

УДК 664.951.039.4:665.213

**О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ИНТЕНСИФИКАЦИИ
ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ЖИРА ИЗ ГОЛОВ ТИХООКЕАНСКИХ ЛОСОСЕВЫХ РЫБ**

А.Г. Артемова, О.В. Бредихина, Р.В. Артемов, Ю.А. Баскакова

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва,
Россия*

Важнейшей отличительной особенностью жиров рыб от жиров растительного происхождения и других животных является наличие в их составе биологически активных омега-3 жирных кислот, в первую очередь, эйкозапентаеновой и докозагексаеновой, которые являются незаменимыми элементами питания для человека, важнейшими средствами профилактики и лечения различных заболеваний. В среднем содержание ПНЖК омега-3 в жирах водных биоресурсов составляет 14–22 %, в отдельных случаях может достигать 60 %. [14].

Общемировой объём производства рыбного жира в 2006–2015 гг. составил 856–1104 тыс. т. с тенденцией к увеличению до 1230 тыс. т. к. 2020 г. [5, 21]. Основными странами – производителями рыбного жира в настоящее время являются Чили, Перу, США, Япония, а также страны Скандинавии. Лидерами в производстве жира являются страны Южной Америки – Чили и Перу, на долю которых приходится около 38 % от общего объема производства жира.

В Российской Федерации суммарное количество ежегодно выпускаемого отечественными предприятиями рыбного жира незначительно (3,67 тыс. т) и не превышает 0,4 % от общемирового [12, 13]. При этом его основу составляют преимущественно технический и ветеринарный жиры из водных биологических ресурсов, а необходимый при производстве БАД и лечебно-профилактических продуктов пищевой жир импортируется, в основном, из Исландии и других стран Скандинавии.

Мониторинг состояния питания населения России указывает на постоянно растущий дефицит рыбных жиров, и, как следствие, наблюдается существенное снижение показателей здоровья детского и взрослого населения [2].

Одним из перспективных видов сырья для получения жира являются вторичные продукты переработки тихоокеанских лососевых рыб (горбуши, кеты, нерки, кижуча) на рыбоперерабатывающих предприятиях, что объясняется рядом объективных причин.

Во-первых, лососевые рыбы имеют огромное промысловое значение для Российской Федерации, составляя более 11 % от среднегодового общего улова Российской Федерации [13]. Так, по данным Росрыболовства, вылов тихоокеанских лососей в РФ в 2018 г. достиг исторического рекорда – более 675 тыс. т, что почти в два раза превышает улов 2017 г. [17].

Во-вторых, при производстве предприятиями Дальнего Востока основной продукции из тихоокеанских лососей – рыбы мороженной и охлажденной, доля отходов при обезглавливании составляет – 11,2–23,0 % [15]. Соответственно, на предприятиях при промпереработке образуется значительное количество голов лососевых рыб, которые при полной загруженности производства измельчают и сбрасывают в море. Одним из путей решения проблем комплексного использования тихоокеанских лососевых рыб и обеспечения населения уникальными по составу рыбными жирами является разработка технологии получения жира пищевого из голов лососевых рыб [2].

В-третьих, согласно данным общего химического состава головы лососевых рыб относятся к высокожирному сырью (до 15,0 %), при этом жир характеризуется высоким содержанием пигментов (например, астаксантин, эфиры лютеина), придающих ему оранжево-красную окраску [2, 20]. Биологическая ценность жира из голов лососевых рыб подтверждается высоким содержанием (до 44,2 %) полиненасыщенных жирных кислот омега-3, следовательно, он может быть использован в пищевых и фармацевтических целях [2].

В отечественной рыбной промышленности применительно к отходам рыбоперерабатывающих предприятий наибольшее распространение нашли такие методы выделения жиров как вытапливание и извлечение жира из эмульсий. Ферментативный способ разрушения жиросодержащих тканей применяется в технологиях, предусматривающих выделение жира из сырья и дальнейшее изготовление кормовой рыбной муки из обезжиренного жома [11].

Способ выделения жира посредством ферментативного гидролиза основан на разрушении жиросодержащих тканей сырья в результате воздействия протеолитических ферментов на белки. Происходит разрушение липопротеидных комплексов, что приводит к лучшему отделению жира от водно-белковой массы. Выбор ферментного препарата определяется такими факторами, как доступность цены и активность по отношению к выбранному виду сырья. Чаще всего для разрушения жиросодержащих тканей измельченных голов лососевых рыб используются ферментные препараты микробного происхождения, в частности, полученные из бактерий рода *Bacillus subtilis*.

