ISSN 2713-3222 (Online)

Научно-практический журнал
Дальневосточного государственного
технического рыбохозяйственного университета.
Издается с 1996 года

Том 67
1 | 2024

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ
И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА
И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

67

SCIENTIFIC JOURNAL OF THE FAR EASTERN
STATE TECHNICAL FISHERIES UNIVERSITY

ISSN 2713-3222 (Online)

Научно-практический журнал
Дальневосточного государственного
технического рыбохозяйственного университета.
Издается с 1996 года

Том 67
1 \ 2024

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

телефон: (423) 244-21-91
e-mail: nauch-tr@dgtru.ru
сайт: http://nauch-tr.dgtru.ru

67

SCIENTIFIC JOURNAL OF THE FAR EASTERN
STATE TECHNICAL FISHERIES UNIVERSITY

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. № 1 (т. 67)

Научный журнал
Издается с 1996 г.
Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет». Адрес: Россия, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б; e-mail: nauch-tr@dgtru.ru

Главный редактор – Ю.С. Клочков, доктор технических наук, Тюменский индустриальный университет, Тюмень

Научный редактор – О.И. Шестак, кандидат исторических наук, начальник Научного управления, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток

Ответственный редактор – Л.А. Харитонова, директор ЦПД «Издательство Дальрыбвтуза», Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток

Ответственный секретарь – Л.Н. Зуева, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток

Редакционная коллегия:

Н.Н. Ковалёв, доктор биологических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток – *ответственный редактор рубрики «Биотехнологии продуктов питания и биологически активных веществ»*;

С.В. Лисиенко, доктор технических наук, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток – *ответственный редактор рубрики «Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство»*;

С.Н. Максимова, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток – *ответственный редактор рубрики «Пищевые системы»*;

Б.И. Руднев, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток – *ответственный редактор рубрики «Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)»*;

С.А. Бредихин, доктор технических наук, профессор, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва;

Ли Вэй, кандидат биологических наук, профессор, Даляньский океанологический университет, Далянь, Китай;

И.А. Кадникова, доктор технических наук, профессор, Тихоокеанский филиал «ВНИРО» («ТИНРО»), Дальневосточный федеральный университет, Владивосток;

В.Н. Казаченко, доктор биологических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток;

Г.П. Кича, доктор технических наук, профессор, Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток;

А.И. Крикун, кандидат технических наук, доцент, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток;

И.В. Матросова, кандидат биологических наук, доцент, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток;

О.Я. Мезенова, доктор технических наук, профессор, Калининградский государственный технический университет, Калининград;

Нгуен Ву Тхань, профессор, доктор наук, Департамент нематодологии Института экологии и биологических ресурсов Вьетнамской академии наук и технологий (ВАНТ), Ханой, Вьетнам

Т.Н. Пивненко, доктор биологических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток;

С.Е. Поздняков, доктор биологических наук, профессор, Тихоокеанский филиал «ВНИРО» («ТИНРО»), Владивосток;

С.Д. Руднев, доктор технических наук, профессор, Кемеровский государственный медицинский университет Минздрава России, Кемерово;

Т.Н. Слуцкая, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток;

А.Н. Соболенко, доктор технических наук, профессор, Морской государственный университет им. адм. Г.И.Невельского, Владивосток;

П.А. Стародубцев, доктор технических наук, профессор, Тихоокеанское высшее военно-морское училище им. адм. С.О. Макарова, Владивосток;

О.В. Табакаева, доктор технических наук, доцент, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток;

Ю.В. Шокина, доктор технических наук, профессор, Мурманский государственный технический университет, Мурманск.

© Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ 6

Пивненко Т.Н. Влияние эндогенных ферментов на свойства мышечной ткани ВБР в процессе вылова и переработки 6

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ 31

Глебова Е.В. Методический подход к определению критических контрольных точек при разработке системы внутреннего контроля качества, основанной на принципах ХАССП 31

Клипак М.Б. Ферментолизаты из вторичного рыбного сырья и перспективы их использования в технологии продуктов питания 41

Крикун А.И., Руднев С.Д., Феоктистова В.В. Исследование гидрофобизации насыпного зернистого материала на работу фильтра для морской воды 48

Лаптева Е.П., Доскач Л.А. Идентификация рисков подготовительного этапа разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли 58

Чернова А.В., Доскач Л.А. Проблема технического регулирования показателя диоксида серы в кондитерских изделиях на территории Евразийского экономического союза 66

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО 75

Габрюк В.И., Кудакаев В.В., Мазур Е.Е. Методика моделирования симметричных и несимметричных траловых систем 75

Недоступ А.А., Ражев А.О. Физическое и компьютерное моделирование канатно-сетной конструкции траловой системы 89

Низяев С.А., Латковская Е.М., Ревин Ю.А. Использование биофлок-технологии при подращивании гидробионтов на базе установок замкнутого водоснабжения: возможности применения технологии в условиях Дальнего Востока России 96

CONTENTS

BIOTECHNOLOGY OF FOOD AND BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES 6

Pivnenko T.N. The effect of endogenous enzymes on the properties of the fish muscle tissue during the catch and processing 6

FOOD SYSTEMS 31

Glebova E.V. Methodically approach to determining critical control points in the development of an internal quality control system based on the principles of HACSP 31
Klipak M.B. Production of fermentolysates from secondary fish raw materials and prospects for their use in food technology 41
Krikun A.I., Rudnev S.D., Feoktistova V.V. Study of hydrophobization of bulk granular material on the operation of a seawater filter 48
Lapteva E.P., Doskach L.A. Identification of risks of the preparatory stage of development of integrated management systems for enterprises in the fishing industry 58
Chernova A.V., Doskach L.A. The problem of technical regulation of sulfur dioxide in confectionery products on the territory of the Eurasian Economic Union 66

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES 75

Gabruk V.I., Kudakaev V.V., Mazur E.E. Modeling technique for symmetrical and asymmetrical trawl systems 75
Nedostup A.A., Razhev A.O. Software for determination of physical and mechanical properties of synthetic fishing materials 89
Nizyaev S.A., Latkovskaya E.M., Revin Y.A. The use of bioflock technology in the cultivation of aquatic organisms on the basis of recirculating water supply installations: the possibilities of using the technology in the conditions of the Russian Far East 96

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 6–30.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 6–30.

БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Научная статья

УДК 669.713.7

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-01

Влияние эндогенных ферментов на свойства мышечной ткани ВБР в процессе вылова и переработки

Татьяна Николаевна Пивненко

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия, tnpivnenko@mail.ru

Аннотация. Приведены современные научные данные об эндогенных ферментативных системах, влияющих на катаболитические процессы, протекающие в мышечной ткани водных биологических объектов во время их вылова и переработки. Основное внимание уделено изменениям миофибриллярных белков и связанных с ними нуклеотидов. Оценивается возможность использования накопления производных распада АТФ как показателей порчи сырья. Показано влияние эндогенных протеолитических ферментов и трансфераз на процессы преобразования белков на различных этапах технологической переработки.

Ключевые слова: миофибриллярные белки, АТФ, нуклеотиды, катепсины, кальпаины, трансглутаминазы

Для цитирования: Пивненко Т.Н. Влияние эндогенных ферментов на свойства мышечной ткани ВБР в процессе вылова и переработки // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 6–30.

BIOTECHNOLOGY OF FOOD AND BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES

Original article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-01

The effect of endogenous enzymes on the properties of the fish muscle tissue during the catch and processing

Tatyana N. Pivnenko

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia, tnpivnenko@mail.ru

Abstract. The presented review provides modern scientific data on endogenous enzymatic systems affecting the catabolithic processes in the muscle tissue of the aquatic biological objects during their catch and processing. The main attention is paid to changes of the myofibrillar pro-

© Пивненко Т.Н., 2024

teins and the associated nucleotides. The possibility of using the accumulation of ATP decay derivatives as indicators of damage of raw materials is evaluated. The influence of endogenous proteolytic enzymes and transferases on protein transformation in various technological processing methods is shown.

***Keywords*:** myofibrillar proteins, ATP, nucleotides, cathepsins, calpaines, transglutaminases

For citation: Pivnenko T.N. The effect of endogenous enzymes on the properties of the fish muscle tissue during the catch and processing. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2024; 67(1):6–30. (in Russ.).

В настоящее время рыба и морепродукты, обладающие высокой питательной ценностью благодаря наличию полноценных и легкоусвояемых белков, полиненасыщенных жирных кислот и специфичных вторичных метаболитов, имеют возрастающий потребительский спрос. Высокая промысловая нагрузка и высокая доля отходов при переработке являются факторами, требующими более эффективных способов использования водных биологических ресурсов (ВБР). Необходимо учитывать химическую лабильность белков и липидов, наличие высокого содержания нестабильных в условиях переработки компонентов, сезонные колебания уловов, вариативность размеров и форм, сенсорную специфику и особенности скелетной структуры. Эти факторы ограничивают технологическое единообразие использования ВБР. Для достижения рационального использования сырья необходимо глубокое понимание механизмов, ограничивающих возможности переработки ВБР, а также процессы на различных стадиях обработки и хранения. В этом смысле ни один из классов веществ, содержащихся в тканях ВБР, обеспечивающих их разрушение или сохранность, не является более важным, чем ферменты.

При безусловном общем сходстве в строении и составе мышечной ткани рыб и наземных животных следует учитывать специфику метаболизма и соответствующий состав метаболитов тканей ВБР. Для ферментов ВБР характерна изначальная лабильность, обеспечивающая возможность катализа при низких температурах обитания и быструю инактивацию при умеренных температурах. Состав ферментов ВБР непосредственно влияет на питательную ценность, срок хранения и пищевые характеристики готовой продукции. Внутривидовое разнообразие факторов (биологический возраст, питание, качество воды, температура среды) определяет состав, посмертные превращения тканей и пищевые характеристики. В подавляющем большинстве случаев мышечная ткань ВБР по сравнению с другими пищевыми объектами (говядиной или птицей) является более скоропортящейся. Доказано, что первоочередное значение, приводящее к потере исходного качества морепродуктов, имеет действие ферментных систем, а не микроорганизмов, как считалось ранее. Начальная скорость порчи тканей микробиологически стерильных и нестерильных объектов одинакова. Охлаждение в процессе переработки не приводит к такому же угнетающему действию на ферментативные системы при посмертных изменениях, как у теплокровных наземных животных [1–5].

Ферменты ВБР и регулирование их деятельности важны при рассмотрении таких аспектов рыбопереработки, как посмертные изменения показателей качества продукции (консистенции, текстуры, цвета, запаха); определение показателей качества, способов регулирования активности ферментов путем изменения условий окружающей среды; переработка и хранение; использование регуляторов активности – ингибиторов и активаторов. Тропические рыбы, обитающие при температурах, аналогичных температуре тела млекопитающих, хранятся намного лучше, чем рыбы из наиболее типичной – холодной (<5 ° С) – окружающей среды. Для холоднокровных объектов температура их тела является прямым отражением температуры воды, и, соответственно, их ферменты адаптированы к холоду. Поэтому разработанные методы, продлевающие сроки годности продукции, такие как низкие дозы ионизи-

рующего излучения, изменение атмосферы хранения, и большинство химических реагентов оказались неэффективными для сохранения первичного качества, а в некоторых случаях приводили к ускорению порчи. Это связано с тем, что данные методы нацелены на ограничение микробной контаминации, а не на снижение активности тканевых ферментов [2, 6, 7]. Поэтому при разработке методов, направленных на сохранение качества рыбы, необходимо учитывать направленность действия ключевых ферментативных реакций, которые способствуют потере внешнего вида, вкуса, текстуры, питательных и функциональных свойств. Технологи должны быть заинтересованы в установлении зависимости между факторами внутривидовой специфичности и биохимическим составом тканей, в особенности, мышечных.

Целью работы явился анализ современных научных представлений о механизмах влияния эндогенных ферментативных систем на мышечную ткань ВБР в процессе ее переработки и практических рекомендаций по регулированию их воздействия на качество готовой продукции.

Для проведения анализа были использованы опубликованные научные работы российских и зарубежных исследователей в области биохимии ВБР и пищевой биотехнологии, приведены примеры обоснования общих принципов и создание частных технологий рыбной продукции. Поиск работ проведен с использованием баз данных Google Scholar, PubMed, Scopus, Web of Science, Mendeley, eLibrary.ru, а также открытых интернет-источников. Рассматривались статьи в полнотекстовых вариантах на русском и английском языках.

Качество продукции из ВБР в первую очередь зависит от состояния мышечной ткани, которая является основой пищевой продукции. От изменения ее структуры зависят органолептические качества и потребительский спрос. В состав мышц входят множество белков. На основании растворимости их делят на три группы. Саркоплазматические, водорастворимые включают в себя ферменты гликолиза, парвальбумин, миоглобин и др. Основные белки, входящие в состав миофибриллярных (солерастворимых) – актин и миозин, образующие актомиозин. Белки стромы, включающие коллаген и эластин, нерастворимы. Доля миофибриллярных белков составляет 40–70 %, из них самый распространенный (50 %) – миозин. Поэтому свойства миозина и определяют характеристики мышечной ткани в качестве пищевого сырья. Мышечные сокращения обеспечиваются взаимодействием главным образом актина, миозина и ферментов, осуществляющих гидролиз аденозин-5'-трифосфата (АТФ), обеспечивающего энергию для этого процесса. Во время мышечного сокращения АТФ разлагается на АДФ с выделением энергии, что обеспечивает движение нитей актомиозина [8, 9, 10].

После вылова и смерти ВБР происходят выраженные изменения во внешнем виде, текстуре, химическом составе и окислительно-восстановительном потенциале мышечной ткани. Самым важным процессом является прекращение доставки кислорода в мышцы. Его отсутствие инициирует большинство процессов изменения качества сырья. После смерти в течение некоторого времени мышцы продолжают производить АТФ – основной источник энергии, обеспечивая сокращения в отсутствии кислорода. В это время запасы АТФ быстро истощаются, и мышцы входят в состояние окоченения. Окоченение – это термин, описывающий процесс, который происходит в посмертном состоянии мышц и приводит к их необратимому сокращению и жесткости, сохраняющихся в течение нескольких часов или дней [2, 5, 11–13].

В физиологических условиях содержание АТФ в расслабленных мышцах рыб составляет в среднем 7–10 мкмоль/г ткани. Ранее считали, что посмертное исчезновение АТФ в мышцах рыб – многоступенчатый процесс, в котором конечным продуктом катаболических изменений является мочевая кислота. В живой рыбе сокращение мышц обеспечивается высвобождением энергии в результате распада АТФ. Фермент, обеспечивающий этот быстрый процесс – Ca^{2+} – зависимая АТФаза. Её активность регулируется посредством притока и оттока ионов Ca^{2+} в саркоплазму. Когда уровень внутриклеточного Ca^{2+} больше 1 мкМ, АТФаза понижает количество свободной АТР в саркоплазме, и мышцы начинают сокращаться в соответствии с циклическим характером формирования актин-миозиновых нековалентных поперечных свя-

зей. Когда концентрация Ca^{2+} в саркоплазме падает ниже 0,5 мкм, АТФ уже больше не может быть гидролизована из-за инактивации АТФазы, вследствие этого АТФ приобретает функции пластификатора мышечной ткани. В посмертных мышцах превращение АТФ в АДФ, АДФ в АМР, АМР в ИМФ обычно происходит в течение 24 ч или менее. Считают, что эти изменения являются полностью автолитическими, поскольку в большинстве случаев для развития микробиальной порчи проходит недостаточно времени. Кроме того, имеется еще ряд факторов, способных влиять на скорость накопления ИМФ, включая температуру, вид рыбы и способы ее обработки [14, 15].

Когда мышцы преобразуются в мясо, даже пассивное скольжение нитей актомиозина становится невозможным. При снижении pH мышц до 6,0 количество АТФ быстро уменьшается до уровня, не позволяющего поддерживать основные сократительные белки (актин и миозин) отдельно друг от друга. В результате они необратимо связываются в нерастяжимый актомиозин, что проявляется в виде жесткости посмертного окоченения. Одновременно идут процессы ферментативного катаболизма АТФ и ее производных, что соответствует изменению вкусовых характеристик рыбы. Измерение количества основных нуклеотидных катаболитов может быть использовано для оценки качества охлажденной и переработанной рыбы [16].

Изменение активности АТФаз начинается на стадии, предшествующей посмертному окоченению, обычно наступающему в течение 1–7 ч. Посмертное окоченение быстрее развивается у рыб, ведущих активный образ жизни, и значительно медленнее – у пассивных и/или уснувших рыб. До тех пор пока рыба жива, ее кровеносная система функционирует и после вылова. При остановке кровообращения прекращается подача кислорода к мышцам, и это нарушает нормальные биологические функции. Тем не менее насыщенная кислородом и богатая гликогеном мышечная ткань может остаться метаболически активной в течение нескольких часов в состоянии предокоченения. В живом организме аэробное дыхание является нормальной реакцией, при которой окисление одной молекулы глюкозы приводит к синтезу 36 молекул АТФ. Вскоре после смерти реализуется анаэробный метаболизм распада глюкозы (гликолиз), скорость которого опосредована концентрацией АТФ и, соответственно, ферментов – АТФаз, катализирующих гидролиз АТФ до АДФ [2, 5, 12]. Пути распада АТФ представлены на рис. 1. Вследствие этой реакции происходит быстрое снижение уровня АТФ, что позволяет использовать измерение уровня активности АТФазы как показателя посмертных изменений в мышечной ткани рыб и, следовательно, ее качества. Основными индикаторами порчи являются инозин и гипоксантин.

Содержание АТФ у рыб в состоянии предокоченения вариабельно, например, у морского окуня оно составляет 2,4 мг% Р, а в стадии постокоченения снижается до 0,35 мг% Р. Это связано с формированием комплекса АТФазы с актомиозином, который становится нерастворимым. На уровень активности АТФазы влияют температурные условия хранения после вылова. При этом они различны для рыб из холодных и теплых морей. Полагают, что измерение активности АТФазы может быть более точным показателем изменения качества охлажденной рыбы, чем измерение концентрации ее метаболитов [11, 12].

Видовая специфика метаболизма ВБР ограничивает возможности использования оценки уровня АТФ и ее катаболитов как универсального показателя качества морепродуктов [17].

В настоящее время существует большое количество информации о влиянии на качество морепродуктов различных способов и этапов обработки свежей, замороженной рыбы и рыбных консервов. Большое внимание уделяется объектам аквакультуры. Рыбоводы в отличие от рыболовов имеют важное преимущество в том, что они могут контролировать каждый этап обработки, начиная от условий выращивания. Практически все этапы переработки рыбы, выращены ли они или пойманы в дикой природе, оказывают влияние на деградацию нуклеотидных производных, может быть, за исключением процесса шокового замораживания. В мышцах живых рыб АТФ является преобладающим нуклеотидным соединением. В

треске, находящейся в трале, АТФ практически полностью превращается в ИМФ еще до его подъема. Это связано с биением рыбы в сетях, а также с огромным давлением, оказываемым на тела рыб во время траления. Продолжительность траления и размер улова влияют на ущерб, наносимый качеству пойманной рыбы.

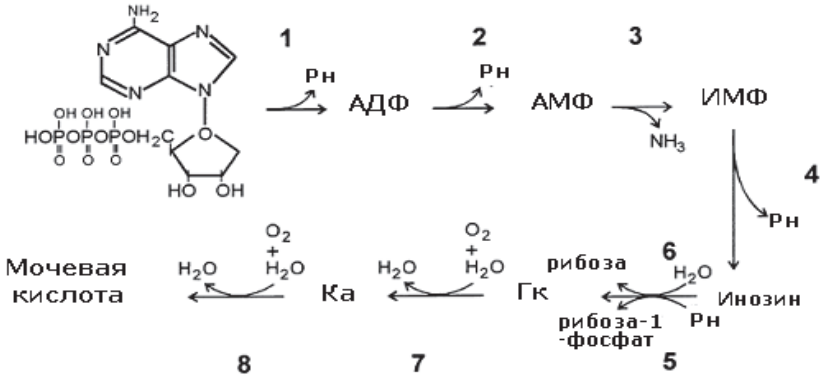


Рис. 1. Посмертная деградация АТФ в мышечной ткани рыб. Ферменты, входящие в состав системы: 1 – АТФаза; 2 – миокиназа; 3 – АМФ-дезаминаза; 4, 5´-нуклеотидаза; 5 – нуклеозидфосфорилаза; 6 – инозиннуклеозидаза; 7, 8 – ксантиноксидаза. АДФ – аденозиндифосфат; АМФ – аденозинмонофосфат; ИМФ – инозинмонофосфат; Ино – инозин; Гк – гипоксантин; Ка – ксантин; Рн – неорганический фосфат

Fig. 1. Postmortem degradation of ATP in fish muscle tissue. Enzymes included in the system: 1 – АТФase; 2 – myokinase; 3 – АМФ-deaminase; 4, 5´-nucleotidase; 5 – nucleoside phosphorylase; 6 – inosine nucleosidase; 7, 8 – xanthine oxidase. АДФ – adenosine diphosphate; АМФ – adenosine monophosphate; ИМФ – inosine monophosphate; Ино – inosine; Гк – hypoxanthine; Ка – xanthine; Рн – inorganic phosphate

У трески, оставшейся в трале, количество и АТФ, и гликогена очень мало или полностью отсутствует, независимо от того, проводилась ли последующая обработка на борту или на перерабатывающем заводе. Кроме того, практически нет различий между всеми видами рыб, поднятыми оттертралом (буксируемым за кормой судна на длинном стальном тросе), так как продолжительное напряжение приводит к истощению запасов энергии при промышленном лове рыбы по сравнению с рыбой, выловленной сетчатыми ловушками [17, 18]. Однако обработка очень свежей рыбы со значительным уровнем АТФ в мышцах обеспечивает окоченения и жесткости, если рыба заморожена сразу после вылова. В этом случае снятие посмертного окоченения вызвано образованием кристаллов льда на стадии предокоченения, что приводит к разрыву мембраны саркоплазматического ретикулума, в результате чего происходит быстрое высвобождение ионов Ca^{2+} в саркоплазму, что в свою очередь вызывает быстрое сокращение и деформирование мышц при оттаивании [19]. Стресс при вылове и транспортировке живой культивированной рыбы вызывает быструю потерю АТР, быстрое начало окоченения, сопутствующие деформацию и размягчение мышечной ткани. Так, искусственно выращенных лососей помещали в небольшие садки с морской водой на 10 мин, прежде чем подвергнуть оглушению с помощью CO_2, чем вызывали у них стресс. Контрольные экземпляры рыб были обработаны таким же образом, за исключением того, что они были сразу же помещены в среду CO_2. Опытная группа подверглась энергичной мышечной деятельности в течение 10 мин до убоя. Это значительно ускорило наступление окоченения и потери АТФ (накопления ИМФ).

Размягчение тканей костистых рыб связано с ослаблением соединительной ткани, которая разделяет миотомы или мышечные слои. Быстрое начало изометрического сокращения генерируется в рыбах, подвергшихся стрессу, приводя к тому, что мышцы частично разры-

ваются. Наступление посмертного сокращения вместе с денатурацией белков также связано с быстрым накоплением молочной кислоты при физическом напряжении и стрессе у рыб. Показано, что моментальная гибель мозга выловленных рыб нивелирует негативное воздействие стрессов и задерживает наступление порчи. Спокойное состояние рыб при изъятии приводит к сокращению изометрического напряжения в мышцах во время окоченения. Снижение качества сократившейся мышечной ткани рыб находится под гормональным контролем; у напряженных рыб гораздо более высокий уровень кортизола в крови и меньшая концентрация АТФ, чем у тех же особей в состоянии покоя [20, 21].

Обескровливание рыбы после вылова важно для снижения количества пятен крови в мышечной ткани. При этом обескровливание значительно замедляет деградацию АТФ и родственных соединений. Этот эффект оказывается более выраженным, если рыба была быстро и правильно охлаждена. Филетирование рыб и измельчение мышечной ткани со льдом способны ускорить деградацию нуклеотидных производных, содержащихся в свежей рыбе [22]. Например, для филе трески в течение 4 дней при 3 °С наблюдали увеличение скорости образования инозина, даже если процесс проводился в асептических условиях. Различные технологические процедуры переработки, в том числе филетирование, могут привести к резкому увеличению числа бактерий, ускоряя порчу. Одновременно физические способы обработки также ускоряют автолитические процессы порчи, связанные со скоростью нуклеотидного катаболизма. Большинство ферментов, участвующих в катаболизме АТФ, являются мембранно-связанными и тесно взаимодействуют со структурными белками в живой рыбе. Поэтому технологическая обработка может привести к высвобождению связанных ферментов и обеспечить увеличение скорости деградации нуклеотидов. Хотя существует мало доказательств того, что при низких температурах (≤ -20 °С) происходит деградация нуклеотидов в рыбном филе, но есть свидетельства того, что продукты распада нуклеотидов – Гк и Ино – действительно способствуют денатурации белка замороженной рыбы при хранении. АТФ, АМФ и ИМФ показали выраженное защитное действие в отношении денатурации актомиозина в замороженном филе молочной рыбы при хранении. Термическая обработка рыбы при консервировании приводит к значительной деградации АТФ и родственных соединений. При консервировании тунца согласно нормам содержание нуклеотидных производных после обработки при 122 °С в течение 67 мин составило в среднем 50, 75, 64 и 92 % для АМФ, ИМФ, Ино и Гк соответственно. Значение этих данных состоит в том, что скорости термической деструкции различаются для отдельных катаболитов. Определение количества нуклеотидов для оценки качества консервированной рыбы было использовано для сардин, тунца и сельди. За исключением Гк, все производные АТФ являются термолабильными, что затрудняет использование аналитических методов для определения нуклеотидных компонентов в консервированных продуктах как показателя свежести исходного сырья [23].

Для охлажденной рыбы снижение активности АТФазы является потенциальным индексом оценки качества, но не годится для замороженной рыбы. Например, активность АТФазы трески и карпа снижалась до нуля при хранении во льду в течение 2 недель, а при 15 °С – за 1 неделю. Активность АТФазы трески резко снижалась в первые же дни морозильного хранения, приближаясь к нулю через 4 дня. Для 5 видов тропических рыб при хранении в замороженном состоянии (-20 °С) активность АТФазы снижалась постепенно в течение 180 дней. Для таких видов измерение активности АТФазы может быть использовано как показатель качества при длительном морозильном хранении [24]. К падению активности АТФазы при морозильном хранении приводит воздействие низких pH и высоких концентраций соли. Денатурация АТФазы может быть ускорена путем замораживания, но добавление Alpha (сорбит или сахароза) сахаров (например, сорбита или сахарозы) позволяет достичь защитного эффекта [2, 13].

При хранении охлажденного филе рыбы изменения активности ферментов существенно менее выражены, чем при хранении фарша, где происходит высвобождение компонентов,

связанное с разрушениями клеток. Активность АТФазы может служить показателем качества сурими – промытого рыбного фарша, содержащего главным образом миофибриллярные белки. В сурими высокого качества (СА) наблюдали высокую активность Ca^{2+}-АТФазы, что хорошо согласуется с важным критерием качества сурими – прочностью геля. Суммарная активность миофибриллярной АТФазы и прочность геля для сурими минтая имели следующие значения (активность/прочность): сорт С – 102/250 и 136/1200, сорт СА – 175/1400. В этом случае активность фермента является прекрасным показателем для оценки качества сурими и свежести сырья, используемого для его приготовления [2, 13].

Процесс распада нуклеотидов для быстрозамороженной трески, по существу, тот же, что и для свежей рыбы. Промежуточное и медленное замораживание (измеряемое по времени прохождения через так называемую критическую зону: -0,8 до -5,0 °С) приводит к гораздо большему распаду АТФ, чем во время быстрого замерзания [25]. Для гребешка такая технология соответствует общепринятой коммерческой практике быстрого замораживания. Но эти требования часто не соблюдаются в розничной торговле, где используется температура заморозки от -8 С до 0 °С. В этом диапазоне может происходить ускорение скорости деградации нуклеотидов. Для гребешка АМФ является основным продуктом накопления катаболитов в начальной стадии порчи. АТФ быстро (до 85 %) распадается при температуре от -8 до -6 °С в течение 2 ч, что приводит к накоплению АМФ при температуре ниже точки замерзания мышц гребешка (-1,4 °С). При хранении выше точки замерзания скорость распада нуклеотидов мышц-аддукторов увеличивается. Около и ниже точки замерзания (0 и -3 °С) скорость деградации АТФ и родственных соединений быстрее, чем при 5 или 10 °С, что соотносится с ухудшением качества [26]. Поэтому деградация нуклеотидов не может быть использована в качестве универсального индикатора качества всех морепродуктов. Важно, чтобы оценка качества рыбы и рыбной продукции была комплексной и сочеталась с сенсорными тестами, измерением прочности геля, активности АТФазы и обеспечивала объективную оценку пищевой ценности продукта.

Ожидание того, что ферментативное расщепление АТФ и ее производных будет протекать более быстрыми темпами при высоких температурах посмертного хранения сырья оправдано для большинства видов рыб, обитающих в умеренных водах, таких как лосось, сельдь, треска и др. Но для рыб из тропических и субтропических вод были найдены примеры, при которых хранение во льду усиливало распад нуклеотидных соединений [27]. На рис. 2 представлено накопление нуклеотидов при хранении во льду разных видов рыб.

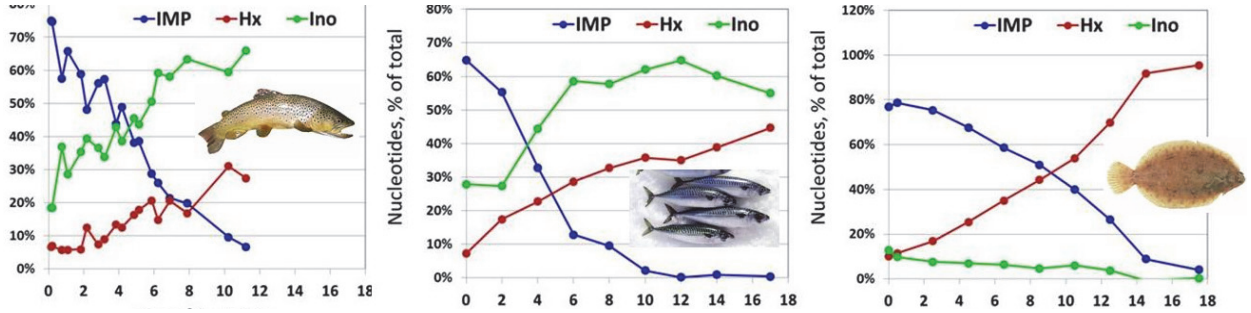


Рис. 2. Зависимость степени деградации нуклеотидов в тканях форели, макрели и камбалы от срока хранения. По оси абсцисс – дни хранения во льду. По оси ординат – накопление нуклеотидов в % от общего количества (http://www.novocib.com/ATP_breakdown_salmon.html)

Fig. 2. Dependence of the degree of degradation of nucleotides in trout, mackerel and flounder tissues on the shelf life. The abscissa axis shows the days of storage in ice. Along the ordinate axis is the accumulation of nucleotides in % of the total amount (http://www.novocib.com/ATP_breakdown_salmon.html)

Например, для японской камбалы деградация АТР, а также наступление посмертного окоченения наблюдалось намного быстрее при 0 °С, чем при 20 °С. В этом случае накопление Ино и Гкс было более быстрым при 20 °С по сравнению с 0,5, 10 и 15 °С. Таким образом, наступление посмертного окоченения было ускорено путем охлаждения до 0 °С, но рыба, хранящаяся при этой температуре, оставалась в состоянии окоченения гораздо дольше, чем образцы, хранившиеся при более высоких температурах. Хотя наступление посмертного окоченения замедлялось при 20 °С, распад ИМФ до Ино и Гкс протекал намного быстрее, чем при более высоких температурах. Одним из объяснений такого увеличения активности АТФазы считают высвобождение Ca^{2+} из митохондрий при низких температурах, когда отсутствует способность поглощения ионов Ca^{2+}саркоплазматическим ретикулумом.

Важность этих исследований связана с ростом потребительского спроса на очень свежую (в стадии предокоченения) рыбу. В диапазоне температур от -0,8 до -5 ° С в тканях остается значительное количество незамерзшей воды, что сказывается на скорости деградации нуклеотидов в мышечной ткани рыб. Однако сравнение скоростей распада ИМФ и Ино в охлажденных образцах атлантической трески, пикши, сайды, палтуса, камбалы показало очень медленный темп дефосфорилирования ИМФ и низкую активность 5'-нуклеотидазы для пикши и камбалы по сравнению с другими видами. Следовательно, возможность обобщения данных о скорости деградации нуклеотидов как показателя качества проблематична без предварительного поиска видоспецифических моделей. У большинства видов, за редкими исключениями, деградация ИМФ или Ино является лимитирующей стадией в процессе хранения при охлаждении. Таким исключением явился кальмар *Illex argentinus*, у которого деградация АМФ, несомненно, является лимитирующей стадией. Потребовалось 12 дней для полного исчезновения АМФ из мышц мантии кальмара. Темпы деградации нуклеотидов изменяются в зависимости от степени полового созревания. У морских гребешков процесс посмертного дефосфорилирования протекал гораздо медленнее, чем у большинства рыб. Потребовалось 2–9 дней для полного исчезновения АТФ, а у рыб процесс распада АТФ обычно происходит в течение первых 24 ч после смерти. У североатлантических гребешков АМФ был главным нуклеотидным катаболитом, он накапливался до максимального уровня лишь на третий день посмертных изменений при 0 °С. До сих пор не существует детального анализа нуклеотидного катаболизма в мышцах гребешков. Различия путей деградации нуклеотидов существуют не только среди родственных видов моллюсков, таких как японская устрица, мерценария, анадара и морское ушко, но и внутри различных тканей – мантии, жабр, мышц-аддукторов. Скорость деградации АТФ омара с образованием АДФ, АМФ, ИМФ, Ино и Гк имеет высокую степень индивидуальной изменчивости у отдельных особей. Эта изменчивость может объясняться различиями в период стресса при вылове и в физиологических условиях обитания живого омара. Для креветок деградация АТФ протекала быстрее при -1 °С, чем при 0,5 °С, срок годности был большим в первом случае, а скорость деградации всех остальных нуклеотидных катаболитов была меньшей при -1 °С [2, 5, 28].

В посмертной деградации АТФ и ее производных кроме АТФазы участвует еще целый ряд ферментов. В процессе образования аммиака как соединения – показателя порчи – особое значение придается АМФ-деаминазе [17]. В саркоплазме мышц при предокоченении этот фермент встречается в виде водорастворимого белка, но в определенных условиях он связывается с миозином при постокоченении. В живой рыбе этот фермент является чрезвычайно важным для регуляции продуцирования энергии посредством распада АТФ. В быстро сокращающейся мышце во время интенсивного плавания происходит распад АТР под действием АТФазы, в результате накапливается АДФ. Затем вступает в действие миокиназа для удаления АДФ, которая является потенциальным ингибитором АТФазы. В результате действия миокиназы при мышечной активности происходит образование АМФ: 2 ADP ↔ ATP + AMP. В покоящейся мышце почти не наблюдается реакционного действия АМФ-дезаминазы в свя-

зи с практическим отсутствием АМФ. Непрерывное удаление АМФ тормозит прямую направленность миокиназной реакции. Конечными продуктами реакции АМФ-дезаминазы являются ИМФ и аммиак (NH_3). ИМФ может быть преобразована в Ино, а затем Гк, в то время как аммиак транспортируется в жабры через кровь. Экскреция потенциально токсичного NH_3 осуществляется в основном через жабры, а небольшое его количество выводится с мочой. Морские хрящевые рыбы, такие как акулы, производят большое количество мочевины, необходимой для осмотической регуляции, а аммиак входит в цикл мочевины.

Известно три вида ферментов, ответственных за преобразование ИМФ: нуклеотидазы, щелочные фосфатазы и кислые фосфатазы. Из этих трех 5'-нуклеотидаза наиболее важна в посмертных преобразованиях охлажденной рыбы [29, 30]. Особенностью 5'-нуклеотидазной реакции (ИМФ ↔ Ино + неорганический фосфат-Pi) является то, что ее скорость сильно варьируется у разных видов рыб. Например, у пикши и палтуса низкий уровень 5'-нуклеотидазы, в то время как у атлантической трески, минтая, камбал американской и зимней потеря большей части ИМФ происходит в течение 4 дней посмертного хранения при 0 °С. Скорость дефосфорилирования ИМФ сильно зависит от температуры. Деградация Ино до Гк является важным шагом в общем процессе распада АТФ и ее катаболитов, так как образование Гк часто указывает на последнюю стадию пригодности съедобной рыбы. Эта реакция катализируется двумя ферментами, нуклеозидфосфорилазой (НФ) и нуклеозидгидролазой (ИН) [22].

Для очень свежей атлантической трески деградация Ино до Гкс в результате автолиза под действием ИН незначительна. При хранении свежего филе трески в условиях, обеспечивающих потерю качества, обнаружено не только усиление активности обоих ферментов при хранении, но и заметное увеличение активности НФ, которое проявлялось раньше на 2 дня. Из трески с признаками порчи была выделена смешанная бактериальная культура, и было установлено существенное увеличение активности ИН и НФ. На этом примере было установлено, что большинство процессов деградации Ино до Гк связано с наличием как собственных, так и бактериальных ИН и НФ; бактериальная порча значительно увеличивает преобразование Гк из Ино; активность НФ наиболее важна на ранних стадиях порчи, тогда как на более поздних стадиях большее значение имеет действие ИН; бактерии, вызывающие порчу, продуцируют ИН, но его количество гораздо менее интенсивно, чем то, которое обеспечено тканевой НФ [31].

Некоторые виды камбалы, кальмара и осьминога имеют относительно высокую активность тканевой НФ и, следовательно, образование Гк может быть объективным показателем качества. Для сардины при хранении во льду низкое количество Гк соответствовало хорошим показателям качества. У трубача нуклеотидный катаболизм происходит с высокой скоростью даже в стерильных условиях на холоду. Накопление Гк у тунца было линейным – от 0,52 до 2,93 мкмоль/г в течение 29 дней при хранении во льду. Накопление Гк при хранении было изучено для более чем 150 видов рыб, оно хорошо коррелирует с другими показателями порчи у 120 видов. У отдельных видов содержание ГК не соответствовало уровню порчи при комплексной оценке свежести с использованием других показателей: триметиламина, перекиси водорода, свободных жирных кислот и органолептики. У этих видов Гк сразу же расщепляется до мочевой кислоты, что связано с высокой активностью эндогенной ксантиноксидазы (КсО). Низкий уровень активности КсО также может привести к накоплению большого количества Гк в мышцах, но по сенсорному анализу рыба может быть признана свежей. Несмотря на все эти ограничения, концентрация Гк является одним из лучших показателей для оценки качества рыбы [32].

Инозиннуклеозидаза (ИН) катализирует реакцию, одинаковую для бактерий, грибков, простейших, растений и рыб: Ино + H_2O → Hx + D-рибоза. Ее значение в автолитической деградации Ино у рыб зависит от видовой принадлежности. Высокая активность этого фермента была обнаружена в мышцах тихоокеанского зубастого терпуга, но лишь следовые количества – в атлантической треске.

КсО присутствует в различных видах ВБР и катализирует последний этап в процессе распада нуклеотидов: Гк + H_2O + O_2 → Кс + H_2O_2 ; Кс + H_2O + O_2 → мочевая кислота + H_2O_2 [33]. Гк является не только объективным показателем порчи охлажденной рыбы, но и определяет типичный вкус испорченной рыбы. Свежая рыба содержит вещества, которые маскируют горький привкус Гк, в то время как бактериальная порча либо разрушает такие маскирующие агенты, либо приводит к образованию соединений, усиливающих вкус Гк. С практической точки зрения активность бактериальной КсО менее важна, чем активность других ферментов катаболического распада нуклеотидов, так как присутствие Гк начинает появляться уже после того, как качество рыбы признается неудовлетворительным. Помимо метаболизма пуринов действие КсО имеет некоторые токсикологические последствия из-за способности генерировать супероксид-анионы – активные прооксиданты [34]. Образование чрезвычайно реакционноспособных гидроксильных радикалов приводит к окислению липидов и разрушению мембран. Кислород для осуществления этой реакции может быть получен в результате филетирования, нарезки или измельчения тканей рыб. При хранении мышечной ткани рыб уровень восстановленного железа возрастает благодаря постепенному высвобождению из таких белков, как миоглобин и ферритин. Таким образом, присутствие КсО и повторное поступление кислорода к посмертной мышечной ткани может активировать образование H_2O_2 и $^{\bullet}OH$, из-за которых окисляются липиды и возникает вкус окисления. Эти реакции эффективно регулируются путем удаления кислорода, замораживания или употреблением рыбы до того, как образуется значительное количество Гк.

Деградация АТФ и ее катаболитов может быть описана формулой, определяющей К-индекс или индекс свежести [2, 4, 5]. Его используют для оценки свежести рыбы, основанный на изменениях количества нуклеотидов и определяют по формуле

$$K,\% = ([Ино] + [Гкс] \,/\, [АТФ] + [АДФ] + [АМФ] + [ИМФ] + [Ино] + [Гкс])\ \mathbf{x}100.$$

Этот показатель оценивает относительную степень разложения и измеряется путем конвертации в конечные продукты процесса порчи Ино и Гк, величины которых выражают в молярных концентрациях. Их выделяют путем ионообменной хроматографии, концентрации измеряют спектрофотометрически. Чем выше значение К-индекса, тем хуже качество рыбы. Для многих пелагических видов этот показатель хорошо коррелирует со степенью порчи. Однако модели деградации могут сильно варьироваться для разных видов. Кроме того, значения К-индекса могут быть разными даже в пределах одного вида рыб в зависимости от различий в условиях переработки после вылова и температуры хранения. Тем не менее значение К-индекса позволяет получить ценную информацию о качестве рыбы, при условии того, что данные для одного вида не сравниваются с данными для другого. Одним из преимуществ использования нуклеотидных катаболитов и их молярных соотношений для оценки качества является то, что измеряют как бактериальные продукты, так и продукты собственного тканевого автолиза путем интегрального комплексного показателя в заданный промежуток времени. Анализ целого ряда рыб подтвердил хорошую корреляцию между свежестью рыбы и К-индексом. Его значение для высшего сорта продукции не должно превышать 20 % [35, 36].

На основе анализа продуктов нуклеотидного распада виды рыб можно разделить на три группы: Ино-образующие, Гк-образующие и промежуточные. Свежесть Ино-образующих видов не может быть измерена путем оценки одного только Гк. Использование К-индекса позволяет объективно оценить свежесть Ино- и Гк-видов. У моллюсков и ракообразных пути распада АТФ отличаются. Активность АМР-дезаминазы в этом случае значительно меньше или отсутствует совсем, поэтому основной путь распада АТФ – образование аденозина. Тем не менее это не влияет на результаты измерений К-индекса у морских беспозвоночных.

В настоящее время для электронного измерения K-индекса при контроле качества рыбы применяют мультиферментные сенсоры. Подобное оборудование состоит из многоэлектродного ферментного датчика, блока управления, A/D конвертера, микрокомпьютера, монитора и принтера. Значения K-индекса рассчитывают путем измерения тока на выходе датчика, который преобразуется в цифровые сигналы. K-индекс для некоторых видов свежих рыб: скумбрии – 8,1; полосатого тунца – 6,6; японской ставриды – 4,1; сардины – 36,1, голубого тунца – 31,1. На основании этих исследований свежесть рыбы выражают по следующей шкале: очень свежая – 10; свежая – 40; не свежая – > 40 [4, 37, 38]. Моделирование процессов деградации АТФ в тканях ВБР может быть использовано для оценки их сенсорных характеристик. Однако некоторые показатели могут привести к ложным выводам. Необходимо учитывать видовые особенности, воздействие факторов среды обитания, а также способы переработки и взаимосвязь между этими переменными.

