	115	2,62	34,6	0,018	4,1	0,058	8,1	0,052	0,128	
6	65	2,62	27,3	0,10	4,2	0,074	7,2	0,008	0,182	
7	90	5,0	24,1	0,159	5,8	0,57	9,1	0,14	0,87	
8	90	0,25	16,7	0,34	4,7	0,18	6,8	0,0009	0,52	
9	90	2,62	38,8	0,001	3,7	0,014	7,4	0,015	0,029	

Примечание: * - натуральное значение фактора; ** - безразмерное отклонение от «идеала».

с белком. Получение качественных жиров, по показателям гидролиза и окисления, достигается при 65°C в течение 2,62 ч, а также – при 90°C при обработке 0,25 ч (15 мин.) и при воздействии той же температуры на протяжении 2,62 часов. В последних двух вариантах выход жира был достаточно высоким и составил, соответственно, 44,3% и 30,6%.

Таким образом, рациональными параметрами теплового выделения жира из голов скумбрии, с целью максимального его выхода, можно считать температуры 65-90°C при продолжительности процесса от 15 минут до 2,5 ч (с тенденцией уменьшения выхода при повышении времени и ухудшении качества при повышении температуры). Для получения рыбного жира, соответствующего требованиям пищевого, рекомендуется термическое воздействие при 90°C в течение 2 ч 42 минут.

Анализ экспериментов по термическому выделению жира из шпротных отходов (голов копченой кильки) показал, что абсолютные значения получаемого жира меньше, чем при обработке голов скумбрии (38,8% при «идеале» 40%). Такой результат, очевидно, связан с его меньшим содержанием в сырье (соответствен-

но, 20,3% и 24,9%), а также наличием копильных компонентов, проявляющих дубящее воздействие на белки, с которыми связаны жиры в данном коллагенсодержащем сырье. Наиболее высокие выходы жира (27,3-38,8%) установлены в широком диапазоне температур от 65 до 115°C, при средней продолжительности процесса в исследованном временном диапазоне 2,62 ч (2 ч 42 мин.). Характерной особенностью термического выделения шпротного жира, в отличие от скумбриевого, является сохранение его показателей окислительной порчи, при всех вариантах обработки, на уровне, не превышающем нормативы пищевого рыбного жира (ПЧ 6,9 – 9,1 ммоль акт. кислорода/кг). При этом значения КЧ были в большинстве случаев на допустимом уровне (в 6 пробах: 3,6-3,9 мг КОН/г жира), незначительно превышая нормативный показатель в 3-х других вариантах жиров (4,1-5,8 мг КОН/г жира). Для получения килечного жира, с показателями пищевого, рекомендуется выделять его при температурах в исследованном диапазоне 65-115°C от 15 мин. до 5 ч, при этом выход жира по массе будет коррелировать с продолжительностью обработки.

Математическая оптимизация полученных данных позволила рассчитать следующие значения температуры и продолжительности обработки измельченного жиросодержащего рыбного сырья, при которых возможно выделение максимального количества жира в водной среде при гидромодуле (1:0,5 и 1:1) и скорости перемешивания 12 об./мин.:

- из голов скумбрии: Т, °С – от 73 до 89; τ, ч – 2 ч 15 мин;
- из голов копченой кильки: Т, °С – от 85 до 94; τ, ч – 2 ч 45 мин;

Для получения жира с показателями качества на уровне требований, предъявляемых к пищевому жиру, рекомендуемые следующие режимы термогидролиза:

- из голов скумбрии: Т, °С – от 68 до 72; τ, ч – 43 мин;
- из голов копченой кильки: Т, °С – от 79 до 83; τ, ч – 1 ч 22 мин.