Данный способ выделения жира отличается проведением процесса при относительно низкой температуре (45–50°C), что способствует сохранению биологически активных веществ, при этом возможна обработка сырья с содержанием жира от 7 до 15 % [2, 4, 7, 11].

В ФГБНУ «ВНИРО» был разработан ферментативный способ выделения жира из голов кеты с применением ферментного препарата Махазуме NNP DS, разрешенного для использования в пищевой промышленности. Указанный препарат содержит нейтральную протеазу, полученную из бактерий рода *Bacillus subtilis*. Максимальный выход жира – 69,12 % – был достигнут за счет двукратного измельчения фарша, внесении воды в количестве 40 % к массе сырья, концентрации фермента 0,13 % к массе сырья, и времени ферментирования 40 минут. Оптимальные параметры процесса ферментирования измельченных голов кеты были подтверждены низкими значениями кислотного (1,15 мг КОН/г) и перекисного чисел (0,98 ммоль активного кислорода/кг). Также установлено, что полученный образец жира по показателям перекисного и кислотного чисел соответствует требованиям ТР ТС 040/2016, предъявляемым к пищевым жирам.

Одним из существующих на сегодняшний день подходов к решению вопросов интенсификации технологических процессов в пищевых производствах является использование физических методов обработки сырья, в частности, ультразвуковых колебаний высокой интенсивности, которые позволяют ускорить процессы химических, микробиологических и пищевых технологий [18].

Исследования отечественных и зарубежных ученых, основанные на изучении свойств и специфичности действия ультразвука на биологические объекты, доказали, что в основе ультразвуковой обработки лежит энергетическое влияние ультразвуковых колебаний на их клеточную структуру [9].

Влияние ультразвуковых колебаний на жидкие реакционные среды обусловлено эффектами кавитации, ультразвукового ветра и ультразвукового давления, причем максимальное влияние обусловлено ультразвуковой кавитацией. Ультразвуковая кавитация – возникновение в жидкости, облучаемой ультразвуковыми волнами, пульсирующих и захлопывающихся пузырьков, заполненных паром, газом или их смесью. Захлопываясь, пузырьки порождают в растворе мощные импульсы давления и ударные волны. Именно энергия, выделяемая при схлопывании этих пузырьков, приводит к ускорению технологических процессов. Количество и размер кавитационных пузырьков зависят от параметров поля – интенсивности, частоты и звукового давления и характеристик жидкости: вязкости, плотности, температуры, поверхностного натяжения и давления парогазовой смеси.

Ультразвуковые процессы лучше всего проводить в диапазоне частот от 20 до 50 кГц, поскольку активность кавитации в поле низкочастотного ультразвука значительно выше, чем в поле высокочастотных ультразвуковых колебаний [10, 16]. Кроме того, ультразвуковую обработку в основном проводят при пониженных температурах для увеличения количества кавитационных пузырьков.

Одновременно, с целью реализации явления кавитации в воде необходимо применять ультразвуковые колебания с интенсивностью 1–10 Вт/см². Использование ультразвука большей интенсивности способствует образованию на поверхности рабочего инструмента кавитационного облака (большого количества воздушных пузырьков), препятствующего передаче ультразвуковых колебаний в объем [19]. Кроме того, более интенсивные и длительные воздействия могут привести к перегреву биологических структур и их разрушению (денатурация белков и др.).

Физико-химическое действие ультразвука на биологические объекты, прежде всего, связано с морфологией их поверхности. Ультразвук усиливает в тканях проницаемость клеточных мембран и диффузные процессы, увеличивает интенсивность протекания ферментативных процессов, изменяет концентрацию водородных ионов в тканях, вызывает расщепление высокомолекулярных соединений. Особенно эффективен для разрушения клеток низкочастотный ультразвук (до 200 кГц) [10].

Кроме того, учеными доказано стерилизующее действие ультразвука при частоте 20 кГц и выше, при интенсивности более 0,5 Вт/см². Механизм стерилизующего действия ультразвука весьма сложен и раскрыт не полностью. Доказано, что основным стерилизующим фактором является кавитация [10].

В настоящее время, ультразвуковая обработка часто используется для улучшения экстракции липидов и белков из семян таких растений, как соевые бобы (мука или обезжиренная соя) или других масличных семян. В этом случае разрушение стенок клетки облегчает отжим (холодный или горячий) и тем самым снижает содержание остатков масла или жира в жмыхе.