Еще одним важным процессом, влияющим на качество продукции из ВБР, является гликолиз, в результате которого образуется целый ряд продуктов. Концентрация лактата (молочной кислоты), образующегося в мышцах при распаде глюкозы посредством гликолиза, зависит от запасов гликогена в мышцах до момента смерти. У трески концентрация молочной кислоты практически удваивается от начального уровня в течение 24 ч после вылова, а затем ее уровень стабилен в течение 72 ч. Накопление лактата связано с начальным уровнем гликогена и вызывает снижение pH. Интенсивная двигательная активность рыб при вылове вызывает снижение запасов гликогена и более быстрое наступление посмертного окоченения. У некоторых видов ткань становится тверже и усиливается тенденция к отделению воды. В живых рыбах дыхательный катаболизм глюкозы в аэробных условиях приводит к синтезу АТФ и пировиноградной кислоты. Вскоре после смерти в отсутствие кислорода в тканях рыб анаэробный катаболизм глюкозы осуществляется посредством гликолитического пути, при котором образующийся из глюкозы пируват преобразуется в лактат [38]. Ключевыми ферментами гликолитического пути являются лактатдегидрогеназы (ЛДГ), широко распространенные во всех животных тканях. При гликолизе она катализирует восстановление пирувата до лактата в присутствии NADH в соответствии с реакцией CH_3-C=O-COOH + НАДН + + H^+ ⇔ CH_3-CHOH-COOH + $НАД^+$. Высокая активность ЛДГ наблюдается у многих видов рыб, накопление лактата у них происходит быстрее, а его количество является мерой ферментативной активности. Этот показатель может быть использован для оценки свежести рыбы. Когда активность фермента падает ниже критического уровня, данный вид сырья можно считать непригодным для употребления в пищу, что подтверждается сенсорной оценкой (таблица).

Критические уровни активности ЛДГ для рыб и креветок [39]

Critical LDH activity levels for fish and shrimp [39]

Вид	Активность ЛДГ, мкмоль/мин·мг белка
Циррина белая	545,0
Кефаль	384,7
Цейлонский этроплюс	312,1
Тилапия	513,0
Ханос	933,3
Креветка *P. indicus*	21,5

Активность ЛДГ у креветок более низкая, чем у рыб, она полностью исчезает через 15 дней хранения во льду. Инактивация ЛДГ при морозильном хранении связана с денатурацией белка, вызванной накоплением свободных жирных кислот, образующихся при гидролизе липидов. Жирные кислоты вызывают агрегацию миофибриллярных белков и связанных с ними ферментов. Рыбные ЛДГ также чувствительны к изменениям pH и температуры [39].

Быстрое замораживание и оттаивание животных тканей приводит к разрушению митохондрий и выходу ферментов в саркоплазму. По спектру активности ферментов можно различить охлажденную, замороженную и оттаянную рыбу. Некоторые из этих ферментов играют важную роль в метаболизме мышечной ткани: α-глюкозидаза, β-N-глюкозаминидаза, кислая фосфатаза, малатдегидрогеназа. Изменения активности последней может служить точным показателем для определения замораживания рыбы, что показано на примере трески и пикши. Процесс замораживания-оттаивания приводит к 2,5-кратному увеличению активности цитохромоксидазы в мышцах форели. Свежее и оттаянное замороженное филе может быть дифференцировано по количеству β-гидроксиацил CoA-дегидрогеназы. Для мышечной ткани рыб активность митохондриальных акотиназ, фумарат- и глутаматдегидрогеназ может быть использована для идентификации парной и оттаянной рыбы. Замораживание и оттаивание тропических культивированных рыб и моллюсков вызывает увеличение активности липоамид-редуктазы и 5'-АМФ деаминазы, что также можно использовать в качестве показателей свежести рыбы. Несмотря на все эти наблюдения, измерения активности лизосомальных ферментов редко может быть использовано в качестве стандартного теста для измерения качества рыбы, поскольку эти методы очень громоздки и результаты трудно воспроизводимы. Тем не менее они дают превосходные инструменты для интерпретации повреждения клеток и их влияния на сохранение пищевой ценности рыб [2].

Еще один важный фермент, связанный с сохранением качества рыбы, – креатинкиназа. Этот фермент действует на креатинфосфат (КРФ) с образованием АТФ и креатина (КР): КРФ + АДФ ⇔ КР + АТФ. Запасы КР в рыбах ограничены и быстро исчерпываются, концентрация АТФ падает практически до нуля. Уровень концентрации свободного КР часто используют как показатель скорости порчи свежей рыбы, особенно при хранении во льду. Содержание КР у пяти видов холодноводных рыб (пикши, трески, камбалы, красной рыбы и путассу) значительно сокращалось при хранении. У пикшы изменения концентрации КР были самыми значительными: от 500 мг% в свежей рыбе до 400 мг% через 15 дней и 300 мг% – через 18 дней. Изменения концентрации КР хорошо коррелирует с другими известными показателями свежести: триметиламином (ТМА), триметиламиноксидом (ТМАО), суммой летучих оснований (СЛО) и сенсорной оценкой [39, 40].

При дальнейшей переработке ВБР важно учитывать воздействие ферментов, непосредственно влияющих на структуру мышечных белков. Главные из них – протеазы и трансглутаминазы – осуществляют противоположно направленные реакции.

Большая часть протеолитических ферментов изучена досконально благодаря их вездесущности и относительно простой структуре. Адаптация ВБР к условиям обитания, а также меж- и внутривидовые генетические вариации привели к появлению пищеварительных протеаз с уникальными свойствами, отличными от свойств аналогичных ферментов из наземных животных. Они отличаются более высокой каталитической эффективностью при низких температурах, в широком диапазоне pH, термолабильностью, субстратной специфичностью [7]. Изменения белков под действием протеаз определяют различные аспекты качества рыбных продуктов: текстуру, цвет и запах, а также функциональные свойства. Гидролиз белков влияет на реологические свойства продукции из ВБР. Ослабление мышечной ткани рыб в начале посмертных изменений в результате ферментативного расщепления белков цитоскелета и соединительной ткани отвечает за целостность мышечной ткани. Коллагеновые структуры удерживают вместе основные компоненты мышечной ткани рыб при формировании

волокнистой сети, окружающей каждый элемент мышечного волокна. Ферментативный гидролиз приводит к распаду целостности мышц, уменьшает пригодность рыбы для пищевого использования. Коллагеновые структуры могут быть ослаблены в процессе совместного действия различных протеаз. Первоначально нативные молекулы могут быть атакованы коллагеназами, после чего коллаген распадается на отдельные фрагменты, на которые действуют другие протеазы. Деградация белков на границе раздела соединительной ткани и мышечных клеток предшествует любым значительным структурным изменениям мышечного волокна. Участие протеаз в автолитических процессах в охлажденной рыбе зависит от распределения ферментов в мышцах, сезонных изменений концентрации ферментов, синергетического эффекта различных ферментов, наличия активаторов и ингибиторов и чувствительности белков, ответственных за целостность мышц, деградации [41–43].

Протеазы различаются по своей локализации в тканях, соответствующей их роли в метаболизме каждого органа. Исходя из pH-оптимума их действия, протеазы разделяют на кислые, нейтральные или щелочные.

Пищеварительные, внеклеточные ферменты выделяются в пространство пищеварительной системы и работают в нем. В процессах переработки рыбы их основное значение определяется влиянием на созревание соленой и вяленой рыбы. Такие продукты получают при реализации процесса созревания сырья. Сенсорные характеристики переработанной рыбы являются результатом посола и изменений белков, липидов и углеводов в процессе ферментативных реакций. Созревание продуктов как процесс образования характерных текстуры и вкуса зависит от деятельности эндогенных пищеварительных ферментов [5, 7].

Через некоторое время после смерти и развития посмертного окоченения (затвердевания) начинается противоположный процесс – тендеризация (размягчение). Механизмы, участвующие в процессе тендеризации, могут быть разделены на ферментативные и физико-химические. Большинство посмертных изменений, возникающих в процессе размягчения мяса, считаются результатами протеолиза под действием ферментов, находящихся внутри мышечной клетки или цитозоля. После распада тканей большинство ферментов переходят в саркоплазму. Две основные группы мышечных протеаз играют важную роль в изменении текстуры мышц рыбы при ее посмертных изменениях: кальпаины и лизосомальные катепсины D, B, H и L. Основные факты участия кальпаина в посмертных изменениях мышц: ультраструктурная деградация посмертных миофибрилл; чрезвычайная восприимчивость к гидролизу кальпаином Z-дисков, разделяющих саркомеры миофибрилл; прямая связь между уровенем кальпаина в мышцах и скоростью протекания посмертной тендеризации [44].

На регуляцию активности кальпаина оказывают влияние присутствие Ca^{2+} и специфического эндогенного ингибитора кальпаина – кальпастатина. В целом эндогенные ингибиторы белка могут стать мощным инструментом регулирования мышечных протеиназ, поэтому многие исследования посвящены рассмотрению вопросов существования в скелетных мышцах специфических ингибиторов цистеиновых, сериновых и других протеиназ. Определены критерии, определяющие участие ферментов в посмертном размягчении мышц: протеазы должны быть эндогенными (присутствовать в клетках скелетных мышц); результаты посмертных изменений миофибрилл должны быть воспроизводимы *in vitro*; тканевые миофибриллы должны быть доступны для протеаз. Если протеаза не имеет таких характеристик, она не может рассматриваться в качестве участника процесса посмертной тендеризации. Из всех потенциальных кандидатов только кальпаины являются протеазами, отвечающими всем вышеперечисленным требованиям [45].

В отличие от кальпаинов, специфически воздействующих на белки Z-линии (десмин, филамин, небулин, коннектин), катепсины преимущественно атакуют миозин и актин. Они могут расщеплять сократительные белки по различным связям. Кальпаины имеют pH-оптимум в нейтральной зоне, для катепсинов (особенно B и L) pH-оптимум – 5,5–6,5, что соответству-

ет среде посмертных скелетных мышц. Снижение pH при посмертном гликолизе ослабляет мембраны лизосом и приводит к высвобождению катепсинов. Созревшие мышцы растянуты, а разрывы образуются главным образом вблизи от Z-линии или на пересечении A- и I-полос. Усиление хрупкости в этих областях миофибрилл в процессе хранения может быть следствием действия лизосомальных протеиназ. Практически все изменения структуры миофибрилл при созревании мяса могут быть объяснены действием протеаз. Эти данные также позволяют обосновать синергетический вклад кальпаинов и катепсинов в посмертное размягчение мяса и объясняют различия в наблюдаемых посмертных структурных и биохимические изменениях. Ни одна протеолитическая система сама по себе не способна вызывать все описанные выше посмертные изменения. Это объясняет противоречивость результатов, представленных в литературе. Требуется более детальное исследование, чтобы выяснить, какие параметры – pH, температура, индуцированный выброс ферментов из цитозоля, лизосом или протеасом – имеют наибольшее влияние на размягчение мяса [46,47].

Таким образом, протеазы обеспечивают распад белков, изменяя качество пищевых систем в сторону размягчения структуры и образования растворимых компонентов.

Абсолютно противоположными свойствами обладают ферменты, синтезирующие ковалентные связи между белковыми молекулами – трансглутаминазы (ТГазы). Их уникальная способность менять функциональные свойства белков путем образования ковалентных сшивок имеет огромный научный и практический интерес. Изучение процессов, происходящих при получении фарша сурими, привело к открытию того, что именно эндогенные ТГазы ответственны за спонтанное гелеобразование пасты сурими при низких температурах (5–40 °C), приводящего к усилению усадки геля при кулинарной обработке. Это открытие послужило поводом дальнейшего изучения содержания и характеристик эндогенных ТГаз из ВБР и развития технологий с их применением для улучшения качества пищевых продуктов [48].

ТГазы являются трансферазами, катализирующими реакцию переноса ацильной группы от γ-карбоксиамидных остатков глутамина у белков, пептидов, а также первичных аминов. В результате происходит посттрансляционная модификация белков посредством образования изопептидных связей внутри или между полипептидными цепями. Если в качестве ацильного акцептора выступает ε-аминогруппа лизина, наблюдается полимеризация и меж- или внутримолекулярные сшивки белков путем формирования ε-(γ-глутамил)лизиновой поперечной связи. Это происходит путем обмена ε-аминогруппы остатка лизина с образованием аммиака на карбоксиамидную группу остатка глютамина в молекулах белка. В отсутствие первичных аминов в качестве ацильного акцептора может выступать вода, приводя к дезаминированию γ-карбоксиамидной группы глютамина и образованию глутаминовой кислоты [49]. Кроме ковалентного сшивания белков ТГазы катализируют модификацию белков посредством реакций включения аминов и деамидирования.

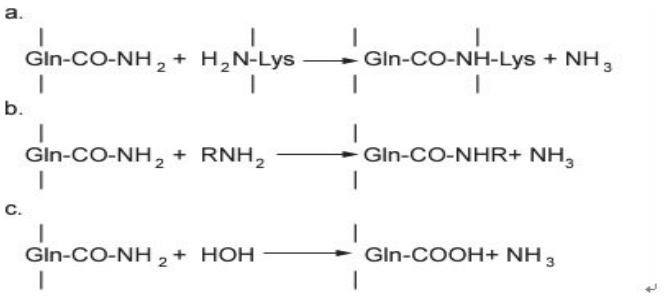


Рис. 3. Реакции, катализируемые ТГазами: a – реакция переноса ацильной группы; b – реакция поперечного связывания лизина и глицина в белках; c – реакция дезаминирования
Fig. 3. Reactions catalyzed by Ligases: a – acyl group transfer reaction; b – lysine and glycine cross-linking reaction in proteins; c – deamination reaction

Формирование ковалентных сшивок между белками лежит в основе способности ТГаз изменять физические свойства белковых продуктов. В настоящее время выделены изоформы ТГаз из животных, растений и микроорганизмов. Два первых источника содержат Ca^{2+}-зависимые ТГазы в отличие от последнего, содержащего Ca^{2+}-независимые ферменты. Последние используются в качестве технологических инструментов для получения при низкой температуре реструктурированных изделий из мяса, морепродуктов, молока [50].

Механизмы участия ряда внеклеточных трансглутаминаз в физиологически важных функциях организма точно установлены. Например, фактор XIII – ТГаза плазмы крови (фибрин-стабилизирующий фактор) – катализирует реакцию лигирования (свертывания крови). В лизате гемоцитов японского мечехвоста при добавлении эндотоксинов инвазивных бактерий происходит активация проферментов, чувствительных к этим эндотоксинам. Этим запускается каскад реакций, которые приводят к активации свертывающей ТГазы. Активированная ТГаза впоследствии преобразует растворимый гелеобразующий фактор в нерастворимый гель, выполняющий функцию барьера против вторжения бактерий. В листьях растений активация ТГазы происходит при повышении уровней доступной энергии и включения полиаминов в хлоропласты под действием света. Поэтому фермент считается участвующим в процессах фотосинтеза. Физиологическая роль ТГаз во многих других организмах до конца не изучена. Активность тканевых трансглутаминаз (тТГаз) зависит от концентрации ионов Ca^{2+}. Для максимальной активности его концентрация должна составлять 2–5 мМ. Активируемая ионами Ca^{2+} тТГаза участвует в реализации таких биологических функций, как рост, адгезия, морфология и дифференциация клеток, апоптоз [50–53].

Спонтанное гелеобразование в мышечной ткани рыб, измельченной до пастообразного состояния в присутствии 2–4% NaCl, инкубированной при температуре 5–40° С, хорошо известное явление при изготовлении продуктов сурими. Это явление, называемое осаживание, низкотемпературное гелеобразование или сувари, включает в себя формирование сети молекул миозина за счет сшивания их эндогенными ТГазами. Гели, образованные таким образом, характеризуются гораздо большей прочностью после кулинарного приготовления, чем гели, полученные при температурах >80 °С. Поэтому осаживание обычно используют для усиления прочности сурими. Например, в комбинированных крабовых продуктах, содержащих и волокна, и паутинообразную матрицу (оба из сурими), волокна должны быть сконструированы таким образом, чтобы они были плотнее, чем матрица за счет осаживания перед приготовлением. При производстве имитированных акульих плавников используют ТГазу, катализирующую сшивку желатина, коллагена или их смеси. ТГазы также используют в производстве имоно (himono), высушенного рыбного продукта, распространенного в Японии, получаемого путем обработки рыбного филе в концентрированных растворах солей с последующей сушкой. Изменения в физических характеристиках продукта во время сушки являются результатом сшивки молекул миозина тяжелых цепей. Считают также, что специфическая жевательная текстура икры, формирующаяся при хранении в солевых растворах, является результатом деятельности ТГазы. После промывки икры различных видов рыб в изотонических солевых растворах и выдержке ее в 7 % растворе хлорида натрия в течение 3 дней происходит увеличение содержания ε-(γ-глутамил)лизина и прочности [52].

Ограничение способности к сшивке белков радужной форели и терпуга связывают с низким числом реакционно-способных остатков глутамина, в то время как для карпа процесс протекает интенсивно. При смешивании миозинов форели и карпа обнаружено минимально возможное количество межвидовых сшивок белков. Скорость образования сшивок возросла с увеличением пропорции белков форели по отношению к белкам карпа, что предполагает формирование внутривидовых белковых сшивок. В то же время скорость образования сшивок смесей миозинов форели и терпуга не зависела от подобной пропорции, что соответствует возможному формированию сшивок белков из различных видов рыб. Высокий уровень

эндогенной активности ТГаз мышечной ткани отдельных видов рыб обеспечивает хорошую возможность получения сурими. Активность эндогенных ферментов значительно уменьшается в объектах с ухудшенными органолептическими качествами. В таких случаях гелеобразование может быть улучшено при добавлении экзогенной ТГазы [53].

Гели сурими состоят из трехмерных белковых сетей, формирующихся в основном из актомиозина. Для выяснения механизма термоиндуцированного гелеобразования были изучены белок-белковые взаимодействия, происходящие в гелях сурими с участием актомиозина, миозина и субфрагментов миозина. Это позволило изучить вклад отдельных белковых компонентов миофибрилл в гелеобразование сурими без участия эндогенных ферментов. Оказалось, что миозин является наиболее важным компонентом в формировании геля. Прочность и эластичность миозинового геля были выше, чем геля нативного актомиозина. Гелеобразование миозина, утратившего при нагреве свою нативную α-спиральную структуру, происходит за счет межмолекулярных взаимодействий, что приводит к формированию жесткой структурированной белковой сети, которая стабилизируется ковалентными дисульфидными связями и различными нековалентными взаимодействиями. Характеристики сурими, такие как твердость, когезионная способность и водоудерживающая способность могут быть увеличены путем инкубации пасты сурими при температуре ниже 40 °С (сувари). Сувари может быть достигнуто в короткий период времени (2–4 ч) при примерно 40 °С (высокотемпературное осаживание) или при более длительной инкубации (12–24 ч) при температуре ниже 40 °С (низкотемпературное осаживание) [52, 53].

Влияние низкой температуры связано с активностью ТГазы, в то время как влияние высокой температуры связано с изменением реологических свойств актомиозина при 36–38 °С. α-спиральная структура миозина, характерная для хвостовой его части, разворачивается при 30–40 °С, что соответствует низкотемпературному осаживанию. Для гелей из миозинов атлантического горбыля и песчаной форели показано увеличение прочности и эластичности гелей сурими после инкубации при 40 °С. Еще для 14 видов рыб показано, что прочность геля коррелирует со снижением количества α-спиральных участков. Подполагают, что инициация осаживания сурими обеспечивается развертыванием α-спирали. Гелеобразующие свойства миозина находятся в зависимости от длины двухцепочечной α-спирали хвоста миозина. Протеолиз миозина способствует снижению прочности сурими. Нативная конформация миозина имеет первостепенное значение для правильного гелеобразования. Максимальная прочность геля не может быть получена при использовании денатурированного до начала гелеобразования миозина. Миофибриллярные белки рыб более восприимчивы к тепловой денатурации, чем белки наземных животных. Так как гидрофобные аминокислотные остатки, обнажающиеся в процессе замораживания и хранения, принадлежат в основном миозину и в меньшей степени – актину, повторные замораживания и оттаивания сурими из денатурированного миозина приводят к существенному снижению прочности [54, 55].

Модель образования и распада геля сурими включает следующие процессы: протеолиз с участием кальпаинов, катепсинов и других протеиназ во время хранения; гелеобразование с участием ТГазы; протеолиз с участием щелочной протеазы, катепсинов B, L во время осаживания при 50–70 °С; распад (модори) с участием щелочной протеазы, катепсинов B, L, кальпаинов и других протеаз, если структура образовавшейся сети не фиксируется путем нагревания при 85–100 °С (рис. 4).

Для мышечной ткани рыб различных видов показаны подобные результаты: реакции структуробразования гелей ниже 40 °С (сувари) и реакции распада структуры при 50–70 °С (модори). Низкотемпературное осаживание связано с действием ТГазы, в то же время явление модори инициируется эндогенными термостабильными протеиназами, которые могут быстро расщепить миозин. Мышечная ткань рыб после посмертных изменений восприимчива к протеолизу эндогенными протеиназами, в результате чего текстура часто характеризует-

ся как мягкая или кашицеобразная. Протеолитический распад гелей сурими характеризуется высокой скоростью при температуре выше 50 °С и приводит к быстрой и глубокой деградации миофибриллярных белков. Этот распад оказывает негативное воздействие на качество сурими, существенно снижая прочность и эластичность геля. Среди многочисленных протеаз, присутствующих в мышцах, катепсины благодаря своей термостабильности и способности расщеплять внутренние пептидные связи представляют набольшую угрозу для текстуры. Высокий уровень активности катепсинов был обнаружен в тихоокеанском путассу, стрелозубом палтусе, нерестовой кете и скумбрии. Размягчение гелей стрелозубого палтуса связано с протеазами, имеющими максимальную активность при 50–60 °С. При инкубировании мышечной ткани путассу при 60 °С в течение 30 мин (перед приготовлением при 90 °С) наблюдали деградацию тяжелой цепи миозина и образование геля с требуемой прочностью [56].

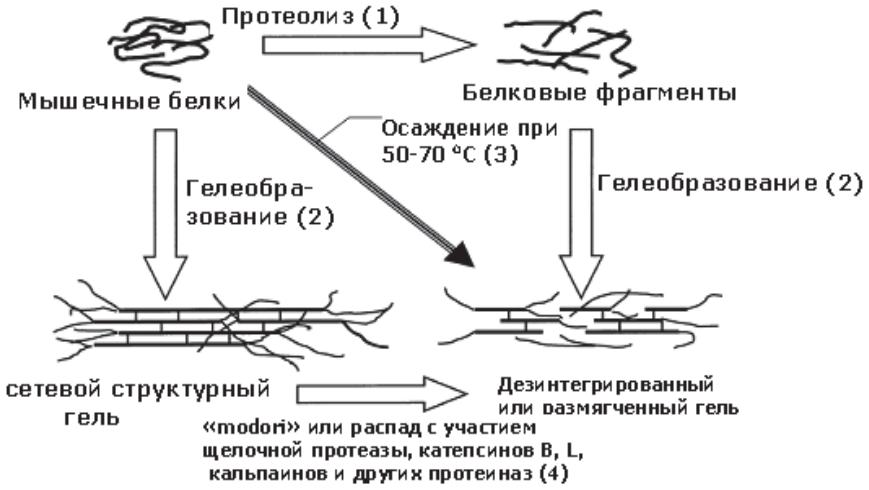


Рис. 4. Модель образования и распада геля сурими с участием ферментов:
1 – кальпаинов, катепсинов во время хранения; 2 – ТГазы; 3 – щелочной протеазы, катепсинов B, L во время осаждения при 50–70 °С; 4 – щелочной протеазы, катепсинов B, L, кальпаинов, если структура образовавшейся сети не фиксируется путем нагревания при 85–100 °С [2]

Fig. 4. Model of formation and decomposition of surimi gel with the participation of enzymes:
1 – calpains, cathepsins during storage; 2 – TGases; 3 – alkaline protease, cathepsins B, L during precipitation at 50–70 °C; 4 – alkaline protease, cathepsins B, L, calpains, if the structure of the formed network is not fixed by heating at 85–100 °C [2]

Катепсины и кальпаины очень трудно удалить в процессе приготовления сурими. Существуют различия в видовой стабильности протеаз при получении сурими. Ферменты остаются активными у скумбрии и полностью инактивируются у тихоокеанской мерлузы. Скорость гидролиза миофибриллярных белков катепсином L в размягченных мышцах кеты и путассу была выше, чем катепсином B. Катепсины B, L, и L-типа являются лизосомальными протеазами, поэтому pH, температура и ионная сила в окружении лизосом может повлиять на высвобождение этих ферментов в саркоплазматическую жидкость [51].

Следовательно, условия при посмертных изменениях в рыбах и при выработке сурими сильно влияет на инактивацию протеаз. Полезными подходами для предотвращения размягчения геля могут быть использование природного ингибитора цистатина или обработка мембран лизосом, приводящая к их разрушению для быстрого удаления катепсинов до и во время промывки и обработки. Активность катепсинов в сурими из скумбрии во время хранения замороженном состоянии при температуре -40 °С снижалась постепенно, и через 8 недель

хранения она составляла 82 %. Это может быть связано с тем, что катепсины B и L находятся в лизосомах, что защищает их от денатурации при морозильном хранении. Криопротекторы, такие как сахароза, сорбит и полифосфаты используют для предотвращения денатурации белка в замороженных крабовых палочках. Применение молекулярно-биологических методов с использованием природных ингибиторов может стать полезным для предотвращения размягчения гелей сурими для экономически целесообразного производства [52].

В организме рыб активность ТГаз регулируется с помощью ряда эндогенных факторов. Депротеинизированный экстракт из мышц кеты содержит большое количество дипептида ансерина, который ингибирует активность ТГазы, предотвращая сшивку актомиозина при низкой температуре гелеобразования. Вероятно, поэтому, несмотря на высокие уловы, кета не используется для производства сурими из-за плохой гелеобразующей способности. Некоторые другие виды рыб (желтоперый и голубой тунцы, полосатый и черный марлины), имеющие слабую гелеобразующую способность, также содержат большое количество ансерина. Такой способ регуляции активности фермента с помощью ансерина не является обязательным для всех видов рыб, так как белки некоторых видов рыб имеют хорошую гелеобразующую способность даже в отсутствии ТГазы. Введение определенных ингредиентов в измельченную мышечную ткань также может повлиять на характеристики гелей, образованных в результате действия ТГазы. При добавлении белков пшеницы и сои к соленой пасте сурими из минтая после выдержки при 10 °C в течение 72 ч происходило снижение реакции гелеобразования. Похожие процессы наблюдали при добавлении цельного яйца, белка или желтка к сурими из минтая. Добавление L-лизина также подавляет сшивку миозина ТГазой, о чем свидетельствует снижение прочности камабоко. При добавлении измельченной говядины к сурими происходит уменьшение способности к низкотемпературному осаживанию. Эта добавка также приводит к снижению pH. Было обнаружено, что при соответствующих значениях pH, но без добавления говяжьего фарша наблюдаются те же результаты. Возможно, говяжий фарш не влияет на способность к низкотемпературному осаживанию, а причиной является разбавление исходного белкового субстрата [57, 58].

Высокая степень специфичности ТГазы свидетельствует о ее относительной реакционной специфичности по отношению к различным субстратам. При этом миозин является наиболее чувствительным среди мышечных белков к действию ТГазы, в то время как актин не реагирует с этим ферментом. Тропомиозин и тропонин-Т также могут быть возможными субстратами, но в ограниченной степени. При использовании ТГаз из мышц карпа для сшивки актомиозина из различных видов рыб наблюдали различные скорости полимеризации, что является серьезным доказательством того, что процесс сшивки является субстратзависимым. Добавление экзогенной ТГазы из печени морской свинки к сурими минтая и атлантического горбыля приводило к повышению прочности геля, при этом оптимумы pH и температуры такой реакции совпадали с известными для эндогенных ТГаз этих видов. Это означает, что оптимальные условия реакции осаживания могут быть детерминированы наличием реактивных точек на поверхности миозина (конформацией субстрата), а не источниками фермента. Также оптимальный температурный режим коррелирует с температурой среды обитания живой рыбы, это усиливает достоверность предположения, что активность ТГазы зависит от стабильности миозина. Так, тяжелые цепи миозина рыб полимеризуются с помощью ТГазы при низких температурах осаживания соленой пасты, в то время как говяжья паста не подвержена действию фермента вследствие большей стабильности говяжьего миозина [49, 54].

Природный полимер хитозан, состоящий из мономеров β-1,4-глюкозамина, оказывает влияние на катализируемую ТГазой сшивку тяжелой цепи миозина ВБР. Прочность гелей, из соленой пасты сурими минтая возрастала при увеличении концентрации вносимого хитозана. Механизм, посредством которого хитозан увеличивал сшивку тяжелых цепей миозина ТГзами, не выяснен. Поскольку тканевые ТГазы являются Ca^{2+}-зависимыми ферментами,

добавление ингредиентов, способных связывать или высвобождать Ca^{2+}, может влиять на реакцию осаживания при низких температурах [59, 60].

Рассмотренные свойства ТГаз определяют направления их использования: модификация и/или улучшение функциональных и механических свойств рыбы и морепродуктов, реструктурирование продукции из сырого мяса, производство сурими, получение рыбных фаршей, изменения текстуры рыбы, обработка акульих плавников, образование связей между коллагеном и желатином, минимизация потери воды после оттаивания.

Таким образом, ферментативные системы играют важную роль на всей эксплуатации ВБР. Изучение молекулярных механизмов действия ферментов и способов их регулирования позволяют в значительной степени влиять на показатели качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции на этапах выращивания, вылова, переработки и хранения. Стандартизация показателей реакционной способности ферментов позволяет с высокой степенью достоверности оценивать качество ВБР по уровню активности ферментов и накоплению продуктов их деятельности.

Список источников

1. Fraatz M.A., Rühl M., Zorn H. Food and feed enzymes // Adv. Biochem. Eng. Biotechnol. 2014. Vol. 143. P. 229–256.

2. Seafood enzymes: utilization and influence on postharvest seafood quality. eds N. F.Haard and B. K.Simpson (New York: Marcel Dekker), 2002. 681 p.

3. Trincone A. Marine biocatalysts: enzymatic features and applications // Mar.Drugs. 2011. Vol. 9. P. 478–499.

4. Fernandes P. Enzymes in fish and seafood processing frontiers // Bioengineering and Biotechnology. 2016. Vol. 4. P. 1–14.

5. Пивненко Т.Н., Позднякова Ю.М., Михеев Е.В. Ферментные системы воднобиологических ресурсов и их роль в формировании качества продукции. М.: Лань, 2020. 280 с.

6. Vilhelmsson O. The state of enzyme biotechnology in the fish processing industry // Trends Food Sci. Technol. 1997. Vol. 8. P. 266–270.

7. Пивненко Т.Н., Ковалев Н.Н. Сериновые протеиназы морских организмов: свойства, получение применение: монография. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2015. 498 с.

8. Биотехнология рационального использования гидробионтов: учебник / под ред. О.Я. Мезеновой. СПб.: Лань, 2013. 216 с.

9. Кубасова Н.А., Цатурян А.К. Молекулярные механизмы работы актин-миозинового мотора в мышце // Успехи биологической химии. 2011. Т. 50. С. 233–282.

10. Adelstein R.S, Eisenberg E. Regulation and kinetics of actin-myosin-ATP interaction // Annu Rev Biochem. 1980. Vol. 49. P. 921–956.

11. Iwamoto M., Yamanaka H., Abe H., Watabe S., Hashimoto K. Rigor-mortis progress and its temperature-dependency in several marine fishes // Nippon Suisan Gakk. 1990. Vol. 56. P. 93–99.

12. Ando M., Banno A., Hitani M., Hirai H., Nakagawa T., Makinodan Y. Influence on postmortem rigor of fish body and muscular ATP consumption by the destruction of spinal cord in several fishes // Fish Sci. 1996. Vol. 62. P. 796–799.

13. Hashimoto A, Arai K. The effects of pH and temperature on the stability of myofibrillar Ca-ATPase from some fish species // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1978. Vol. 44. P. 1389–1393.

14. Антипова Л.В., Дворянинова О.П., Черкесов А.З. Биохимический механизм автолитических процессов мышечной ткани рыб // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. № 2. С. 92–97.

15. Kanoh S, Watabe S, Hashimoto K. ATPase activity of requiem shark myosin // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1985. – Vol. 51. P. 973–977.

16. Katoh N, Nozaki W, Komatsu I, Arai K. A new method for evaluation of the quality of frozen surimi from Alaska pollack // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1979. Vol. 45. P. 1027–1032.

17. Dingle J.R, Hines J.A. Extraction and properties of adenosine 5′-monophosphateamino hydrolase from prerigor and postrigor muscle cod // J Fish Res Bd Can. – 1967. Vol. 24(8). P. 1717–30.

18. Харенко Е.Н., Жукова К.А. Посмертные изменения мышечной ткани минтая // Тр. ВНИРО. 2017. Т. 165. С. 127–133.

19. Hultin H. Postmortem biochemistry of meat and fish // J Chem Ed. 1984. Vol. 61. P. 289–298.

20. Nakayama T, Da-Jia L, Ooi A. Tension changes of stressed and unstressed carp muscle in isometric rigor contraction and resolution // Nippon Suisan Gakk. 1992. Vol. 58. P. 1517–1522.

21. Lowe T, Ryder J.M, Carrager J.F, Wells RMG. Flesh quality in snapper, *Pagrus auratus*, affected by capture stress // J Food Sci. 1993. Vol.58. P. 770–773.

22. Surette M E. Isolation and immobilization of nucleotide catabolic enzymes for evaluation of fish freshness. M Sc thesis, Technical University of Nova Scotia, 1987.

23. Jiang S.T, Hwang B.S, Tsao C.Y. Effect of adenosine nucleotides and their derivatives on the denaturation of myofibrillar proteins in vitro during frozen storage at 20 C // J Food Sci. 1987. Vol. 52(1). P. 117–123.

24. Tomioka K, Kuragano T, Yamamoto H, Endo K. Effect of storage temperature on the dephosphorylation of nucleotides in fish muscle // Nippon Suisan Gakk. 1987. Vol. 53(3). P. 503–507.

25. Fraser D.I, Dingle J.R, Hines J.A, Nowlan S.C, Dyer W.J. Nucleotide degradation monitored by thin-layer chromatography and associated postmortem changes in relaxed cod muscle // J Fish Res Bd Can. 1967. Vol. 24(8). P. 1837–1841.

26. Saito T, Arai K, Matsuyoshi M. A new method for estimating the freshness of fish // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1959. Vol. 24(9). P. 749–750.

27. Curran C.A., Poulter R.E., Brueton A., Jones N.R., Jones N.S.D. Effect of handling treatment on fillet yields and quality of tropical fish // J Food Technol. 1986. Vol. 21. P. 301–310.

28. Nowlan S.S., Dyer W.J., Effect of Mincing on Glycolytic Activity in Prerigor Atlantic Cod (*Gadus morhua*) Muscle Stored in Ice or Frozen // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 2011. Vol. 31(4). P. 473–476.

29. Tomioka K, Endo K. Properties of 5′-nucleotidase from carp skeletal muscle // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1984. Vol. 50. – P. 1739–44.

30. Itoh R., Kimura K. Occurrence of IMP-GMP 5′-nucleotidase in three fish species: A comparative study on *Trachurus japonicus*, *Oncorhynchus masou masou* and *Triakis scyllium* // Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol. 2002. Vol. 32. P. 401–408.

31. Surette M., Gill T., MacLean S., Purification and characterization of purine nucleoside phosphorylase from *Proteus vulgaris* // Applied Environmental Microbiology. 1990. Vol. 56. P. 1435–39.

32. Wu L, Pu H, Sun D-W. Novel techniques for evaluating freshness quality attributes of fish: A review of recent developments // Trends Food Sci. Tech. 2019. Vol. 83. P. 259–273.

33. Kostić D. A., Dimitrijević D. S., Stojanović G. S., Palić I. R., Đrdević A. S., Ickovski J. D. Xanthine oxidase: isolation, assays of activity, and inhibition // J. Chem. 2015. Vol. 2. P. 1–8.

34. Hong H, Regenstein J.M, Luo Y. The importance of ATP-related compounds for the freshness and flavor of post-mortem fish and shellfish muscle: A review // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2017. Vol. 57. P. 1787–1798.

35. Karube H, Matsuoka S, Suzuki E, Watanabe K, Toyama. Determination of fish freshness with an enzyme sensor // J Agric Food Chem. 1984. Vol. 32. P. 314–319.

36. Ефременко Ю.И., Мезенова О.Я. О возможности применения мультисенсорного метода определения степени свежести рыбы // Вестник молодёжной науки КГТУ. 2011. С. 15–19.

37. Thakur M.S., Ragavan K.V. Biosensors in food processing // J. Food Sci. Technol. 2013. Vol. 50. P. 625–641.

38. Силкина Е.Н. Содержание гликогена и лактата в скелетных мышцах рыб при кратковременном интенсивном плавании летом и осенью // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 1990. Т. 26. С. 68–72.

39. Nambudiri D.D, Gopakumar K. ATPase and lactate dehydrogenase activities in frozen stored fish muscle as indices of cold storage deterioration // J Food Sci. 1992. Vol. 57(1). P. 72–76.

40. Nilsson K, Ekstrand B. The effect of storage on ice and various freezing treatments on enzymatic leakage in muscle tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Z Lebensm Unters Forsch. 1993. Vol. 197(1). P. 3–7.

41. Sriket C. Proteases in fish and shellfish: Role on muscle softening and prevention // International Food Research Journal. 2014. Vol. 21(1). P. 433–445.

42. Delbarre-Ladrat C., Chéret R., Taylor R. VerrezBagnis V. Trends in postmortem aging in fish: Understanding of proteolysis and disorganization of the myofibrillar structure // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2006. Vol. 46(5). P. 409–421.

43. Shigemura Y., Ando M., Harada K. Tsukamasa Y. Possible degradation of type I collagen in relation to yellowtail muscle softening during chilled storage // Fisheries Science. 2004. Vol. 70(4). P.703–709.

44. Chéret R., Delbarre-Ladrat C., de Lamballerie-Anton M., Verrez-Bagnis V. Calpain and cathepsin activities in post mortem fish and meat muscles // Food Chemistry. 2006. Vol. 101(4). P.1474–1479.

45. Goll D.E., Thompson V.F., Taylor R., Oual A. The calpain system and skeletal muscle growth // Can J Animal Sci. 1998. Vol. 12. P. 503–512.

46. Turk V., Stoka V., Vasiljeva O., Renko M., Sun T., Turk B. Cysteine cathepsins: from structure, function and regulation to new frontiers // Biochim.Biophys.Acta. 2012. Vol. 1824. P. 68–88.

47. Kolodziejska I., Sikorski Z.E. Neutral and alkaline muscle proteases of marine fish and invertebrates – a review // J. Food Biochem. 996. Vol. 20. P. 349–363.

48. Ohshima T., Suzuki T., Koizumi C. New developments in surimi technology. Trends Food Sci Technol 4:157–163, 1993. Reed G. Introduction. In: T Nagodawithana, G Reed, eds. Enzymes in Food Processing, 3rd ed. San Diego: Academic Press, 1993. P. 1–5.

49. Пивненко Т.Н. Применение трансглутаминазы в пищевой промышленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 55(1). С. 5–22.

50. Rachel N.M., Pelletier J.N. Biotechnological applications of transglutaminases // Biomolecules. 2013. Vol. 3. P. 870–888.

51. Zilda D.-S. Microbial transglutaminase: source, production and its role to improve surimi properties // Squalen Bull. Marine Fish. Postharvest Biotechnol. 2014. Vol. 9. P. 35–44.

52. Lanier T.C., Carvajal P., Yongsawatdigul J. Surimi gelation chemistry, In: Surimi and Surimi Seafood. : Park, J.W., Ed., Taylor and Francis, London. 2005. P. 435–489.

53. An H., Peters M.Y., Seymour T.A. Roles of endogenous enzymes in surimi gelation // Trends in Food Science and Technology. 1996. Vol. 7. P. 321–327.

54. Asagami T., Ogiwara M., Wakameda A., Noguchi S. F. Effect of microbial transglutaminase on the quality of frozen surimi made from various kinds of fish species // Fish Science. 1995. Vol. 61. P. 267–272.

55. Kaewudom P., Benjakuln S., Kijroongrojana K. Properties of surimi gel as influenced by fish gelatin and microbial transglutaminase // Food Biosci. 2013. Vol. 1. P. 39–47.

56. Yin T., Park J.W. Optimum processing conditions for slowly heated surimi seafood using protease-laden Pacific whiting surimi // LWT Food Sci. Technol. 2015. Vol. 63. P. 490–496.

57. Kimura I, Sugimoto M, Toyoda K, Seki N, Arai K, Fujita T. A Study on the crosslinking reaction of myosin in kamaboko «Suwari» gels // Nippon Suisan Gakk. 1991. Vol. 57. P. 1389–1396.

58. Martin-Sanchez A.M., Navarro C., Perez-Alvarez J.A., Kuri V. Alternatives for Efficient and Sustainable Production of Surimi // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2009. Vol. 8(4). P. 359–374.

59. Пивненко Т.Н., Карпенко Ю.В., Позднякова Ю.М., Кращенко В.В., Есипенко Р.В. Обоснование условий применения трансглутаминазы в технологии формованной продукции из обводненного рыбного сырья // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11(2). С. 205–215.

60. Kataoka J, Ishizaki S, Tanaka M. Effects of chitosan on gelling of low quality surimi // J Muscle Foods. 1998. Vol. 9. P. 209–220.

References

1. Fraatz M.A., Rühl M., Zorn H. Food and feed enzymes // Adv. Biochem. Eng. Biotechnol. 2014. Vol. 143. P. 229–256.

2. Seafood enzymes: utilization and influence on postharvest seafood quality. eds N. F.Haard and B. K.Simpson (New York: Marcel Dekker), 2002. 681 p.

3. Trincone A. Marine biocatalysts: enzymatic features and applications // Mar.Drugs. 2011. Vol. 9. P. 478–499.

4. Fernandes P. Enzymes in fish and seafood processing frontiers // Bioengineering and Biotechnology. 2016. Vol. 4. P. 1–14.

5. T.N. Pivnenko, Yu.M. Pozdnyakova, E.V. Mikheev "Enzyme systems of aquatic biological resources and their role in shaping product quality." Moscow: Lan, 2020. 280 p.

6. Vilhelmsson O. The state of enzyme biotechnology in the fish processing industry // Trends Food Sci. Technol. 1997. Vol. 8. P. 266–270.

7. Pivnenko T.N., Kovalev N.N. Serine proteinases of marine organisms: properties, preparation and application. Monograph. Vladivostok: Dalrybvtuz, 2015. 498 p.

8. Biotechnology of rational use of hydrobionts: textbook edited by O.Ya. Mezenova St. Petersburg: Lan, 2013. 216 p.

9. Kubasova N.A., Tsaturyan A.K. Molecular mechanisms of the actin-myosin motor in muscle // Successes of biological chemistry. 2011. Vol. 50. pp. 233–282.

10. Adelstein R.S, Eisenberg E. Regulation and kinetics of actin-myosin-ATP interaction // Annu Rev Biochem. 1980. Vol. 49. P. 921–956.

11. Iwamoto M., Yamanaka H., Abe H., Watabe S., Hashimoto K. Rigor-mortis progress and its temperature-dependency in several marine fishes // Nippon Suisan Gakk. 1990. Vol. 56. P. 93–99.

12. Ando M., Banno A., Hitani M., Hirai H., Nakagawa T., Makinodan Y. Influence on postmortem rigor of fish body and muscular ATP consumption by the destruction of spinal cord in several fishes // Fish Sci. 1996. Vol. 62. P. 796–799.

13. Hashimoto A, Arai K. The effects of pH and temperature on the stability of myofibrillar Ca-ATPase from some fish species // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1978. Vol. 44. P. 1389–1393.

14. Antipova L.V., Dvoryaninova O.P., Cherkasov A.Z. Biochemical mechanism of autolytic processes of fish muscle tissue // Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2015. No. 2. pp. 92–97.