Остающаяся после термогидролиза и частично обезжиренная рыбная масса может быть использована в качестве источника белков, жиров и минеральных веществ в кормовых целях, например, в составе комбикормов для аквакультуры [18].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обоснованы рациональные параметры выделения липидов из жиросодержащих рыбных отходов (голов атлантической скумбрии и копченой балтийской кильки) термическим способом, в зависимости от температуры и продолжительности воздействия. Исследования проведены в диапазоне температур – 65-115 °С в течение 15 мин - 5 ч в водной среде при гидромодуле 1:0,5 (килька) – 1:1 (скумбрия) и перемешивании со скоростью вращения мешалки 15 об./минуту. Установлено, что с повышением продолжительности и температуры обработки измельченной рыбной массы, выход жира и его качество ухудшаются, поскольку образуется трудно разделяемая белково-жировая эмульсия. Максимальный выход жира зависит от вида сырья и потенциально составляет «идеал» 60% (в модели для жира скумбрии; в эксперименте 44,3%) и 40% (в модели для килечного жира, в эксперименте 38,8%). Данные показатели достигаются в соответствии с расчетами, при температурах термолиза от 73°С до 94°С в течение 2 ч 15 мин. - 2 ч 45 минут. При этом качество жира, по значениям КЧ и ПК, не соответствует требованиям, предъявляемым к пищевым жирам. Их рекомендуется использовать для технических целей (смазочные материалы) и/или в промышленной биотехнологии в качестве углеродного субстрата для микробного синтеза биоразрушаемых пластиков, что требует специальных исследований [16].

Получение рыбного жира с показателями КЧ и ПЧ, регламентированными для пищевого жира, рекомендуется, в зависимости от вида сырья и его первоначальных характеристик, при температурах термолиза 68-83°С в течение

43 мин. - 1 ч 22 минут. Такой жир имеет значения КЧ менее 4 мг КОН/г жира и ПЧ – менее 10 ммоль активного кислорода/кг.

Полученные показатели выхода жира из голов рыб, как жиро- и коллагенсодержащего сырья, при термическом вытапливании в пределах 14,0-44,3% от массы его в жиросодержащих рыбных тканях (6,1-14,2% от массы сырья), можно считать недостаточно рациональными. Потенциально более эффективным способом выделения жира из данного сырья представляется ферментативно-термический, предусматривающий предварительную обработку специфическими ферментами. Но данный вопрос требует специального изучения.

Исследования выполнены при поддержке гранта РНФ 23-64-10007 «Биотехнологический синтез белка одноклеточных и разрушаемых биопластиков с использованием в качестве субстрата жиросодержащих отходов технологий рыбопереработки: фундаментальное обоснование и реализация».

The research was carried out with the support of the RNF grant 23-64-10007 "Biotechnological protein synthesis of unicellular and destructible bioplastics using fish processing technologies as a substrate of fat-containing waste: fundamental justification and implementation".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад в работу авторов: О.Я. Мезенова – идея и подготовка статьи, окончательная корректировка текста; С.В. Агафонова – подготовка обзора зарубежной литературы, получение экспериментальных данных по скумбрии; Н.Ю. Романенко – обзор отечественной литературы, получение экспериментальных данных по шпротным отходам; Н.С. Калинина – подготовка экспериментальных образцов жира, сбор и анализ данных; В.В. Волков – анализ данных.

The authors declare that there is no conflict of interest. Contribution to the work of the authors: O.Ya. Mezenova – idea and preparation of the article, final correction of the text; S.V. Agafonova – preparation of a review of foreign literature, obtaining experimental data on mackerel; N.Yu. Romanenko – review of the domestic literature, obtaining experimental data on sprat waste; N.S. Kalinina – preparation of experimental fat samples, data collection and analysis; V.V. Volkov – data analysis.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Боева Н.П., Бредихина О.В., Петрова М.С., Баскакова Ю.А. Технология жиров из водных биологических ресурсов: монография. М.: Изд-во ВНИРО. 2016. 107 с.
2. Ржавская Ф.М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М.: Пищевая промышленность. 1976. 473 с.
3. Мезенова О.Я., Волков В.В., Мезенова Н.Ю., Агафонова С.В., Верхотуров В.В., Саускан В.И., Альтшуль Б.А., Хелинг А., Мерзель Т., Розенштейн М.М., Андреев М.П. Анализ состояния экономики и перспектив применения биотехнологии в рыбной отрасли Калининградской области // Рыбное хозяйство. 2020. №5. С. 38-50.
4. Volkov V.V., Moersel L-T., Kuehn S., Grimm T., Mezenova O.Ja. Hoehling A., Barabanov S.A., Volkov K.S. Olysis products from

sockeye (*Oncorhynchus nerka* L.) heads from the Kamchatka Peninsula produced by different methods: biological value // Foods and Raw Materials. 2021. Volume 9. no 1. Pp. 10-18.

5. Хелинг А., Гримм Т., Волков В.В., Мезенова О.Я. Исследование различных способов гидролитического процесса вторичного рыбного сырья консервного производства // Вестник Международной академии холода. 2016. № 1. С. 3-8.