Известен способ выделения липидов из древесной зелени пихты, где в качестве органического неполярного растворителя используют бензин. Суть метода состоит в том, что ультразвук способствует разрушению связи липидов с другими соединениями, тем самым освобождая их для выделения. Поскольку извлечение липидов происходит в эмульсии, а ультразвук способствует образованию эмульсии, озвучивание реакционной смеси увеличивает выход липидов [10].

Успешно применяют ультразвук и для повышения эффективности производства рыбной кормовой муки. Обычно образующиеся в процессе прессования при производстве рыбной муки бульоны содержат значительное количество белков и липидов. Так, в бульоне, образовавшемся при переработке 30 т сырья, содержится около 1,5 т белка и 0,5 т жира. Этот подпрессовый бульон можно упарить, а образовавшийся концентрат использовать для обогащения кормовой муки. Однако процесс упаривания подпрессового бульона не эффективен из-за пригара белковой части и периодической остановки вакуум-выпарного оборудования для очистки. Кроме того, метод упаривания весьма энергоемок. Для отделения белка и жира от жидкой среды можно использовать методы электрофлотации и электрокоагуляции, но оба эти метода требуют затрат большого количества энергии на единицу готовой продукции, в которую к тому же нередко попадает металл электродов в виде загрязняющих примесей. Этих недостатков лишен ультразвуковой метод коагуляции белков в подпрессовых бульонах. После десятиминутной обработки мощным низкочастотным ультразвуком в бульоне, выдерживаемом при 95 °С, образуются хлопья, которые быстро осаждаются. Их легко отделяют с помощью сепаратора и высушивают одним из обычных способов. Применение ультразвука позволяет без существенных дополнительных затрат на 8–10 % увеличить общий выход рыбной муки – ценной кормовой добавки в рационе сельскохозяйственных животных [8].

Следует отметить, что в рыбной муке, полученной из высокожирного сырья, содержится значительное количество жира, который, окисляясь при хранении, снижает качество продукции. Известен способ снижения содержания жира в жоме за счет добавления к нему после прессования воды в соотношении 1:4 и обработки смеси мощным ультразвуком с частотой 18–22 кГц в течение 10–15 мин. Затем жом вновь подвергается прессованию. В результате содержание жира в жоме и конечном продукте снижается с 13 до 8 %, что существенно повышает качество рыбной муки. Отделенный при этом рыбий жир также представляет собой ценную кормовую добавку [1, 16].

Известен электроимпульсный способ выделения жира из жиросодержащего сырья (мелких мезопелагических рыб с содержанием жира 14–20 %) при получении кормовой муки. Измельченное сырье предварительно нагревают до температуры 40 °С и подвергают воздействию электрического тока. В результате денатурации белков и воздействия электрического тока происходит интенсивное разрушение мембран жиросодержащих клеток и выделение из них жира. Данная технология применяется при получении БАД к пище «Гидробион» [3]. Аналогичным образом ультразвуковая обработка жиросодержащего сырья (например, печени рыб) высокочастотными звуковыми колебаниями от 300 до 1500 кГц воздействует на молекулярную структуру белка, что приводит к разрушению мембран клеток и выходу жира в межклеточное пространство [6].

Из выше изложенного можно сделать вывод, что эффективность влияния ультразвука может быть объяснена воздействием специфических факторов, присущих ультразвуковым колебаниям: кавитационного эффекта; образования микропотоков; повышения диффузионной проницаемости ткани экстрагируемого материала, а также разрушающего действия на пограничный слой и клеточную стенку сырья.