15. Kanoh S, Watabe S, Hashimoto K. ATPase activity of requiem shark myosin // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1985. – Vol. 51. P. 973–977.

16. Katoh N, Nozaki W, Komatsu I, Arai K. A new method for evaluation of the quality of frozen surimi from Alaska pollack // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1979. Vol. 45. P. 1027–1032.

17. Dingle J.R, Hines J.A. Extraction and properties of adenosine 5′-monophosphateamino hydrolase from prerigor and postrigor muscle cod // J Fish Res Bd Can. – 1967. Vol. 24(8). P. 1717–30.

18. Kharenko E.N., Zhukova K.A. Postmortem changes in pollock muscle tissue // The works of VNIRO. 2017. Vol. 165. C. 127–133.

19. Hultin H. Postmortem biochemistry of meat and fish // J Chem Ed. 1984. Vol. 61. P. 289–298.

20. Nakayama T, Da-Jia L, Ooi A. Tension changes of stressed and unstressed carp muscle in isometric rigor contraction and resolution // Nippon Suisan Gakk. 1992. Vol. 58. P. 1517–1522.

21. Lowe T, Ryder J.M, Carrager J.F, Wells RMG. Flesh quality in snapper, Pagrus auratus, affected by capture stress // J Food Sci. 1993. Vol.58. P. 770–773.

22. Surette M E. Isolation and immobilization of nucleotide catabolic enzymes for evaluation of fish freshness. M Sc thesis, Technical University of Nova Scotia, 1987.

23. Jiang S.T, Hwang B.S, Tsao C.Y. Effect of adenosine nucleotides and their derivatives on the denaturation of myofibrillar proteins in vitro during frozen storage at 20 C // J Food Sci. 1987. Vol. 52(1). P. 117–123.

24. Tomioka K, Kuragano T, Yamamoto H, Endo K. Effect of storage temperature on the dephosphorylation of nucleotides in fish muscle // Nippon Suisan Gakk. 1987. Vol. 53(3). P. 503–507.

25. Fraser D.I, Dingle J.R, Hines J.A, Nowlan S.C, Dyer W.J. Nucleotide degradation monitored by thin-layer chromatography and associated postmortem changes in relaxed cod muscle // J Fish Res Bd Can. 1967. Vol. 24(8). P. 1837–1841.

26. Saito T, Arai K, Matsuyoshi M. A new method for estimating the freshness of fish // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1959. Vol. 24(9). P. 749–750.

27. Curran C.A., Poulter R.E., Brueton A., Jones N.R., Jones N.S.D. Effect of handling treatment on fillet yields and quality of tropical fish // J Food Technol. 1986. Vol. 21. P. 301–310.

28. Nowlan S.S., Dyer W.J., Effect of Mincing on Glycolytic Activity in Prerigor Atlantic Cod (*Gadus morhua*) Muscle Stored in Ice or Frozen // Journal of the Fisheries Research Board of Canada. 2011. Vol. 31(4). P. 473–476.

29. Tomioka K, Endo K. Properties of 5′-nucleotidase from carp skeletal muscle // Bull Jpn Soc Sci Fish. 1984. Vol. 50. – P. 1739–44.

30. Itoh R., Kimura K. Occurrence of IMP-GMP 5′-nucleotidase in three fish species: A comparative study on *Trachurus japonicus*, *Oncorhynchus masou masou* and *Triakis scyllium* // Comp. Biochem. Physiol. B Biochem. Mol. Biol. 2002. Vol. 32. P. 401–408.

31. Surette M., Gill T., MacLean S., Purification and characterization of purine nucleoside phosphorylase from *Proteus vulgaris* // Applied Environmental Microbiology. 1990. Vol. 56. P. 1435–39.

32. Wu L, Pu H, Sun D-W. Novel techniques for evaluating freshness quality attributes of fish: A review of recent developments // Trends Food Sci. Tech. 2019. Vol. 83. P. 259–273.

33. Kostić D. A., Dimitrijević D. S., Stojanović G. S., Palić I. R., Đrdević A. S., Ickovski J. D. Xanthine oxidase: isolation, assays of activity, and inhibition // J. Chem. 2015. Vol. 2. P. 1–8.

34. Hong H, Regenstein J.M, Luo Y. The importance of ATP-related compounds for the freshness and flavor of post-mortem fish and shellfish muscle: A review // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2017. Vol. 57. P. 1787–1798.

35. Karube H, Matsuoka S, Suzuki E, Watanabe K, Toyama. Determination of fish freshness with an enzyme sensor // J Agric Food Chem. 1984. Vol. 32. P. 314–319.

36. Efremenko Yu.I., Mezenova O.Ya. On the possibility of using a multisensory method for determining the degree of freshness of fish // Bulletin of youth science of KSTU. 2011. pp. 15–19.

37. Thakur M.S., Ragavan K.V. Biosensors in food processing // J. Food Sci. Technol. 2013. Vol. 50. P. 625–641.

38. Silkina E.N. The content of glycogen and lactate in skeletal muscles of fish during short-term intensive swimming in summer and autumn // Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology. 1990. Vol. 26. pp. 68–72.

39. Nambudiri D.D, Gopakumar K. ATPase and lactate dehydrogenase activities in frozen stored fish muscle as indices of cold storage deterioration // J Food Sci. 1992. Vol. 57(1). P. 72–76.

40. Nilsson K, Ekstrand B. The effect of storage on ice and various freezing treatments on enzymatic leakage in muscle tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Z Lebensm Unters Forsch. 1993. Vol. 197(1). P. 3–7.

41. Sriket C. Proteases in fish and shellfish: Role on muscle softening and prevention // International Food Research Journal. 2014. Vol. 21(1). P. 433–445.

42. Delbarre-Ladrat C., Chéret R., Taylor R. VerrezBagnis V. Trends in postmortem aging in fish: Understanding of proteolysis and disorganization of the myofibrillar structure // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2006. Vol. 46(5). P. 409–421.

43. Shigemura Y., Ando M., Harada K. Tsukamasa Y. Possible degradation of type I collagen in relation to yellowtail muscle softening during chilled storage // Fisheries Science. 2004. Vol. 70(4). P.703–709.

44. Chéret R., Delbarre-Ladrat C., de Lamballerie-Anton M., Verrez-Bagnis V. Calpain and cathepsin activities in post mortem fish and meat muscles // Food Chemistry. 2006. Vol. 101(4). P.1474–1479.

45. Goll D.E., Thompson V.F., Taylor R., Oual A. The calpain system and skeletal muscle growth // Can J Animal Sci. 1998. Vol. 12. P. 503–512.

46. Turk V., Stoka V., Vasiljeva O., Renko M., Sun T., Turk B. Cysteine cathepsins: from structure, function and regulation to new frontiers // Biochim.Biophys.Acta. 2012. Vol. 1824. P. 68–88.

47. Kolodziejska I., Sikorski Z.E. Neutral and alkaline muscle proteases of marine fish and invertebrates – a review // J. Food Biochem. 996. Vol. 20. P. 349–363.

48. Ohshima T., Suzuki T., Koizumi C. New developments in surimi technology. Trends Food Sci Technol 4:157–163, 1993. Reed G. Introduction. In: T Nagodawithana, G Reed, eds. Enzymes in Food Processing, 3rd ed. San Diego: Academic Press, 1993. P. 1–5.

49. Pivnenko T.N. The use of transglutaminase in the food industry // Scientific works of Dalrybvtuz. 2021. Vol. 55(1). pp. 5–22.

50. Rachel N.M., Pelletier J.N. Biotechnological applications of transglutaminases // Biomolecules. 2013. Vol. 3. P. 870–888.

51. Zilda D.-S. Microbial transglutaminase: source, production and its role to improve surimi properties // Squalen Bull. Marine Fish. Postharvest Biotechnol. 2014. Vol. 9. P. 35–44.

52. Lanier T.C., Carvajal P., Yongsawatdigul J. Surimi gelation chemistry, In: Surimi and Surimi Seafood. : Park, J.W., Ed., Taylor and Francis, London. 2005. P. 435–489.

53. An H., Peters M.Y., Seymour T.A. Roles of endogenous enzymes in surimi gelation // Trends in Food Science and Technology. 1996. Vol. 7. P. 321–327.

54. Asagami T., Ogiwara M., Wakameda A., Noguchi S. F. Effect of microbial transglutaminase on the quality of frozen surimi made from various kinds of fish species // Fish Science. 1995. Vol. 61. P. 267–272.

55. Kaewudom P., Benjakuln S., Kijroongrojana K. Properties of surimi gel as influenced by fish gelatin and microbial transglutaminase // Food Biosci. 2013. Vol. 1. P. 39–47.

56. Yin T., Park J.W. Optimum processing conditions for slowly heated surimi seafood using protease-laden Pacific whiting surimi // LWT Food Sci. Technol. 2015. Vol. 63. P. 490–496.

57. Kimura I, Sugimoto M, Toyoda K, Seki N, Arai K, Fujita T. A Study on the crosslinking reaction of myosin in kamaboko «Suwari» gels // Nippon Suisan Gakk. 1991. Vol. 57. P. 1389–1396.

58. Martin-Sanchez A.M., Navarro C., Perez-Alvarez J.A., Kuri V. Alternatives for Efficient and Sustainable Production of Surimi // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2009. Vol. 8(4). P. 359–374.

59. Pivnenko T.N., Karpenko Yu.V., Pozdnyakova Yu.M., Kraschenko V.V., Esipenko R.V. Substantiation of the conditions for the use of transglutaminase in the technology of molded products from watered fish raw materials // News of universities. Applied chemistry and biotechnology. 2021. Vol. 11(2). pp. 205–215.

60. Kataoka J, Ishizaki S, Tanaka M. Effects of chitosan on gelling of low quality surimi // J Muscle Foods. 1998. Vol. 9. P. 209–220.

Информация об авторе

Т.Н. Пивненко – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры пищевой биотехнологии, SPIN-код: 7443-7095, AuthorID: 817526.

Information about the author

T.N. Pivnenko – Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Food Biotechnology, SPIN-code: 7443-7095, AuthorID: 817526.

Статья поступила в редакцию 13.03.2024; одобрена после рецензирования 18.03.2024; принята к публикации 22.03.2024.

The article was submitted 13.03.2024; approved after reviewing 18.03.2024; accepted for publication 22.03.2024.

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 31–40.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 31–40.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 658.511

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-02

Методический подход к определению критических контрольных точек при разработке системы внутреннего контроля качества, основанной на принципах ХАССП

Елена Велориевна Глебова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия, Glebova.ev@dgtru.ru, http://orcid.org/0000-0003-4366-3819

Аннотация. В соответствии с требованиями пищевого законодательства Российской Федерации предприятия пищевой промышленности в целях обеспечения безопасности производимой продукции должны разработать, внедрить и поддерживать функционирование системы внутреннего контроля качества, основанной на принципах ХАССП, представляющей собой комплекс процедур и методов, действующих на предприятии и направленных на соблюдение актуального законодательства, которыми достигаются высокая степень безопасности и максимальное сохранение качества пищевой продукции. За последние десятилетия накоплен большой практический опыт по разработке данных систем, однако в каждом конкретном случае разработка системы требует индивидуального подхода, учитывающего специфику предприятия: его инфраструктуру и производственную среду, особенности протекания технологического процесса, оснащенность технологическим оборудованием, уровень автоматизации производства и компетентность сотрудников. Соответственно каждая из перечисленных областей имеет опасные факторы, требующие контроля, анализа и мониторинга для создания стабильных условий выпуска безопасной продукции, однако не все они являются значимыми и определяются как критические контрольные точки. Предлагаемый в статье методический подход к определению критических контрольных точек при разработке системы внутреннего контроля качества, основанной на принципах ХАССП, позволит управлять опасными факторами на основе программ предварительных обязательных мероприятий, тем самым предотвратить переход некоторых опасных факторов в значимые, что даст возможность сосредоточиться на мерах контроля за реально значимыми опасными факторами.

Ключевые слова: пищевые производства, пищевая безопасность, опасные факторы, контроль, меры управления, меры контроля, критическая контрольная точка, критический предел

Для цитирования: Глебова Е.В. Методический подход к определению критических контрольных точек при разработке системы внутреннего контроля качества, основанной на принципах ХАССП // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 31–40.

© Глебова Е.В., 2024

FOOD SYSTEMS

Original article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-02

Methodically approach to determining critical control points in the development of an internal quality control system based on the principles of HACSP

Elena V. Glebova

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia, Glebova.ev@dgtru.ru, http://orcid.org/0000-0003-4366-3819

Abstract. In accordance with the requirements of the food legislation of the Russian Federation, food industry enterprises, in order to ensure the safety of their products, must develop, implement and maintain the functioning of an internal quality control system based on the principles of HACCP, which is a set of procedures and methods operating on enterprise and aimed at compliance with current legislation, which achieves a high degree of safety and maximum preservation of the quality of food products. Over the past decades, extensive practical experience has been accumulated in the development of these systems, however, in each specific case, the deveopment of a system requires an individual approach that takes into account the specifics of the enterprise: its infrastructure and production environment, the peculiarities of the technological process, the availability of technological equipment, the level of production automation and competence employees. Accordingly, each of the listed areas has hazardous factors that require control, analysis and monitoring to create stable conditions for the production of safe products, how-ever, not all of them are significant and are defined as critical control points. The methodological approach proposed in the article to determining critical control points when developing an internal quality control system based on the principles of HACCP will make it possible to manage hazardous factors based on programs of preliminary mandatory measures, thereby preventing the transition of some hazardous factors to significant ones, which will make it possible to focus on measures control over really significant hazardous factors.

Keywords: food production, food safety, hazardous factors, control, control measures, control measures, critical control point, critical limit

For citation: Glebova E.V. Methodically approach to determining critical control points in the development of an internal quality control system based on the principles of HACSP. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2024; 67(1):31–40. (in Russ.).

В настоящее время требования к безопасности выпускаемой в обращение пищевой продукции регулируются целым комплексом документов различного уровня, в том числе федеральными законами, нормативными правовыми актами, техническими регламентами, стандартами, конструкторской и технологической документацией. В качестве основного инструмента, обеспечивающего действие производителя пищевой продукции в правовом поле пищевой безопасности, является соответствие производства требованиям общего Технического регламента ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». В главе 3 «Требования к процессам производства (изготовления), хранения, перевозки (транспортирования), реализации и утилизации пищевой продукции», статье 10 «Обеспечение безопасности пищевой продукции в процессе ее производства (изготовления), хранения, перевозки (транспортирования), реализации» говорится, что при осуществлении процессов производства (изготовления)

пищевой продукции, связанных с требованиями безопасности такой продукции, изготовитель должен разработать, внедрить и поддерживать процедуры, основанные на принципах ХАССП (в английской транскрипции HACCP – Hazard Analysis and Critical Control Points) [1].

Такие процедуры производители пищевых продуктов разрабатывают в соответствии следующими стандартами:

- ГОСТ Р 51705.1-2001 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования»;
- ГОСТ Р ИСО 22000-2019 (ISO 22000:2018) «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции (СМБПП). Требования к организациям, участвующим в цепи создания и пищевой продукции»;
- другие международные стандарты, в основе которых лежат принципы ХАССП (например, BRC).

В статье 11 «Требования к обеспечению безопасности пищевой продукции в процессе ее производства (изготовления)» ТР ТС 021/2011 в пункте 3 говорится, что для обеспечения безопасности в процессе производства (изготовления) пищевой продукции изготовитель должен определить:

- перечень опасных факторов, которые могут привести в процессе производства (изготовления) к выпуску в обращение пищевой продукции, не соответствующей требованиям безопасности;
- перечень критических контрольных точек (далее ККТ) процесса производства (изготовления), для которых необходим контроль, чтобы предотвратить или устранить указанные выше опасные факторы;
- предельные значения параметров, контролируемых в ККТ;
- порядок мониторинга ККТ процесса производства (изготовления).

Практическому опыту по разработке, внедрению и поддержанию на предприятиях пищевой промышленности процедур, основанных на принципах ХАССП, уже более десяти лет. В результате накопленных знаний целый ряд авторов посвятил и опубликовал множество работ научного и методического характера в данной области: Никифорова Ю.Д, Чудов С.А., Глебова Е.В. и др. [2–5].

Несмотря на это, перед разработчиками процедур по обеспечению безопасности пищевой продукции для конкретного технологического процесса производства (изготовления), впервые сталкивающихся с определением опасных факторов и ККТ, возникает ряд трудностей, связанных с выбором этапа технологического процесса, который следует определить как ККТ, количеством выявленных ККТ, возможностью обеспечения контроля и мониторинга предполагаемых ККТ и др.

В первую очередь ответы на подобные вопросы следует искать в самом определении «критическая контрольная точка», проведя последовательный анализ слов, входящих в данное определение. Под «точкой» следует понимать конкретное место, на конкретном предприятии, которым может быть конкретное рабочее место или технологическое оборудование, слово «место» является определяющим, так как ККТ не может быть процессом или производственным цехом, точка всегда локальна. Слово «контрольная» означает, что в ранее определенном «месте» есть возможность провести контрольные действия, так как в реальных условиях производства это не всегда возможно. На производстве могут быть места, которые, по нашему пониманию, могли бы требовать контрольных мероприятий, но в силу особенностей технологии, оборудования или расположения помещений мы не можем провести контрольные мероприятия. Подобные места, где проведение контрольных мероприятий на практике невозможно, не могут являться ККТ. Переходя к анализу следующего слова «критическая», следует подразумевать, что это не просто место, где можно реально проводить контрольные мероприятия, а что контроль в этом месте является критичным для безопасности выпускаемой пищевой продукции.

При производстве пищевой продукции «критичность» может наступать, как правило, по двум причинам:

- в технологии производства продукции есть этапы, на которых устраняется большая часть опасных факторов, если на таком этапе происходит неправильная обработка сырья или полуфабрикатов, то в дальнейшем уже готовая продукция не может быть гарантированно безопасной. Следовательно, контроль за ходом технологической операции, за нормативными параметрами является критичным. В качестве примера можно привести этап технологического процесса «термическая обработка», так как при термической обработке уничтожаются биологические опасные факторы, продукция доводится до готовности, и она не несет в себе опасные факторы. Однако если термическая обработка проходит при недостаточной температуре или продукция не выдерживается в нормативном температурном режиме достаточное время, уверенность, что биологические опасные факторы будут уничтожены, отсутствует;
- в технологии производства продукции критичным может являться этап, после которого любой контроль будет невозможен, например, готовая продукция перед упаковкой, так как после упаковки готовой продукции любые контрольные мероприятия будут уже невозможны.

Во вторую очередь следует обратиться к стандартизированным определениям ККТ:

- в соответствии с ГОСТ Р 51705.1-2001 «Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования» понятие «критическая контрольная точка» трактуется как место проведения контроля для идентификации опасного фактора и (или) управления риском [6];
- в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22000-2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции» (далее СМБПП), критическая контрольная точка определяется как этап процесса, где применяется мероприятие(я) по управлению для предотвращения значимой опасности, угрожающей безопасности пищевой продукции, или ее снижения до приемлемого уровня, и где определен(ы) критический(ие) предел(ы) и измерение, позволяющие применять коррекции [7].

Анализируя представленные выше определения, следует отметить, что ККТ относятся только к вопросам безопасности, качественную сторону производимой пищевой продукции они не затрагивают. Как правило, любой технологический процесс имеет ряд «проблемных мест», однако не всегда они являются ККТ, например, неровно наклеенные этикетки или реальный объем продукции в индивидуальной упаковке менее заявленного объема, несмотря на несоответствия, не будут являться ККТ, так как эти несоответствия не относятся к пищевой безопасности.

Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод, что для ККТ всегда характерно:

- возможность измеримого контроля, желательно при использовании средства измерения;
- наличие критических пределов, выход за которые делает продукцию опасной;
- возможность принятия мер по оперативной коррекции опасного продукта для предотвращения его распространения по пищевой цепи.

Первоначально методический подход к определению ККТ был представлен в ГОСТ Р 51705.1-2001 «Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования», заключающийся в анализе рисков в соответствии с Приложением Б «Анализ рисков по диаграмме» (рис. 1) и принятии решения по опасным факторам в соответствии с Приложением В «Метод дерева принятия решения» при определении ККТ (рис. 2).

Практическое использование методик, представленных на рис. 1, 2, показало, что при тщательном анализе производственных процессов опасные факторы могут быть выявлены на любом этапе технологического процесса, применяя метод «Анализ рисков по диаграмме» к продукции либо к стадиям процессов, с последующим применением метода «Дерево принятия решения» в отношении недопустимых рисков. Это объясняет, что на практике в рамках одного технологического процесса могло быть определено большое количество ККТ (десять и более).

Рис. 1. Диаграмма анализа рисков [6]
Fig. 1. Risk analysis diagram [6]

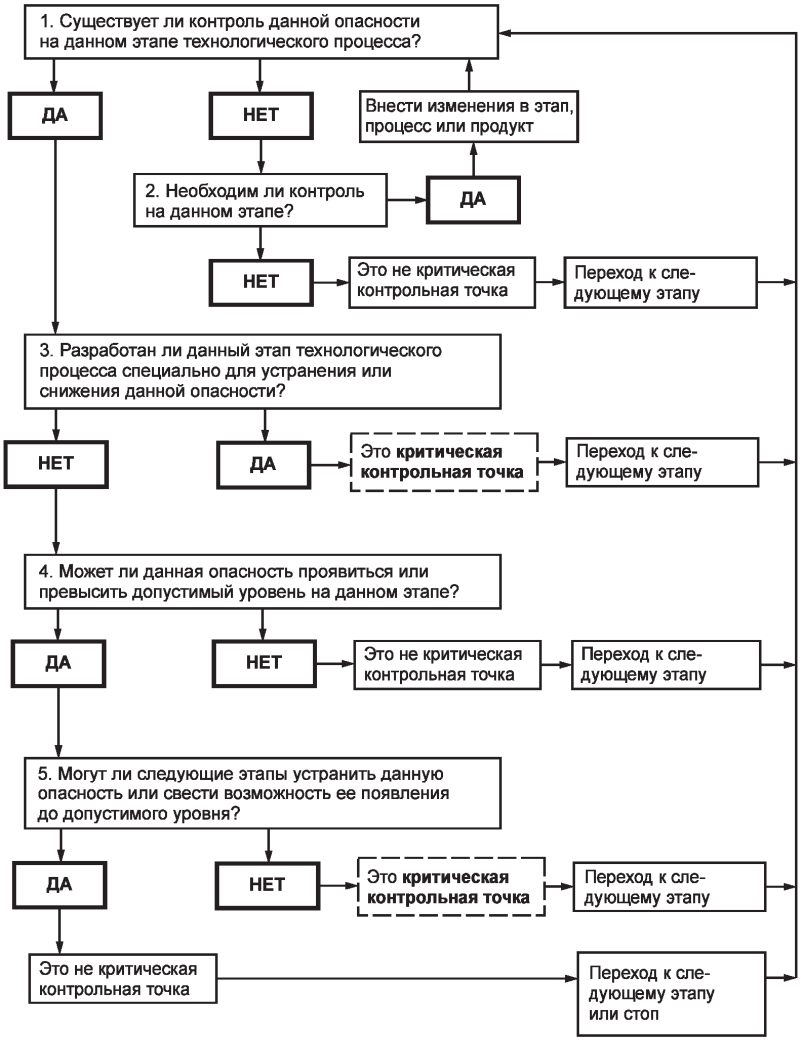


Рис. 2. Метод «Дерево принятия решения» при определении ККТ [6]
Fig. 2. «Decision Tree» method for determining CCP [6]

В результате чего разрабатываемая система управления качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП получалась громоздкой и дорогостоящей, так как каждая определенная ККТ требовала проведения контрольных мероприятий, внесения данных контроля в соответствующие формы, анализа для оценки необходимости проведения коррекций, что привлекало дополнительные материальные и временные ресурсы.

В соответствии с этим определение в технологическом процессе большого количества ККТ должно свидетельствовать либо об ошибках в их определении, либо об отсутствии должной организации технологического процесса.

В свою очередь определение ККТ в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 22000-2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции» позволяет избежать ошибок в определении ККТ, связанных с неправильной организацией производства за счет предварительных мероприятий и мероприятий по управлению опасностями.

Для этого следует рассмотреть следующие определения в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22000-2019:

- производственная программа обязательных предварительных мероприятий (далее ППОПМ): мероприятие по управлению или комбинация мероприятий по управлению, применяемые с целью предотвратить или снизить значимую опасность, угрожающую безопасности пищевой продукции до приемлемого уровня, и где критерий(и) действия и измерение или наблюдение позволяют эффективно контролировать процесс и/или продукт;

- программа обязательных предварительных мероприятий (далее ПОПМ): базовые условия и виды деятельности по обеспечению безопасности пищевой продукции, которые необходимы внутри организации и на всех этапах цепи создания пищевой продукции для поддержания безопасности пищевой продукции [3].

На основании изученного материала была разработана модель определения ККТ в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 22000-2019, представленная на рис. 3.

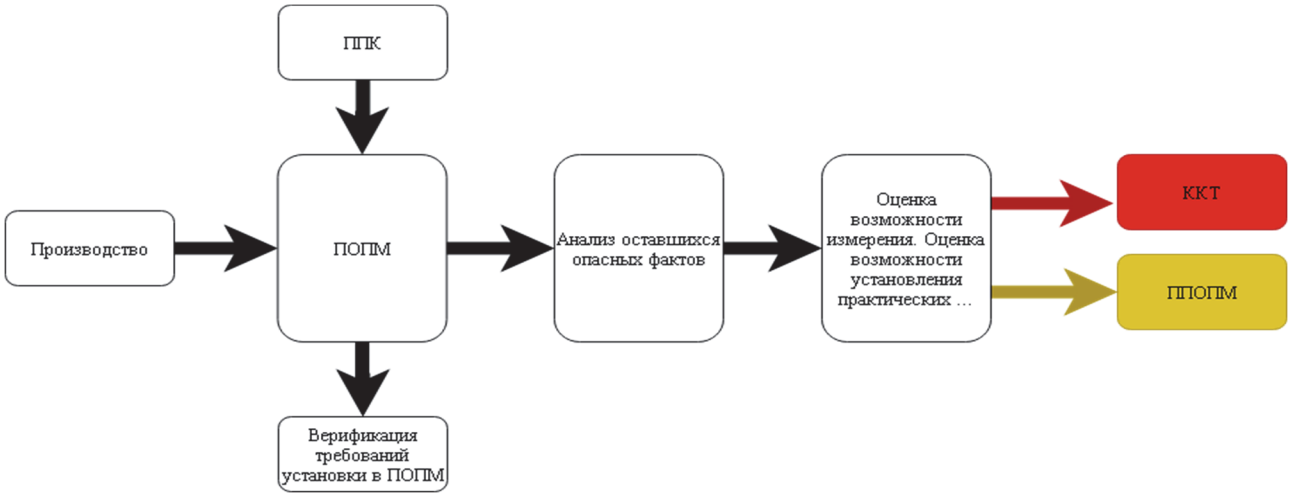


Рис. 3. Модель определения ККТ в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 22000-2019: ППК – программа производственного контроля

Fig. 3. Model for determining CCP in accordance with the requirements of GOST R ISO 22000-2019: PPK – production control program

Модель на рис. 3 представлена тремя этапами и соответствует международной концепции, предложенной Международной организацией по стандартизации (ISO), заключающейся

в применении разных видов контроля как инструмента для предотвращения или устранения угрозы безопасности пищевых продуктов или снижения ее до приемлемого уровня. Следовательно, первоочередным для определенных потенциальных опасностей является определение их значимости с применением методов оценки рисков, уже по отношению к последним следует применять соответствующие виды контроля.

Первый этап: разработка и внедрение ПОПМ.

В соответствии с вышесказанным, прежде чем приступать к анализу опасностей, необходимо разработать и внедрить программы обязательных предварительных мероприятий. Предварительные программы позволяют нам сделать так, чтобы опасности не попадали в значимые. ПОПМ разрабатываются по отраслевым спецификациям ISO/TS 22002 или российским аналогам, для производства пищевых продуктов это ISO/TS 22002-1:2009/ГОСТ Р 54762-2011/ISO/TS 22002-1:2009 «Программы предварительных требований по безопасности пищевой продукции. Часть 1. Производство пищевой продукции» [8]. ПОПМ определяет основные условия и действия, необходимые для поддержания гигиенической среды по всей пищевой цепочке, в качестве ПОПМ в среде производства пищевых продуктов можно назвать:

- строительство и планировку зданий и сопутствующих инженерных сетей;
- планировку помещений, включая рабочее пространство и помещения для сотрудников;
- поставки воздуха, воды, энергии и других коммуникаций;
- вспомогательные услуги, включая удаление отходов и сточных вод;
- пригодность оборудования и его доступность для чистки, обслуживания и профилактического обслуживания;
- управление закупленными материалами (например, сырье, ингредиенты, упаковка);
- управление расходными материалами (например, вода, воздух, пар и лед);
- управление утилизацией (например, отходы и сточные воды);
- обращение с продуктами (например, хранение и транспортировка);
- меры по предотвращению перекрестного заражения;
- очистку и дезинфекцию;
- борьбу с вредителями;
- гигиену персонала.

ПОПМ обычно являются общими для процесса и не сосредоточены на каком-либо конкретном этапе процесса, их сбой, как правило, не обязательно ведет к немедленному риску для безопасности пищевых продуктов и обычно управляет более общими опасностями с меньшим риском. Разработанные ПОПМ необходимо периодически верифицировать на соответствие выполнения установленных в них требований. Одним из методов оценки результатов ПОПМ получения ожидаемого эффекта является программа производственного контроля (далее ППК), обеспечивающая проведение лабораторного контроля по показателям безопасности сырья, полуфабрикатов, готовой продукции, производственной среды, оборудованию (смывы), сотрудникам (смывы) и т.д.

Второй этап: анализ оставшихся опасных факторов.

После того как на предприятии разработана и внедрена ПОПМ, необходимо приступить к анализу опасных факторов. В рамках этого анализа необходимо определить опасные факторы, которые еще остались, несмотря на то, что внедрена ПОПМ, в терминах ГОСТ Р ИСО 22000-2019 эти опасности принято называть значимыми или значительными опасностями.

На этом этапе анализ опасных факторов проводится с помощью методики анализа опасных факторов (см. рис. 1), при этом выделяются этапы производства, где опасные факторы могут иметь серьезные последствия для потребителя, так как не обеспечивают пищевую безопасность.

Третий этап: выбор меры управления опасным фактором.

Согласно ГОСТ Р ИСО 22000-2019 есть два варианта мер управления опасными факторами:

- ККТ – критическая контрольная точка – этап повышенных угроз загрязнения пищевых продуктов;
- ППОПМ – производственная программа предварительных мероприятий, рабочая программа необходимых программ, операционная программа управления.

Выбор меры управления опасным фактором зависит от его отнесения к ККТ или ППОПМ, для этого используется метод дерева принятия решения (см. рис. 2), при этом следует учитывать, что главным отличием ККТ от ППОПМ является возможность измерения параметров опасного фактора и установление критических пределов этих параметров, что обеспечивает возможность применения мер коррекции, если при мониторинге фиксируется нарушение критических пределов.

Разработанная модель является основой методического подхода к выявлению ККТ, включающего три этапа. Действия, проводимые на первом этапе – включение потенциально опасных факторов в ПОПМ, позволяют не допустить их перехода в значимые опасности, тем самым снизить количество опасных факторов, определенных как ККТ или внесенных ППОПМ. Анализ опасностей, проводимый на втором этапе, позволяет определить опасные факторы, имеющие вероятность обнаружения после внедренной ПОПМ. На третьем этапе осуществляется выбор мер контроля реагирования на опасные факторы, определенные на втором этапе. Выбор мер контроля осуществляется по критериям возможности измерительного контроля и возможности установления критических пределов для опасного фактора, это позволяет распределить оставшиеся опасные факторы после разработки ПОПМ между ККТ и ППОПМ. Использование предложенной модели методического подхода к определению ККТ в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО 22000-2019 на практике позволит обеспечить минимизацию количества значимых опасных факторов, определенных как ККТ, за счет перераспределения опасных факторов по выбранным мерам контроля и предупредительным мероприятиям, что в свою очередь позволит сосредоточиться на контроле за значимыми опасными факторами, отнесенными к ККТ.

Список источников

1. Технический регламент 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Текст – электронный: URL: https://docs.cntd.ru/document/902320560 (дата обращения: 26.02.2024).

2. Глебова Е.В. Новые требования к санитарной одежде для работников производства пищевой продукции и общественного питания. Текст – электронный: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/novye-trebovaniya-k-sanitarnoy-odezhde-dlya-rabotnikov-proizvodstva-pischevoy-produktsii-i-obschestvennogo-pitaniya/viewer (дата обращения: 26.02.2024).

3. Глебова Е.В. Изменения пищевого законодательства в области выбора и применения работниками средств индивидуальной защиты. Текст – электронный: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-pischevogo-zakonodatelstva-v-oblasti-vybora-i-primeneniya-rabotnikami-sredstv-individualnoy-zaschity/viewer (дата обращения: 26.02.2024).

4. Никифорова, Ю.Д. Разработка системы менеджмента безопасности пищевых продуктов на основе принципов ХАССП при производстве томатной пасты / Ю.Д. Никифорова, Е.О. Ермолаева, Н.Б. Трофимова, Е.В. Бастрон, И.Е. Трофимов. Текст – электронный: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sistemy-menedzhmenta-bezopasnosti-pischevyh-produktov-na-osnove-printsipov-hassp-pri-proizvodstve-tomatnoy-pasty/viewer (дата обращения: 26.02.2024).

5. Чудов, С.А. Разработка документации системы менеджмента безопасности пищевых продуктов для производства пресервов из сельди / С.А. Чудов, Ю.В. Устинова, Ю.И. Дымова, Н.В. Астахова. Текст – электронный: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-dokumentatsii-sistemy-menedzhmenta-bezopasnosti-pischevyh-produktov-dlya-proizvodstva-preservov-iz-seldi/viewer (дата обращения: 26.02.2024).

6. ГОСТ Р 51705.1-2001 «Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования». Текст – электронный: URL: https://docs.cntd.ru/document/1200007424 (дата обращения: 26.02.2024).

7. ГОСТ Р ИСО 22000-2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции». Текст – электронный: URL: https://docs.cntd.ru/document/1200166674?ysclid=lscj5x8r1a260429263 (дата обращения: 26.02.2024).

8. ГОСТ Р 54762-2011/ISO/TS 22002-1:2009. Программы предварительных требований по безопасности пищевой продукции. Часть 1. Производство пищевой продукции. Текст – электронный: URL: http://www.gociss.ru/doc/gost-r-54762-2011-ISO-TS-22002-1-2009.pdf (дата обращения: 26.02.2024).

References

1. Technical Regulation 021/2011 «On Food Safety». Text – electronic: URL: https://docs.cntd.ru/document/902320560 (date of circulation: 26.02.2024).

2. Glebova E.V. New requirements for sanitary clothing for workers in the production of food products and catering. Text – electronic: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/novye-trebovaniya-k-sanitarnoy-odezhde-dlya-rabotnikov-proizvodstva-pischevoy-produktsii-i-obschestvennogo-pitaniya/viewer (date of circulation: 26.02.2024).

3. Glebova E.V. Changes in food legislation in the field of choice and use of personal protective equipment by employees. Text – electronic: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/izmeneniya-pischevogo-zakonodatelstva-v-oblasti-vybora-i-primeneniya-rabotnikami-sredstv-individualnoy-zaschity/viewer (date of circulation: 26.02.2024).

4. Nikiforova, Yu.D. Development of a food safety management system based on the principles of HASSP in the production of tomato paste / Yu.D. Nikiforova, E.O. Ermolaev, N.B. Trofimova, E.V. Bastron, I.E. Trofimov. Text – electronic: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sistemy-menedzhmenta-bezopasnosti-pischevyh-produktov-na-osnove-printsipov-hassp-pri-proizvodstve-tomatnoy-pasty/viewer (date of circulation: 26.02.2024).

5. Chudov, S.A. Development of documentation for the food safety management system for the production of herring preserves / S.A. Chudov, Yu.V. Ustinova, Yu.I. Dymova, N.V. Astakhova. Text – electronic: URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-dokumentatsii-sistemy-menedzhmenta-bezopasnosti-pischevyh-produktov-dlya-proizvodstva-preservov-iz-seldi/viewer (date of circulation: 26.02.2024).

6. GOST R 51705.1-2001 «Food Quality Management Based on the Principles of the HACSP. General requirements». Text – electronic: URL: https://docs.cntd.ru/document/1200007424 (date of circulation: 26.02.2024).

7. GOST R ISO 22000-2019 «Food Safety Management Systems. Requirements for organizations participating in the chain of creation of food products». Text – electronic: URL: https://docs.cntd.ru/document/1200166674?ysclid=lscj5x8r1a260429263 (date of circulation: 26.02.2024).

8. GOST R 54762-2011/ISO/TS 22002-1: 2009. Programs of preliminary requirements for food safety. Part 1. Food production. Text – electronic: URL: http://www.gociss.ru/doc/gost-r-54762-2011-ISO-TS-22002-1-2009.pdf (date of circulation: 26.02.2024).

Информация об авторе

Е.В. Глебова – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления техническими системами, SPIN-код: 9540-4656, AuthorID: 740901.

Information about the author

E.V. Glebova – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Systems Management, SPIN-code: 9540-4656, AuthorID: 740901.

Статья поступила в редакцию 04.03.2024; одобрена после рецензирования 07.03.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 04.03.2024; approved after reviewing 07.03.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 41–47.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 41–47.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 664.959.5

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-03

Ферментолизаты из вторичного рыбного сырья и перспективы их использования в технологии продуктов питания

Марина Борисовна Клипак

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия, Klipak.mb@dgtru.ru, https://orcid.org/0009-0008-0209-4262

Аннотация. Обоснованы способы предварительной тепловой обработки кожи минтая для снижения содержания воды посредством конвективной сушки при температурах 45 и 90 °С. Изучено влияние сушки на свойства коллагеновых гидролизатов, полученных путём ферментолиза: количество сухих веществ составляет от 24 до 43 %, запах морской, цвет темно-серый, консистенция варьирует от жидкого до гелеобразного состояния. Установлено положительное влияние ферментных гидролизатов на активность сухих хлебопекарных дрожжей при замешивании теста: при замене солевого раствора на гидролизат в количестве 15 и 35 % дрожжи показывают наибольшую активность.

Ключевые слова: кожа минтая, гидролиз, активность дрожжей

Для цитирования: Клипак М.Б. Ферментолизаты из вторичного рыбного сырья и перспективы их использования в технологии продуктов питания // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 41–47.

FOOD SYSTEMS

Original article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-03

Production of fermentolysates from secondary fish raw materials and prospects for their use in food technology

Marina B. Klipak

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia, Klipak.mb@dgtru.ru, https://orcid.org/0009-0008-0209-4262

Abstract. The paper substantiates the methods of preliminary heat treatment of pollock skin to reduce the water content by means of convective drying at temperatures of 45 and 90 °C. The effect of drying on the properties of collagen hydrolysates obtained by fermentolysis has been studied: the amount of dry matter ranges from 24 to 43 %, the smell is marine, the color is dark

© Клипак М.Б., 2024

gray, the consistency varies from liquid to gel-like state. The positive effect of enzyme hydrolysates on the activity of dry baking yeast during dough kneading has been established: when replacing saline solution with hydrolysate in the amount of 15 and 35 %, yeast shows the greatest activity.

Keywords: pollock skin, hydrolysis, yeast activity

For citation: Klipak M.B. Production of fermentolysates from secondary fish raw materials and prospects for their use in food technology. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2024; 67(1):41–47. (in Russ.).

Введение

В настоящее время приоритетным направлением в рыбоперерабатывающей отрасли является организация безотходных производств. Перспективными считаются направления, связанные с возможностью раскрытия био- и технологического потенциала вторичного рыбного сырья, получаемого при разделке рыбы.

На Дальнем Востоке большой интерес представляют отходы, образующиеся в процессе разделки минтая, в частности кожа. Одним из вариантов использования может являться её биомодификация с целью получения гидролизованного коллагена. Коллаген – основа соединительной ткани и самый распространенный белок у млекопитающих (от 25 до 45 % массы тела) [10], уменьшение его количества в организме со временем приводит к снижению пластичности кожи, подвижности костей и суставов, увеличению их хрупкости, что обуславливает необходимость приёма его с пищей [5].

В большинстве известных способов обработки вторичного сырья применяется ферментативный гидролиз, при котором образуется смесь продуктов распада белков с различной молекулярной массой [7].

В России для использования в области переработки пищевых продуктов применяется «Протамекс», в состав которого входят металлоэндопептидаза и субтилизин [11]. Известно, что металлоэндопептидазы участвуют в протеолизе внеклеточного матрикса, содержащего коллаген [4]. Субтилизин – фермент широкой специфичности, способствует гидролизу связей, образованных между ароматическими аминокислотами (Phe, Tyr, Trp) [13].

Гидролизаты коллагена, которые в большинстве случаев представляют собой пептиды, активно применяются в фармацевтической и косметической промышленности, а также позволяют существенно увеличить белковый и антиоксидантный потенциал пищевой продукции [2, 6, 12].

Обогащение белковыми компонентами, в том числе полученными из коллагенсодержащего сырья, целесообразно в отношении продукции растительного происхождения, при этом известны примеры успешного воплощения этого при разработке мучных, в том числе кондитерских изделий [2, 6, 12].

На основании вышесказанного целью работы является обоснование технологических параметров биомодификации вторичного рыбного сырья (кожи минтая) и определение возможности использования его при получении пищевых (мучных) продуктов.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлась кожа минтая, остающаяся в результате производства обесшкуренного филе.

Перед началом работы кожу предварительного промывали в 1%-м солевом растворе температурой 3±1 ºС при гидромодуле 1 : 10 в течение 6 ч. После, для удаления соли и примесей, кожу промывали проточной и дистиллированной водой, удаляли лишнюю воду отжиманием и обрабатывали протеолитическим ферментом «Протамекс» в количестве 2310 ПЕ/г

(1 % от массы сырья) при гидромодуле 1 : 5 в течение 4 ч при комнатной температуре для удаления остатков мышечной ткани. После также промывали водой и дополнительно зачищали оставшуюся мышечную ткань, подсушивали при температуре окружающей среды и измельчали.

Определение массовой доли воды проводили ускоренным методом по ГОСТ 7636-85 [3] каждые 30 мин. Эффективность гидролиза оценивали по накоплению сухих веществ в жидкой фракции рефрактометрическим методов на приборе «Рефрактометр ИРФ-454 Б2М» согласно прилагаемой инструкции.

Определение активности дрожжей проводили по методу всплытия шарика из теста в 2,5%-ом солевом растворе: чем меньше время всплытия, тем выше активность (метод А.И. Островского) [9]. При проведении исследования солевой раствор заменяли ферментолизатом в различных концентрациях (15–100 %).

Результаты и их обсуждение

Исследование протеолиза проводили при ранее подобранных параметрах, используя в качестве сырья промытую и измельченную кожу минтая. В качестве ферментного препарата использовался «Протамекс» (Novozymes, Дания) с активностью 330 МЕ/г в количестве 99 ПЕ/г, гидромодуль 1 : 3 и 1 : 5, температура 45 ºС.