6. Иванова Е.Е. Жирнокислотный состав липидов некоторых видов рыб, акклиматизированных на юге России. // Известия вузов. Пищевая технология. 2012. № 2/3. С. 11-13.

7. Гаммель И.В., Запорожская Л.И., Магин Г.Ю. Получение и исследование осетрового рыбьего жира – источника омега -3 и омега -6 полиненасыщенных жирных кислот // Медицинский альманах. 2013. № 5. С. 182-187.

8. Mezenova O.Ja., Baidalinova L. S., Mezenova N. Yu., Agafonova S. V., Volkov V. V., Verkhoturov V. V. High-temperature hydrolysis as a method for complex processing of sprat (*Sprattus sprattus balticus*) by-products // Journal of New Technology and Materials (JNTM). 2022. V. 12. № 01. Pp. 8-14.

9. Мезенова О.Я., Тишлер Д., Агафонова С.В., Мезенова Н.Ю., Волков В.В., Бараненко Д.А., Гримм Т., Ридель С. Исследование и рациональное применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагеносодержащих тканей // Вестник Международной академии холода. 2021. №1. С. 46-58.

10. Сафронова Т.М., Мезенова О.Я., Сергеева Н.Т., Слуцкая Т.Н., Байдалинова Л.С., Лысова А.С., Степанцова Г.Е. Биотехнология рационального использования гидробионтов: учебник. СПб.: Издательство «Лань». 2013. 412 с.

11. Дамбарович Л. В., Агафонова С. В. Ферментативная экстракция жира из вторичного сырья атлантической скумбрии и его использование в функциональном питании // Вестник Международной академии холода. 2022. № 2. С. 48-55.

12. Rincón-Cervera M.A. et al. Quantification and Distribution of Omega-3 Fatty Acids in South Pacific Fish and Shellfish Species. // Foods. 2020. No 9. P. 233.

13. Babajafari S. et al. Comparison of Enzymatic Hydrolysis and Chemical Methods for Oil Extraction from Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Waste and its Influence on Omega 3 // Fatty Acid Profile. International Journal of Nutrition Science. 2017. No 42(2). Pp. 58-65.

14. Murage M.W., Muge E.K., Mbatia B.N., Mwaniki M.W. Development and Sensory Evaluation of Omega-3-Rich Nile Perch Fish Oil-Fortified Yogurt. // International Journal of Food Science. 2021. Article ID 8838043. 7 pages.

15. Петров Б.Ф., Вепринцев Р.А. Использование технических жиров в рыбной промышленности. Материалы Международной научно-практической конференции «Рыбохозяйственный комплекс России: проблемы и перспективы развития (28-29 марта 2023 г.)». Москва: ВГБНУ «ВНИРО». С. 327-332.

16. Волова Т.Г. Разрушаемые микробные полигидроксиканоаты в качестве технического аналога неразрушаемых полифенолов // Journal of Siberian Federal University. 2015. Biology. 2. Pp. 131-151.

17. Aitta E., Marsol-Vall A., Damerou A., Yang B. Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus membras*). // Foods. 2021. No 10(8). P. 1811.

18. Мезенова О.Я., Пьянов Д.С., Агафонова С.В., Романенко Н.Ю., Волков В.В., Калинина Н.С. Применение гидролизатов шпротных отходов при кормлении европейского сига в индустриальной аквакультуре // Рыбное хозяйство. 2022. №3. С.54-61.

REFERENCES AND SOURCES

1. Boeva N.P., Bredikhina O.V., Petrova M.S., Baskakova Yu.A. (2016). Technology of fats from aquatic biological resources: monograph. M.: VNIRO Publishing House. 107 p. (In Russ.).

2. Rzhavskaya F.M. (1976). Fats of fish and marine mammals. M.: Food industry. 473 p. (In Russ.).

3. Mezenova O.Ya., Volkov V.V., Mezenova N.Yu., Agafonova S.V., Verkhoturov V.V., Sauskan V.I., Altshul B.A., Heling A., Merzel T.,

Rosenstein M.M., Andreev M.P. 2020. Analysis of the state of the economy and prospects for the application of biotechnology in the fishing industry of the Kaliningrad region // Fisheries. No. 5. Pp. 38-50. (In Russ., abstract in Eng.).