В дальнейшем нами предусматривается проведение работы по ультразвуковой обработке ферментированных голов лососевых рыб с целью интенсификации процесса выделения жира. Будут определены рациональные параметры ультразвуковой обработки ферментализатов: частота, интенсивность ультразвуковых колебаний, продолжительность воздействия и температура проведения процесса, для получения пищевого жира с высокой биологической ценностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопян, В.Б. Основы взаимодействия ультразвука с «биологическими объектами» (ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии) / В.Б. Акопян, Ю.А. Ершов. М.: Изд-во РГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 300 с.
2. Артемова А.Г. Технология получения жир пищевого из голов лососевых рыб ферментативным способом // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова. – 2013. – С. 9–16
3. Боева Н.П. Научное обоснование комплексной технологии кормовой муки из нетрадиционных объектов промысла: автореферат диссертации доктора технических наук: 05.18.04 / Калинингр. гос. техн. ун-т. – Москва, 2002. – 52 с.
4. Боева Н.П. Новые подходы к технологии пищевого рыбного жира из голов лососевых рыб рода *Oncorhynchus* / Н.П. Боева, М.С. Петрова, А.Г. Артемова, Ю.А. Баскакова // Труды ВНИРО: Технология переработки водных биоресурсов. – 2015. – Т.158. – С. 162–166
5. Мировое производство рыбной продукции 2007–2011 гг. (по материалам ФАО). – М.: Изд-во ВНИРО, 2016. – 68 с.
6. Патент РФ 2468072. Боева Н.П., Замылина Д.В., Харенко Е.Н., Бедина Л.Ф. Способ получения жира из печени рыб. Оpubл. 27.11.2012. Бюл. № 33. Дата подачи заявки 29.06.2011
7. Патент РФ 2478695. Замылина Д.В., Боева Н.П., Сергиенко Е.В., Макарова А.М. Способ получения жира из печени рыб. Оpubл. 10.04.2013. Бюл. № 10. Дата подачи заявки 22.04.2011
8. Патент РФ № 2168908. МПК А23К1/12. Способ получения кормовых добавок из растительного сырья / А.И. Коновалов, Н.А. Соснина, С.Т. Минзанова, В.Ф. Миронов, С.С. Хируг // опубл.: 20.06.2001
9. Постнов Г.М. Обоснование интенсификации посола рыбы с помощью ультразвука / Постнов Г.М. Чеканов Н.А., Червоный В.Н., Яковлев О.В. // сборник науч. трудов 4-ой Международной научно-практ. конференции «Современные инновации в науке и технике». – Курск, 2014. – С. 334–337
10. Прутенская, Е.А. Использование ультразвука в химии и биотехнологии: учебное пособие / Е.А. Прутенская, Э.М. Сульман, М.Г. Сульман, Е.В. Селиванова. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2011. 92 с.
11. Сергиенко Е.В. О возможности использования отходов переработки лососевых рыб на предприятиях Курильских островов в качестве сырья для получения пищевого жира / Е.В. Сергиенко, Н.П. Боева, А.Г. Артемова, А.И. Бочкарев // Рыбное хозяйство. – 2013. – № 2. – С. 114–118
12. Статистические сведения по рыбной промышленности России. 2014, 2015 гг. М.: ВНИРО, 2016. – 75 с.
13. Статистические сведения по рыбной промышленности России. 2015, 2016 гг. М.: ВНИРО, 2017. – 74 с.
14. Технология жиров из водных биологических ресурсов: монография. / Н.П. Боева, О.В. Бредихина, М.С. Петрова, Ю.А. Баскакова – М.: ВНИРО, 2016. – 107 с.

15. Харенко Е.Н. и др. Единые нормы выхода продуктов переработки водных биологических ресурсов и объектов аквакультуры. Технологическое нормирование. Выпуск 6. – М.: ВНИРО, 2012. 222 с. Хмелев В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности /., А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203с.

16. Электронный ресурс: <https://fishnews.ru/news/36303> (дата обращения 10.07.2019)

17. Яковлев О.В. Применение ультразвука для интенсификации процесса посола рыбы / Яковлев О.В., Яшонков А.А. // матер. II Национальной научно-практ. конф. «Актуальные проблемы биоразнообразия и природопользования». – Симферополь, 2019. – С 540–543

18. Яричевская Н.Н. Разработка оптимальных режимов ультразвуковой обработки крабового сырья в технологии мороженой продукции / Яричевская Н.Н., Харенко Е.Н., Фомичева Л.Ф. // Труды ВНИРО: Технология переработки водных биоресурсов. – 2015. – Т.154. – С. 112–122

19. Fish meal and fish oil from salmon waste. // Eurofish Mag. – 2002. – № 5. – p. 42–43

20. Fish Oil (Anchovy, Mackerel, Sardines, Cod, Herring, Menhaden, Others) Market for Aquaculture, Animal Nutrition & Pet, Food, Pharmaceuticals Supplement & Functional Food and Other Applications: Global Industry Perspective, Comprehensive Analysis, Size, Share, Growth, Segment, Trends and Forecast, 2014 – 2020 / Zion Market Research: Obligated company. – [Electronic resource] – URL: <http://www.marketresearchstore.com/report/fish-oil-market-z607> (дата обращения 05.03.2018)