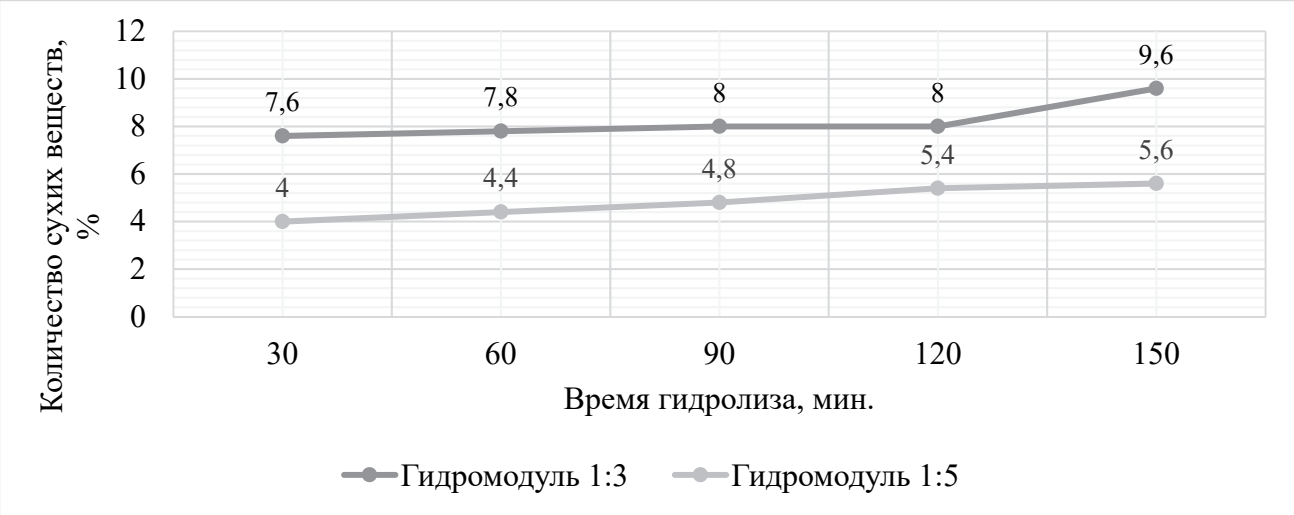


Рис. 1. Количество сухих веществ при ферментолизе кожи в зависимости от времени и гидромодуля
Fig. 1. The amount of dry substances during skin fermentolysis, depending on time and hydromodule

Полученные результаты (рис. 1) позволяют считать целесообразным продолжительность процесса 120 мин. Количество сухих веществ 8 % позволяет направлять ферментолизат на сушку для дальнейшего использования как самостоятельно, так и в качестве пищевой добавки.

Для уменьшения массовой доли воды в исходном материале и в дальнейшем – в ферментолизатах обоснованы условиями сушки кожи при разных температурах. Конечной целью является достижение влажности 10 %.

Поэтому следующим этапом работы является обоснование условий уменьшения массовой доли воды в сырье; планировалось, что в конечном продукте – сухой коже минтая – содержание воды не должно превышать 10 %.

Результаты показывают (рис. 2), что в начале накопление сухих веществ идёт примерно одинаково для образцов с различным гидромодулем. Затем процесс происходит интенсивнее в образце с кожей, высушенной при 45 ºС при гидромодуле 1 : 3. После 240 мин установлено, что в системах отсутствует твердая фракция, что послужило основанием для прекращения процесса.

Таблица 1

Зависимость влажности кожи от продолжительности сушки при температуре 45 ºС

Table 1

Dependence of skin moisture on the duration of drying at a temperature of 45 ºС

Продолжительность сушки, мин	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Влажность кожи, %	59,9	47,2	33,1	24,8	12,4	10,3	8,0	7,7	7,1	6,4	5,2

Таблица 2

Зависимость влажности кожи от продолжительности сушки при температуре 90 ºС

Table 2

Dependence of skin moisture on the duration of drying at a temperature of 90 ºС

Продолжительность сушки, мин	0	30	60	90	120	150	180
Влажность кожи, %	57,2	21,4	13,8	10,9	7,3	6,5	5,1

Представленные данные (табл. 1, 2) показывают, что влажность 10 % при температуре 90 ºС достигается за 90 мин, а при температуре 45 ºС – за 150 мин. Установлено, что сушка при 90 ºС приводит к коагуляции коллагена кожи, в результате чего образуется покров из глютина, который затвердевает при остывании. Причиной этого может быть то, что температура сваривания коллагена, количество которого в коже минтая 54–60 %, составляет 50–55 ºС [8]. Высушенная кожа затем ферментировалась в течение 60–240 мин при разных гидромодулях.

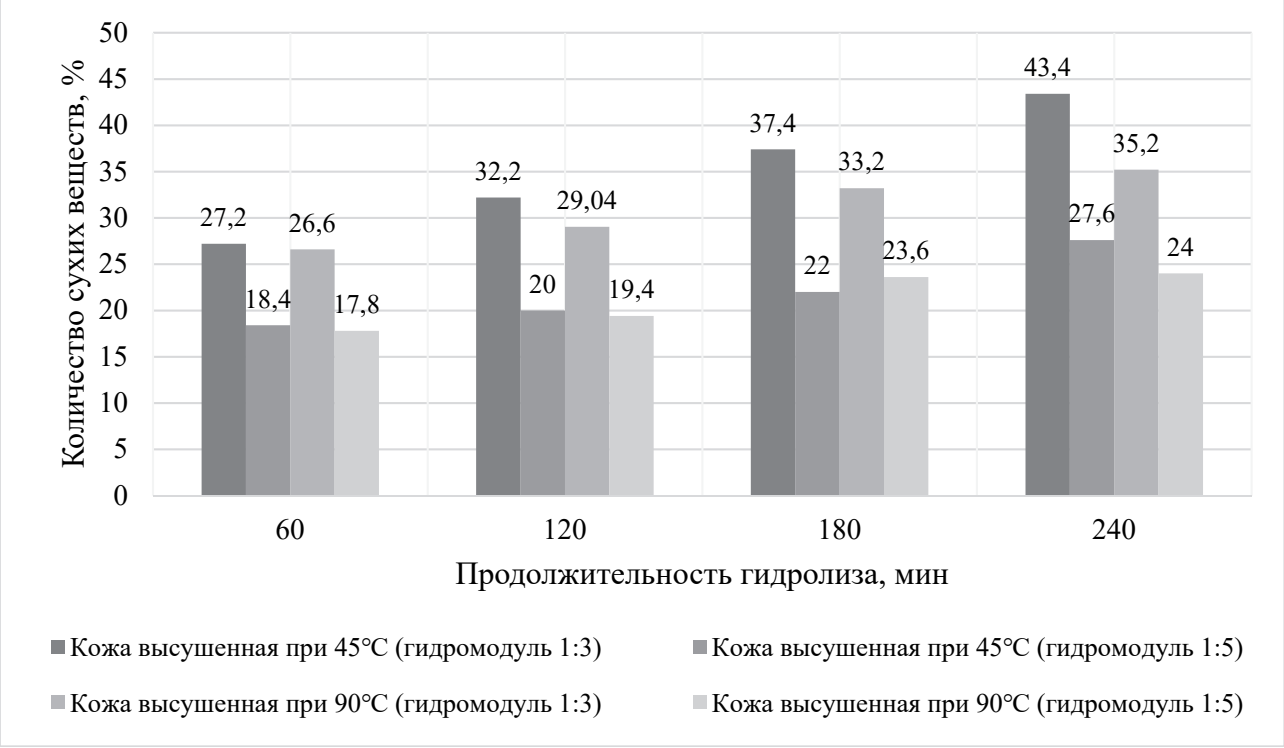


Рис. 2. Количество сухих веществ в процессе ферментолиза кожи минтая, высушенной при разных температурах

Fig. 2. The amount of dry substances in the process of fermentolysis of pollock skin dried at different temperatures

Ферментолизаты имеют высокое содержание сухих веществ (24–43 %) и содержат от 18 до 30 % белка, поэтому они могут быть использованы как в качестве белоксодержащей добавки при производстве пищевых продуктов, а также как исходный материал для получения сухих порошков.

Потребление морского коллагена в последние года значительно выросло за счет того, что его аминокислотный состав схож с составом коллагена человека (до 90 %). Также причиной роста его производства является выявление губчатой энцефалопатии у крупного рогатого скота [1]. Поэтому технологии получения и использования морского коллагена являются альтернативой соответствующим продуктам, произведенным из отходов КРС.

Поскольку планируется использование гидролизата кожи минтая в качестве белкового компонента в составе пищевых изделий на основе растительного сырья (в частности мучных), устанавливалось его влияние на процесс брожения.

Таблица 3

Зависимость активности хлебопекарных дрожжей при разном количестве ферментолизатов, среднее±е

Table 3

Dependence of the activity of baking yeast with different amounts of fermentolysates, average ± e

Количество ферментолизата, %	Ферментолизат			
	Из кожи минтая, высушенной при 45 ºС Гидромодуль 1 : 3	Из кожи минтая, высушенной при 90 ºС Гидромодуль 1 : 3	Из кожи минтая, высушенной при 45 ºС Гидромодуль 1 : 5	Из кожи минтая, высушенной при 90 ºС Гидромодуль 1 : 5
	Время всплытия шарика, мин			
0	39,10±0,51	40,25±0,82	39,10±0,43	40,25±0,64
15	28,55±0,78	39,18±0,64	27,03±0,73	31,2±0,51
35	31,44±0,43	33,1±0,38	28,17±0,61	26,2±0,48
50	31,25±0,61	35,28±0,80	30,56±0,73	29,01±0,49
100	46,05±0,64	41,2±0,75	35,48±0,68	27,2±0,73

Как можно видеть из полученных данных (табл. 3), активность дрожжей в присутствии ферментолизата в целом увеличилась; наиболее высокий этот показатель установлен для вариантов с гидромодулем 1 : 5 при ферментолизе.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что подсушивание кожи до влажности 10 % рационально при температурах 45–90 ºС в течение 60–120 мин. Содержание сухих веществ в процессе ферментолиза незначительно зависит от температуры сушки и составляет от 24,2 до 43,4 %.

Судя по изменению активности хлебопекарных дрожжей, использование ферментолизатов возможно в технологии мучных кондитерских и (или) хлебобулочных изделий, позволяет реализовать идею обогащения пищевых изделий пептидами морского происхождения.

Список источников

1. Байдалинова, Л.С. Выделение натуральных структурообразователей белковой природы из коллагенсодержащего вторичного рыбного сырья / Л.С. Байдалинова, Е.Е. Ляпустина // Изв. КГТУ. 2018. № 51. С. 45–60.

2. Воробьев, В.И. Применение растительного сырья с рыбным коллагеном при производстве мелкоштучных хлебобулочных изделий / В.И. Воробьев, О.П. Чернега // Изв. КГТУ. 2022. № 66. С. 89–102.

3. ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М.: Изд-во стандартов, 2010. 129 с.

4. Григорьева К.Н., Бицадзе В.О. и др. Металлпротеиназы как биохимические маркеры патологии беременности // Акушерство. Гинекология. Репродукция. 2022. Т. 16(1). С. 38–47.

5. Как увеличить выработку коллагена [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.kwc-japan.ru/articles/vyrabotka-kollagena/.

6. Ключко, Н.Ю. Исследование по совершенствованию технологии хлебобулочного изделия, обогащенного рыбной белково-минеральной добавкой / Н.Ю. Ключко, Д.А. Позднякова // Изв. КГТУ. 2022. № 66. С. 103–111.

7. Максимюк Н.Н., Марьяновская Ю.В. О преимуществах ферментативного способа получения белковых гидролизатов // Фундаментальные исследования. 2009. № 1. С. 34–35.

8. Мурашев С.В. Влияние разрушения структуры коллагена на гидрофильные свойства продуктов этого процесса // Научный журнал НИУ. 2013. № 3. С. 23.

9. Островский А.И. Технохимический контроль хлебопекарного производства: учебник для вузов. М.: Пищепромиздат, 1949. 323 с.

10. Химическая энциклопедия / под ред. И.Л. Кнунянца. М.: Советская энциклопедия, 1988. 625 с.

11. Fernandes P. Enzymes in Fish and Seafood Processing // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2016. Vol. 4. P. 1–14.

12. Karimi N., Nikoo M., Gavlighi H.A., Gheshlaghi S.P., Regenstein J.M., Xu X. Effect of pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei) protein hydrolysates (SPH) and (−)-epigallocatechin gallate (EGCG) on sourdough and bread quality // LWT. Vol. 131.

13. Motyan J.A., Toth F., Tozser J. Research Applications of Proteolytic Enzymes in Molecular Biology // Biomolecules. 2013. Vol. 3(4). P. 923–942.

References

1. Baidalinova, L.S. Vydelenie natural'nykh strukturoobrazovatelei belkovoi prirody iz kollagensoderzhashchego vtorichnogo rybnogo syr'ya / L.S. Baidalinova, E.E. Lyapustina // Izvestiya KGTU. 2018. № 51. P. 45–60.

2. Vorob'ev, V.I. Primenenie rastitel'nogo syr'ya s rybnym kollagenom pri proizvodstve melkoshtuchnykh khlebobulochnykh izdelii / V.I. Vorob'ev, O.P. Chernega // Izvestiya KGTU. 2022. № 66. P. 89–102.

3. GOST 7636-85. Ryba, morskie mlekopitayushchie, morskie bespozvonochnye i produkty ikh pererabotki. Metody analiza. M.: Rossiya: Izd-vo standartov, 2010. 129 p.

4. Grigor'eva K.N., Bitsadze V.O i dr. Metallproteinazy kak biokhimicheskie markery patologii beremennosti // Akusherstvo. Ginekologiya. Reproduktsiya. 2022. T. 16(1). P. 38–47.

5. Kak uvelichit' vyrabotku kollagena [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: https://www.kwc-japan.ru/articles/vyrabotka-kollagena/.

6. Klyuchko, N.Yu. Issledovanie po sovershenstvovaniyu tekhnologii khlebobulochnogo izdeliya, obogashchennogo rybnoi belkovo-mineral'noi dobavkoi / N.Yu. Klyuchko, D.A. Pozdnyakova // Izvestiya KGTU. 2022. № 66. P. 103–111.

7. Maksimyuk N.N., Mar'yanovskaya Yu.V. O preimushchestvakh fermentativnogo sposoba polucheniya belkovykh gidrolizatov // Fundamental'nye issledovaniya. 2009. № 1. P. 34–35.

8. Murashev S. V. Vliyanie razrusheniya struktury kollagena na gidrofil'nye svoistva produktov etogo protsessa. 2013. Vol. № 3. P. 23.

9. Ostrovskii A.I. Tekhno-khimicheskii kontrol' khlebopekarnogo proizvodstva: uchebnik dlya vuzov. M.: Pishchepromizdat, 1949. 323 p.

10. Khimicheskaya entsiklopediya / pod red. I.L. Knunyantsa. M.: Sovetskaya entsiklopediya, 1988. 625 p.

11. Fernandes P. Enzymes in Fish and Seafood Processing // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2016. Vol. 4. P. 1–14.

12. Karimi N., Nikoo M., Gavlighi H.A., Gheshlaghi S.P., Regenstein J.M., Xu X. Effect of pacific white shrimp (Litopenaeus vannamei) protein hydrolysates (SPH) and (−)-epigallocatechin gallate (EGCG) on sourdough and bread quality // LWT. Vol. 131.

13. Motyan J.A., Toth F., Tozser J. Research Applications of Proteolytic Enzymes in Molecular Biology // Biomolecules. 2013. Vol. 3(4). P. 923–942.

Информация об авторе

М.Б. Клипак – аспирант группы ПЭа-312, SPIN-код: 6907-7090, AuthorID: 1145309.

Information about the author

M.B. Klipak – Postgraduate student of the PEa-312 group, SPIN- code: 6907-7090, AuthorID: 1145309.

Статья поступила в редакцию 06.12.2023; одобрена после рецензирования 20.12.2023; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 06.12.2023; approved after reviewing 20.12.2023; accepted for publication 18.03.2024.

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 48–57.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 48–57.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 66/544.032

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-04

Исследование гидрофобизации насыпного зернистого материала на работу фильтра для морской воды

Александра Игоревна Крикун[1], Сергей Дмитриевич Руднев[2], Вероника Вячеславовна Феоктистова[3]

[1] Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

[2] Кемеровский государственный медицинский университет Минздрава России, Кемерово, Россия

[3] Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

[1] aleksa13@list.ru, http://orcid.org/0000-0002-9330-2555

[2] sdrudnev@yandex.ru,http://orcid.org/0000-0003-2506-6121

[3] feonika13@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-7680-2611

Аннотация. Проведены исследования влияния гидрофобизации при насыпном фильтровании морской воды в качестве перспективного способа повышения пропускной способности устройства. Актуальность исследования обоснована необходимостью повышения эффективности работы оборудования для очистки от механических примесей больших объёмов жидкости. Для достижения поставленной цели был произведен: 1) анализ, подбор и изучение научно-технических источников информации, нормативной и нормативно-технической документации в области исследования; 2) предварительная подготовка насыпных зернистых материалов (НЗМ) и обработка внутренней поверхности корпуса установки гидрофобизатором к экспериментальному изучению, а именно физическому моделированию процесса фильтрования морской воды через необработанные и гидрофобные НЗМ. Применялся условно безопасный для пищевой промышленности гидрофобизатор фирмы Admiral. В результате отмечается: повышение пропускной способности насыпных фильтров на 30–32 % при гидрофобизации НЗМ и внутренних стенок корпуса фильтра; снижение пропускной способности на 12 % при виброактивации и на 28–30 % при вибромеханоактивации морской воды.

Ключевые слова: насыпной фильтр, зернистый материал, морская вода, гидрофобизатор, механоактивация, пропускная способность

Для цитирования: Крикун А.И., Руднев С.Д., Феоктистова В.В. Исследование гидрофобизации насыпного зернистого материала на работу фильтра для морской воды // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 48–57.

© Крикун А.И., Руднев С.Д., Феоктистова В.В., 2024

FOOD SYSTEMS

Original article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-04

Study of hydrophobization of bulk granular material on the operation of a seawater filter

Aleksandra I. Krikun[1], Sergey D. Rudnev[2], Veronika V. Feoktistova[3]

[1] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

[2] Kemerovo State Medical University of the Ministry of Health of Russia, Kemerovo, Russia

[3] Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

[1] aleksa13@list.ru, http://orcid.org/0000-0002-9330-2555

[2] sdrudnev@yandex.ru,http://orcid.org/0000-0003-2506-6121

[3] feonika13@mail.ru, http://orcid.org/0000-0002-7680-2611

Abstract. Research has been carried out on the influence of hydrophobization during bulk filtration of seawater as a promising way to increase the throughput of the device. The relevance of the study is justified by the need to increase the efficiency of equipment for purifying large volumes of liquid from mechanical impurities. To achieve this goal, the following was carried out: 1) analysis, selection and study of scientific and technical sources of information, regulatory and technical documentation in the field of research; 2) preliminary preparation of bulk granular materials (BGM) and treatment of the inner surface of the installation body with a hydrophobizing agent for experimental study, namely physical modeling of the process of filtering sea water through untreated and hydrophobic BGM. A water repellent from Admiral, which is conditionally safe for the food industry, was used. As a result, the following is noted: an increase in the throughput of bulk filters by 30–32 % with hydrophobization of the BGM and the internal walls of the filter housing; reduction in throughput by 12 % with vibration activation and by 28–30 % with vibration-mechanical activation of sea water.

Keywords: bulk filter, granular material, sea water, hydrophobizing agent, mechanical activation, throughput

For citation: Krikun A.I., Rudnev S.D., Feoktistova V.V. Study of hydrophobization of bulk granular material on the operation of a seawater filter. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2024; 67(1):48–57. (in Russ.).

Введение

Из теории смачивания [1, 2] известно, что для прохождения жидкости через слабо смачиваемые узкие каналы пористых тел требуется меньше энергии относительно просачивания через хорошо смачиваемые [1, с. 50]. Явление смачивания, приводящее к формированию краевого угла между жидкостью и твердой подложкой, лежит в основе механизмов, определяющих равновесие и кинетику влаги в пористых телах. Величина равновесного краевого угла (угла контакта) определяется полем поверхностных сил и энергией взаимодействия жидкости с твердой подложкой. Слабое взаимодействие ведет к несмачиванию, сильное – приводит к растеканию жидкости по поверхности, её полному смачиванию [1, с. 210]. Степень смачивания жидкостью можно регулировать путём обработки поверхности и придания

ей гидрофобных свойств. В определенных видах деятельности это благоприятно сказывается на производительности технологических процессов.

В связи с этим обработка поверхности гидрофобным покрытием (гидрофобизатором) способствует снижению смачиваемости жидкостью, однако при этом сохраняется паро- и газопроницаемость. Гидрофобизаторы не являются водоотталкивающими покрытиями, поскольку молекулы воды слабо притягиваются, а не отталкиваются от них. С целью получения твердой поверхности гидрофобных свойств в виде мономолекулярного слоя (толщиной в одну молекулу) материал обрабатывают растворами, эмульсиями или парами гидрофобизаторов – веществ, которые слабо взаимодействуют с водой, но прочно удерживаются на поверхности материала. В качестве гидрофобизаторов используются такие вещества, как соли жирных кислот, катионоактивные, поверхностно-активные вещества (ПАВ), а также низко- и высокомолекулярные кремнийорганические, фторорганические соединения [3].

Как известно, широкое распространение процесса фильтрования через разделительные зернистые перегородки можно объяснить универсальностью и применимостью для многих областей пищевой промышленности. Нарастающий интерес к развитию данной области приводит исследователей к поиску новых направлений, целью которых является повышение эффективности процесса фильтрования за счет увеличения пропускной способности фильтров, обеспечения качества фильтрата, сокращение затрат (энергетических, временных) и пр.

Несмотря на то, что коллектив авторов определил вектор своей деятельности в направлении совершенствования фильтровального оборудования в области предварительной механоактивации водных растворов [4, 5 и др.], необходимо учитывать не только положительные факторы применения механоактивации, а также отрицательные, именно к таким относится то, что применение механоактивации влияет на расход электроэнергии. В связи с этим определение опытным путём целесообразности применения гидрофобного зернистого материала в процессе фильтрования представляет интерес исследования.

Анализ работ, посвященных теме гидрофобизации и водоотталкивания: Воронкова М. Г., Шорохова Н. В. [6], Сураева В. Б. [7], Стасенко Ю. М. [8], показал, что данная тема нашла свое развитие в строительной области при обработке каменных, цементных материалов, древесины в качестве протектора от влаги. Поскольку исследований, связанных с рассматриваемой темой в пищевой промышленности не обнаружено, целью данной работы является исследование влияния гидрофобных зернистых материалов на процесс фильтрования морской воды, в том числе определение закономерностей изменения пропускной способности.

Цель работы: исследовать влияние гидрофобизации насыпных зернистых сред на эффективность работы фильтра морской воды.

Так, в процессе фильтрования необходимо учесть поверхности, которые вступают в адгезионное взаимодействие при контакте с жидкостью. Сюда относятся стенки фильтровальной камеры, зернистые материалы. На сегодняшний день доступно множество средств, позволяющих уменьшить смачиваемость поверхности, например, использовать гидрофобизатор, водоотталкивающую пропитку и обработать нужную поверхность или заведомо выбрать более гидрофобный материал. Изучение этого вопроса составило следующий этап исследования.

Материалы и методы исследований

В основу исследования гидрофобных свойств зернистых материалов и определения наиболее подходящего материала для обработки гидрофобизатором взяты результаты работы [9], представленные в табл. 1. Приведены сведения о насыпных зернистых материалах (НЗМ) естественного и искусственного происхождения, а также показатели, которые позволяют рассмотреть их гидрофобные свойства. В результате анализа табл. 1 для экспериментальной части работы были отобраны материалы естественного происхождения, такие как морской песок и гравий. Выбор обусловлен тем, что у большинства береговых рыбоперерабатываю-

щих предприятий морского типа в Приморском крае эти материалы находятся в свободном для эксплуатации доступе как в физическом, так и денежном эквиваленте, наряду с этим стабильны к воздействию морской воды как агрессивной среды, обладают высоким коэффициентом фильтрации, пористостью, имеют низкое содержание глинистых и каменных включений, не дают примесей.

Таблица 1

Свойства насыпных зернистых материалов (НЗМ), влияющие на гидрофобность

Table 1

Properties of bulk granular materials (BGM**) affecting hydrophobicity**

№ п/п	Название материала	Показатели					
		Средний размер, мм	Когезия	Адгезия	Пористость п, %	Плотность ρ, кг/м^3	Безопасность для пищевой промышленности
		Дисперсные материалы естественного происхождения					
1	Морской песок	От 1,5 до 2,0	–	+	95÷98	1300÷ 1500	+
2	Морской песок с пропиткой	От 1,5 до 2,0	+	–	*	*	+**
3	Морской гравий	От 5 до 10	–	+	45	1750	+
4	Морской гравий с пропиткой	От 5 до 10	+	–	*	*	+**
5	Цеолиты-клиноптилолит	От 0,7 до 1,5	+	+	38÷46	1100	+
6	Гидрофобный песок	От 1 до 2,0	–	+	*	*	+**
		Дисперсные материалы искусственного происхождения					
6	Биошары	От 3,0 до 3,2	+	–	*	970	+
7	Керамзит гравий	От 1 до 3	–	+	40÷60	2000÷3000	+
8	Пластиковая загрузка в пищевом парафине	От 3,0 до 3,2	+	–	*	*	+
9	Биокерамика	От 5 до 12	+	–	*	*	+

Примечание. * – на этом этапе исследование данных параметров не проводилось; ** – условно безопасные. Для использования в пищевой промышленности гидрофобизаторы должны соответствовать требованиям безопасности и гигиены, установленным соответствующими регулирующими органами.

Заранее подготовленные навески морского песка и морского гравия обрабатывали гидрофобизатором фирмы Admiral. В соответствии с инструкцией гидрофобизатор наносился на предварительно промытый, высушенный и очищенный от пыли НЗМ. Для обработки навесок морского песка весом 300 г (средний размер фракций 0,2 мм) и морского гравия весом 300 г (средний размер фракций 4 мм) в 1 слой потребовалось 74 мл гидрофобизатора (из расчета 167 мл на 1 м^2). Средство наносилось на НЗМ с помощью пульверизатора. Время до полного высыхания при температуре (t=20 °С) и относительной влажности 63 % составило 180 мин.

На рис. 1 продемонстрирован морской песок, обработанный гидрофобизатором.

Рис. 1. Обработанный гидрофобизатором морской песок
Fig. 1. Sea sand treated with a hydrophobizing agent

На этапе физического моделирования фильтрование через необработанные НЗМ осуществлялось без обработки внутренних стенок фильтра гидрофобизатором. При фильтровании через гидрофобные НЗМ – с обработкой. Для обработки с помощью кисти внутренних стенок фильтра в 1 слой потребовалось 39 мл гидрофобизатора. Время до полного высыхания при температуре 20 °С и относительной влажности 63 % составило 90 мин.

Температура воздуха в лаборатории (t, °С) и относительная влажность (φ, %) определялись по известным методикам [10–12]. Измерение t и φ осуществлялось при помощи датчика температуры и влажности SHT30 (точность: 0,015 °С, 0,01 %).

В качестве водного раствора для фильтрования использовали морскую воду, отбор проб происходил в соответствии с действующими методиками [13–15] в акватории о. Русский.

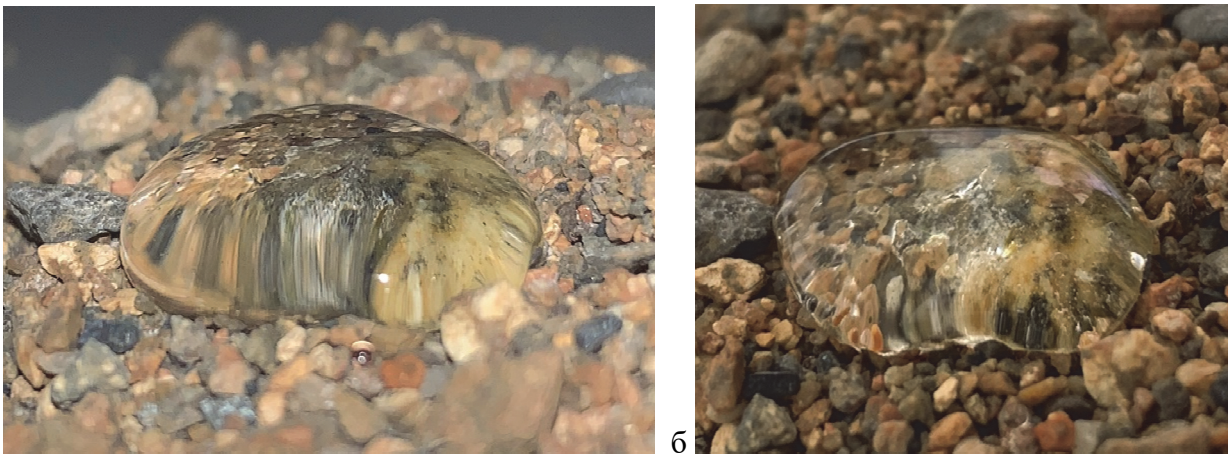
Перед началом процесса фильтрования с помощью анализатора качества воды W3988 (точностью до 0,01) определялись исходные параметры водного раствора: температура ($t_в$=19,1 ºС); соленость (S=35 ‰); плотностью (ρ = 1003,68 кг/м^3); водородный показатель (pH =7,83); общее количество растворенных твердых веществ (TDS =17,8 ppm). Измерение S и ρ также осуществляли с помощью оптического рефрактометра Brix&Salinity (точностью 0,1).

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментальной работы произвели фотофиксацию капли морской воды на разных поверхностях (рис. 2, 3).

Рис. 2. Капля морской воды на поверхности из пластика
Fig. 2. A drop of seawater on a plastic surface

Капля морской воды имеет типичный вид для капли, находящейся на поверхности, отталкивающей воду, не растекается, имеет хорошо выраженные границы.



а б

Рис. 3. Капля морской воды на поверхности из гидрофобных НЗМ:
а – со вспышкой; б – без вспышки
Fig. 3. A drop of sea water on a surface made of hydrophobic BGM:
a – with flash; б – without flash

Капля (рис. 3) имеет более выраженный, чем на рис. 2, вид, морская вода формируется на поверхности и стремится объединиться с другими молекулами воды (если продолжить добавлять воду).

В процессе фильтрования морской воды получили следующие данные, показанные на рис. 4 и представленные в табл. 2. Включили в диаграмму (рис. 4) результаты исследования пропускной способности фильтров с предварительной вибро- и вибромеханоактивацией морской воды с целью установления, какой из способов позволяет повысить пропускную способность наиболее эффективнее, способны ли совместная гидрофобизация и механоактивация увеличивать пропускную способность.

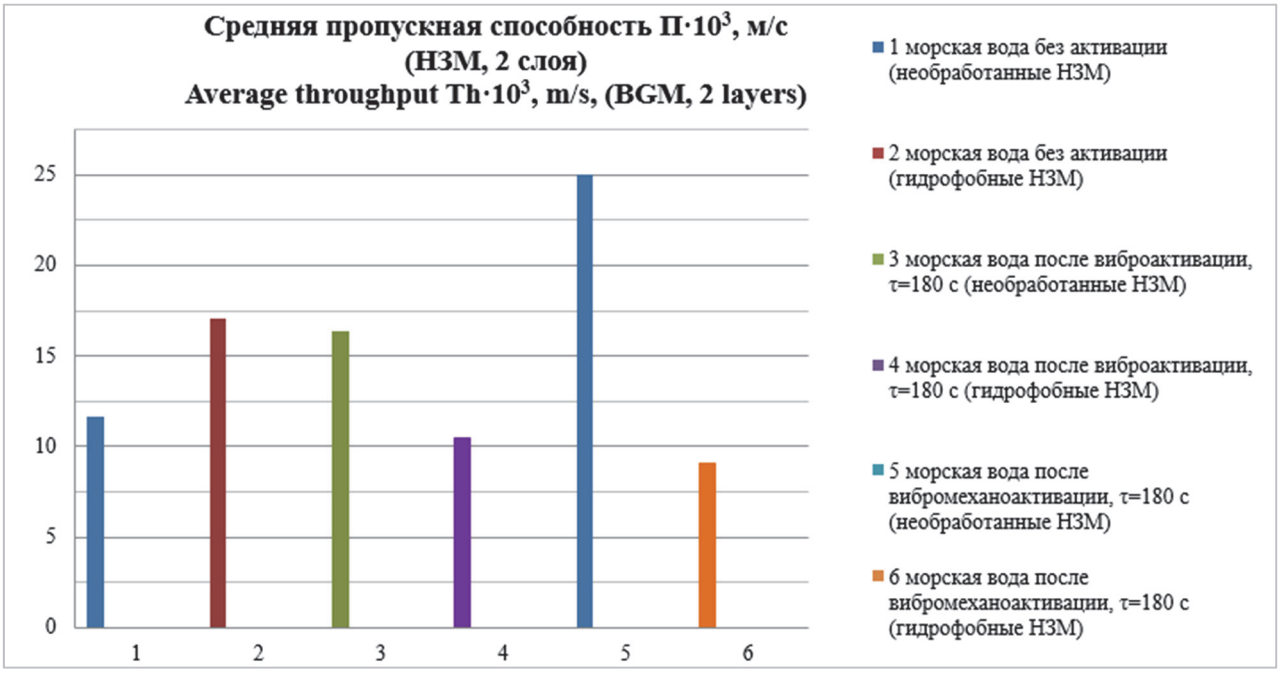


Рис. 4. Средняя пропускная способность фильтра с необработанными и гидрофобными НЗМ
Fig. 4. Average throughput of filter with untreated and hydrophobic BGM

Таблица 2

Результаты исследования пропускной способности через необработанные и гидрофобные НЗМ

Table 2

Results of the study of throughput through untreated and hydrophobic BGM

Установленное условие*	Сравнение средней пропускной способности фильтров с базовой конструкцией	
	на %	в количество раз
П1 < П2	31,89	1,47
П1 < П3	28,85	1,41
П1 > П4	11,49	1,11
П1 < П5	53,51	2,15
П1 > П6	28,34	1,28
П2 > П3	4,46	1,11
П2 > П4	11,49	1,64
П2 < П5	31,75	1,47
П2 > П6	88,42	1,88
П3 > П4	56,70	1,57
П5 > П6	176,07	2,76

Примечание. * П – средняя пропускная способность фильтра (при одних и тех же условиях): П1, П3, П5– с необработанными НЗМ (при фильтровании не активированной, вибро- и вибромеханоактивированной морской воды соответственно); П2, П4, П6 – с гидрофобными НЗМ (при фильтровании не активированной, вибро- и вибромеханоактивированной морской воды соответственно).

Анализ диаграммы (рис. 4) и данных (табл. 2) позволили установить:

- гидрофобизация НЗМ и внутренних стенок корпуса фильтра перед фильтрованием не активированной морской воды позволяет повысить пропускную способность на 32 %; в то же время при тех же условиях пропускная способность снижается на 12 % – в случае фильтрования виброактивированной морской воды и на 30 % – механоактивированной морской воды. Это может быть связано с несовместимостью приобретенных от гидрофобизатора свойств НЗМ и активированного состояния морской воды, из-за механического воздействия происходит насыщение морской воды кислородом (в случае вибромеханоактивации образуется пена) в результате чего происходит закупоривание каналов, и активированная морская вода скапливается в резервуаре над гидрофобным НЗМ. Более подробно вопросы совместного использования в процессе фильтрования предварительной вибро- и вибромеханоактивации морской воды и обработка гидрофобизатором зернистых материалов рассматривались в работе [16];

- предварительная вибро- или вибромеханоактивация морской воды перед фильтрованием через необработанные НЗМ способствуют повышению пропускной способности фильтров: виброактивация (на 40,55 %); вибромеханоактивация (на 115,12 %).

Таким образом, на данном этапе механоактивация (без предварительной гидрофобизации поверхностей) является наиболее оправданным способом увеличения пропускной способности в процессе фильтрования морской воды, несмотря на энергозатраты, поскольку не оказывает негативного влияния на фильтрат (приводя его во временное тиксотропное состоя-

ние), при этом ускоряя производительность процесса. Целесообразность совместного применения гидрофобизации и механоактивации не установлена, но может быть применена раздельно в каскадном фильтровании больших объёмов воды после её технологического применения, например, в водоочистке при гидродобыче полезных ископаемых.

Заключение

Гидрофобизация насыпных зернистых материалов (НЗМ) и внутренних стенок корпуса фильтра является перспективной темой для исследования в рамках процесса фильтрования, поскольку увеличивает пропускную способность фильтра в 1,5 раза (на 32 %) без дополнительных энергозатрат.

Дальнейшее исследование будет осуществляться в несколько этапов, поскольку данные вопросы остались не изучены до конца: 1) детальный подбор и анализ гидрофобизаторов по следующим критериям: безопасность для пищевой промышленности; доступность; стоимость и др.; 2) исследование длительности сохранения рабочих свойств обработанного НЗМ и стенок корпуса фильтра, силы водооталкивания и глубины пропитки.

Список источников

1. Дерягин, Б.В. Вода в дисперсных системах / Б.В. Дерягин, Н.В. Чураев, Ф.Д. Овчаренко и др. М.: Химия, 1989. 288 с.

2. Сумм, Б.Д. Физико-химические основы смачивания и растекания / Б.Д. Сумм, Ю.В. Горюнов. М.: Химия, 1976. 232 с.

3. Гетьман Л.П. Экспериментальная оценка эффективности гидрофобизации каменных материалов: маг. дисс.: 08.04.01 / Гетьман Лилия Павловна. Тольятти, 2017. 110 с.

4. Руднев, С.Д. Фильтрование механоактивированной морской воды / С.Д. Руднев, А.И. Крикун, В.В. Феоктистова, М.В. Суменков // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84, № 3. С. 17–24. doi:10.20914/2310-1202-2022-3-17-24.

5. Rudnev S.D. Study of the effect of mechanical activation on the suspension filtration process / S.D. Rudnev, A.I. Krikun, V.V. Feoktistova, M.O. Kustovinova // AIP Conference Proceedings: International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. Sevastopol: American Institute of Physics Inc., 2022. P. 050039. doi: 10.1063/5.0100103. EDN DRHWAK.

6. Воронков, М.Г. Водоотталкивающие покрытия в строительстве / М.Г. Воронков, Н.В. Шорохов. Рига: Изд-во АН СССР, 1963. 190 с.

7. Сураев В.Б. Гидрофобизация: теория и практика. Часть 1 // Технологии строительства. 2002. № 1. С. 120–121.

8. Стасенко Ю.М. Эффективная защита капиллярно-пористых строительных материалов от водопроницаемости, климатических и технологических форм коррозии // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. 2002. № 2. С. 32–33.

9. Крикун А.И. Исследование зернистых материалов при водоподготовке // Научные труды Дальрыбвтуза. 2017. № 43. С. 89–94.

10. ГОСТ 8.417-2002. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин. М.: Стандартинформ, 2018. 34 с.

11. ГОСТ 8.010-2013. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики выполнения измерений. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2014, 2019. 18 с.

12. ГОСТ 28498-90. Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2007. 11 с.

13. ГОСТ 17.1.3.08-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества морских вод. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 6 с.

14. ГОСТ 17.1.5.04-81. Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 7 с.

15. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2020. 31 с.

16. Крикун, А.И. Исследование современных аспектов фильтрования морской воды / А.И. Крикун, С.Д. Руднев, В.В. Феоктистова // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы VII Междунар. науч.-техн. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2022. С. 387–392. EDN TXQWHQ.

References

1. Deryagin, B.V. Water in dispersed systems / B.V. Deryagin, N.V. Churaev, F.D. Ovcharenko, etc. M.: Khimiya, 1989. 288 p.

2. Summa, B.D. Physico-chemical bases of wetting and spreading / B.D. Summa, Yu.V. Goryunov. M.: Chemistry, 1976. 232 p.

3. Getman L.P. Experimental evaluation of the effectiveness of hydrophobization of stone materials: mag. diss.: 08.04.01 / Getman Lilia Pavlovna. Tolyatti, 2017. 110 p.

4. Rudnev, S.D. Filtration of mechanoactivated seawater / S.D. Rudnev, A.I. Krikun, V.V. Feoktistova, M.V. Sumenkov // Vestnik VGUIT. 2022. Vol. 84, No. 3. pp. 17–24. doi:10.20914/2310-1202-2022-3-17-24.

5. Rudnev, S.D. Study of the effect of mechanical activation on the suspension filtration process / S.D. Rudnev, A.I. Krikun, V.V. Feoktistova, M.O. Kustovinova // AIP Conference Proceedings: International conference on modern trends in manufacturing technologies and equipment. Sevastopol: American Institute of Physics Inc., 2022. P. 050039. doi: 10.1063/5.0100103. EDN DRHWAK.

6. Voronkov, M. G. Water-repellent coatings in construction / M.G. Voronkov, N.V. Shorokhov. Riga: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1963. 190 p.

7. Suraev V.B. Hydrophobization theory and practice. Part 1 // Construction technologies. 2002. No. 1. pp. 120–121.

8. Stasenko Yu.M. Effective protection of capillary-porous building materials from water permeability, climatic and technological forms of corrosion // Building materials, equipment and technologies of the XXI century. 2002. No. 2. pp. 32–33.

9. Krikun A.I. Investigation of granular materials in water treatment // Scientific works of Dalrybvtuz. 2017. No. 43. pp. 89–94.

10. GOST 8.417-2002. The State System for ensuring the uniformity of Measurements (GSI). Units of quantities. M.: Standartinform, 2018. 34 p.

11. GOST 8.010-2013. The State System for ensuring the uniformity of Measurements (GSI). Measurement techniques. The main provisions. M.: Standartinform, 2014, 2019. 18 p.

12. GOST 28498-90. Liquid glass thermometers. General technical requirements. Test methods. M.: Standartinform, 2007. 11 p.

13. GOST 17.1.3.08-82. Nature conservation. The hydrosphere. Rules for quality control of marine waters. M.: IPK Publishing House of Standards, 2001. 6 p.

14. GOST 17.1.5.04-81. Nature conservation. The hydrosphere. Devices and devices for sampling, primary processing and storage of natural water samples. general technical conditions. M.: IPK Publishing House of Standards, 2003. 7 p.

15. GOST R 59024-2020. Water. General requirements for sampling. M.: Standartinform, 2020. 31 p.

16. Krikun, A. I. Investigation of modern aspects of seawater filtration / A.I. Krikun, S.D. Rudnev, V.V. Feoktistova // Actual problems of the development of biological resources of the World Ocean. Vladivostok: Far Eastern State Technical Fisheries University, 2022. pp. 387–392. EDN TXQWHQ.

Информация об авторах

А.И. Крикун – кандидат технических наук, доцент кафедры технологических машин и оборудования, SPIN-код: 6217-9103, AuthorID: 946577;

С.Д. Руднев – профессор, доктор технических наук, профессор кафедры медицинской, биологической физики и высшей математики, SPIN-код: 6389-7238, AuthorID: 423406;

В.В. Феоктистова – аспирант, SPIN-код: 4146-3970, AuthorID: 998024.

Information about the authors

A.I. Krikun – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 6217-9103, AuthorID: 946577;

S.D. Rudnev – Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Medical, Biological Physics and Higher Mathematics, SPIN-code: 6389-7238, AuthorID: 423406;

V.V. Feoktistova – Postgraduate student, SPIN-code: 4146-3970, AuthorID: 998024.

Статья поступила в редакцию 06.03.2024; одобрена после рецензирования 11.03.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 06.03.2024; approved after reviewing 11.03.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 58–65.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 58–65.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 658.51

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-05

Идентификация рисков подготовительного этапа разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли

Евгения Петровна Лаптева[1], Лидия Анатольевна Доскач[2]

[1,2] Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

[1] lapteva.ep@dgtru.ru, http://orcid.org/0000-0002-5360-5594

[2] doskachlida724@gmail.com

Аннотация. В статьях Е.П. Лаптевой, Л.А. Доскач «Методическое обеспечение интегрированной системы менеджмента качества для предприятий рыбной отрасли» [1] и «Использование функциональной модели IDEF0 в процессе разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли» [2] с целью совершенствования методического подхода в создании интегрированной системы менеджмента (ИСМ) был определен порядок организации работ по установлению требований к ИСМ. В результате была построена блок-схема порядка организации работ по установлению требований к ИСМ. Для того чтобы исключить возникновение ошибок и опасных факторов при выполнении работ, были идентифицированы риски в соответствии с этапами разработанной блок-схемы. Оценка рисков была проведена при помощи диаграммы Исикавы. Для выявленных рисков разработали предупреждающие действия, закрепленные в паспортах риска, для их минимизации.