4. Volkov V.V., Moersel L-T., Kuehn S., Grimm T., Mezenova O.Ja. Hoehling A., Bara-banov S.A., Volkov K.S. (2021). Olysis products from sockeye (*Oncorhynchus nerka* L.) heads from the Kamchatka Peninsula produced by different methods: biological value // Foods and Raw Materials. Volume 9. no 1. Pp. 10-18. (In Russ.).

5. Heling A., Grimm T., Volkov V.V., Mezenova O.Ya. (2016). Investigation of various methods of hydrolytic process of secondary fish raw materials of canning production // Bulletin of the International Academy of Cold. No. 1. Pp. 3-8.

6. Ivanova E.E. (2012). Fatty acid composition of lipids of some fish species acclimatized in the south of Russia. // Izvestiya vuzov. Food technology. No. 2/3. Pp. 11-13. (In Russ.).

7. Gammel I.V., Zaporozhskaya L.I., Magin G.Yu. (2013). Obtaining and research of solid fish oil – a source of omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids // Medical almanac. No. 5. Pp. 182-187.

8. Mezenova O.Ja., Baidalinova L.S., Mezenova N.Yu., Agafonova S.V., Volkov V.V., Verkhoturov V.V. (2022). High-temperature hydrolysis as a method for complex processing of sprat (*Sprattus sprattus balticus*) by-products // Journal of New Technology and Materials (JNTM). V. 12. № 01. Pp. 8-14. (In Russ.).

9. Mezenova O.Ya., Tishler D., Agafonova S.V., Mezenova N.Yu., Volkov V.V., Baranenko D.A., Grimm T., Riedel S. (2021). Research and rational use of peptide and lipid compositions obtained during hydrolysis processing of collagen-containing tissues // Bulletin of the International Academy of Cold. No.1. Pp. 46-58. (In Russ.).

10. Safronova T.M., Mezenova O.Ya., Sergeeva N.T., Slutskaia T.N., Baidalinova L.S., Lysova A.S., Stepantsova G.E. (2013). Biotechnology of rational use of hydrobionts: textbook. S-Pb.: Publishing House "Lan". 412 p. (In Russ.).

11. Dambarovich L. V., Agafonova S. V. (2022). Enzymatic extraction of fat from secondary raw materials of Atlantic mackerel and its use in functional nutrition // Bulletin of the International Academy of Cold. No. 2. Pp. 48-55. (In Russ.).

12. Rincón-Cervera M.A. et al. (2020). Quantification and Distribution of Omega-3 Fatty Acids in South Pacific Fish and Shellfish Species. // Foods. No 9. P. 233.

13. Babajafari S. et al. (2017). Comparison of Enzymatic Hydrolysis and Chemical Methods for Oil Extraction from Rainbow Trout (*Oncorhynchus Mykiss*) Waste and its Influence on Omega 3 // Fatty Acid Profile. International Journal of Nutrition Science. No 42(2). Pp. 58-65.

14. Murage M.W., Muge E.K., Mbatia B.N., Mwaniki M.W. (2021). Development and Sensory Evaluation of Omega-3-Rich Nile Perch Fish Oil-Fortified Yogurt. // International Journal of Food Science. Article ID 8838043. 7 pages.

15. Petrov B.F., Veprintsev R.A. (2023). The use of technical fats in the fishing industry. Materials of the International Scientific and Practical Conference "The Fisheries complex of Russia: problems and prospects of development (March 28-29, 2023)". Moscow: VNIRO VGBNU. Pp. 327-332. (In Russ.).

16. Volova T.G. (2015). Destructible microbial polyhydroxyalkanoates as a technical analogue of indestructible polyphenols // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2. Pp. 131-151.

17. Aitta E., Marsol-Vall A., Damerou A., Yang B. (2021). Enzyme-Assisted Extraction of Fish Oil from Whole Fish and by-Products of Baltic Herring (*Clupea harengus membras*). // Foods. No. 10(8). P. 1811.

18. Mezenova O.Ya., Pyanov D.S., Agafonova S.V., Romanenko N.Yu., Volkov V.V., Kalinina N.S. (2022). Application of hydrolysates of sprat waste when feeding European whitefish in industrial aquaculture // Fisheries. No.3. Pp.54-61. DOI 10.37663/0131-6184-2022-3-54-61. (In Russ., abstract in Eng.).

Материал поступил в редакцию / Received 03.07.2023
Принят к публикации / Accepted 24.07.2023