Ключевые слова: интегрированная система менеджмента; система менеджмента безопасности пищевой продукции, система экологического менеджмента; риск-ориентированный подход

Для цитирования: Лаптева Е.П., Доскач Л.А. Идентификация рисков подготовительного этапа разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 58–65.

FOOD SYSTEMS

Original article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-05

Identification of risks of the preparatory stage of development of integrated management systems for enterprises in the fishing industry

Evgenia P. Lapteva[1], Lidia A. Doskach[2]

[1,2] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

[1] lapteva.ep@dgtru.ru, http://orcid.org/0000-0002-5360-5594

[2] doskachlida724@gmail.com

© Лаптева Е.П., Доскач Л.А., 2024

Abstract. In the article by E.P. Lapteva, L.A. Doskach «Methodological support of an integrated quality management system for enterprises of the fishing industry» [1] and «Use of the IDEF0 functional model in the process of developing integrated management systems for enterprises of the fishing industry» [2] in order to improve the methodological approach in creating an integrated management system (IMS), the procedure for organizing work to establish requirements for IMS. As a result, a flow diagram of the process of establishing requirements for an integrated management system was constructed. In order to eliminate the occurrence of errors and hazardous factors when performing work, risks were identified in accordance with the stages of the developed flowchart. Risk assessment was performed using Ishikawa diagram. For identified risks, passports have been developed to reduce risk values.

Keywords: integrated management system; food safety management system, environmental management system; risk-based approach

For citation: Lapteva E.P., Doskach L.A. Identification of risks of the preparatory stage of development of integrated management systems for enterprises in the fishing industry. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2024; 67(1):58–65. (in Russ.).

Под риском понимают влияние неопределенности на ожидаемый результат. Это влияние является отклонением от ожидаемого результата – положительным или отрицательным [3].

Чтобы соответствовать требованиям стандартов ГОСТ Р ИСО 22000-2019 и ГОСТ Р ИСО 14001-2016, организации необходимо планировать и внедрять действия, связанные с рисками и возможностями. Направление усилий на анализ рисков создает основу для повышения результативности интегрированной системы менеджмента, достижения улучшенных результатов и предотвращение неблагоприятных последствий.

Исходя из вышеизложенного, целью настоящих исследований является идентификация рисков подготовительного этапа разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ принципов идентификации рисков;
- провести анализ подготовительного этапа разработки ИСМ и идентифицировать риски;
- провести описание и оценку идентифицированных рисков.

ГОСТ Р ИСО 31000-2019 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» описывает принципы управления рисками, основы и организационные механизмы, которые позволяют управлять рисками. В нем определен процесс, в рамках которого существует возможность распознавать, понимать и изменять риск в соответствии с критериями, которые устанавливаются в рамках этого же процесса [4].

В ГОСТ Р ИСО 31000-2019 оценка рисков включает в себя идентификацию рисков, их анализ и использование информации для сравнительной оценки риска и формирования выводов относительно их значимости по отношению к целям и показателям эффективности деятельности организации.

Технология оценки риска описана в ГОСТ Р 58771-2019 «Менеджмент риска. Технология оценки риска». В соответствии с ГОСТ Р 58771-2019 технологии идентификации риска могут включать [5]:

- технологии, основанные на фактических данных, такие как обзоры литературы и анализ исторических данных;
- эмпирические технологии, включая тестирование и моделирование, для определения того, что может произойти при определенных обстоятельствах;
- опросы восприятия, в которых видны взгляды широкого круга опытных людей;
- контрольные списки или таксономии на основе прошлых данных или теоретических моделей.

Этап идентификации рисков заключается в систематическом выявлении и изучении рисков, которые характерны для определенного процесса. Процесс идентификации начинается с определения опасностей, угрожающих рассматриваемой организации или деятельности, что свидетельствует о том, что для идентификации рисков необходимо изучение всех возможных компонентов.

Для этого была установлена цель подготовительного этапа разработки ИСМ. Это определение подхода к построению интегрированной системы менеджмента и выявление требований к выбранной модели ИСМ. Следовательно, основным риском данного этапа работ является ошибочное определение подхода к построению ИСМ на предприятии и требований к ней.

Порядок организации работ по установлению требований к ИСМ включает в себя несколько основных действий: самооценку организации, определение подхода к разработке интегрированной системы менеджмента и определение требований к ИСМ и их документирование. При анализе вышеуказанных работ были определены основные риски, которые могут повлиять на достижение результата подготовительного этапа разработки ИСМ. Идентифицированные риски представлены в табл. 1.

Таблица 1

Идентификация рисков подготовительного этапа разработки ИСМ

Table 1

Identification of risks of the preparatory stage of the IMS development

Риск	Этап процесса, на котором возникает риск	Условия, при которых риск не возникнет
Выбран метод самооценки предприятия, который не отражает все аспекты деятельности	Самооценка и анализ готовности предприятия к разработке ИСМ	Обученный персонал, способный верно принимать решения в процессе самооценки; привлечение третьих лиц для реализации самооценки
Выбран неэффективный подход к разработке ИСМ на основе некорректного отчета о самооценке предприятия	Определение подхода к построению ИСМ на основе анализа и самооценки	В состав рабочей группы включены специалисты с опытом работы с ИСМ; привлечение для консультации третьих лиц для разработки ИСМ
Рабочая группа при анализе основополагающих стандартов на выбранные системы менеджмента не выявила все общие и специфические требования, не определила необходимые документы, процедуры и записи, допустила ошибки при разработке СТО	Анализ общих и специфических требований стандартов; установление требований, документов, процедур, записей к ИСМ на основе анализа общих и специфических требований стандартов; документирование требований к ИСМ	В состав рабочей группы включены специалисты с опытом работы с ИСМ и создания стандартов организации; привлечение для консультации третьих лиц для разработки ИСМ

После идентификации рисков необходимо провести их описание. Под описанием понимается выявление причин возникновения риска и последствий после совершения опасного действия. В табл. 2 представлено описание рисков подготовительного этапа работ.

Для графического представления описанных рисков необходимо воспользоваться диаграммой Исикавы, которая позволяет наглядно представить все факторы, влияющие на достижение целей. Диаграммы Исикавы представлены на рис. 1–3.

Таблица 2

Описание идентифицированных рисков

Table 2

Description of identified risks

Описание риска	Причины	Последствия
Выбран метод самооценки предприятия, которая не отражает все аспекты деятельности	Неквалифицированный персонал	Некорректные результаты самооценки, вследствие чего рабочей группой неправильно определен подход к разработке ИСМ; лишние затраты материальных и трудовых ресурсов
Выбран неэффективный подход к разработке ИСМ на основе некорректного отчета о самооценке предприятия	Неквалифицированный персонал, некорректный отчет о самооценке предприятия, отсутствие обоснования разработки ИСМ	Лишние затраты финансовых, материальных и трудовых ресурсов, разработка неэффективной и нерезультативной интегрированной системы менеджмента в случае несвоевременного обнаружения ошибки
Рабочая группа при анализе основополагающих стандартов на выбранные системы менеджмента не выявила все общие и специфические требования, не определила необходимые документы, процедуры и записи, допустила ошибки при разработке СТО	Неквалифицированный персонал, наличие не актуализированных стандартов; наличие ошибок при определении общих и специфических требований	Составление некорректного перечня требований к интегрированной системе менеджмента, что повлечет за собой затраты финансовых, материальных и трудовых ресурсов, необходимых на исправление проекта СТО

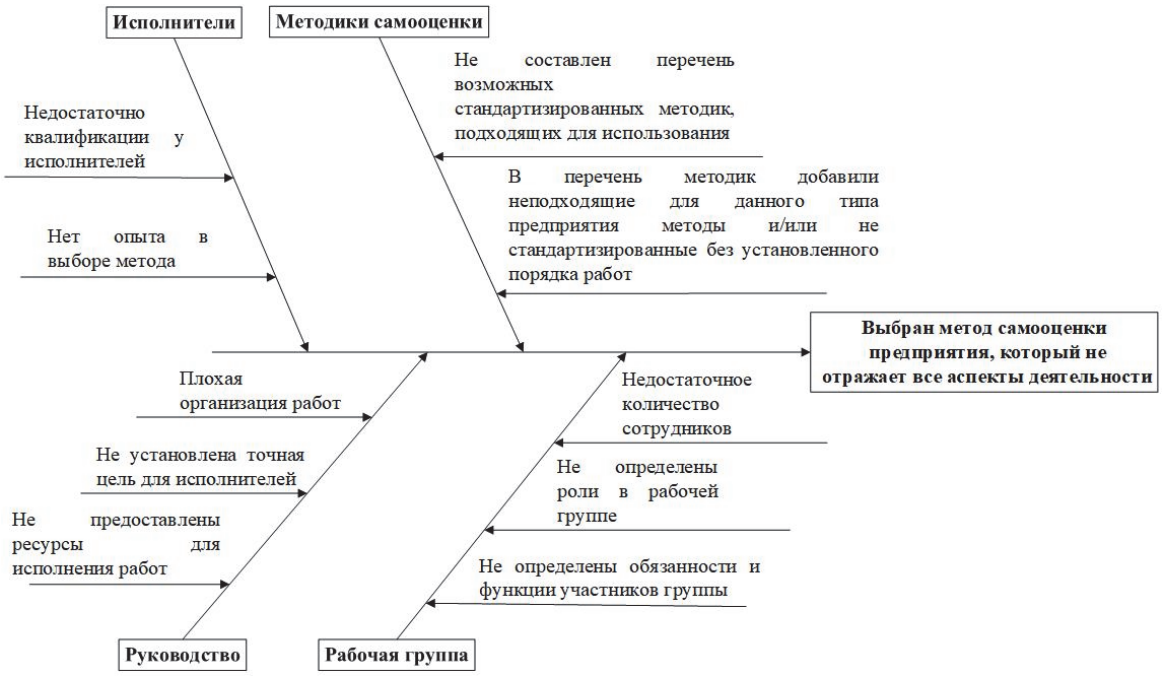


Рис. 1. Диаграмма Исикавы к риску «Выбран метод самооценки предприятия, который не отражает все аспекты деятельности»

Fig. 1. Ishikawa risk diagram «The enterprise self-assessment method has been chosen, which does not reflect all aspects of activity»

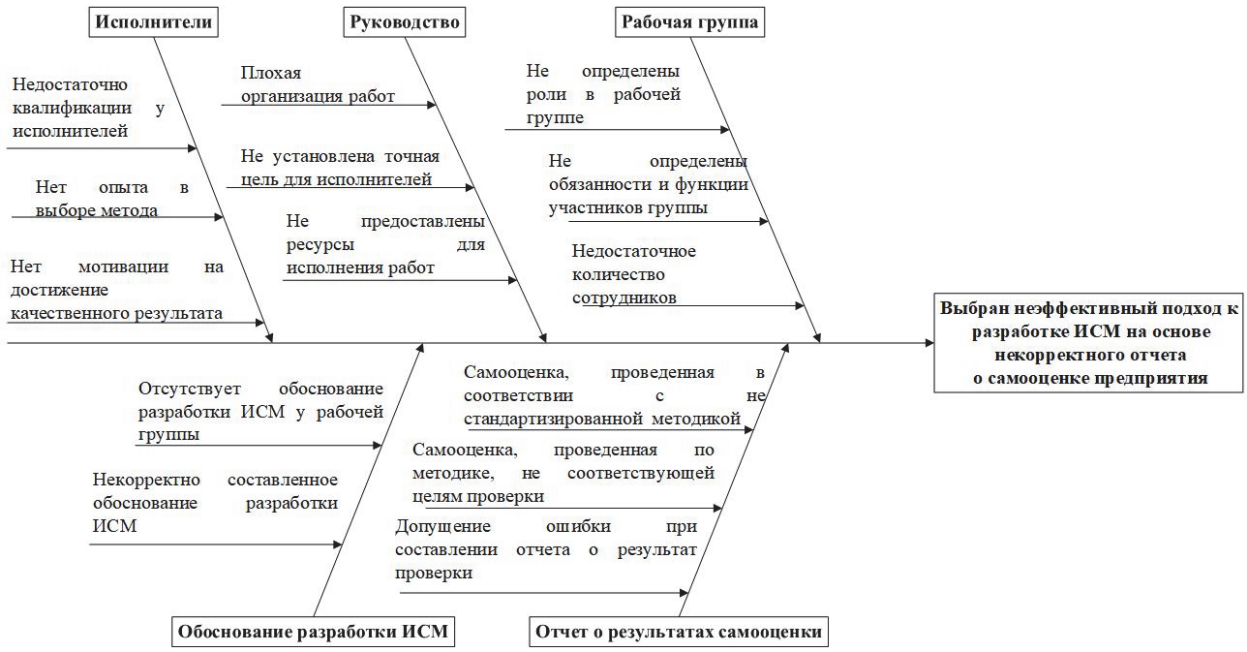


Рис. 2. Диаграмма Исикавы к риску «Выбран неэффективный подход к разработке ИСМ на основе некорректного отчета о самооценке предприятия»
Fig. 2. Ishikawa risk diagram «An ineffective approach to the development of an IMS was chosen based on an incorrect enterprise self-assessment report»

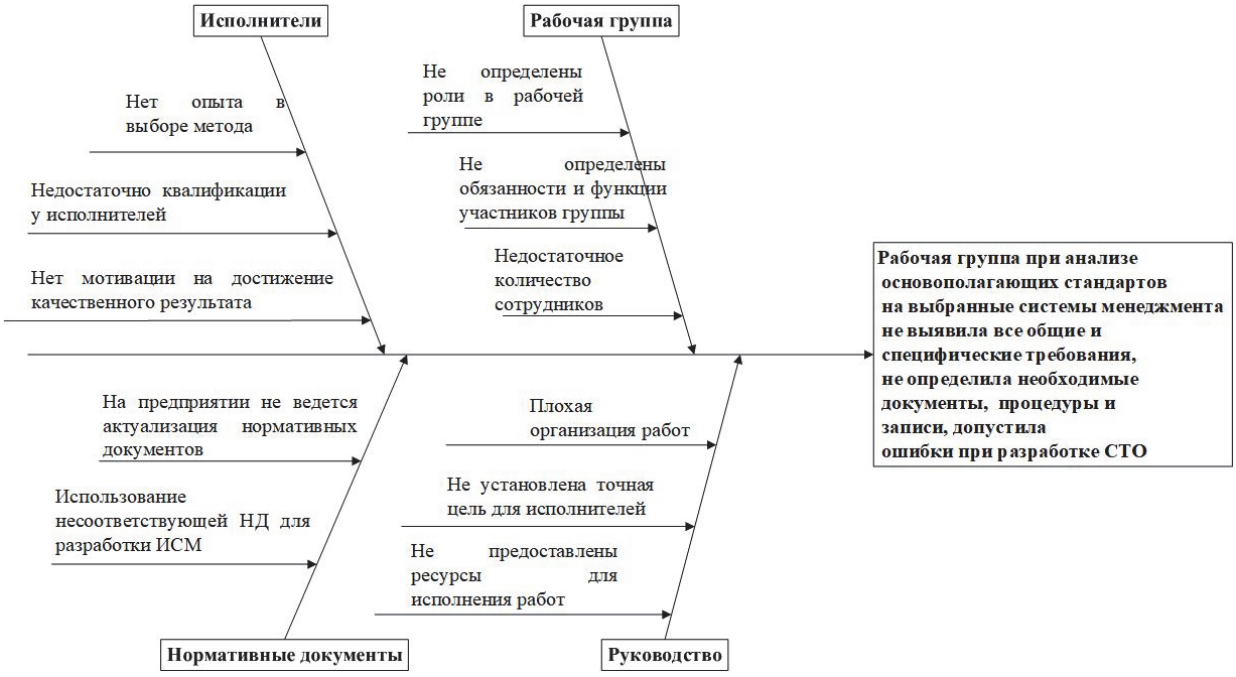


Рис. 3. Диаграмма Исикавы к риску «Рабочая группа при анализе основополагающих стандартов на выбранные системы менеджмента не выявила все общие и специфические требования, не определила необходимые документы, процедуры и записи, допустила ошибки при разработке СТО»
Fig. 3. Ishikawa risk diagram «The working group, when analyzing the fundamental standards for the selected management systems, did not identify all the general and specific requirements, did not identify the necessary documents, procedures and records, and made mistakes when developing the organization standard»

При анализе диаграмм было выявлено, что основной причиной отклонения от желаемого результата подготовительного этапа разработки ИСМ является человеческий фактор. Качество выполняемых работ зависит от корректности выдаваемого приказа высшим руководством. Если руководство не составит корректный приказ о начале разработки ИСМ и обоснование о необходимости проведение этих работ, то персонал, исполняющий обязанности, будет не осведомлен в нужной мере, что приведет к ошибкам и возникновению риска. После того, как была проведена организация работ по созданию рабочей группы, высшее руководство должно обеспечить необходимыми ресурсами и достойными условиями труда исполнителей. Существенным фактором возникновения риска является персонал, входящий в состав рабочей группы. Неопытность исполнителей, отсутствие у них необходимого уровня квалификации и мотивации на получение качественного результата их работы непосредственно влияет на появление риска при разработке проекта. Ответственное лицо рабочей группы разработки системы может не определить статус и роль каждого члена группы, а также не разграничить функции и обязанности исполнителей.

Последствия выявленных рисков необходимо минимизировать при помощи разработки предупреждающих действий. Мероприятия по снижению величины риска отражаются в документе «Паспорт риска». Паспорт риска – это документ, который содержит набор данных о риске, в котором содержатся: подробное описание риска; подробный анализ, в том числе сведения о результатах качественного и количественного анализов. Документ необходим для правильной оценки ее негативного влияния, а также для отображения защитных мер, необходимых для устранения или локализации воздействия опасности. Паспорта риска заполняются с определенной периодичностью. Заполненные паспорта к идентифицированным рискам представлены на рис. 4–6.

Таким образом, в данной работе были идентифицированы риски подготовительного этапа разработки интегрированной системы менеджмента для предприятий рыбной отрасли. На каждом этапе блок-схемы «Порядок организации работ по установлению требований к ИСМ» были определены, описаны основные риски и установлены причинно-следственные связи с помощью диаграммы Исикавы. Определены предупреждающие действия и мероприятия по снижению уровня опасности, отраженные в паспортах риска. Проведенные в данной работе исследования необходимы для того, чтобы предотвратить возникновение непредвиденных ситуаций, а также учесть влияние человеческого фактора на этапах и минимизировать его дополнительным контролем.

ПАСПОРТ РИСКА		
Наименование процесса	*Подготовительный этап процесса разработки ИСМ*	
Ответственный	*Руководитель рабочей группы разработки ИСМ*	
Общая информация о риске		
Наименование риска	*Выбран метод самооценки предприятия, который не отражает все аспекты деятельности*	
Причины	*Неквалифицированный персонал*	
Последствия риска	*Некорректные результаты самооценки, вследствие чего рабочей группой неправильно определен подход к разработке ИСМ; лишние затраты материальных и трудовых ресурсов*	
№	Мероприятия по снижению/оптимизации уровня риска (ресурсы)	Ответственный
1	*Обучение и контроль персонала*	*Отдел кадров*
2	*Подбор квалифицированного персонала*	*Руководство предприятия*
3	*Привлечение третьих лиц для консультации*	*Руководство предприятия*

Рис. 4. Паспорт риска «Выбран метод самооценки предприятия, который не отражает все аспекты деятельности»
Fig. 4. Risk passport «The enterprise self-assessment method was chosen, which does not reflect all aspects of the activity»

ПАСПОРТ РИСКА		
Наименование процесса	*Подготовительный этап процесса разработки ИСМ*	
Ответственный	*Руководитель рабочей группы разработки ИСМ*	
Общая информация о риске		
Наименование риска	*Выбран неэффективный подход к разработке ИСМ на основе некорректного отчета о самооценке предприятия*	
Причины	*Неквалифицированный персонал* *Некорректный отчет о самооценке предприятия* *Отсутствие обоснования разработки ИСМ*	
Последствия риска	*Лишние затраты финансовых, материальных и трудовых ресурсов, разработка неэффективной и нерезультативной интегрированной системы менеджмента в случае несвоевременного обнаружения ошибки*	
№	Мероприятия по снижению/оптимизации уровня риска (ресурсы)	Ответственный
1	*Обучение и контроль персонала*	*Отдел кадров*
2	*Подбор квалифицированного персонала*	*Руководство предприятия*
3	*Привлечение третьих лиц для консультации*	*Руководство предприятия*
4	*Составление перечня возможных подходящих методик самооценки для применения на данном предприятии*	*Руководство предприятия, рабочая группа*
5	*Разработка документированной процедуры по самооценке и обоснованию разработки ИСМ*	*Отдел качества*

Рис. 5. Паспорт риска «Выбран неэффективный подход к разработке ИСМ на основе некорректного отчета о самооценке предприятия»
Fig. 5. Risk passport «An ineffective approach to the development of an IMS was chosen based on an incorrect enterprise self-assessment report»

ПАСПОРТ РИСКА		
Наименование процесса	*Подготовительный этап процесса разработки ИСМ*	
Ответственный	*Руководитель рабочей группы разработки ИСМ*	
Общая информация о риске		
Наименование риска	*Рабочая группа при анализе основополагающих стандартов на выбранные системы менеджмента не выявила все общие и специфические требования, не определила необходимые документы, процедуры и записи, допустила ошибки при разработке СТО*	
Причины	*Неквалифицированный персонал* *Наличие не актуализированных стандартов* *Наличие ошибок при определении общих и специфических требований*	
Последствия риска	*Составление некорректного перечня требований к интегрированной системе менеджмента, что повлечет за собой затраты финансовых, материальных и трудовых ресурсов необходимых на исправление проекта СТО*	
№	Мероприятия по снижению/оптимизации уровня риска (ресурсы)	Ответственный
1	*Обучение и контроль персонала*	*Отдел кадров*
2	*Подбор квалифицированного персонала*	*Руководство предприятия*
3	*Привлечение третьих лиц для консультации*	*Руководство предприятия*
4	*Назначение ответственного лица за актуализацию применяемых нормативных документов на предприятии*	*Специалист по автоматизации документооборота*

Рис. 6. Паспорт риска «Рабочая группа при анализе основополагающих стандартов на выбранные системы менеджмента не выявила все общие и специфические требования, не определила необходимые документы, процедуры и записи, допустила ошибки при разработке СТО»
Fig. 6. Risk passport «The working group, when analyzing the fundamental standards for the selected management systems, did not identify all the general and specific requirements, did not identify the necessary documents, procedures and records, and made mistakes when developing the organization standard»

Список источников

1. Лаптева Е.П., Доскач Л.А. Методическое обеспечение интегрированной системы менеджмента качества для предприятий рыбной отрасли // Перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания: техника, технологии и управление качеством: материалы Нац. науч.-техн. конф. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2023. С. 109–111.

2. Лаптева Е.П., Доскач Л.А. Использование функциональной модели IDEF0 в процессе разработки интегрированных систем менеджмента для предприятий рыбной отрасли // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 65, № 3. С. 19–28.

3. Свиязова Т.Г. Управление рисками в системе менеджмента качества: экономическое содержание и классификация рисков // Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика. 2017. № 6. 25 с.

4. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. Введ. 2020-01-03. М.: Стандартинформ, 2021. 13 с.

5. ГОСТ Р 58771-2019. Менеджмент риска. Технологии оценки риска. Введ. 2020-01-03. М.: Стандартинформ, 2021. 78 с.

References

1. Lapteva E.P., Doskach L.A. Methodological support of an integrated quality management system for fishing industry enterprises // Prospects for the development of the food industry and public nutrition: technology, technology and quality management: materials of the National Scientific and Technical Conference. Vladivostok: Far Eastern State Technical Fisheries University, 2023. P. 109–111.

2. Lapteva E.P., Doskach L.A. Using the IDEF0 functional model in the process of developing integrated management systems for fishing industry enterprises // Scientific works of Dalrybvtuz. 2023. T. 65, No. 3. P. 19–28.

3. Sviyazova T.G. Risk management in the quality management system: economic content and classification of risks // Bulletin of Moscow University. Series 6. Economics. 2017. No. 6. 25 s.

4. GOST R ISO 31000-2019. Risk management. Principles and Guidance. Enter. 2020-01-03. M.: Standartinform, 2021. 13 p.

5. GOST R 58771-2019. Risk management. Risk assessment technologies. Enter. 2020-01-03. M.: Standartinform, 2021. 78 p.

Информация об авторах

Е.П. Лаптева – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления техническими системами, SPIN-код: 6729-7689, AuthorID: 364951;

Л.А. Доскач – магистр группы СТм-212.

Information about the authors

E.P. Lapteva – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Systems Management, SPIN-code: 6729-7689, AuthorID: 364951;

L.A. Doskach – Master’s degree student of the STm-212 group.

Статья поступила в редакцию 23.01.2024; одобрена после рецензирования 25.01.2024; принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 23.01.2024; approved after reviewing 25.01.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 66–74.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 66–74.

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 664.8

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-06

Проблема технического регулирования показателя диоксида серы в кондитерских изделиях на территории Евразийского экономического союза

Антонида Викторовна Чернова[1], Лидия Анатольевна Доскач[2]

[1,2] Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

[1] Chernova.av@dgtru.ru, https://orcid.org/0000-0001-8143-7228

[2] doskachlida724@gmail.com

Аннотация. Рассмотрена проблема технического регулирования показателя диоксида серы в кондитерских изделиях на территории Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Проведен анализ теоретических основ влияния показателя диоксида серы на безопасность и качество пищевой продукции. Проанализирована нормативная документация с установленными требованиями к сульфитам в кондитерских изделиях, а также стандарты на методы определения показателя двуокиси серы. Результатом проведенного анализа нормативной документации стал вывод о несовершенстве системе технического регулирования данного показателя.

Ключевые слова: диоксид серы, нормирование, технический регламент, стандарт, кондитерские изделия

Для цитирования: Чернова А.В., Доскач Л.А. Проблема технического регулирования показателя диоксида серы в кондитерских изделиях на территории Евразийского экономического союза // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 66–74.

FOOD SYSTEMS

Original article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-06

The problem of technical regulation of sulfur dioxide in confectionery products on the territory of the Eurasian Economic Union

Antonida V. Chernova[1], Lidia A. Doskach[2]

[1,2] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

[1] Chernova.av@dgtru.ru, https://orcid.org/0000-0001-8143-7228

[2] doskachlida724@gmail.com

© Чернова А.В., Доскач Л.А., 2024

Abstract. The article considers the problem of technical regulation of the sulfur dioxide index in confectionery products on the territory of the EAEU. The analysis of the theoretical foundations of the influence of sulfur dioxide index on the safety and quality of food products is carried out. The regulatory documentation with the established requirements for sulfites in confectionery products, as well as standards for methods for determining the sulfur dioxide index, are analyzed. The result of the analysis of the regulatory documentation was the conclusion about the imperfection of the system of technical regulation of this indicator.

Keywords: sulfur dioxide, rationing, technical regulations, standard, confectionery

For citation: Chernova A.V., Doskach L.A. The problem of technical regulation of sulfur dioxide in confectionery products on the territory of the Eurasian Economic Union. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2024; 67(1):66–74. (in Russ.).

Всероссийский центр изучения общественного мнения (ВЦИОМ) проводил исследования об употреблении кондитерских изделий россиянами в 2023 г. Результаты показали, что полным отказом к сладкому отличаются лишь 9 % опрошенных, а 91 % в том или ином количестве употребляют сладости. 39 % людей употребляют сладости каждый день и не могут отказаться от ежедневного употребления. Каждый третий опрошенный (около 35 %) позволяют себе кондитерские изделия несколько раз в неделю, а каждый шестой (17 %) – несколько раз в месяц. Рейтинг любимых сладостей россиян возглавили конфеты (39 % от числа потребляющих сладкое, доля группы – 91 %). На втором месте – шоколад (26 %), на третьем – сразу два любимчика сладкоежек: печенье (21 %) и торты (19 %). По 14 % отдают предпочтение пирожным и булочным изделиям / выпечке, в меньшем почете у российских потребителей мороженое (8 %), пряники (6 %), вафли (4 %) и зефир (4 %). Десерты, приносящие не только удовольствие, но и пользу организму (варенье, мармелад, мед, халва и др.), россияне называли гораздо реже [1].

В соответствии с большим спросом на данный вид продукции постоянно обновляется ассортимент кондитерских изделий различных ценовых категорий. Не каждый потребитель может позволить себе покупку качественных продуктов по высокой цене, а производители, выпускающие сладости по более доступным ценам, могут пренебречь безопасностью и качеством продукции. Одной из важных проблем является наличие диоксида серы в составе продукта, который по ряду причин производитель не указывает в составе на маркировке. Диоксид серы (консервант Е 220) – это компонент, который может вызвать серьезные аллергические реакции и является противопоказанием к применению при отдельных видах заболеваний. Намеренная фальсификация продукта в отношении содержания диоксида серы является серьезной проблемой для российских производителей: повышенный риск отравлений и сильных аллергических реакций у потребителей, трудности экспорта кондитерских изделий на зарубежный рынок и т.д. Подобные проблемы вызваны несовершенством нормирования сульфитов в кондитерских изделиях на законодательном уровне. Поэтому считается, что данные меры недостаточны для предотвращения отравлений.

Целью настоящих исследований является проблема технического регулирования показателя диоксида серы в кондитерских изделиях на территории Евразийского экономического союза.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить теоретические основы влияния показателя диоксида серы на безопасность и качество пищевой продукции;
- проанализировать нормативные документы, устанавливающие требования к содержанию диоксида сера в кондитерских изделиях;
- дать анализ нормативным документам, устанавливающим требования к методам определения диоксида серы.

Объектом исследования данной работы является показатель диоксида серы в кондитерских изделиях.

Предмет исследования – элементы технического регулирования показателя диоксида серы в кондитерских изделиях.

Диоксид серы (сернистый ангидрид) – это известный в пищевой промышленности консервант, имеющий индекс Е 220. Это разрешенная добавка, которая предотвращает размножение микроорганизмов, обладает антиоксидантными свойствами, является стабилизатором окрашивания, может применяться в качестве отбеливателя.

Изготовители продуктов используют стандартное наименование. В промышленности зарубежных государств употребляется термин «Sulphur Dioxide». Пищевой консервант Е 220 может иметь и иные названия, например, сернистый газ, двуокись серы, оксид серы (IV), сернистый ангидрид. В кодификации, актуальной в Европе, добавке присвоен индекс, состоящий из буквы и числа – Е 220. Но многие производители в описании составов своей продукции такую комбинацию не упоминают. Описание свойств диоксида серы представлено на рис. 1 [2].

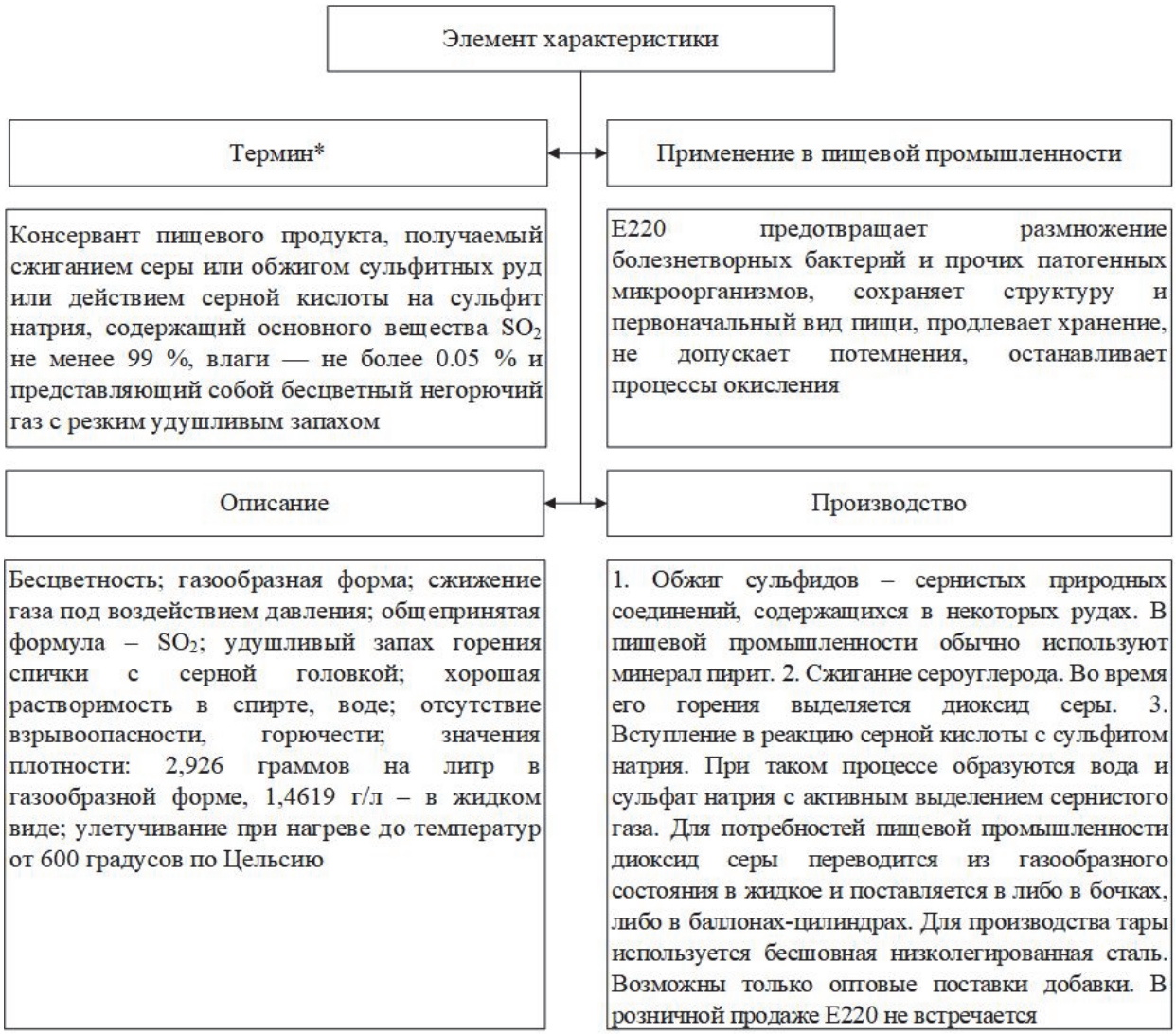


Рис. 1. Характеристика диоксида серы SO_2
Fig. 1.Characteristics of sulfur dioxide SO_2
*Согласно ГОСТР 54956-2012 «Добавки пищевые. Консерванты пищевых продуктов. Термины и определения»

Опасность диоксида серы состоит в том, что он разрушает дисульфидные мостики в белках и важный для организма витамин B_1 (тиамин). Тиамин – это вещество, необходимое для полноценного жирового и углеводного метаболизма в организме. Витамин B_1 необходим для хорошего самочувствия и настроения, повышенной концентрации и эффективного получения знаний. Витамин блокирует в клетках процессы старения. Дефицит витамина B_1 приводит ко многим опасным заболеваниям организма [3]. Помимо нарушения метаболизма в организме и дефицита B_1, отравление диоксидом серы в легкой форме может вызвать такие симптомы, как кашель, боль в животе и расстройство желудка, головную боль. Для людей с аллергией или астматическими заболеваниями потребление продукта с повышенным содержанием оксида серы может привести к сильному отравлению, симптомами которого является рвота, затрудненное дыхание и глотание, отек легких [4].

Часто производители не имеют представления о действительном количестве Е 220 в используемом сырье, так как ориентируются только на сопроводительные документы, которые могут быть фальсифицированы, следовательно, и не предполагают, какое количество пищевой добавки содержится в готовом продукте. Как следствие, многие производители не указывают на маркировке действительное содержание Е 220. Хотя именно сырье для кондитерских изделий (сахар, орехи, сухофрукты, мука, крахмал, пюре, джемы, патока и др.) – основной источник диоксида серы. Использование диоксида серы при изготовлении пищевых продуктов происходит на регулярной основе из-за обеззараживающих и антиоксидантных свойств. В соответствии с приложением 8 ТР ТС 029/2012«Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» была составлена схема гигиенических требований к применению диоксида серы в различном сырье, используемом в кондитерских изделиях (рис. 2) [5].

Учитывая опасность употребления диоксида серы регулярно и в повышенных дозах, острой становится проблема контроля производителей. Необходимо точное информирование потребителя о количестве диоксида серы в составе продукта при помощи нанесения сведений на маркировку. Если в продукции присутствует диоксид серы, то на маркировке должно быть указание об этом независимо от его концентрации. Для этого производителю нужно проводить регулярное исследование сырья. Необходимо включить мониторинг сырья и полуфабрикатов на этапе входного контроля. Получение достоверных данных на данном этапе позволит выявить содержание диоксида серы в готовом продукте. Проведение контроля позволит установить более жесткие требования для поставщиков сырья, таким образом, ограничив поступление некачественного сырья на производство. При проведении плановых проверок предприятий, производящих кондитерские изделия и полуфабрикаты, органы надзора должны проверять соответствующую документацию, подтверждающую наличие контроля сырья и готового изделия на предмет содержания диоксида серы, и в случае нарушения проводить лабораторные исследования продукции для выявления несоответствия.

Существуют следующие стандартизированные методы исследования, анализ которых приведён в таблице [5].

Определение двуокиси серы в сырье производится при помощи колориметрии, полярографии, газожидкостной и высокоэффективной жидкостной хроматографии, проточным и ферментативным методами. Такое разнообразие методов объясняется тем, что все они различаются областями матрицы, которая ограничивает область их применения. Некоторые методы не отличаются высокой точностью, особенно если объект исследования многокомпонентный. Некоторые методы применяются крайне редко из-за сложной подготовки пробы.

В определении диоксида серы в готовой продукции главной проблемой является выбор оптимального и наиболее эффективного метода. Трудность заключается в сложном составе и многокомпонентности кондитерских изделий [5].

Кондитерские изделия и полуфабрикаты, в состав которого входит плодовоовощное сырье и добавки пиросульфита натрия и калия, подлежат проверке на наличие диоксида серы

по стандарту ГОСТ 26811-2014 «Изделия кондитерские. Йодометрический метод определения массовой доли общей сернистой кислоты». Этот нормативный документ устанавливает йодометрический метод определения массовой доли общей сернистой кислоты в диапазоне измерений от 0,002 до 0,100 %, т.е. нижний предел обнаружения данного метода – 20 мг/кг. Особенность этого метода заключается в том, что сложно получить достоверные результаты из-за химических реакций, возникающих между консервантами и другими соединениями (сахар, меланоидин и др.). В результате реакций образуются устойчивые соединения, которые представляют темноокрашенные растворы, не позволяющие точно выявить количество диоксида серы SO_2 [5].

Гигиенические нормативы применения сернистой кислоты (диоксид серы Е 220) и солей: гидросульфита (бисульфит) калия Е 228, гидросульфита кальция Е 227, гидросульфита натрия Е 222, пиросульфита калия Е 224, пиросульфита натрия Е 223, сульфита калия Е 225, сульфита кальция Е 226, сульфита натрия Е 221

Пищевая продукция	Максимальный уровень в продукции
Глазированные в сахаре (кондированные), фрукты, овощи, цукаты, дягиль	100 мг/кг
Джемы, мармелады, желе, повидло с низким содержанием сахара и без сахара и другие аналогичные продукты	50 мг/кг
Джемы, желе, мармелад, повидло, изготовленные с использованием сульфитированных фруктов и ягод	100 мг/кг
Начинки фруктовые (на фруктовой основе)	100 мг/кг
Лимон, нарезанный ломтиками, пастеризованный	250 мг/кг
Восстановленные (регидратированные) сухофрукты, пастеризованные	100 мг/кг
Корица (Cinnamomum ceylanicum только)	150 мг/кг
Сиропы ароматизированные для молочных коктейлей, мороженого, сиропы для оладьей, блинчиков, куличей и т.п.	40 мг/кг
Кокосовые орехи сушеные	50 мг/кг
Желатин	50 мг/кг
Фруктовые экстракты желирующие, пектин жидкий (для реализации потребителю)	800 мг/кг
Крахмалы (исключая крахмалы для детских продуктов)	50 мг/кг
Сахар, в т.ч. сахар белый (сахар песок)	15 мг/кг
Патока и меласса	70 мг/кг
Фрукты сушеные: - абрикосы, персики, виноград (изюм), слива, инжир - бананы - яблоки и груши - другие, включая орехи в скорлупе	 2 мг/кг 1 г/кг 600 мг/кг 500 мг/кг

Рис. 2. Гигиенические требования к применению диоксида серы в различном сырье, используемом в кондитерских изделиях

Fig. 2. Hygienic requirements for the use of sulfur dioxide in various raw materials used in confectionery

Стандартизированные методы определения диоксида серы SO_2

Обозначение документа	Наименование сырья	Наименование определяемого показателя	Наименование метода	Нормируемое значение показателя	Включен в перечень стандартов к ТР ТС 029/2012
1	2	3	4	5	6
ГОСТ 32711-2014	Продукты переработки фруктов и овощей	Массовая концентрация свободного диоксида серы, массовая доля общего диоксида серы	Ферментативный метод	10–500 мг/дм^3 (млн$^{-1}$), 0,001–0,05 %	–
ГОСТ Р 54894-2012	Соковая продукция, продукты переработки плодов и овощей	Массовая концентрация общего диоксида серы, массовая доля общего диоксида серы	Ферментативный метод	10–500 мг/дм^3 (млн$^{-1}$), 0,001–0,05 %	–
ГОСТ EN 13196-93	Соковая продукция	Содержание общего диоксида серы	Дистилляционный метод	10–10000 мг/дм^3	–
ГОСТ 26811-2014	Кондитерские изделия	Массовая доля общей сернистой кислоты	Йодометрический метод	0,002–0,100 %	+
ГОСТ 34552-2019	Изделия кондитерские, сырье и полуфабрикаты	Массовая доля диоксида серы	Йодометрический метод и ферментативный метод	5–1000 мг/кг	–
ГОСТ 25555.5-2014	Продукты переработки плодов и овощей	Массовая доля общего диоксида серы и сульфитов (сернистой кислоты)	Метод А, титриметрический с предварительной дистилляцией диоксида серы	10–10000 мг/кг (0,001–2 %)	+
		Массовая доля диоксида серы	Метод Б, йодометрический с визуальным титрованием для светлоокрашенных жидких продуктов	100–20000 мг/кг (0,01–2 %)	
			Метод В, кулонометрический с предварительной дистилляцией диоксида серы	10–500 мг/кг, 500–1000 мг/кг	
		Наличие диоксида серы	Качественный метод обнаружения диоксида серы	Предел обнаружения метода: 2–10 %	

Для обеспечения требований ТР ТС 022/2011 и ТР ТС 029/2011 институтом кондитерской промышленности разработаны методики определения диоксида серы в кондитерских изделиях в необходимом диапазоне концентраций, вошедшие в ГОСТ 34552-2019 «Изделия кондитерские. Методы определения диоксида серы». Этот стандарт распространяется на кондитерские изделия, сырье и полуфабрикаты для их производства, изготовленные с применением диоксида серы, и устанавливает йодометрический и ферментативный методы с диапазоном измерений SO_2 от 5 до 1000 мг/кг.

Первый метод в стандарте – йодометрический (титриметрический), основанный на обработке раствора образца ультразвуком мощностью 250 Вт и частотой 35 кГц, с дальнейшей отгонкой с серной кислотой H_2SO_4 и титрованием йодом J_2 (0,002 н) с однопроцентным раствором крахмала.

Второй метод определения основан на окислении иона сульфита до сульфата ферментом сульфитоксидазой с образованием перекиси водорода, которая восстанавливается ферментом НАДН-пероксидазой в присутствии НАДН, количество которого пропорционально массовой концентрации общего диоксида серы и определяется по изменению оптической плотности раствора. Ферментативный метод является арбитражным методом, применяемым в случае возникновения разногласий [5].

Таким образом, в результате анализа стандартов на определение диоксида серы в кондитерских изделиях и кондитерских полуфабрикатах можно сделать вывод, что хоть и существует достаточное количество методик, но все они не совершенные, имеют свои особенности применения и недостаточно точные. По причине отсутствия единообразия в определении диоксида серы в составе продукции у производителей возникает сложность в проведении анализа показателя. Методы определения диоксида серы в кондитерских изделиях, включенные в перечень стандартов к ТР ТС 029/2011, являются не универсальными для использования.

Анализ документов, нормирующих содержание диоксида серы, выявил несколько технических регламентов. В соответствии с ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (глава 2, статья 7, п. 8) требования к пищевым добавкам, ароматизаторам и технологическим средствам, используемым при производстве пищевой продукции, устанавливаются соответствующими техническими регламентами Таможенного союза. Такими регламентами являются ТР ТС 022/2011 и ТР ТС 029/2012. В соответствии с ТР ТС 022/2011 диоксид серы и сульфиты должны указываться в составе пищевой продукции, если их общее содержание составляет более 10 мг/кг или 10 мг/л в пересчете на диоксид серы (ТР ТС 022/2011 статья 4, часть 4.4, п. 13 и 14). В соответствии с ТР ТС 029/2012 содержание диоксида серы в пищевой продукции менее 10 мг/кг или мг/л оценивается как остаточное количество и может не указываться на маркировке (статья 7, п. 17, п. 9, статья 9, п. 1, п. 11) [6].

Так как технические регламенты носят обязательный характер исполнения, то любой производитель пищевой продукции должен исполнять их требования. Недостатком требований, установленных к показателю диоксида серы, является то, что изготовитель обязуется информировать потребителя только, если его концентрация будет выше более 10 мг/кг или 10 мг/л. Как было доказано учеными, для некоторых потребителей опасны и меньшие дозы вещества. В составе продукта на упаковке в лучшем случае будет указано, что продукт может содержать остатки сульфитов, но чаще производитель просто не укажет данную информацию. Необходимо обязать производителей всегда информировать потребителя о наличии в составе диоксида серы SO_2.

При анализе стандартов тоже выявлены существенные недостатки, препятствующие получению достоверной информации о составе продукта, и противоречия требованиям технических регламентов. В соответствии со стандартами на кондитерские изделия показатель, нормирующий наличие диоксида серы, называется «массовая доля общей сернистой кислоты». Данный показатель выражен в процентном соотношении. В ТР ТС 029/2012 дается

наименование «диоксид серы и сульфиты», который приведен в единицах измерения миллиграмм на килограмм (мг/кг). В стандартах алгоритмы пересчета не даны, что приводит к разночтению результатов не только у изготовителей, но и у органов надзора. Из-за отсутствия регламентированных правил пересчета нормируемое содержание сернистой кислоты часто превышено в 1,5 раза. Соответственно, требования стандартов противоречат требованиям технических регламентов.

Можно сделать следующий вывод о сложившейся ситуации с техническим регулированием диоксида серы. Двуокись серы – необходимый компонент для производства пищевой продукции, так как обладает антиоксидантным и противомикробным свойством. Но при этом несет в себе угрозу сильного отравления для потребителей, подверженных аллергическим реакциям и астматическим заболеваниям. Поэтому необходимость достоверного информирования о наличие в составе диоксида серы не вызывает сомнений. Но часто маркировка кондитерской продукции фальсифицирована и не содержит упоминаний о присутствии добавки Е 220.

Для выявления причин происходящего были проанализированы нормативные документы, устанавливающие требования к показателю диоксида серы и методам его определения. При анализе стандартов на методы определения Е 220 выявлено, что при наличии их широкого выбора большинство из них неточны из-за многокомпонентности состава образцов, сложны в подготовке проб, а те стандарты, которые обеспечивают соблюдение требований ТР ТС 029/2012, являются не универсальными из-за ограниченности применения.

При анализе требований технических регламентов была выявлена необходимость внесения поправок, обязывающих производителей указывать наличие диоксида серы в составе не только при концентрации больше 10 мг/кг. Анализ стандартов показал их противоречие требованиям технических регламентов, причиной которого является отсутствие единообразия в наименованиях измеряемых показателей и единицах измерения без стандартизированных правил пересчета. Такие допущения в нормативной документации провоцирует производителей фальсифицировать товар, указывая недостоверную информацию.

Таким образом, целесообразно более тщательно контролировать изготовителей кондитерских изделий и обязать их проводить на этапе входного контроля лабораторные исследования сырья на определение концентрации сернистой кислоты (диоксида серы) и её солей, вести соответствующую документацию, подтверждающую проводимую деятельность, и определить штрафные санкции за введение в обращение фальсифицированного товара. На данном этапе техническое регулирование показателя диоксида серы в кондитерских изделиях нуждается в доработке нормативной и технической документации, стандартизации методик определения, отслеживания готовой продукции и системы контроля технологических процессов производства.

Список источников

1. Сладкая жизнь – 2023 // Всероссийский центр изучения общественного мнения [Электронный ресурс]. URL: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/sladkaja-zhizn-2023 (дата обращения: 23.11.2023).

2. Консервант Е 220 (диоксид серы) // 5 капель [Электронный ресурс]. URL: https://5drops.ru/company/ (дата обращения: 23.11.2023).

3. Диоксид серы: опасное вещество или полезная добавка? // RrimeChemicalGroup [Электронный ресурс]. URL: https://pcgroup.ru/blog/dioksid-sery-opasnoe-veschestvo-ili-poleznaya-dobavka.ru/ (дата обращения: 23.11.2023).

4. Витамин B_1 // Проект КР.ru [Электронный ресурс]. URL: https://www.kp.ru/doctor/zdorovyj-obraz-zhizni/vitamin-b1/ (дата обращения: 23.11.2023).

5. Контроль содержания диоксида серы в кондитерских изделиях // Ростест [Электронный ресурс]. URL: https://rtmsk.ru/dajdzhest/kontrol_soderzhaniya_dioksida_sery_v_konditerskikh_izdeliyakh_chast_2/ (дата обращения: 23.11.2023).

6. Демченко Е.А. Анализ стандартов Евразийского экономического союза на кондитерские изделия // Техника и технология пищевых производств. 2022. № 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-standartov-evraziyskogo-ekonomicheskogo-soyuza-na-konditerskie-izdeliya (дата обращения: 23.11.2023).

References

1. Sweet Life – 2023 // All-Russian Center for the Study of Public Opinion [Electronic resource]. URL: https://wciom.ru/analytical-reviews/analiticheskii-obzor/sladkaja-zhizn-2023 (access date: 11/23/2023).

2. Preservative E220 (sulfur dioxide) // 5 drops [Electronic resource]. URL: https://5drops.ru/company/ (access date: 11/23/2023).

3. Sulfur dioxide: dangerous substance or useful additive? // Rrime Chemical Group [Electronic resource]. URL: https://pcgroup.ru/blog/dioksid-sery-opasnoe-veschestvo-ili-poleznaya-dobavka.ru/ (access date: 11/23/2023).

4. Vitamin B1 // Project KR.ru [Electronic resource]. URL: https://www.kp.ru/doctor/zdorovyj-obraz-zhizni/vitamin-b1/ (access date: 11/23/2023).

5. Control of sulfur dioxide content in confectionery products // Rostest [Electronic resource]. URL: https://rtmsk.ru/dajdzhest/kontrol_soderzhaniya_dioksida_sery_v_konditerskikh_izdeliyakh_chast_2/ (access date: 11/23/2023).

6. Demchenko E.A. Analysis of Eurasian Economic Union standards for confectionery products // Equipment and technology of food production. 2022. No. 4. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-standartov-evraziyskogo-ekonomicheskogo-soyuza-na-konditerskie-izdeliya (access date: November 23, 2023).

Информация об авторах

А.В. Чернова – старший преподаватель кафедры управления техническими системами;
Л.А. Доскач – магистр группы СТм-212.

Information about the authors

A.V. Chernova – Senior Lecturer of the Department of Technical Systems Management;
L.A. Doskach – Master’s degree student of the STm-212 group.

Статья поступила в редакцию 23.01.2024; одобрена после рецензирования 26.01.2024; принята к публикации 19.03.2024.

The article was submitted 23.01.2024; approved after reviewing 26.01.2024; accepted for publication 19.03.2024.

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 75–88.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 75–88.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья

УДК 639.2.081.1

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-07

Методика моделирования симметричных и несимметричных траловых систем

Виктор Иванович Габрюк[1], Василий Владимирович Кудакаев[2], Евгений Евгеньевич Мазур[3]

[1,3] ООО «Приморский канат», Большой Камень, Россия

[2] Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

[1]gabrukvi@rambler.ru

[2]kudakaev_v@mail.ru

[3]mazuree@mail.ru

Аннотация. Одной из ключевых задач моделирования симметричных и несимметричных рыболовных траловых систем является аналитический расчет координат точек подключения ваеров и лапок кабелей к доскам. Эти точки следует выбирать таким образом, чтобы при тралении сохранялось устойчивое равновесие как траловых досок, так и всей траловой системы во время процесса траления. Рассмотрена методика решения этой задачи с использованием математических моделей, разработанных профессором В.И. Габрюком [2]. Изложенные в статье расчётные данные хорошо согласуются с экспериментальными данными Севастопольской базы подводных исследований, это подтверждает корректность разработанных математических моделей и предлагаемой методики.

Ключевые слова: методика, математическое моделирование, траловые доски, несимметричные траловые системы, математические модели

Для цитирования: Габрюк В.И., Кудакаев В.В., Мазур Е.Е. Методика моделирования симметричных и несимметричных траловых систем // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 75–88.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-07

© Габрюк В.И., Кудакаев В.В., Мазур Е.Е., 2024

Modeling technique for symmetrical and asymmetrical trawl systems

Viktor I. Gabruk[1], Vasilii V. Kudakaev[2], Evgenii E. Mazur[3]

[1,3] Primorsky Rope LLC, Bolshoy Kamen, Russia

[2] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

[1]gabrukvi@rambler.ru

[2]kudakaev_v@mail.ru

[3]mazuree@mail.ru

Abstract. One of the key objectives of modeling symmetric and asymmetric fishing trawl systems is the analytical determination of the connection points coordinates for the warps and backstrops to the trawl doors. These points should be selected so that, during trawling, there is a stable equilibrium both of the trawl doors and the entire trawl system during the trawling process. The paper presents a methodology that allows solving the above problem using mathematical models developed by Professor Viktor.I. Gabryuk [2]. The computational data presented in the paper closely match the experimental data of the Sevastopol Base for Underwater Research, which confirms the correctness of the developed mathematical models and the proposed methodology.

Keywords: methodology, mathematical modeling, trawl doors, asymmetric trawl systems, mathematical models

For citation: Gabruk V.I., Kudakaev V.V., Mazur E.E. Modeling technique for symmetrical and asymmetrical trawl systems. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2024; 67(1):75–88. (in Russ.).

Введение

Множество работ различных авторов посвящены механике траловых досок [1–10]. Это обусловлено тем, что точность настройки траловых досок определяет горизонт траления, раскрытие, устойчивое движение и уловистость тралов. Настройка траловых досок осуществляется путем вариации положения точек крепления ваеров и лапок. Выбор местоположения этих точек, т.е. настройка траловой доски, обычно осуществляется экспериментально в условиях промысла. Однако определять положение этих точек можно и аналитически. Эта статья представляет методику настройки траловой системы с ваерами одинаковой и разных свивок по левому и правому борту судна путём математического моделирования.

Объекты и методы исследований

На промысле используют симметричные и несимметричные траловые системы, рис. 1. Система будет симметричной, когда для ваеров по левому борту используется стальной канат левой свивки, а по правому – правой; несимметричной, когда по обоим бортам судна используют стальные канаты одноимённой свивки, как правило, правой.

Для математического моделирования траловой системы досками связывают декартовы системы координат: земную (ЗСК) $x_g y_g z_g$, досковую (ДСК) $x_D y_D z_D$, поточную (ПСК) $x_V y_V z_V$. С правой доской – правые, с левой – левые системы, рис. 1.

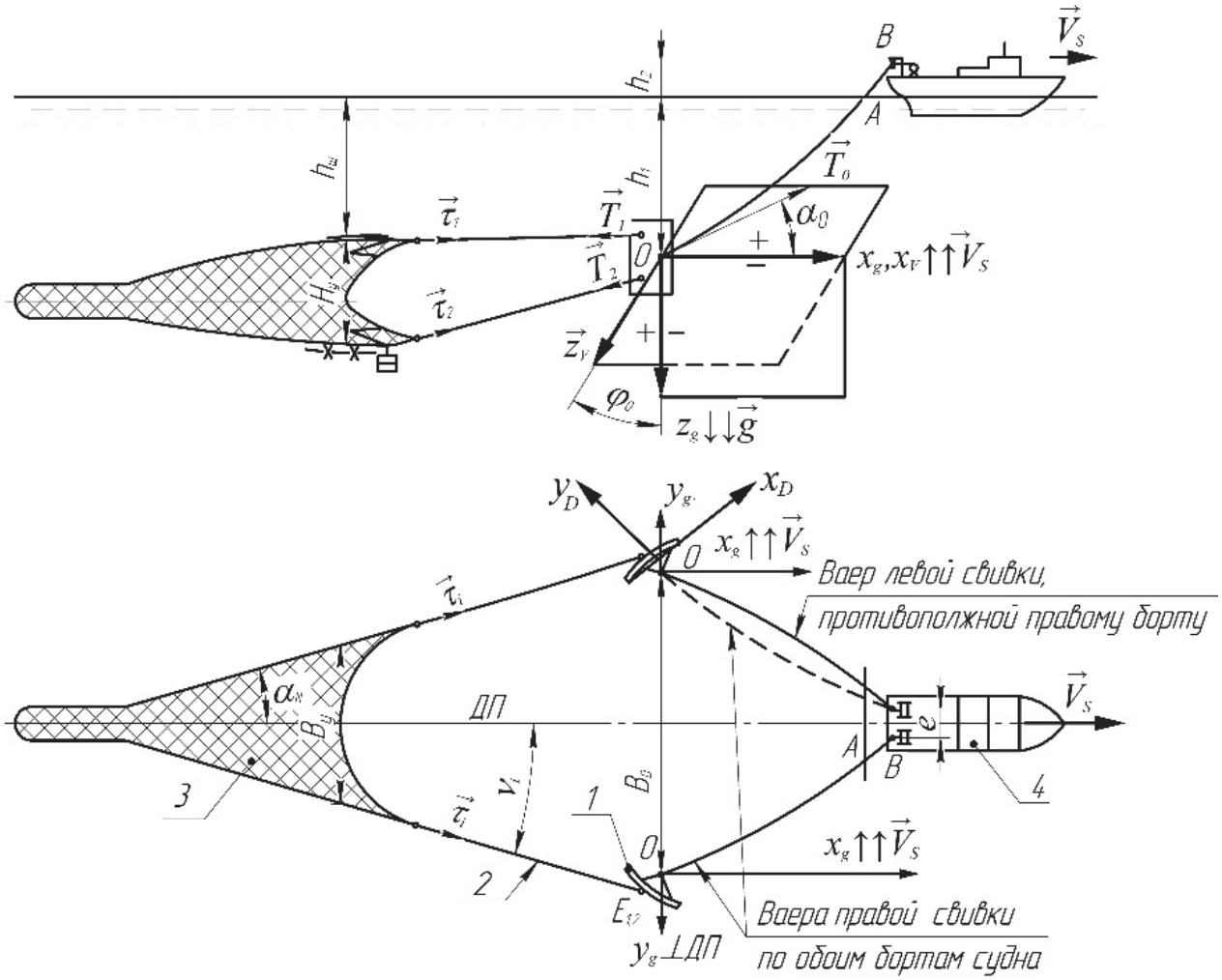


Рис. 1. Траловая рыболовная система: 1 –траловая доска; 2 – кабели; 3 – трал; 4 – судно.
ДП – диаметральная плоскость траловой системы; *A* – точка пересечения ваера с поверхностью воды; *B* – блок ваерный; E_1, E_2 – точки подключения лапок верхних и нижних к доскам; *O* – точка подключения ваера к доске; B_D – расстояния между досками; e – расстояния между ваерными блоками

Fig. 1. Trawl fishing system: 1 – trawl board; 2 – cables; 3 – trawl; 4 – vessel.
DP – the diametrical plane of the trawl system; *A* – the point of intersection of the waer with the surface of the water; *B* – the waer block; E_1, E_2 – the points of connection of the upper and lower legs to the boards; *O* – the point of connection of the waer to the board; B_D – the distances between the boards; e – the distances between the door blocks

Для симметричных траловых систем параметры левых и правых траловых досок одинаковы, поэтому достаточно определить параметры одной из досок, как правило, правой. В случае несимметричных траловых систем углы атаки левой и правой досок α_D и их углы крена λ_D разные, т.е. $\alpha_D^л \neq \alpha_D^п$, $\lambda_D^л \neq \lambda_D^п$. Причём, если используются ваеры правой свивки по обоим бортам, то угол атаки левой доски будет больше угла атаки правой доски, т.е. $\alpha_D^л > \alpha_D^п$. Различия также присутствуют и в параметрах ваеров у досок: натяжениях $T_0^л \neq T_0^п$, углах атаки $\alpha_0^л \neq \alpha_0^п$ и углах крена плоскостей потока $\varphi_0^л \neq \varphi_0^п$. Параметры ваеров у доски определяются путём решения краевых задач для дифференциальных уравнений их равновесия (1):

$$\dot{T} = -r_{X_V}\cos\alpha + r_{Z_V}\sin\alpha + q_Z\sin\alpha\cos\varphi;$$

$$\dot{\alpha} = \frac{r_{X_V}\sin\alpha_{xp} + r_{Z_V}\cos\alpha + q_Z\cos\alpha\cos\varphi}{T};$$

$$\dot{\varphi} = -\frac{r_{Y_V} + q_Z\sin\varphi}{T\sin\alpha};$$

$$\dot{x} = \cos\alpha;\ \dot{y} = \sin\alpha\sin\varphi;\ \dot{z} = -\sin\alpha\cos\varphi; \qquad (1)$$

$$r_{X_V} = C_{X_V}\frac{\rho V^2}{2}d,\ C_{X_V} = -(c_{11}\sin^2\alpha + c_{12}\sin^4\alpha + c_{13}\cos^2\alpha),\quad \alpha\in(-\infty,\infty);$$

$$r_{Y_V} = C_{Y_V}\frac{\rho V^2}{2}d,\ C_{Y_V} = \pm(c_{21}\sin\alpha\cos\alpha + c_{22}\sin^3\alpha\cos\alpha),\quad \alpha\in(-\infty,\infty);$$

$$r_{Z_V} = C_{Z_V}\frac{\rho V^2}{2}d,\ C_{Z_V} = -(c_{31}\sin\alpha\cos\alpha + c_{32}\sin^3\alpha\cos\alpha),\quad \alpha\in(-\infty,\infty),$$

где q_Z – проекция веса ваера длиной 1 м в воде на ось z; T – натяжение; α – угол атаки ваера в текущей точке; φ – угол крена плоскости потока ваера; $C_{X_V}, C_{Y_V}, C_{Z_V}$ – коэффициенты гидродинамических сил канатов в поточной системе координат (ПСК). Точкой в (1) обозначено дифференцирование по дуговой координате *l*.

Первой решают краевую задачу для ваера левого борта при следующих граничных условиях в **левой** декартовой системе координат.

$$x_0^л = y_0^л = z_0^л = 0;\ \alpha_0^л = 15-40^o;\ y_B^л = \frac{e-B}{2};\ z_B^л = h_1 + h_2;$$

$$T_0^n = \frac{R_X^T/2 + R_X^{лD}}{\cos\alpha_0^л};\ R_X^{лD} = C_{X_V}^{лD}\frac{\rho V^2}{2}S;$$

$$r_{Y_V}^л = -C_{Y_V}\frac{\rho V^2}{2}d = -(c_{21}\sin\alpha^л\cos\alpha^л + c_{22}\sin^3\alpha^л\cos\alpha^л)\frac{\rho V^2}{2}d.$$

Затем решается краевая задача для ваера правого борта со следующими граничными условиями в **правой** декартовой системе координат:

$$x_0^n = y_0^n = z_0^n = 0;\ \alpha_0^n = 15-30^o;\ x_B^n = x_B^л;\ y_B^n = y_B^л;\ z_B^n = z_B^л;$$

$$T_0^n = (0{,}5R_X^T + R_X^{nD})/\cos\alpha_0^n,\ \alpha_D^n < \alpha_D^л;\ R_X^{nD} = 0{,}5C_{X_V}^{nD}\rho V^2 S;$$

$$r_{Y_V}^n = 0{,}5C_{Y_V}\rho V^2 d = 0{,}5(c_{21}\sin\alpha^n\cos\alpha^n + c_{22}\sin^3\alpha^n\cos\alpha^n)\rho V^2 d.$$

Здесь $\alpha_D^л, \alpha_D^п$ – углы атаки левой и правой досок; $\alpha_0^л, \alpha_0^п$ – углы атаки ваера у левой и правой досок; $x_B^л, y_B^л, z_B^л$ – координаты ваерного блока в левой системе координат; B_D – расстояние между точками подключения ваеров к левой и правой траловым доскам; e – расстояние между ваерными блоками обоих бортов; $r_{Y_V}^л$ – боковая сила каната в левой системе координат; $R_X^T, R_X^{пD}, R_X^{лD}$ – сопротивление трала, правой и левой траловых досок.

Системы координат и силы, приложенные к доске, приведены на рис. 2.

Для обеспечения устойчивости работы траловых досок решают следующие задачи: находят площадь доски в плане *S*; вес в воде Q; массу M_D; координаты точек подключения верхней E_1, нижней E_2 лапок и ваера к доске *O*.

При решении данных задач учитывают следующее: условия равновесия досок, условия устойчивости равновесия, геометрию доски и конструктивные особенности.

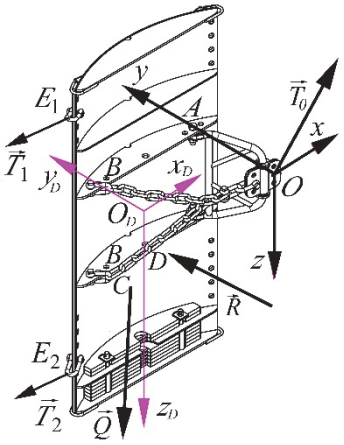


Рис. 2. Используемые для расчётов системы координат и силы
Fig. 2. Coordinate systems and forces used for calculations

Из условий равновесия траловых досок в ЗСК $(x_g y_g z_g)$, рис. 1, получены формулы для определения площади траловой доски в плане *S* (2), её веса в воде *Q* (3) и массы *M* (4) [2]:

$$S = \widetilde{S} R_X^T / \rho V^2, \ \widetilde{S} = \frac{tg\alpha_N^б - tg\alpha_0 \sin\varphi_0}{\left|C_{X_V}^D\right| tg\alpha_0 \sin\varphi_0 + C_{Y_V}^D \cos\lambda - C_{Z_V}^D \sin\lambda}; \quad (2)$$

$$Q = 0{,}5\widetilde{Q} R_X^T, \ \widetilde{Q} = (1 + \left|C_{X_V}^D\right| \widetilde{S}) tg\alpha_0 \cos\varphi_0 - \widetilde{S}(C_{Y_V}^D \sin\lambda + C_{Z_V}^D \cos\lambda) - tg\theta; \quad (3)$$

$$M = Q / k_W g, \quad (4)$$

где R_X^T – сила сопротивления воды, действующая на трал; $\alpha_N^б$ – угол атаки сетного полотна в районе устья трала; α_0, φ_0 – углы подхода ваера к доске; $C_{X_V}^D, C_{Y_V}^D, C_{Z_V}^D$ – коэффициенты гидродинамические для доски; λ – угол крена траловой доски; θ – угол между горизонтом и равнодействующей натяжений всех кабелей трала; k_W – коэффициент веса в воде (для стали k_W =0,87).

Координаты точки O подключения ваера к доске x_0, y_0, z_0 определяются по формулам (5), полученным из моментных уравнений равновесия траловой доски, рис. 2:

$$\Sigma M_z(\vec{F}_K) = 0 \Rightarrow a_2 x_0 - a_1 y_0 = b_1,$$
$$\Sigma M_y(\vec{F}_K) = 0 \Rightarrow a_3 x_0 - a_1 z_0 = b_2, \qquad (5)$$
$$\Sigma M_x(\vec{F}_K) = 0 \Rightarrow a_3 y_0 - a_2 z_0 = b_3,$$

где $a_1 = R_1 + Q_1 + T_{11} + T_{21}, a_2 = R_2 + Q_2 + T_{12} + T_{22}, a_3 = R_3 + Q_3 + T_{13} + T_{23}$,

$$b_1 = R_2 x_D - R_1 y_D + Q_2 x_C - Q_1 y_C + T_{12} x_1 - T_{11} y_1 + T_{22} x_2 - T_{21} y_2,$$
$$b_2 = R_3 x_D - R_1 z_D + Q_3 x_C - Q_1 z_C + T_{13} x_1 - T_{11} z_1 + T_{23} x_2 - T_{21} z_2,$$
$$b_3 = R_3 y_D - R_2 z_D + Q_3 y_C - Q_2 z_C T_{13} y_1 - T_{12} z_1 + T_{23} y_2 - T_{22} z_2.$$

Проекции сил, действующих на доску, на оси ДСК:

$$Q_1 = Q \sin\alpha_D \sin\lambda_D,\ Q_2 = Q \cos\alpha_D \sin\lambda_D,\ Q_3 = Q \cos\lambda_D,$$
$$R_1 = R_{X_V} \cos\alpha_D + R_{Y_V} \sin\alpha_D = (-\left|C_{X_V}\right| \cos\alpha_D + C_{Y_V} \sin\alpha_D) \frac{\rho V^2}{2} S,$$
$$R_2 = -R_{X_V} \sin\alpha_D + R_{Y_V} \cos\alpha_D = (\left|C_{X_V}\right| C_{X_V} \sin\alpha_D + C_{Y_V} \cos\alpha_D) \frac{\rho V^2}{2} S,$$
$$R_3 = R_{Z_V},$$
$$T_{11} = T_1 \sin\alpha_D \cos\nu_1 (\sin\lambda_D \sin\theta_1 - ctg\alpha_D \cos\theta_1 - \cos\lambda_D tg\nu_1),$$
$$T_{12} = T_1 \cos\alpha_D \cos\nu_1 (\sin\lambda \sin\theta_1 + tg\alpha_D \cos\theta_1 - \cos\lambda_D tg\nu_1),$$
$$T_{13} = T_1 \cos\lambda_D \cos\nu_1 (tg\lambda tg\nu_1 + \sin\theta_1), \qquad (6)$$
$$T_{21} = T_2 \sin\alpha_D \cos\nu_2 (\sin\lambda \sin\theta_2 - ctg\alpha_D \cos\theta_2 - \cos\lambda_D tg\nu_2),$$
$$T_{22} = T_2 \cos\alpha_D \cos\nu_2 (\sin\lambda \sin\theta_2 + tg\alpha_D \cos\theta_2 - \cos\lambda_D tg\nu_2),$$
$$T_{23} = T_2 \cos\lambda_D \cos\nu_2 (tg\lambda_D tg\nu_2 + \sin\theta_2),$$

где R_{X_V}, R_{Y_V}, R_{Z_V} – проекции гидродинамической силы на оси ПСК доски; α_D, λ_D – углы атаки и крена траловой доски; ν_1 – угол между верхним, ν_2 – угол между нижним кабелями и ДП трала; θ – угол между плоскостями одинарных, θ_1 – верхних / θ_2 нижних кабелей и горизонтом; T_1 – натяжения верхнего и T_2 нижнего кабелей, определяются как

$$T_1 = \frac{R_X^T \sin(\theta_2 - \theta)}{2\cos\theta\cos\nu_1 \sin(\theta_2 - \theta_1)},\ T_2 = \frac{R_X^T \sin(\theta - \theta_1)}{2\cos\theta\cos\nu_2 \sin(\theta_2 - \theta_1)}.$$

Из условия совместности (непротиворечивости) моментных уравнений равновесия доски (5), вытекающего из теоремы Кронекера–Капелли, получена формула (7) для определения координат точек подключения верхней $E_1(x_1, y_1, z_1)$ и нижней $E_2(x_2, y_2, z_2)$ лапок к доске:

$$x_1(a_2T_{13} - a_3T_{12}) + y_1(a_3T_{11} - a_1T_{13}) + z_1(a_1T_{12} - a_2T_{11}) + x_2(a_2T_{23} - a_3T_{22}) + y_2(a_3T_{21} - a_1T_{23}) + \\ + z_2(a_1T_{22} - a_2T_{21}) + C = 0, \quad (7)$$

где $C = a_1(z_DR_2 - y_CQ_3 - y_DR_3 + z_CQ_2) + a_2(x_DR_3 - z_DR_1 + x_CQ_3 - z_CQ_1) + a_3(y_DR_1 - x_DR_2 + y_CQ_1 - x_CQ_2)$.

Для обеспечения устойчивости и плавного обтекания траловых досок должны выполняться условия:

- $\alpha < \alpha_{кр}$ – угол атаки доски должен быть ниже критического;
- $\beta = 0$ – угол скольжения потока должен быть равен нулю, т.е. поток воды будет параллелен стрингерам доски и не создаст дополнительного сопротивления.

Условия плавного обтекания траловых досок $\alpha < \alpha_{кр}$; $\beta = 0$ являются необходимыми, но не достаточными условиями устойчивого равновесия досок. В положении равновесия доски главные моменты действующих на доску сил, равны нулю, т.е. $M_X = M_Z = 0$.

Случайные воздействия могут вывести доску из положения равновесия, при этом углы атаки α и крена λ получают приращения $\Delta\alpha$ и $\Delta\lambda$ и возникают отличные от нуля главные моменты $\Delta M_X \neq 0,\ \Delta M_Z \neq 0$.

Равновесие доски будет устойчивым, если при малых ее отклонениях от положения равновесия возникают моменты ΔM_X и ΔM_Z, стремящиеся вернуть ее в положение равновесия. Это возможно тогда, когда знаки моментов ΔM_X, ΔM_Z и приращений углов $\Delta\alpha$ и $\Delta\lambda$ противоположны, что аналитически выражается неравенствами

$$M_X^\lambda = \partial M_X / \partial\lambda < 0,\ M_Z^\alpha = \partial M_Z / \partial\alpha < 0. \quad (8)$$

Здесь верхние индексы λ, α обозначают производные по соответствующим углам.

Первое неравенство – аналитическое условие поперечной устойчивости траловой доски (устойчивости по крену), второе – продольной устойчивости (устойчивости по углу атаки).

Результаты и их обсуждение

Методику моделирования траловых систем рассмотрим на следующем примере.

Необходимо выбрать траловую доску из проекта 2490 [2] с параметрами:

S – площадь доски в плане, $м^2$	4	4.5	5	6	7	8	9
M – масса доски, кг	850	890	930	1350	1410	1810	2040

для горизонтального раскрытия устья трала 118/620 метров, разработанную В.А. Кузиком (НБАМР), и определить координаты точек подключения ваеров и лапок к доскам левого и правого бортов при следующих начальных условиях:

- скорость траления $V = 4{,}5$ уз;
- глубина траления $h_1 = 130$ м;
- агрегатное сопротивление трала $R_X^T = 147$ кН;
- угол атаки боковой пласти мотни трала $\alpha_N^б = 8{,}3°$;
- размеры устья трала: горизонтальный $B_y = 60$ м и вертикальный $H_y = 50$ м;
- длины: крыла $l_{КР} = 52$ м, голого конца подборы $l_{ГК} = 50$ м, кабелей $l_К = 70$ м, регулировочной цепи нижнего кабеля $l_{РЦ} = 3$ м;
- ваер – стальной канат с металлическим сердечником по ГОСТ 7669-80: диаметр $d = 28$ мм, линейная плотность $m = 3{,}4$ кг/м.

Самой ответственной операцией является выбор угла между плоскостью кабелей и горизонта θ. Угол θ зависит от вертикального раскрытия устья трала H_y и разности горизонтов хода гужа верхней подборы и доски $h_3 = h_щ - h_1$. Для обеспечения устойчивой работы траловой системы необходимо выполнение условия $h_3 = -(5 \div 10)$ м. Выберем $h_3 = -5$ м. Угол θ изменяется в пределах $\theta \in (\theta_1 \div \theta_2)$.

Угол θ_1 определяется как

$$\sin\theta_1 = h_3/(l_{КР} + l_{ГК} + l_1) = -5/(52 + 50 + 70) = -0{,}029 \Rightarrow \theta_1 = -1{,}66°.$$

Проекция нижнего кабеля на вертикаль: $h_4 = H_y + h_3 = 50 - 5 = 45$ м.

Угол θ_2 определяется как

$$\sin\theta_2 = h_4/(l_{ГК} + l_2) = 45/(50 + 73) = 0{,}366 \Rightarrow \theta_2 = 20{,}5°,$$

где $l_2 = l_1 + l_{РЦ} = 70 + 3 = 73$ *м* – длина нижнего кабеля.

Таким образом, угол θ изменяется в пределах $\theta \in (-1{,}66° \div 20{,}5°)$. Угол θ зависит от массы оснастки нижней подборы распределёнными (якорные цепи) и сосредоточенными (грузы углубители) грузами.

Для выбора угла θ зададим условие, что натяжения кабелей будет примерно одинаково $T_1 \approx T_2$, тогда

$$\theta \approx (\theta_1 + \theta_2)/2 = (-1{,}42 + 20{,}5)/2 = 9{,}54°.$$

При определении площади доски в плане и её веса в воде угол атаки ваера у доски задают в пределах $\alpha_0 = 15$–$30°$, а угол крена φ_0 рассчитывают в программе CM-Warp [2].

Доски проекта 2490 были лишены запаса устойчивости к крену из-за того, что у них $\widetilde{M}_X^{\lambda} \approx 0$, и поэтому на промысле они совершали колебания по крену (Норинов, 1996).

Ведущий инженер НБАМР В.А. Кузик предложил для увеличения поперечной устойчивости равновесия досок проекта 2490 подключать лапки не к щитку доски, как в проекте Аугулиса, а на планке, которая проходит по всей высоте доски и находится на расстоянии 0,1 м от щитка доски (рис. 3). Это позволило увеличить ординату точки крепления лапки с проектного $y_1 = y_2 = y_E$=0,033 м, когда лапки подключались непосредственно к щитку доски, до $y_1 = y_2 = y_E$=0,133 м и повысить поперечную устойчивость движения доски. Расчёты, описанные ниже, выполнены для траловой доски проекта 2490, модернизированной В.А. Кузиком.

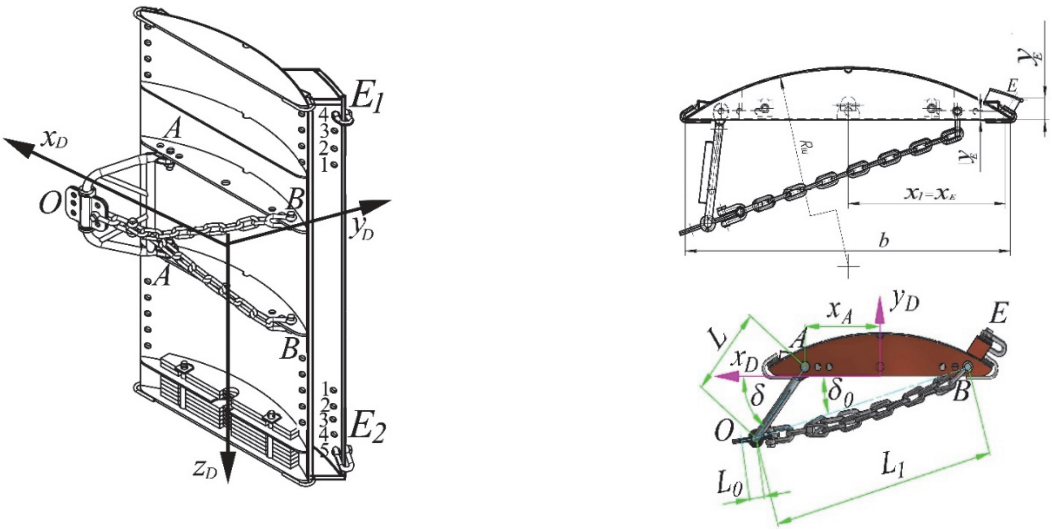


Рис. 3. Прямоугольная цилиндрическая траловая доска проекта 2490
с продольной планкой для крепления лапок
Fig. 3. Rectangular cylindrical trawl board of project 2490
with a longitudinal bar for fastening the legs

Используя программу CM-Warp, определяются параметры ваера:

$$\alpha_0 = 20°;\ \varphi_0 = -27{,}4°;\ T_0 = 87{,}5\ \text{кН};\ l_W = 427\ \text{м};\ R_X^W = 1{,}41\ \text{кН};\ x_B = 366\ \text{м},$$

где l_W, R_X^W – длина и сопротивление ваера; x_B – абсцисса ваерного блока, см. рис. 1.

Из уравнения (2) можно определить площадь доски в плане $S = 8{,}1\ м^2$, из (3) – вес траловой доски в воде $Q = 15355$ Н, из (4) – массу $M = 1801$ кг.

Из параметрического ряда выбирается траловая доска проекта 2490 площадью в плане $S = 8\ м^2$ и массой $M = 1810$ кг, параметры которой практически совпадают с расчётными.

Для несимметричной траловой системы с ваерами правой свивки по обоим бортам определим координаты точек подключения лапок и ваеров к выбранной выше доске $S = 8$ м^2 ($b = 2$ м – хорда, $h = 4$ м – высота). Далее расчеты выполняются для раздельной схемы лапок, как чаще используемой на промысле.

При моделировании несимметричных траловых систем необходимо выполнить главное условие: диаметральные плоскости трала и судна должны совпадать. Откуда вытекают следующие параметры левой и правой траловых досок.

Параметры доски левого борта: $\alpha_D^л = 20°$; $C_{X_V}^D = 0{,}4$; $C_{Y_V}^D = 1{,}28$; $C_{Z_V}^D = 0$; $C_{X_V}^\alpha = 1{,}2$; $C_{Y_V}^\alpha = 1{,}0$; $x_D^\alpha = 0{,}4$ м; $x_C = 0{,}07$ м; $y_C = 0{,}08$ м; $z_C = 0{,}59$ м; $x_D(20°) = 0{,}12\,b = 0{,}24$ м; $y_D = z_D = 0$;

$$x_E = -0{,}47b = -0{,}94\ м;\quad y_E = 0{,}133\ м,$$

где C_{XV}^α; C_{YV}^α – производные от коэффициентов гидродинамических сил доски по углу атаки α_D.

Параметры доски правого борта: $\alpha_D^п = 15°$; $C_{X_V}^D = 0{,}28$; $C_{Y_V}^D = 1{,}22$; $C_{Z_V}^D = 0$; $C_{X_V}^\alpha = 1{,}1$; $C_{Y_V}^\alpha = 2{,}27$; $x_D^\alpha = 0{,}8$ м; $x_C = 0{,}07$ м; $y_C = 0{,}08$ м; $z_C = 0{,}59$ м; $x_D(15°) = 0{,}1\,b = 0{,}2$ м; $y_D = z_D = 0$;

$$x_E = -0{,}47b = -0{,}94\ м;\quad y_E = 0{,}133\ м.$$

Значения гидродинамических коэффициентов и производных от них взяты из графиков гидродинамических коэффициентов доски [2].

Используя формулы (2–8) и координаты точки крепления дуги ***A:*** x_A=0,5 м; y_A=0 (рис. 4); при длине дуги L=0,7 м, найдены параметры досок:

- левой:

$\lambda_D^л$=7°; $\delta_D^л$= - 62°; M_Z^α = - 148 кНм; M_X^λ = - 10,8 кНм;

$x_0^л$=0,73; $y_0^л$= - 0,45; $z_0^л$=0,01 м;

$x_1^л$= - 0,94; $y_1^л$= - 0,133; $z_1^л$= - 1,2 м;

$x_2^л$= - 0,94; $y_2^л$= - 0,133; $z_2^л$=1,8 м;

- правой:

$\lambda_D^п$=5,5°; $\delta_D^п$= - 43,4°; M_Z^α = - 158 кНм; M_X^λ = - 12,4 кНм;

$x_0^п$=0,86; $y_0^п$= - 0,35; $z_0^п$=0,02 м;

$x_1^п$= - 0,94; $y_1^п$= - 0,133; $z_1^п$= - 1,2 м;

$x_2^п$= - 0,94; $y_2^п$= - 0,133; $z_2^п$=1,8 м;

где M_Z^α, M_X^λ – производные от моментов по углу атаки и крена; δ – угол между плоскостью дуги и плоскостью доски (x_D z_D), см. рис. 3.

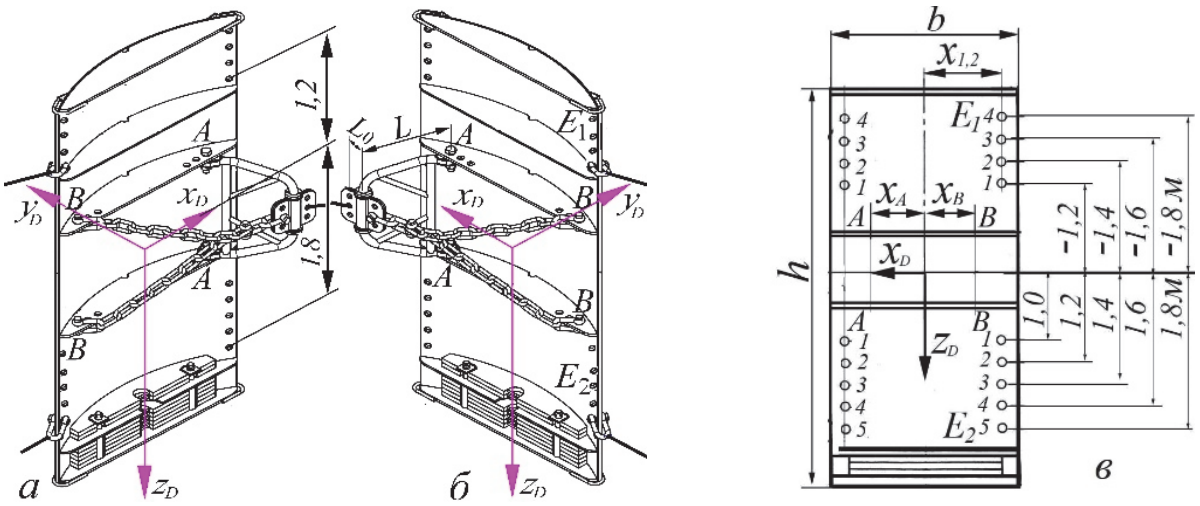


Рис. 4. Траловые доски (левая а и правая б) площадью в плане $S = 8\,м^2$;
в – аппликаты точек подключения верхней и нижней лапок
Fig. 4. Trawl boards (left a and right б) with an area in the plan;
в – applications of the connection points of the upper and lower legs

Отрицательные значения производных от главных моментов указывают на то, что доски работают устойчиво. Расчёты показали, что верхнюю лапку надо крепить в первое отверстие сверху доски, нижнюю – в пятое отверстие снизу доски, а ваер крепить в среднее отверстие планки для подключения ваера, рис. 4. За счёт выбора длин цепей необходимо обеспечить углы между дугой и плоскостью доски: для левой доски $\delta = -62°$, а для правой – $\delta = -43{,}4°$.

При моделировании также использовались геометрические соотношения:

$$x_0 = x_A + L\cos\delta + L_0\cos\delta_0;\ y_0 = y_A + L\sin\delta + L_0\sin\delta_0;$$
$$\cos\delta_0 = (AB + L\cos\delta)/L_1;\ \sin\delta_0 = L\sin\delta/L_1;\ \delta,\delta_0 \in (-0{,}5\pi \div 0); \quad (9)$$
$$L_1 = \sqrt{L^2 + (AB)^2 + 2L(AB)\cos\delta};\ (AB) = x_A + |x_B|;$$

где L_0 – расстояние между точкой *O* и осью вращения планки для крепления ваера; L_1 – расстояние от оси вращения планки для подключения ваера до прямой *BB (B* – точка закрепления цепи к доске*)*; δ – угол между траловой дугой и плоскостью доски ($x_D\ z_D$); δ_0 – угол между плоскостью цепей и плоскостью доски; *AB* – расстояние между центрами отверстий в стрингере для крепления дуги и цепи, см. рис. 3.

Для получения области устойчивости доски на плоскости $(y_0 y_1)$ запишем уравнения:

$$\widetilde{M}_Z^{\alpha} = 0 \Rightarrow 0{,}67\ y_0 - 0{,}38\ y_1 - 2{,}56 = 0 \Rightarrow \frac{y_0}{0{,}262} + \frac{y_1}{-0{,}148} = 1. \quad (10)$$

$$\widetilde{M}_X^{\lambda} = 0 \Rightarrow 0{,}197\,y_1 - 0{,}164\,y_0 - 0{,}7785 = 0 \Rightarrow \frac{y_0}{-0{,}21} + \frac{y_1}{0{,}25} = 1. \quad (11)$$

Прямая (10) делит плоскость на две полуплоскости, в одной из которых выполняется условие $\widetilde{M}_Z^{\alpha} < 0$, а в другой – $\widetilde{M}_Z^{\alpha} > 0$. Прямая (11) делит плоскость $(y_0 y_1)$ на две полуплоскости, в одной из которых выполняется условие $\widetilde{M}_Z^{\lambda} < 0$, а в другой – $\widetilde{M}_Z^{\lambda} > 0$. В области устойчивости должны выполнятся два условия: $\widetilde{M}_Z^{\alpha} < 0$, $\widetilde{M}_Z^{\lambda} < 0$. Требования $y_0 < 0, y_1 > 0$ накладывают дополнительные ограничения на выбор области устойчивости траловой доски.

Области устойчивости доски проекта 2490, модернизированной В.А. Кузиком, показаны на рис. 5.

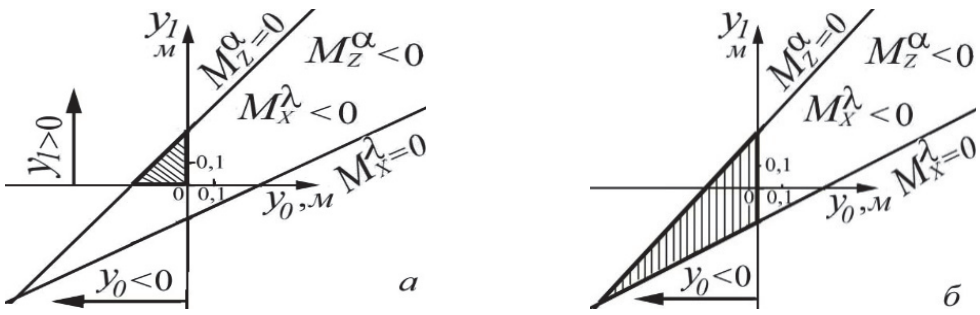


Рис. 5. Области, где выполняются условия продольной и поперечной устойчивости траловых досок проекта 2490: а – $\widetilde{M}_z^{\alpha} < 0, \widetilde{M}_x^{\lambda} < 0,\ y_0 < 0, y_1 > 0$; б – $\widetilde{M}_z^{\alpha} < 0, \widetilde{M}_x^{\lambda} < 0, y_0 < 0$ при креплении лапок в крайние отверстия планки, предложенной В.А. Кузиком

Fig. 5. Areas where the conditions of longitudinal and transverse stability of the trawl boards of project 2490 are fulfilled: a – $\widetilde{M}_z^{\alpha} < 0, \widetilde{M}_x^{\lambda} < 0,\ y_0 < 0, y_1 > 0$; б – $\widetilde{M}_z^{\alpha} < 0, \widetilde{M}_x^{\lambda} < 0, y_0 < 0$ when attaching the legs to the extreme holes of the plank proposed by V.A. Kuzik

Рассмотрим результаты экспериментальных работ, проведённых 26 сентября 1988 г. Севастопольской базой подводных исследований. Эксперимент выполнялся на судне РТМС «Новоельня» типа «Прометей». На рис. 6 показан трал 118/620 м Находкинской БАМР с результатами выполненных замеров.

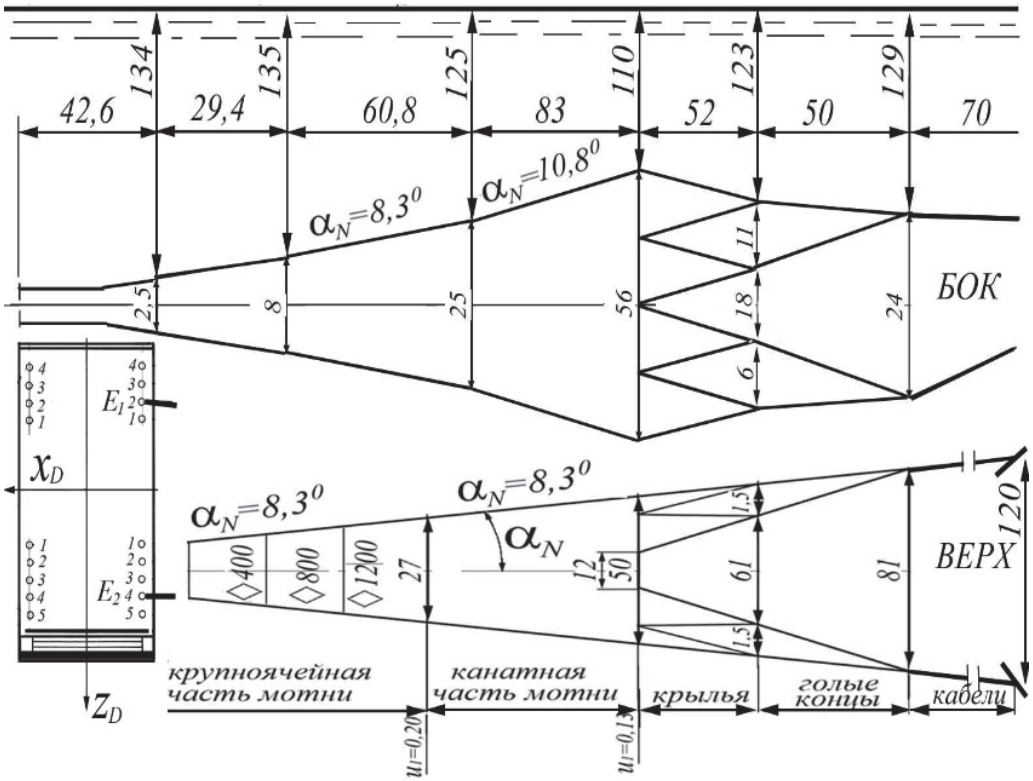


Рис. 6. Результаты экспериментальных исследований трала 118/620 м
Fig. 6. Results of experimental studies of the 118/620 m trawl

Трал 118/620 м был вооружён досками площадью в плане S=8 м^2. Замеренные параметры: углы атаки досок α_D=17–19°, крен досок на спину λ_D=10–15°, угол между дугой и доской δ=54–68°, глубина хода траловых досок h_1=130 м, расстояние между досками B_D=120 м. Лапки доски крепились: верхняя – во второе отверстие, а нижняя – в четвертое отверстие, рис. 6. Использовался траловый мешок длиной 42,6 м.

Заключение

Сравнение расчётных данных с данными эксперимента показывает, что расчётные параметры досок близки к параметрам, замеренным на промысле, что подтверждает адекватность математических моделей (1–9), используемых при математическом моделировании.

Список источников

1. Аугулис П.П., Еремеев Ю.А. Новые конструкции траловых крыловидных досок // Рыбное хозяйство. 1985. № 6. С. 56–57.

2. Габрюк В.И. Механика орудий рыболовства в математических моделях, алгоритмах и компьютерных программах. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2011. 519 с.

3. Габрюк В.И., Габрюк А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ CM-Warp – Компьютерное моделирование канатов для буксировки орудий рыболовства. № 2001611049, зарег. в Реестре программ для ЭВМ. Москва, 20.09.2001.

4. Карпенко В.П., Фридман А.Л. Устройства раскрытия рыболовных тралов. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 248 с.

5. Корниенко И.А. Методика определения гидродинамических характеристик траловых досок при помощи программного пакета SolidWorks Flow Simulation // Изв. ТИНРО. 2016. Т. 185. С. 112–120.

6. Норинов Е.Г. Методы сбора информации для прогнозирования состояния биологических ресурсов рыболовства. Владивосток: Дальрыбвтуз, 1996. 100 с.

7. Рыкунов Э.М. Исследование работы семи конструкций траловых досок в пелагическом варианте траления // Изв. ТИНРО. 1972. Т. 84. С. 130–145.

8. Gabryuk V.I., Kudakaev V.V. Mathematical models that underlie computer simulation of the trawl doors for Mid-Water Trawls // Ocean and Polar Research. March 2020. Vol. 42(1): 1–12.

9. Reite K-J. Modeling and control of trawl systems. Doctoral thesis for the degree of doctor ingeniØr. Trondheim: NTNU, 2006. 250 p.

10. Stengel H., Fridman A.L. Fishfanggeräte. Berlin: Veb Verlag Technik, 1977. 332 s.

References

1. Augulis P.P., Yeremeev Yu.A. New designs of trawl wing-shaped boards // Fisheries. 1985. No. 6. pp. 56–57.

2. Gabryuk V.I. Mechanics of fishing implements in mathematical models, algorithms and computer programs. Vladivostok: Dalrybvtuz, 2011. 519 p.

3. Gabryuk V.I., Gabryuk A.V. Certificate of state registration of CM-Warp computer program – Computer modeling of ropes for towing fishing gear. No. 2001611049, Registered in the Register of Computer programs, Moscow 09/20/2001.

4. Karpenko V.P., Friedman A.L. Devices for opening fishing trawls. M.: Food. prom-st, 1980. 248 p.

5. Kornienko I.A. Methodology for determining the hydrodynamic characteristics of trawl boards using the SolidWorks Flow Simulation software package // From. TINRO. 2016. Vol. 185. pp. 112–120.

6. Norinov E.G. Methods of collecting information for predicting the state of biological fishing resources. Vladivostok: Dalrybvtuz, 1996. 100 p.

7. Rykunov E.M. Investigation of the work of seven designs of trawl boards in the pelagic version of trawling // Izv. TINRO. 1972. Vol. 84. pp. 130–145.

8. Gabryuk V.I., Kudakaev V.V. Mathematical models that underlie computer simulation of the trawl doors for Mid-Water Trawls // Ocean and Polar Research. March 2020. Vol. 42(1): 1–12.

9. Reite K-J. Modeling and control of trawl systems. Doctoral thesis for the degree of doctor ingeniØr. Trondheim: NTNU, 2006. 250 p.

10. Stengel H., Fridman A.L. Fishfanggeräte. Berlin: Veb Verlag Technik. 1977. 332 s.

Информация об авторах

В.И. Габрюк – консультант по проэктированию, доктор технических наук, профессор;

В.В. Кудакаев – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленного рыболовства;

Е.Е. Мазур – директор ООО «Приморский канат».

Information about the authors

V.I. Gabruk – Technical design consultant, Doctor of Technical Sciences, Professor;
V.V. Kudakaev – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries;
E.E. Mazur – Director of Primorsky Rope LLC.

Статья поступила в редакцию 16.02.2024; одобрена после рецензирования 12.03.2024;

принята к публикации 18.03.2024.

The article was submitted 16.02.2024; approved after reviewing 12.03.2024; accepted for publication 18.03.2024.

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 89–95.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 89–95.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья

УДК 639.2.081.1; 66.012, 621.337.1, 550.34.01, 004.032.26

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-08

Физическое и компьютерное моделирование канатно-сетной конструкции траловой системы

Александр Алексеевич Недоступ [1], Алексей Олегович Ражев [2]

[1,2] Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

[1] nedostup@klgtu.ru

[2] progacpp@live.ru

Аннотация. Приводятся результаты исследований процессов моделирования канатных разноглубинных тралов в специализированном отечественном программном продукте (САПР-ОР) и в гидроканале «Фишеринг Сервис» (г. Калининград). Верификация процесса траления модели разноглубинного трала N-MWT-m1 3,3/12,0 м, проведенная на экспериментальной установке, позволит с точностью не менее 90 % применять компьютерные технологии, используемые в САПР-ОР. Производительность траловой системы зависит от мощности траловой системы, которая в свою очередь зависит от мощности главного двигателя судна и тем самым от расхода топлива. Важным, дальнейшим этапом исследований является определение возможностей снижения потребления энергии главного двигателя, его экономичности, а также снижения углеродного следа.

Ключевые слова: моделирование, траловые конструкции, модели, траловая система, гидроканал, эксперименты

Финансирование: исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по теме «Разработка физических, математических и предсказательных моделей процессов эксплуатации донного и разноглубинного траловых комплексов».

Для цитирования: Недоступ А.А., Ражев А.О. Физическое и компьютерное моделирование канатно-сетной конструкции траловой системы // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 88–95.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-08

© Недоступ А.А., Ражев А.О., 2024

Software for determination of physical and mechanical properties of synthetic fishing materials

Aleksandr A. Nedostup [1], Alexey O. Razhev [2]

[1,2] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

[1] nedostup@klgtu.ru

[2] progacpp@live.ru

Abstract. The article presents the results of research on the processes of modeling midwater rope trawls of different depths in a specialized Russian software product (CAD-FG) and in the Fishering Service flume tank (Kaliningrad). Verification of the trawling process of the N-MWT-m1 3.3/12.0 m midwater trawl model, carried out at an experimental installation, will allow for the application of computer technologies used in CAD-FG with an accuracy of at least 90 %. The performance of the trawl system depends on the power of the trawl system, which in turn depends on the power of the main engine of the vessel and thus on fuel consumption. An important further stage of research is to determine the possibilities of reducing the energy consumption of the main engine, its efficiency, as well as reducing the carbon footprint.

Keywords: modeling, trawl structures, models, trawl system, hydraulic channel, experiments

Funding: the study was carried out as part of the state assignment on the topic «Development of physical, mathematical and predictive models for the operation of bottom and mid-water trawl systems».

For citation: Nedostup A.A., Razhev A.O. Software for determination of physical and mechanical properties of synthetic fishing materials. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University.* 2024; 67(1):88–95. (in Russ.).

Введение

Физическое и компьютерное моделирование канатно-сетной конструкции траловой системы необходимо выполнять на стадии проектирования, это сопряжено с большими трудностями, а именно: наличие экспериментальной установки, позволяющей проводить необходимые опыты, причем с учетом минимизации масштабного эффекта при создании конструкции траловой системы [1]. Инженерная конструкция, которая в процессе траления меняет форму, изображена на рис. 1.

В настоящее время программных продуктов, которые используются при проектировании орудий промышленного рыболовства, достаточно большое количество (рис. 2).

Главной составляющей всех ПО (рис. 2) является модуль гетерогенных и параллельных вычислений. Это сопряжено с множеством операций, которые необходимо произвести при расчете гидродинамических характеристик траловой формоизменяемой конструкции [1]. При этом нужно понимать, что при любой итерации (операции расчета) вносятся ошибки, которые учесть можно только проводя соответствующие эксперименты на физических моделях. Но проблема расчета натурных орудий промышленного рыболовства остается актуальной, так как верификация возможна только с учетом экспериментальных исследований на опытных образцах, которые в десятки и сотни раз меньше.

В этом случае прибегают к теории подобия, которая справляется с данными проблемами и позволяет получить точный результат при условии известных масштабных эффектов. Такая теория выведена в КГТУ [2].

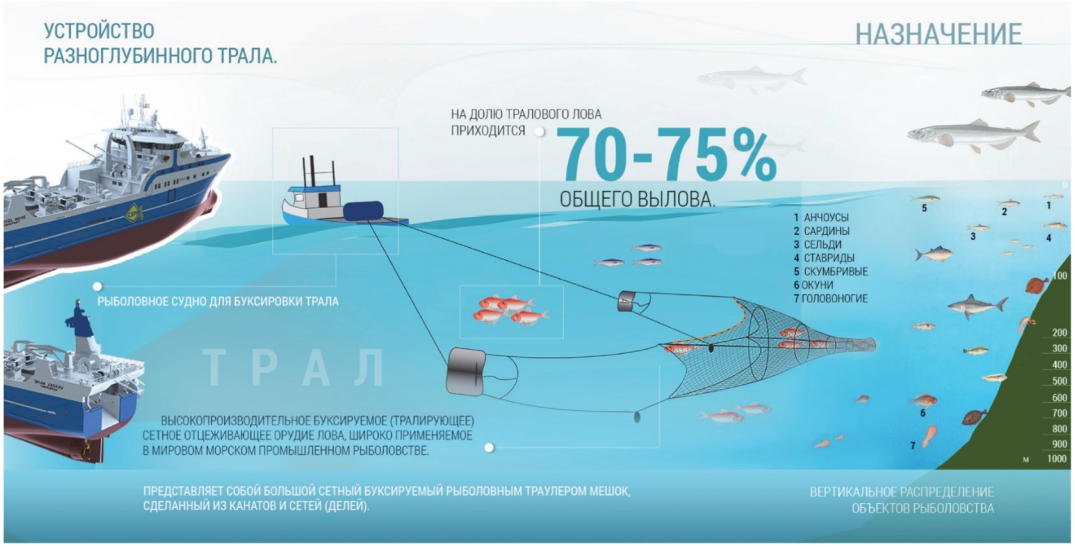


Рис. 1. Разноглубинный траловый комплекс
Fig. 1. Midwater trawl complex

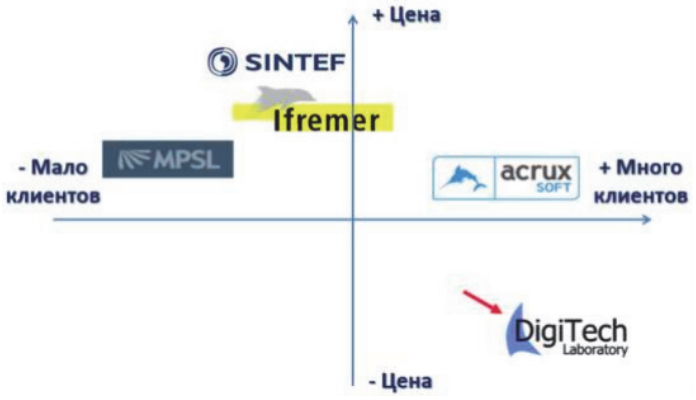


Рис. 2. Программные продукты
Fig. 2. Software products

Цель и задачи

С точки зрения описания механики траловые системы представляют собой набор канатно-веревочных и ниточных элементов (более миллиона), поэтому предпочтительней выполнять расчет с помощью метода точечных масс [3]. На рис. 3 изображен разноглубинный трал. Траловые системы в процессе облова скоплений гидробионтов изменяют свою форму, так, в ООО «Фишеринг Сервис» «Супер Шквал 2600». Рассчитать такой трал с достаточной и необходимой точностью по элементам сложно и долго, а в некоторых случаях при большом количестве элементов невозможно из-за большой ошибки, которая накапливается при итерациях.

Целью исследования является верификация компьютерного моделирования канатно-сетной конструкции траловой системы с учетом физического моделирования.

Впервые Недоступом А.А. было доказано, что для физического моделирования технических систем должно соблюдаться условие [2]

$$\mathrm{H} = mw^2 = idem\,, \tag{1}$$

где H – производительность сил; m – масса системы; w – ускорение системы.

Рис. 3. Супер Шквал 2600
Fig. 3. Super Squall 2600

Выражение (1) свидетельствует о том, что производительность сил модели трала и его натуры по числовому значению одинаковые и имеют размерность Вт/с. Процесс физического моделирования траловых конструкций выполняется с учетом (1), при этом сложности возникают при выполнении критерия Фруда, так как нельзя смоделировать ускорение свободного падения g, оно всегда на поверхности Земли равно g=9,78÷9,82 Н/м^2. Для тралового лова силы веса в воде не влияют на процесс траления так, как гидродинамические силы, создаваемые канатно-сетной частью трала и его оснастки с траловыми досками. Экспериментальные исследования на моделях трала подтвердили эти заключения, что в свою очередь добавило оптимизма для дальнейшей разработки и применения теории подобия [3].

Опытные данные на моделях разноглубинных тралов позволили получить аппроксимирующие зависимости коэффициента гидродинамического сопротивления траловой оболочки, а также зависимости раскрытия устья трала от приложенных сил оснастки, что позволило выделить в явном виде данные о сопротивлении тралов.

Для разработки САПР последовала задача в систематизации, анализе и синтезе большого объема данных, полученных с различных физических экспериментов, что привело к необходимости разработки компьютерной программы, способной численно рассчитывать канатно-сетную часть траловой системы. Причем расчет физико-механических характеристик нужно производить с учетом чертежа канатно-сетной части трала. Компьютерная программа предназначена для САПР тралов [4].

Материалы и методы исследований

С целью получения точной системы вычислений геометрических и силовых характеристик траловой системы была разработана САПР-ОР [5]. Программа позволяет создавать чертежи разноглубинных тралов и моделировать процесс траления (рис. 4).

На рис. 5 изображены проекции траловой системы. Цвет канатно-сетных элементов отображает силу натяжения в элементе.

Верификация полученных результатов проводилась в гидроканале (рис. 6).

На рис. 7 изображена приборная база для проведения экспериментов в гидроканале «Фишеринг Сервис».

Проведенные эксперименты позволили получить необходимые и достоверные данные по сопротивлению траловой системы, раскрытию устья трала, а также форме канатных связей и ячей по всей оболочке разноглубинного трала с учетом съячейки и шворки. Точность расчетов силовых и геометрических характеристик модели разноглубинного трала N-MWT-m1 3,3/12,0 м составила не менее 90 %.

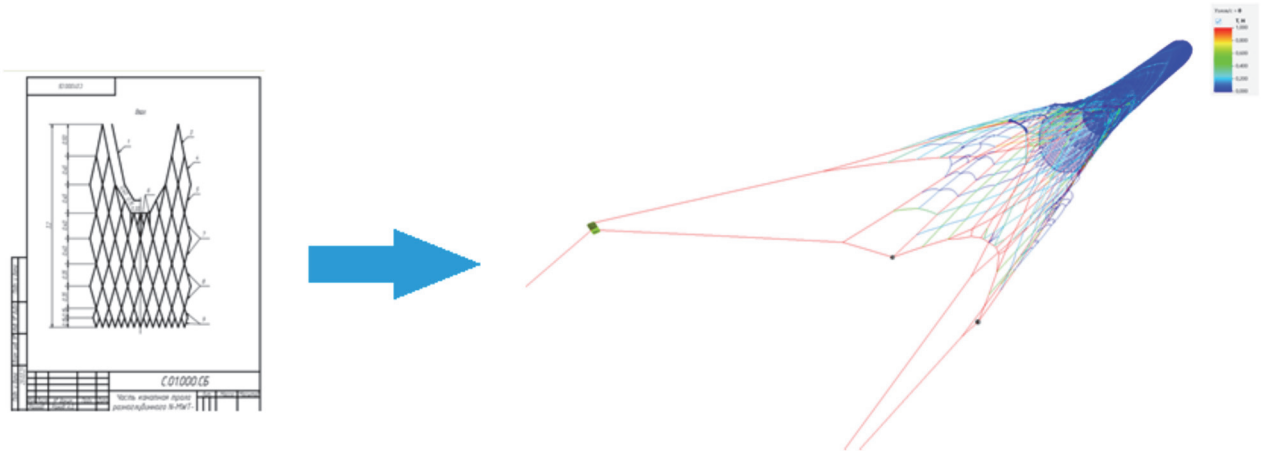


Рис. 4. Компьютерное моделирование траловой системы
Fig. 4. Computer simulation of the trawl system

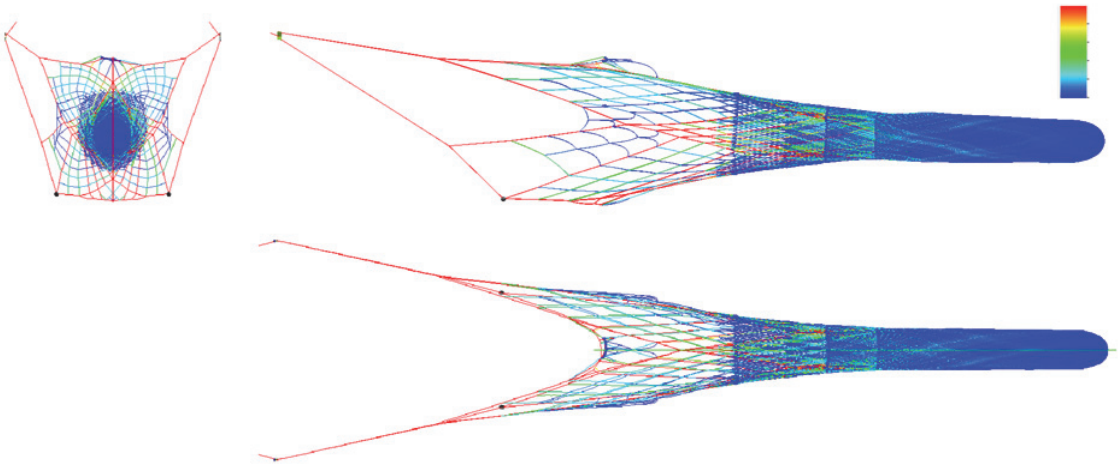


Рис. 5. Проекции траловой системы
Fig. 5. Projections of the trawl system

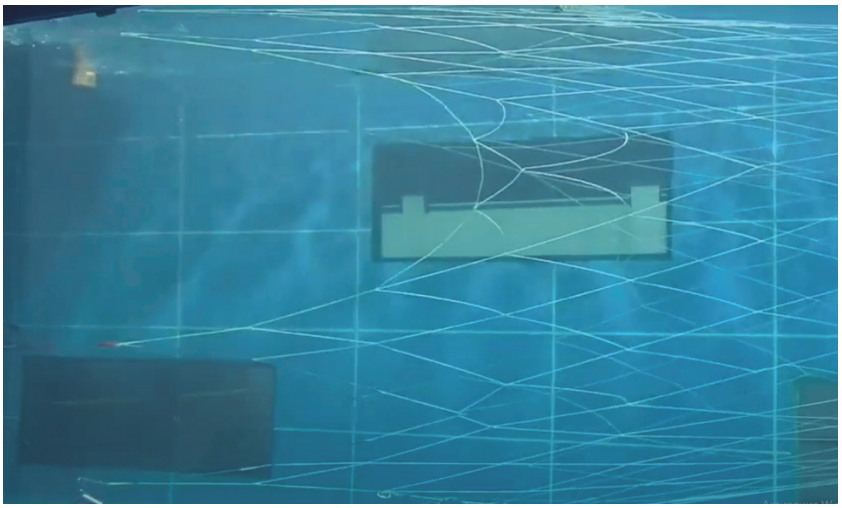


Рис. 6. Эксперименты с тралом в гидроканале
Fig. 6. Experiments with trawl in flume tank

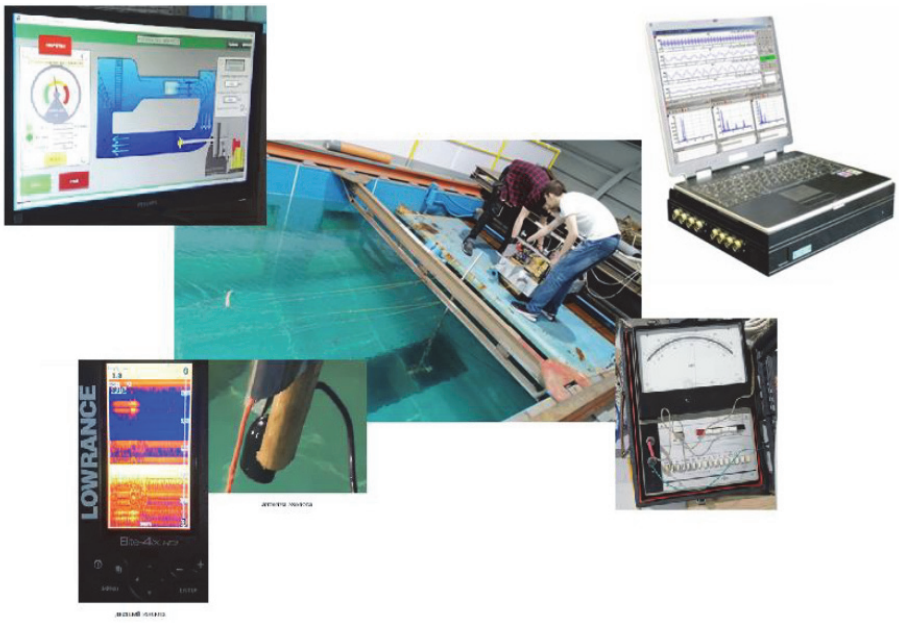


Рис. 7. Приборная база для проведения экспериментов в гидроканале
Fig. 7. Instrumentation base for conducting experiments in flume tank

Результаты и их обсуждение

Физическое и компьютерное моделирование траловых конструкций должны дополнять друг друга. Это касается в первую очередь аппроксимации нелинейных зависимостей с точки зрения наличия коэффициентов сопротивления канатов, веревок и ниток, а также их физико-механических свойств. Важным средством для верификации результатов компьютерного моделирования является верификация полученных данных с помощью мультифизических моделей траловых систем. Повышение точности сопряжено с большими трудностями в применении методов расчета и аппроксимации нелинейных зависимостей. Возможности учета нелинейности и учета всевозможных ошибок, которые накапливаются в процессе итерационных расчетов, целесообразно проводить параллельно с вычислением потоков воды вокруг трала и его элементов, а также полей давлений с применением уравнения Навье-Стокса и уравнения неразрывности.

Заключение

Физическое и компьютерное моделирование канатно-сетной конструкции траловой системы дополняют друг друга. При физическом моделировании накапливается опыт проведения экспериментов, минимизируется ошибка постановки и проведения исследований, ведется поиск новых приборов, которые способны получить те или иные данные траловых систем. Так, к примеру, целесообразным является применение в опытах с траловыми системами измерительных комплексов, которые способны получить данные о полях скоростей и давлений вблизи канатно-сетных элементов траловых конструкций. Что является необходимым для процесса верификации математического моделирования всей траловой системы.

Список источников

1. Недоступ А.А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. Томск. 2012. №. 3(19). С. 55–67.

2. Недоступ А.А., Ражев А.О. Создание правил мультифизического подобия тралового комплекса // Морские интеллектуальные технологии. 2021. Т. 1, № 1. С. 132–137.

3. Недоступ А.А., Ражев А.О., Коротков В.К. Моделирование композитных сетных конструкций методом точечных масс при динамической постановке задачи // Морские интеллектуальные технологии. 2018. № 4-4(42). С. 254–258.

4. Недоступ А.А., Ражев А.О. Модуль САПР тралов «Моделирование характеристик разноглубинного трала (заданы безразмерные параметры)»: материалы XI Междунар. Балтийского морского форума 25 сентября – 30 сентября 2023 года «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», XI Национальная научная конференция с международным участием. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. С. 253–259.

5. Система автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства (САПР-ОР). URL: https://digitechlab.ru (дата обращения: 02.03.2024).

References

1. Nedostup A.A. Fizicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskih processov dvizhenija orudij rybolovstva [Physical modeling of hydrodynamic processes of movement of fishing gear]. Bulletin of Tomsk State University. Mathematics and mechanics. Tomsk. 2012. No. 3(19). pp. 55–67.

2. Nedostup A.A., Razhev A.O. Sozdanie pravil mul'tifizicheskogo podobija tralovogo kompleksa [Creation of rules for the multiphysical similarity of a trawl complex]. Marine intelligent technologies. 2021. Vol. 1, No.1. pp. 132–137.

3. Nedostup A.A., Razhev A.O., Korotkov V.K. Modelirovanie kompozitnyh setnyh konstrukcij metodom tochechnyh mass pri dinamicheskoj postanovke zadachi [Modeling of composite mesh structures by the method of point masses in the dynamic formulation of the problem]. Marine intelligent technologies. 2018. No. 4–4(42). pp. 254–258.

4. Nedostup A.A., Razhev A.O. Modul' SAPR tralov "Modelirovanie harakteristik raznoglubinnogo trala (zadany bezrazmernye parametry)" [The CAD module of trawls "Modeling the characteristics of a multi-depth trawl (dimensionless parameters are set)"]. Proceedings of the XI International Baltic Maritime Forum September 25 – September 30, 2023 "Marine engineering and Technology. Safety of the marine industry", XI National Scientific Conference with international participation. Kaliningrad: Publishing house of BGARF FGBOU VO "KSTU", 2023. pp. 253–259.

5. System of computer-aided design of industrial fishing gear (CAD-FG). URL: https://digitechlab.ru (access date: 03.02.2024).

Сведения об авторах

А.А. Недоступ – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства, SPIN-код: 7035-5279, AuthorID: 393895;

А.О. Ражев – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, SPIN-код: 4535-5888, AuthorID: 723215.

Information about the authors

A.A. Nedostup – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Commercial Fisheries, SPIN-code: 7035-5279, AuthorID: 393895;

A.O. Razhev – PhD in Engineering Sciences, Leading Researcher, SPIN-code: 4535-5888, AuthorID: 723215.

Статья поступила в редакцию 06.03.2024; одобрена после рецензирования 11.03.2024; принята к публикации 20.03.2024.

The article was submitted 06.03.2024; approved after reviewing 11.03.2024; accepted for publication 20.03.2024.

Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 96–115.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2024. Vol. 67, no 1. P. 96–115.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Обзорная статья

УДК 639.3.05

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-09

Использование биофлок-технологии при подращивании гидробионтов на базе установок замкнутого водоснабжения: возможности применения технологии в условиях Дальнего Востока России

Сергей Александрович Низяев [1], Елена Максимовна Латковская [2], Юрий Андреевич Ревин [3]

[1,2] Сахалинский государственный университет, Южно-Сахалинск, Россия

[3] Ассоциация социальных предпринимателей Сахалинской области, Южно-Сахалинск, Россия

[1]nizyaev.sa@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0001-7426-1535

[2] elena-sazon02@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0002-1198-0038

[3] ase65@bk.ru

Аннотация. Проведен анализ преимуществ и недостатков аквакультурных систем, использующих микроорганизмы разной трофической принадлежности для контроля качества воды при содержании морских гидробионтов в замкнутом цикле. Обсуждаются элементы азотного и углеродного обмена в замкнутом цикле, особенности и потребности в ресурсах, необходимых для достижения и стабильности гидрохимических параметров, приемлемых для подращивания гидробионтов. Особое место отводится рассмотрению технологии биофлок (BioFloc Technology – BFT), которая на Дальнем Востоке России пока не используется. Системы BioFloc существенным образом отличаются от традиционных систем кормления гидробионтов и контроля гидрохимических параметров в УЗВ и представляют собой технологический прорыв в аквакультуре. Выявленные ограничения и недостатки использования биофлоков в индустриальной аквакультуре для северных районов заключаются в повышении энергопотребления для активной аэрации, увеличении эмиссии CO_2, ограниченном перечне бореальных видов, дополнительном контроле видового состава микроорганизмов. Тем не менее представляется, что для субарктических регионов Дальнего Востока использование биофлоков в индустриальной аквакультуре имеет ряд неоспоримых преимуществ, значительно снижая капитальные и эксплуатационные расходы на содержание морских гидробионтов при их правильном выборе для культивирования, а также нагрузку на окружающую среду.

Ключевые слова: индустриальная аквакультура, УЗВ, биотехнология, биофлок, биобезопасность

© Низяев С.А., Латковская Е.М., Ревин Ю.А., 2024

Благодарности: работа выполнена в рамках проекта «Приоритеты 2030 ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет».

Для цитирования: Низяев С.А., Латковская Е.М., Ревин Ю.А. Использование биофлок-технологии при подращивании гидробионтов на базе установок замкнутого водоснабжения: возможности применения технологии в условиях Дальнего Востока России // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 67, № 1. С. 96–115.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Review article

DOI: https://doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-67-09

The use of bioflock technology in the cultivation of aquatic organisms on the basis of recirculating water supply installations: the possibilities of using the technology in the conditions of the Russian Far East

Sergey A. Nizyaev [1], Elena M. Latkovskaya [1], Yury A. Revin [3]

[1,2] Sakhalin State University, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

[3] Association of Social Entrepreneurs of the Sakhalin Region, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

[1] nizyaev.sa@yandex.ru, http://orcid.org/0000-0001-7426-1535

[2] elena-sazon02@yandex.ru, http://orcid.org/ http://orcid.org/0000-0002-1198-0038

[3] ase65@bk.ru

Abstract. The article analyzes the advantages and disadvantages of aquaculture systems that use microorganisms of different trophic affiliation to control water quality when keeping marine aquatic organisms in a closed cycle. The elements of nitrogen and carbon exchange in a closed cycle, the features and requirements for resources necessary to achieve and stable hydrochemical parameters acceptable for the cultivation of hydrobionts are discussed. A special place is given to the consideration of the BioFloc Technology (BFT), which is not yet used in the Russian Far East. BioFloc systems differ significantly from traditional systems for feeding aquatic organisms and monitoring hydrochemical parameters in recirculating aquaculture and represent a technological breakthrough in aquaculture. The identified limitations and disadvantages of the use of bioflocks in industrial aquaculture for the northern regions are an increase in energy consumption for active aeration, an increase in CO2 emissions, a limited list of boreal species, and additional control of the species composition of microorganisms. Nevertheless, it seems that for the subarctic regions of the Far East, the use of bioflocks in industrial aquaculture has a number of undeniable advantages, significantly reducing the capital and operating costs for the maintenance of marine aquatic organisms if they are correctly selected for cultivation, as well as the burden on the environment.

Keywords: industrial aquaculture, RAS, biotechnology, biofloc, biosafety

Acknowledgments: the work was carried out within the framework of the project «Priorities 2030 of Sakhalin State University».

For citation: Nizyaev S.A., Latkovskaya E.M., Revin Y.A. The use of bioflock technology in the cultivation of aquatic organisms on the basis of recirculating water supply installations: the possibilities of using the technology in the conditions of the Russian Far East. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2024; 67(1):96–115. (in Russ.).

Введение

Развитие индустрии аквакультуры в значительной мере опережает рост рыболовства, который последние десятилетия находится в состоянии некоторой стагнации [1]. По последним данным FAO, рыбные ресурсы продолжают сокращаться из-за чрезмерного вылова рыбы, загрязнения окружающей среды, плохого управления и других факторов. Доля рыбных запасов, находящихся в пределах биологически устойчивых уровней, снизилась с 90 % в 1974 г. до 64,6 % в 2019 г. [1]. Сектор промыслового рыболовства сегодня недостаточен для удовлетворения потребностей растущего населения Земли, поэтому существует потребность в устойчивых технологиях производства аквакультуры для преодоления огромных различий между спросом и предложением. Аквакультура в плане продовольственной безопасности доказанно является более перспективным направлением, чем промышленное рыболовство, что подтверждается ростом аквакультурного производства в мире за последние десятилетия, близким к экспоненциальному. Общие тенденции и развитие технологических возможностей по наращиванию производства гидробионтов позволяют определить аквакультуру как направление получения продовольствия, которое по сравнению с промышленным рыбным хозяйством является более устойчивым, выгодным и контролируемым.

Несмотря на стремительный рост, аквакультурное производство имеет свои проблемы и ограничения, оказывающие влияние на ее расширение и устойчивость и являющиеся побуждающей причиной усовершенствования производственных технологий [2–4]. В основном они связаны с ресурсным обеспечением производства и экологическими аспектами этой деятельности. В плане потребности в ресурсах определяющей называют стоимость земли и основных компонентов кормов для коммерческой аквакультуры [5, 6]. Затраты на корма составляют не менее 50 % от общих затрат на производство продукции аквакультуры, что обусловлено преимущественно стоимостью белкового компонента коммерческих рационов [7, 8]. Существует множество исследований в направлении снижения стоимости белкового компонента или его замены более доступным источником [9–11]. Помимо коммерческих выгод замена в кормах гидробионтов белка животного происхождения на компоненты, продуцируемые в системе, снижает загрязнение окружающей среды отходами, образующимися при выращивании этих животных кормов.

Экологическая составляющая для аквакультурных производств заключается прежде всего в загрязнении окружающей среды отходами, используемыми химикатами и излишками кормов, представляющими угрозу для местных экосистем [12]. Кроме того, плотные поселения гидробионтов в аквакультуре могут способствовать быстрому распространению болезней и патогенов, снижая эффективность производства, а при интродукции в естественную среду обитания инфицировать диких хозяев [13].

Одним из направлений, позволяющих оптимизировать производство и добиться снижения ущерба окружающей среде, причиняемого аквакультурой [14], является использование технологии «Биофлок» (Biofloc Technology, BFT). Общая идеология развития этой технологии появилась в 70-х гг. прошлого века. Согласно Emerenciano M. et. al. [15] BFT была впервые разработана в начале 1970-х гг. в Ifremer-COP (Французский научно-исследовательский институт эксплуатации моря, Океанический центр Тихого океана), она основана на включении в производственную экосистему микробных сообществ. Миксы микроорганизмов имеют возможность ассимилировать метаболиты для собственного роста, предотвращая загрязнение среды отходами жизнедеятельности выращиваемых животных и позволяя использовать

производство микробного белка как дополнительный источник белковой пищи [16]. Это является своего рода аналогом миксов автотрофных и гетеротрофных микроорганизмов, которые в природной водной среде могут образовывать особую микросферу, ассоциированную вокруг фитопланктонной клетки, иногда называемую фикосфера («phycosphere») [17].

Основой равновесия в любой системе интенсивной аквакультуры является круговорот базовых химических элементов, составляющих сложные органические соединения, участвующие в жизни аквакультурных сообществ. Сложность этих процессов зависит от сложности поддерживаемой в аквакультурном хозяйстве экосистемы и способов ее контроля. Прежде чем судить о возможностях применения технологии в различных условиях, разберемся в принципах организации традиционных и биофлоковых систем, организованных в прудах (бассейнах) и установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), или «recirculatory aquaculture system» (RAS) [18]. Интерес к закрытым системам аквакультуры растет в основном из-за биобезопасности (снижения опасности инвазий патогенных видов) [19], экологических и маркетинговых преимуществ. Поскольку мы пытаемся рассмотреть особенности расширения технологии BFT на условия морских вод северных районов (районы Дальнего Востока России), то наш обзор более подробно будет освещать варианты индустриальной аквакультуры в морских УЗВ и установках с нулевым водообменом.

Основные технологии, используемые при подращивания гидробионтов, и условия, определяющие их применение

Любая аквакультурная система характеризуется особенностями обращения биогенных элементов, основным из которых является азот. Цикл азота представляется важнейшим в причастности к органической природе, поскольку, переходя от азота в атмосфере к формам, используемым растениями и животными, и обратно, он имеет ряд трудно контролируемых промежуточных токсических соединений. Вариантность решений контроля над циклом азота, помимо условий содержания объекта аквакультуры, в основном и является источником многообразия аквакультурных систем и поиска новых устойчивых способов контроля качества воды. Это отражается в развитии аквакультуры от простых, но затратных систем к более сложным, но более устойчивым и экономически эффективным.

Основным источником азота в аквакультурных системах является корм (его белковый компонент). Азот, содержащийся в корме или питательных добавках в соответствии с коэффициентом усвоения, потребляется целевым организмом и выводится как продукт катаболизма белков в виде аммиака (NH_3) или водной ионизированной форме аммония (NH_4^+). Аммиак существует как одна из сторон равновесия, зависящего от pH и температуры. Во всем диапазоне pH, наиболее часто встречающемся летом в морских водах Японского и Охотского морей (от 7,4 до 8,2 в зал. Восток Японского моря [20] и от 7,5 до 8,3 в зал. Анива Охотского моря [21]), большая доля азота присутствует в воде в виде аммиака в газообразной форме, особенно в гидрологическое лето при повышении температуры. Организм усваивает в среднем около 25 % содержащегося в корме азота, а экскреция остальной его части (75 %) может быть разделена на растворимую фракцию (62 %) и фракцию твердых частиц (13 %) [22–24].

Океанический углеродный цикл содержит растворенные и взвешенные формы как неорганического углерода (CO_2, H_2CO_3, HCO_3^-, CO_3^{2-}), так и органического (белки, липиды, углеводы и нуклеиновые кислоты). В углеродном круговороте морских экосистем происходит преобразование и перераспределение форм углерода между неживой и живой материей. В искусственных аквакультурных системах используется часть этого цикла, действующего между имеющимися в системе объектами и средами. Остальная часть цикла при необходимости замещается искусственно привнесенными компонентами, объединяющими в себе готовый результат этой ее части, как, например, углеродсодержащие корма, произведенные за пределами углеродного цикла аквакультурной системы. Неорганический углерод поступает в

индустриальную систему как продукт дыхания целевого объекта, а органический – в составе корма в виде простых и сложных углеводов, источников энергии. Контроль углеродного цикла не настолько важен, как азотного, поскольку углерод гораздо проще выводится из системы, а оставаясь в ней, не образует токсичных соединений, способных в повышенных концентрациях привести целевые организмы к критически низким темпам развития. Но именно углерод является обязательным компонентом контроля неорганического азота в гетеротрофных системах аквакультуры [25].

Автотрофные бактериальные системы

Автотрофные бактерии (фото- и хемо-) широко распространены в природных водоемах, являясь важной частью биогеохимических циклов всех биогенных элементов как в аэробных, так и в анаэробных условиях среды. В классических рециркуляционных аквакультурных системах, использующих традиционные, наиболее простые решения для удаления токсичного аммиака, обычно применяются биофильтры с автотрофными нитрифицирующими бактериями. Установки замкнутого водоснабжения используют технологию переработки и повторного использования воды после удаления взвешенных веществ и метаболитов с помощью биологической фильтрации, в основе которой лежит процесс нитрификации [26] (рис. 1). В процессе нитрификации происходит ступенчатое окисление аммиака до нитрат-иона [27]. В интенсивных рециркуляционных системах с суточной заменой воды не более 10 % от общего объема и необходимостью удаления из системы твердых отходов (фекалий), ненужных питательных веществ (до 75 % вносимого с кормом азота) накопление продуктов нитрификации в воде со временем неизбежно. Недостаток гетеротрофных денитрифицирующих бактерий в системе препятствует восстановлению окисленных соединений азота, что негативно отражается на качестве воды [28, 29]. Кроме того, исследования показали, что длительное воздействие высоких уровней нитратов может ухудшить показатели роста и здоровья гидробионтов [30, 31]. Поэтому крайне важно поддерживать незначительный уровень нитратов, что в системах с абсолютным преобладанием нитрифицирующих автотрофов достичь довольно сложно.

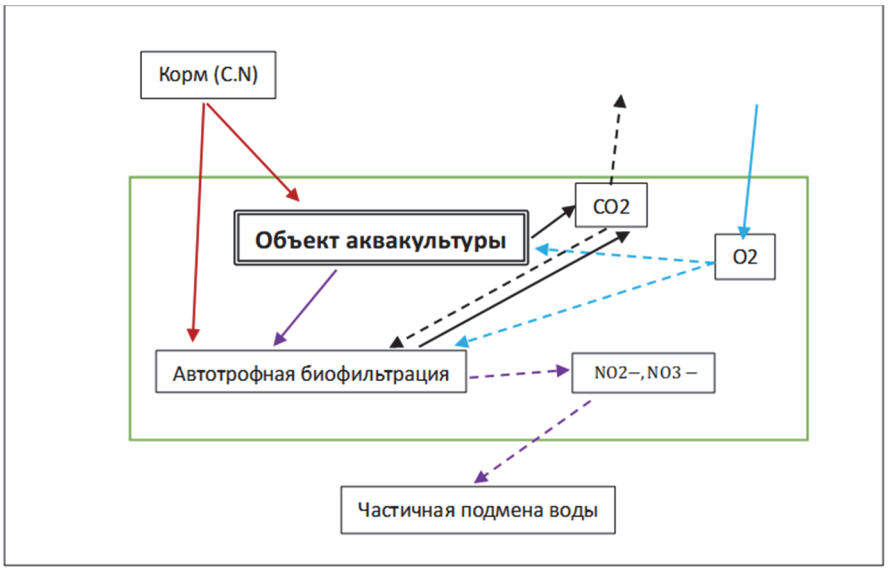


Рис. 1. Динамика основных компонентов в аквакультурной системе с рециркуляцией воды при автотрофной нитрификации
Fig. 1. Dynamics of the main components in an aquaculture system with water recirculation in autotrophic nitrification

Рост гетеротрофных бактерий, как и накопление органического углерода, в этих системах сводятся к минимуму за счет быстрого удаления твердых веществ и остатков корма из системы [32]. Образование бактериальной биомассы автотрофами в отличие от гетеротрофных процессов происходит в гораздо меньших количествах. Цикл углерода в системе сводится к усвоению целевым организмом получаемого с кормом углерода и выделения в процессе дыхания неорганического углерода (CO_2), который используется автотрофными бактериями для питания, а избыток остается в воде, снижая pH, или удаляется в атмосферу. Также колонии автотрофов потребляют значительное количество щелочи и в большом количестве образуют углекислый газ [27]. Для воды с низкой начальной щелочностью это может стать серьезной проблемой, требующей добавления щелочи в виде бикарбоната натрия, извести, гидроксида натрия для поддержания адекватной концентрации, особенно для систем с ограниченным водообменом.

Таким образом, для работы автотрофных бактериальных систем, реализованных в классических УЗВ, необходимо следующее оборудование: резервуары для выращивания; дорогостоящая система фильтров (механические, биофильтры, УФ-установки); система аэрации; система водоснабжения (резервуары-отстойники, насосы для перекачки воды); автономная система генерации электроэнергии [26].

Требуемые ресурсы: источник воды (частичная ежесуточная подмена воды); постоянное бесперебойное электроснабжение (в случае отключения электроэнергии требуется резервное); корм с высоким содержанием белка, содержащий все необходимые минералы и витамины; комплекты для тестирования воды.

В настоящее время это пока наиболее распространенная индустриальная система, и в подавляющем большинстве случаев она является основным типом производственных аквакультурных систем в северных районах (Дальний Восток России). Система после запуска довольно просто и удобно управляется. При налаженном тестировании ключевых параметров устойчивость среды достигается хорошей работой систем фильтрации и своевременной частичной подменой воды в объемах, позволяющих стабилизировать параметры в требуемом диапазоне. Обеспечивается снижение прямых эксплуатационных затрат, связанных с борьбой с хищниками и паразитами [26]; снижение рисков, связанных с климатическими факторами, болезнями и воздействием паразитов.

К недостаткам автотрофных бактериальных систем можно отнести высокие капитальные затраты на рециркуляционное оборудование (фильтры, насосы) и его эксплуатацию; высокую стоимость кормов (белковой части); для северных районов энергетические затраты на подогрев ежесуточно подменяемой воды. В плане влияния на экосистемы сбрасываемые воды, насыщенные биогенами, способствуют эвтрофикации водоемов, куда осуществляется их сброс. Иными способами удалить метаболиты и продукты их переработки автотрофами из системы невозможно.

Фотоавтотрофные системы

Использование в аквакультурных системах фитопланктона (микроводорослей) для поглощения неорганического азота является более продвинутой технологией при подращивании аквакультурных объектов по сравнению с простой бактериальной нитрификацией. В этой системе помимо автотрофных бактерий, которые утрачивают свою доминирующую роль, в качестве основного компонента участвует фотосинтезирующий элемент, позволяющий, помимо нитрификации продуктов метаболизма целевого объекта, восстанавливать и усваивать нитритный и нитратный азот (рис. 2). Поглощение неорганического азота фитопланктоном из водной толщи в фотоавтотрофной системе для аквакультуры является основным путем удаления азота из системы [22]. Аммиак является предпочтительным субстратом азота для фитопланктона, и только после его истощения будут ассимилированы накопленные

количества нитратов [33]. Ассимиляция и включение нитратов является энергетически менее выгодным путем питания азотом для фитопланктона. На каждый грамм аммиачно-азотного раствора, перешедшего в биомассу водорослей, расходуется 18,07 г углекислого газа, а на каждый грамм нитрат-азота – 24,4 г углекислого газа [27]. Значит, 15,14 и 19,71 г кислорода образуются, соответственно, на грамм аммиачно-азотной и на грамм нитратно-азотной смеси. Наконец, на грамм аммиачного или нитратного азота образуется значительное количество биомассы водорослей – 15,85 г. Указанные величины соответствуют стехиометрическим уравнениям происходящих химических процессов. В условиях индустриальных установок и прудовых хозяйств суммарные и удельные показатели этих процессов, помимо доступного количества питательных веществ, зависят от уровня освещения.

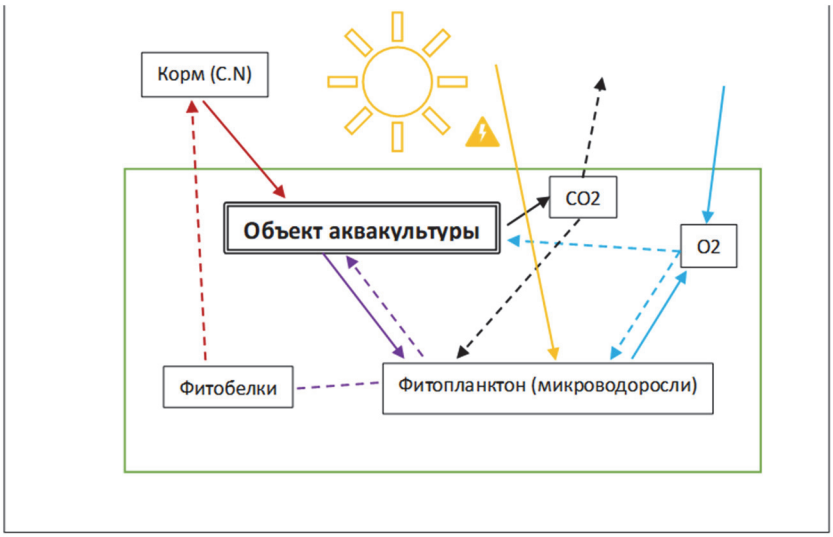


Рис. 2. Динамика основных компонентов в аквакультурной системе при фотоавтотрофной нитрификации
Fig. 2. Dynamics of the main components in the aquaculture system during photoautotrophic nitrification

Фотоавтотрофная система может являться частью биофлоковой системы или ее переходным состоянием. Суточные колебания концентрации растворенного кислорода и pH, несмотря на интенсивную аэрацию, являются еще одной характеристикой биофлоковых систем, в которых преобладает активность водорослей. Обычно в прудах при суточной норме кормления менее 300 кг/га (30 г/м^2) активность водорослей является основным фактором, контролирующим качество воды. Фотоавтотрофная система является базовой технологией для выращивания микроводорослей – критически необходимых кормов, требуемых для подращивания молоди в аквакультурных хозяйствах [34, 35].

Но микроводоросли, правда не все, могут также принимать и состояние гетеротрофной культуры. В этом состоянии они поглощают внешний органический углерод для синтеза биомассы и размножаются в темноте [36]. Внешние неорганические источники углерода и энергия света приобретают характер второстепенных источников, фотосинтез снижается, но плотность клеток микроводорослей и их биомасса относительно увеличиваются [37].

Особым случаем объединения фотоавтотрофной системы с биофлоковой аквакультурой является аквапоника. Аквапоника – это интегрированная политрофная система, сочетающая в себе элементы аквакультуры с циркуляционной аквакультурой, такой как BFT, реализованной в системе замкнутой аквакультуры (УЗВ) [38, 39]. Переход от фотоавтотрофной системы к бактериальной гетеротрофной управляемо или неуправляемо происходит при недостатке

света в совокупности с увеличением суточной нормы кормления (органический углерод), высвобождающим дополнительные неиспользуемые питательные вещества, и минимум пятикратным увеличением мощности аэрации [40]. Фотоавтотрофные системы могут существовать без использования фильтрующего оборудования, но задача освобождения воды от твердых нерастворимых отходов остается для них актуальной.

Таким образом, для работы фотоавтотрофных систем, реализованных в индустриальных установках с нулевым водообменом или с частичной заменой воды, необходимо следующее оборудование: резервуары для выращивания; система аэрации; источники освещения с нужной длиной волны; автономная система генерации электроэнергии; желательна система перемешивания (эмуляция течения).

Требуемые ресурсы: источник воды (при частичной замене воды); электроэнергия; корм с высоким содержанием белка, содержащий все необходимые минералы и витамины (для целевого объекта животного происхождения); комплекты для тестирования воды.

Фотоавтотрофные индустриальные системы в северных районах (Дальний Восток) как производственные аквакультурные системы не используются. Систему легко запустить, но стабилизировать параметры воды сложно из-за суточных колебаний pH, кислорода и углекислого газа. В совокупности со значительным потреблением электроэнергии это является основным недостатком системы. Однако, как уже говорилось, фотоавтотрофная система является единственной аквакультурной системой для производства фитокормов. Наиболее оправдано ее использование для выращивания растительноядных видов гидробионтов, что в первую очередь связано со снижением затрат на приобретение кормов [41]. Кроме того, как во всех индустриальных системах, здесь также снижается уровень проблемы, связанной с борьбой с хищниками и паразитами. Это в свою очередь уменьшает зависимость конечного продукта от антибиотиков и терапевтических средств [26].

Гетеротрофные бактериальные системы (BFT-системы)

Контроль аммиака по гетеротрофному пути часто более стабилен и надежен, чем поглощение водорослями или нитрификация. Бактерии имеют относительный размер около микрометра. Когда они образуют плотную биомассу, она собирается и образует хлопья (биофлоки). Для создания биофлоков необходимы биологические полимерные вещества, которые удерживают компоненты вместе, создавая матрицу, инкапсулирующую клетки. Эта матрица защищает микроорганизмы от хищников, обеспечивает прямой доступ к питательным веществам и работает как субстрат [42]. Существует несколько механизмов связывания или факторов, влияющих на образование хлопьев, их плотность и стабильность. Многие организмы покрыты или выделяют внеклеточный полимер, состоящий из полисахаридов, белков, гуминовых соединений и т.д. Эти слизистые молекулы действуют как клей, соединяющий частицы вместе. В конечном счете биофлоки представляют собой гетерогенные макроагрегаты планктонного материала в толще воды, представляющие собой консорциум флокообразующих бактерий, диатомовых водорослей, нитчатых микроводорослей, микро- и макробеспозвоночных, простейших, фекалий и несъеденного корма [43]. То есть образование биофлоков – это симбиотический процесс, в котором участвуют водные животные, гетеротрофные бактерии и другие виды микроорганизмов в воде.

Основная идея технологии биофлоков заключается в том, чтобы создать структурированную биологическую среду в аквакультурной экосистеме, в которой многообразные микроорганизмы выполняют функции естественного биологического фильтра. Биофлоки служат фильтрами, поглощая частицы органического происхождения, неорганический азот и другие биогены, которые могут негативно влиять на обитателей экосистемы, тем самым улучшая качество воды, осуществляя биоремедиацию [44]. При этом несъеденный корм, фекалии и избыточные питательные вещества превращаются в съедобные биофлоки, также называемые

одноклеточными белками (SCP) [43] (рис. 3). В большинстве BFT-систем SCP слабо связаны бактериальной слизью, образуя видимые плавающие комки, которые являются питательным пищевым материалом для выращиваемых гидробионтов. Другой способ использования образовавшихся белков – сбор и переработка бактериальных колоний в биофлоковый шрот или муку, чтобы в дальнейшем использовать эти продукты в виде ингредиентов в кормах [45].

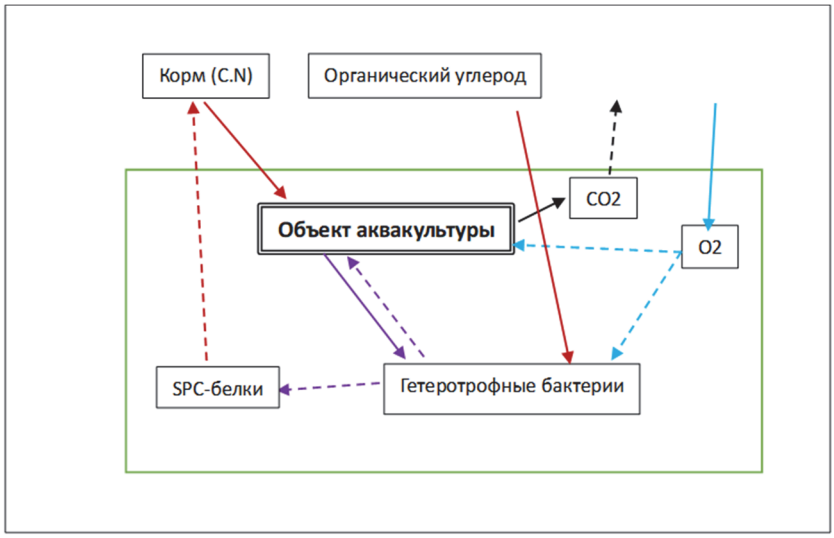


Рис. 3. Динамика основных компонентов в аквакультурной системе при гетеротрофной нитрификации
Fig. 3. Dynamics of the main components in the aquaculture system during heterotrophic nitrification

BFT-системы являются системами замкнутого типа, без рециркуляции воды с практически нулевым водообменом. Вода необходима лишь для восполнения объемов естественных испарений. Как отмечают некоторые исследователи, потребление воды в системе на основе биофлоков на 40 % ниже, чем в системе замкнутого цикла аквакультуры (УЗВ) [46]. То есть идеальная BFT-система представляет собой замкнутый контур, который поступающие извне органические и неорганические соединения, исключая газы, покидают только в виде биомассы целевого объекта аквакультуры. Это существенным образом экономит потребляемые системой ресурсы, особенно кормовые. Гетеротрофные бактерии, потребляемые целевыми объектами в виде SCP, т.е. наиболее дорогостоящего в кормовом рационе белкового компонента, имеют максимальную скорость роста, значительно превышающую автотрофные нитрификаторы. Такую, что в системах даже с относительно умеренным соотношением углерода к азоту (C/N) гетеротрофы способны превосходить и в значительной степени ингибировать нитрификацию. Это означает, что в чистой гетеротрофной системе не должны образоваться нитриты или нитраты [27]. Иммобилизация аммония гетеротрофными бактериями происходит гораздо быстрее, поскольку скорость роста и выход микробной биомассы на единицу субстрата у гетеротрофов в 10 раз выше, чем у нитрифицирующих бактерий [47]. На ряд других параметров (соленость, температура, pH, растворенный кислород, TAN (общий аммиачный азот), концентрация нитритов ($p>0,05$) плотность биохлопьев не оказывает особого влияния, но существенно влияет на концентрацию нитратов и щелочность ($p<0,05$) [48].

Основные факторы, влияющие на скорость нитрификации, также играют доминирующую роль в гетеротрофном росте бактерий. К ним относятся: pH, щелочность, температура, кислород, аммиак и соленость [32]. Биофокальная система по сравнению с другими наиболее сложна в экосистемном плане, поскольку потенциально может включать в себя довольно широкий список видов-симбионтов, от фитопланктона до мелких ракообразных и червей

[49]. Это многообразие позволяет формировать экосистему с несколькими трофическими уровнями, но с целевым объектом аквакультуры вверху пищевой цепи. Некоторые исследователи приходят к выводу, что смешанный биофлок, преимущественно состоящий из автотрофных бактерий и микроводорослей, также известный как миксотрофная система, достигает более высоких значений FCR (кормовой коэффициент) по сравнению с системами с более высоким содержанием гетеротрофных бактерий [50, 51].

Однако чем сложнее и более структурирована система, тем выше ее нестабильность на начальных этапах запуска, что требует от персонала практических навыков и теоретических знаний [52]. При успешном запуске и стабилизации основных параметров система позволяет осуществлять экологически устойчивый контроль за качеством воды и достигать более высокой продуктивности производства. Управление гетеротрофным сообществом основано на регулировании соотношения C/N за счет внесения органического углерода, используемого гетеротрофами для выработки энергии и роста, которое при повышении дает увеличение иммобилизации азота, а при снижении, наоборот, ингибирует этот процесс [25, 40].

Чтобы создать оптимальную среду культивирования биофлока, необходимо учитывать, регулярно контролировать и поддерживать несколько ключевых параметров [49]. Так, рост биомассы гетеротрофов требует интенсивной аэрации, температуры не менее 20 ºС, близкого к нулю общего аммиачного азота, нулевой концентрации нитритов, низких концентраций нитратов и фосфатов (<20 мг/л). Важным параметром является концентрация взвешенных веществ (TSS), которая не должна превышать 1000 мг/л и чаще всего составлять менее 500 мг/л [40]. Отсутствие суспензии и перемешивания в системе BFT может создать анаэробную область в резервуаре, что приведет к быстрому потреблению растворенного кислорода. Это, в свою очередь, запустит анаэробные процессы, в результате которых могут выделяться вредные газы, такие как аммиак, сероводород и метан, смертельно токсичные как для гетеротрофного сообщества, так и для выращиваемых гидробионтов [49]. Поэтому для установления БФТ необходимо, чтобы пруд имел покрытие, предотвращающее скопление твердой органики на дне [53].

Таким образом, для работы чистых гетеротрофных систем, реализованных в индустриальных установках с нулевым водообменом, необходимо следующее оборудование: резервуары для выращивания; система интенсивной аэрации; автономная система генерации электроэнергии; желательна система перемешивания (эмуляция течения).

Требуемые ресурсы: электроэнергия; корм, содержащий все необходимые минералы и витамины (для целевого объекта животного происхождения); добавка органического углерода (патока, крахмал, мука ячменная, кукурузная и пр.), карбонаты; комплекты для тестирования воды.

Основные зависимости в рассмотренных по литературным источникам аквакультурных системах, связанные с влиянием факторов, определяющих качество воды, представлены в таблице.

Биофлоковые индустриальные системы в качестве производственных аквакультурных систем в северных районах (Дальний Восток) пока не используются. Технология биофлока разрабатывалась и внедрялась в условиях прудовых хозяйств южных районов, где температурный параметр не требует энергетически затратной корректировки и соответствует уровню оптимального протекания биохимических процессов у бактериальной микрофлоры. Минимальный водообмен поддерживает тепло, и предотвращается колебание температуры [54], что снижает затраты энергии и позволяет выращивать тропические виды в холодных районах. В то же время затраты энергии возрастают из-за интенсивной аэрации.

По мнению некоторых авторов [18, 55], BFT стал многообещающим и устойчивым методом аквакультуры, имеющим значительные экономические и экологические преимущества. Однако в системах BFT все еще существуют проблемы и возможности для улучшения. Это оптимизация источников углерода, управление популяциями микроорганизмов, разработка

точных и надежных инструментов мониторинга критических параметров. Наконец, еще одной проблемой является масштабирование систем BFT до уровня коммерческого производства, оптимизация конструкции системы, методов управления и разработка экономически жизнеспособных производственных моделей.

Степень влияния различных факторов в основных системах контроля качества воды
Degree of influence of various factors in the main water quality control systems

Системы контроля качества воды	Вода	Аэрация	Отходы	Взвешенные вещества (TSS)	Температура	Щелочность	CO_2	NO_2^-, NO_3^-
Автотрофные бактериальные системы	+	+	++	–	–	+	+	++
Фотоавтотрофные системы	–	–(?)	+	–	–	+	–	–
Гетеротрофные бактериальные системы	–	++	–	++	++	+	++	–

Примечание. ++ критическое влияние фактора, + среднее, – отсутствие.

Основные преимущества использования биофлоков в индустриальной аквакультуре для северных районов:

- снижение капитальных затрат для организации производственных процессов;
- экономия на дорогостоящих компонентах корма (белок);
- повышение общей производительности;
- экосистемное управление качеством воды;
- эффективное использование воды;
- экономия на энергии для подогрева воды (отсутствие суточных подмен);
- борьба с болезнями за счет конкуренции с патогенами и поддержания здорового микробного баланса;
- биобезопасность и отсутствие негативного влияния на экологию;
- возможность выращивания тропических видов в северных районах.

Основные негативные моменты использования биофлоков в индустриальной аквакультуре для северных районов:

- повышение энергопотребления для активной аэрации;
- увеличение производства CO_2;
- требовательность к температуре (подходит для ограниченного перечня бореальных видов);
- дополнительный контроль видового состава микроорганизмов.

Особенности выбора целевых объектов аквакультуры при подращивании в биофлоковой системе

Из-за наличия ограничений в работе биофлоковой системы выбор видов имеет определяющее значение для возможности успешного их выращивания [56]. Производительность же работы системы зависит от использования ее преимуществ.

Из ограничений, не связанных с наличием ресурсов, основным и критическим является температурный режим. Только виды, которые могут успешно расти при температуре от

24 до 28 ºС, могут быть объектами аквакультуры в системе с BFT-технологией [49]. Для северных районов, где средняя температура воды в прибрежной зоне летом ниже, чем нижнее пороговое значение работы биофлоковой системы, перечень местных видов существенно органичен. Поэтому лишь немногие виды можно подращивать для дальнейшего пастбищного выращивания в прибрежных морских водах. Помимо температуры биофлоковая система требует обращать внимание и на другие факторы, которые для успешного производства должны удовлетворять одновременно и целевой объект аквакультуры, и микробное сообщество.

Вторым существенным ограничением является наличие в толще воды взвеси (TSS) из биофлоков, которая в больших концентрациях может затруднять дыхание гидробионтов [57–59]. Для некоторых видов прозрачность воды имеет определяющее значение, и животное при высоких TSS не может благополучно не только расти, но и существовать. Нивелировать этот фактор может помочь адаптация BFT-технологии для ее использования с применением вертикальных субстратов [39]. Микробный консорциум в этой модификации системы не распределен равномерно в толще воды, а концентрируется на поверхности вертикальных субстратов в виде биопленок [60]. Микробное сообщество, растущее на вертикальных субстратах, можно контролировать так же, как и в суспендированной биофлоковой системе, путем регулирования соотношения C/N [61].

Главным в биофлоковой, преимущественно гетеротрофной системе является чрезвычайно большое количество бактериальной биомассы, образующейся в результате потребления биогенов и органики. Это, наверное, одно из основных преимуществ биофлоковой системы, имеющее самое прямое отношение к выбору целевого объекта аквакультуры. Белковые тела бактериальных колоний должны осваиваться либо промежуточными, либо конечными потребителями, что существенным образом повышает коэффициент конверсии корма (FCR) и экономит затраты. При отсутствии в системе потребителей этого продукта фермер не только лишается основного преимущества системы, но и рискует потерять контроль над производственной экосистемой в силу нарушения трофических связей. Для использования частиц биофлока и детрита культивируемые виды должны быть по типу питания полностью или частично фильтраторами (сестонофагами) [43]. Для культивирования таких животных, как грунтоеды или соскабливатели, BFT-система абсолютно не предназначена, поскольку образование донного осадка в гетеротрофных системах категорически недопустимо. Адаптация BFT с использованием вертикальных субстратов, которая служит альтернативой взвешенным биофлокам, позволяет не только собирать микробный SCP-белок с поверхности этих субстратов [61], но и использовать селящийся там перифитон [62], т.е. существенно расширяет список целевых объектов аквакультуры по типу питания.

Заключение

Применение биофлок-технологии в сравнительно холодном регионе Дальнего Востока России позволяет существенно упростить подготовку материальной базы для культивирования объектов, что снижает капитальные затраты на детоксикацию воды и делает организацию производства экономически более доступной. Производство может иметь сезонный характер, когда в качестве конечного результата рассматривается жизнестойкая молодь промысловых видов, используемая в дальнейшем для восстановления депрессивных популяций или размещения с целью пастбищного выращивания. Другим положительным эффектом от применения биофлоков является возможность замены белкового компонента корма микробным белком, что существенно снижает стоимость кормов.

Недостатком BFT-систем является ограниченность перечня культивируемых видов, обусловленная необходимостью подбирать объект аквакультуры, способный не только эффективно расти в среде, дружественной для микробных колоний, но и иметь возможность поглощать микробный белок, образующийся в системе. Однако это ограничение нельзя считать

окончательным, поскольку научные изыскания в этом направлении, хотя и не снимут проблему полностью, но могут в значительной мере сгладить этот недостаток. По нашему мнению, это основное практическое приложение исследований в области расширения применимости BFT-технологии в регионах с бореальным климатом.

Список источников

1. The state of world fisheries and aquaculture 2022: Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Towards Blue Transformation, Rome, 2022. URL: https://www.fao.org/3/cc0461ru/online/sofia/2022/capture-fisheries-production.html (accessed: 20.01.2023).

2. Enyindah C., Etuk M., Anwuri P.A. The role of technology on aquaculture // Academia Letters. 2021. No. 2304. https://doi.org/10.20935/AL2304.

3. Ceccaldi H.J. Some possible ways forward development of aquaculture // Journal of Marine Biology and Aquaculture (JMBAC). 2016. Vol. 4(6). P. 1–12. DOI: 10.15406/jamb.2016.04.00104.

4. Frankic A.M., Hershner C. Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture // Aquaculture International. 2003. Vol. 11. P. 517–530.

5. Browdy C.L., Bratvold D., Stokes A.D., Mcintosh R.P. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems // Jory E.D., Browdy C.L. (eds) The new wave, proceedings of the special session on sustainable shrimp culture. Baton Rouge, USA: The World Aquaculture Society, 2001. P. 20–34.

6. De Schryver P., Crab R., Defoirdt T., Boon N., Verstraete W. The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture // Aquaculture. 2008. Vol. 277. P. 125–137.

7. Bender J., Lee R., Sheppard M., Brinkley K., Philips P., Yeboah Y., Wah R.C. A waste effluent treatment system based on microbial mats for black sea bass *Centropristis striata* recycled water mariculture // Aquacultural Engineering. 2004. No. 31. P. 73–82.

8. Pinho S., Leal M.M., Shaw C., Baganz D., Baganz G., Staaks G. et al. Insect-based fish feed in decoupled aquaponic systems: Effect on lettuce production and resource use // PLoS ONE. 2024. Vol. 19(1). e0295811. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295811.

9. Черданцев В.П. Экономическая целесообразность использования насекомых на корма при разведении объектов аквакультуры // Московский экономический журнал. 2023. Т. 8, № 3. DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_3_108.

10. Daniel N. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources // International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2018. Vol. 6(2). P. 164–179. URL: https://www.fisheriesjournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartC/6-1-35-823.pdf (accessed: 22.12.2023).

11. Кучихин Ю.А. Перспектива и возможности применения белого люпина (*lupinus albus*) в кормах аквакультуры для донных видов рыб // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 225–230. DOI: 10.24412/2311-6447-2022-4-225-230.

12. Hoang M.N., Nguyen P.N., Bossier P. Water quality, animal performance, nutrient budgets and microbial community in the biofloc-based polyculture system of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* and gray mullet, *Mugil cephalus* // Aquaculture. 2020. Vol. 515. 734610.

13. Bouwmeester M.M., Goedknegt M.A., Poulin R., Thieltges D.W. Collateral diseases: Aquaculture impacts on wildlife infections // Journal of Applied Ecology. 2020. Vol. 58(3). P. 453–464. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13775.

14. Ahmed N., Thompson S., Glaser M. Global aquaculture productivity, environmental sustainability, and climate change adaptability // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 63. P. 159–172.

15. Emerenciano M., Cuzon G., Goguenheim J., Gaxiola G. Floc contribution on spawning performance of blue shrimp Litopenaeus stylirostris // Aquaculture Research. Vol. 44(1). P. 75–85. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.03012.x.

16. Avnimelech Y. Biofloc Technology – A practical guide book. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2009. 182 p.

17. Seymour J.R., Amin S.A., Raina J.B., Stocker R. Zooming in on the phycosphere: the ecological interface for phytoplankton-bacteria relationships // Nature Microbiology. 2017. Vol. 2, No. 17065. doi: 10.1038/nmicrobiol.2017.65.

18. Semwal A., Kumar A., Upreti U., Pathak Y. Biofloc technology: An emerging avenue in aquaculture // Agri-India Today. 2021. Vol. 1(4). P. 19–23. URL: https://www.researchgate.net/publication/354380499_biofloc_technology_an_emerging_avenue_in_aquaculture (accessed: 10.01.2023).

19. Kim J.H., Sohn S., Kim, S.K., Kim S.R., Kim S.K., Kim S.M., Kim N.Y., Hur Y.B. Effects on the survival rates, hematological parameters, and neurotransmitters in olive flounders, *Paralichthys olivaceus*, reared in bio-floc and seawater by *Streptococcus iniae* challenge // Fish Shellfish Immunology. 2021. Vol. 113. P. 79–85.

20. Григорьева Н.И., Журавель Е.В., Мазур А.А. Сезонные изменения качества воды в заливе Восток (залив Петра Великого, Японское море) // Водные ресурсы. 2020. Т. 47, № 2. С. 162–169. DOI: 10.31857/S0321059620020066; EDN: GUQNRI.

21. Коренева Т.Г., Латковская Е.М., Частиков В.Н. Сезонная динамика гидрологогидрохимических характеристик и концентрации хлорофилла *a* в зал. Анива в 2003 г. // Вода: химия и экология. 2014. № 4(70). С. 33–45. EDN: SCKVRV.

22. Hargreaves J.A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds // Aquaculture. 1998. Vol. 166, No. 3–4. P. 181–212.

23. Folke C., Kautsky N. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture // Ambio. 1989. No. 18. P. 234–243.

24. Yogev U., Sowers K.R., Mozes N., Gross A. N and carbon balance in a novel near-zero water exchange saline recirculating aquaculture system // Aquaculture. 2017. Vol. 467. P. 118–126.

25. Avnimelech Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems // Aquaculture. 1999. Vol. 176, No. 3–4. P. 227–235.

26. Semwal A., Kumar A., Upreti U., Pathak Y. Recirculatory Aquaculture System (RAS) // Agri-India Today. 2021. Vol. 1(5), 0521. URL: https://www.researchgate.net/publication/354380932_recirculatory_aquaculture_system_ras?_tp=eyjjb250zxh0ijp7imzpcnn0ugfnzsi6inbyb2zpbguilcjwywdlijoichjvzmlszsj9fq (accessed: 10.01.2023).

27. Hargreaves J.A. Biofloc production systems for aquaculture // Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication. 2013. No. 4503. 11 p.

28. Ebeling J.M., Timmons M.B., Bisogni J.J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems // Aquaculture. 2006. Vol. 257, No. 1–4. P. 346–358. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019.

29. Li L., Tan L., Yang W., Xu X., Shen Y., Li J. Conjoint applications of meta-analysis and bioinformatic data toward understanding the effect of nitrate on fish // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 794, 148645. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148645; https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721037177?via%3Dihub (accessed: 10.01.2023).

30. Koltai T., Hancz C., Magyary I., Horn P. () Studies on the effect of nitrate selective resin on the water quality and growth rate of common carp (*Cyprinus carpio* L.) reared in recirculating system // Acta Agraria Kaposváriensis. 2002. Vol. 6(2). P. 277–283.

31. Monsees H., Klatt L., Kloas W., Wuertz S. Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems // Aquaculture Research. 2016. Vol. 48(7). P. 3482–3492.

32. Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T., Vinci B.J. Recirculating Aquaculture Systems. 2nd ed. New York: Cayuga Aqua Ventures, 2002. 769 p.

33. McCarthy J.J. The kinetics of nutrient utilization // Physiological bases of phytoplankton ecology // Bulletin – Fisheries Research Board of Canada. 1981. Vol. 210. P. 211–233.

34. Cheng P., Shan S., Zhu Z., Liu K., Namsaraev Z., Dubovskiy I., Xu Q. The role of microalgae culture modes in aquaculture: a brief opinion // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023. Vol. 11, 1196948. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1196948.

35. Sicuro B. World aquaculture diversity: Origins and perspectives // Reviews in Aquaculture. 2021. Vol. 133. P. 1619–1634. DOI: 10.1111/raq.12537.

36. Pribyl P., Cepak V. Screening for heterotrophy in microalgae of various taxonomic positions and potential of mixotrophy for production of high-value compounds // Journal of Applied Phycology. 2019. Vol. 313. P. 1555–1564. https://doi.org/10.1007/s10811-019-1738-9.

37. Fan J., Huang J., Li Y., Han F., Wang J., Li X. et al. Sequential heterotrophy-dilution-photoinduction cultivation for efficient microalgal biomass and lipid production // Bioresource Technology. 2012. Vol. 112. P. 206–211. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.046.

38. Pinho S.M., Flores R.M.V., David L.H., Emerenciano M.G., Quagrainie K.K., Portella M.C. Economic comparison between conventional aquaponics and FLOCponics systems // Aquaculture. 2022. Vol. 552, 737987.

39. Yu Y.-B., Choi J.-H., Lee J.-H., Jo A.-H., Han S.W., Han S.-H., Choi H.J., Choi C.Y., Kang J.-C., Min E. et al. Biofloc application using aquaponics and vertical aquaculture technology in aquaculture: Review // Fishes. 2023. Vol. 8(11). P. 543. https://doi.org/10.3390/fishes8110543.

40. Hargreaves J.A. Biofloc production systems for aquaculture // Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication. 2013. No. 4503. 11 p.

41. Han P., Lu Qian, Fan L., Zhou W. A review on the use of microalgae for sustainable aquaculture // Applied Sciences. 2019. Vol. 9, 2377. DOI: 10.3390/app9112377.

42. De Schryver P., Crab R., Defoirdt T., Boon N., Verstraete W. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture // Aquaculture. 2008. Vol. 277. P. 125–137.

43. Ogello E.O., Outa N.O., Obiero K.O., Kyule D.N., Munguti J.M. The prospects of biofloc technology (BFT) for sustainable aquaculture development // Scientific African. 2021. Vol. 14(1). e01053. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01053.

44. Yu Y.-B., Choi J.-H., Lee J.-H., Jo A.-H., Lee K.M., Kim J.-H. Biofloc technology in fish aquaculture: A review // Antioxidants. 2023. Vol. 12(2), 398. https://doi.org/10.3390/antiox12020398.

45. Emerenciano M., Gaxiola G., Cuzon G. Biofloc Technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. London: InTech, 2013. http://dx.doi.org/10.5772/53902.

46. Luo G., Gao Q., Wang C., Liu W., Sun D., Li L. et al. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system // Aquaculture. 2014. Vol. 422. P. 1–7.

47. Lakra W.S., Goswami M., Trudeau V.L. (Eds) Frontiers in aquaculture biotechnology. Elsevier, Academic Press, 2022. 298 p.

48. Nurhatijah N., Muchlisin Z.A., Sarong M.A., Supriatna A. Application of biofloc to maintain the water quality in culture system of the tiger prawn (*Penaeus monodon*) // AACL Bioflux. 2016. Vol. 9, No. 4. URL: http://www.bioflux.com.ro/aacl.

49. McCusker S., Warberg M.B., Davies S.J., Valente C.D.S., Johnson M.P., Cooney R. et al. Biofloc technology as part of a sustainable aquaculture system: A review on the status and innovations for its expansion // Aquaculture, Fish and Fisheries. 2023. Vol. 3. P. 331–352. https://doi.org/10.1002/aff2.108.

50. Martinez-Porchas M., Ezquerra-Brauer M., Mendoza-Cano F., Chan-Higuera J.E., Vargas-Albores F., Martinez-Cordova L.R. Effect of supplementing heterotrophic and photoautotrophic biofloc, on the production response, physiological condition and post-harvest quality of the white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei* // Aquaculture Reports 2020. Vol. 16, 100257. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100257.

51. Xu W.J., Morris T.C., Samocha T.M. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system // Aquaculture. 2016. Vol. 453. P. 169–175.

52. Ткачева И.В., Поляхов В.С. Способ водоподготовки для запуска биофлоковой системы на основе пробиотиков с разными композициями // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2019. № 11(166). С. 60–65.

53. Castro-Nieto L.M., Castro-Barrera T., De Lara-Andrade R., Castro-Mejía J., Castro-Mejía G. Biofloc systems: a technological breakthrough in aquaculture // Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente. 2012. Vol. 1(1). P. 1–5.

54. Crab R., Kochva M., Verstraete W., Avnimelech Y. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia // Aquaculture Engineering. 2009. Vol. 40. P. 105–112.

55. Khanjani M.H., Sharifinia M., Emerenciano M.G.C. Biofloc technology (BFT) in aquaculture: What goes right, what goes wrong? A scientific-based snapshot // Aquaculture Nutrition. 2024. Vol. 2024, No. 7496572. 24 p. https://doi.org/10.1155/2024/7496572.

56. Samocha T.M. Sustainable biofloc system for marine shrimp. Elsevier, Academic Press, 2019. https://doi.org/10.1016/C2018-0-02628-6.

57. Harun A.A.C., Mohammad N.A.H., Ikhwanuddin M., Jauhari I., Sohaili J., Kasan N.A. Effect of different aeration units, N types and inoculum on biofloc formation for improvement of Pacific whiteleg shrimp production // The Egyptian Journal of Aquatic Research. 2019. Vol. 45. P. 287–292. https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.07.001.

58. Gaona C.A.P., de Almeida M.S., Viau V., Poersch L.H., Wasielesky W.J. Effect of different total suspended solids levels on a *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) BFT culture system during biofloc formation // Aquaculture Research. 2015. Vol. 48(3). P. 1070–1079. https://doi.org/10.1111/are.12949.

59. Emerenciano M., Martinez-Cordova L.R., Martinez-Porchas M., Miranda-Baeza A. Biofloc technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture // Tutu H. (ed.) Water Quality. London: Intech, 2017. P. 91–109. https://doi.org/10.5772/66416.

60. Ogunkalu O.A. Application of biofilms in aquaculture systems // Academia Letters. 2021. Article No. 2002. https://doi.org/10.20935/AL2002.

61. Suryakumar B., Avnimelech Y. Adapting biofloc technology for use in small scale ponds with vertical substrate // World Aquaculture. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/320181276_Adapting_Biofloc_Technology_for_Use_in_Small_Scale_Ponds_with_Vertical_Substrate (accessed: 13.02.2024).

62. Negri M., Romera D.M., Garcia F. Integrated multitrophic aquaculture in ponds using substrate for periphyton as natural source of food // Boletin do Instituto de Pesca. 2023. Vol. 49, No. e783. https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2023.49.e783.

References

1. The state of world fisheries and aquaculture 2022: Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Towards Blue Transformation, Rome, 2022. URL: https://www.fao.org/3/cc0461ru/online/sofia/2022/capture-fisheries-production.html (accessed: 20.01.2023).

2. Enyindah C., Etuk M., Anwuri P.A. The role of technology on aquaculture // Academia Letters. 2021. No. 2304. https://doi.org/10.20935/AL2304.

3. Ceccaldi H.J. Some possible ways forward development of aquaculture // Journal of Marine Biology and Aquaculture (JMBAC). 2016. Vol. 4(6). P. 1–12. DOI: 10.15406/jamb.2016.04.00104.

4. Frankic A.M., Hershner C. Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture // Aquaculture International. 2003. Vol. 11. P. 517–530.

5. Browdy C.L., Bratvold D., Stokes A.D., Mcintosh R.P. Perspectives on the application of closed shrimp culture systems // Jory E.D., Browdy C.L. (eds) The new wave, proceedings of the special session on sustainable shrimp culture. Baton Rouge, USA: The World Aquaculture Society, 2001. P. 20–34.

6. De Schryver P., Crab R., Defoirdt T., Boon N., Verstraete W. The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture // Aquaculture. 2008. Vol. 277. P. 125–137.

7. Bender J., Lee R., Sheppard M., Brinkley K., Philips P., Yeboah Y., Wah R.C. A waste effluent treatment system based on microbial mats for black sea bass *Centropristis striata* recycled water mariculture // Aquacultural Engineering. 2004. No. 31. P. 73–82.

8. Pinho S., Leal M.M., Shaw C., Baganz D., Baganz G., Staaks G. et al. Insect-based fish feed in decoupled aquaponic systems: Effect on lettuce production and resource use // PLoS ONE. 2024. Vol. 19(1). e0295811. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295811.

9. Cherdantsev V.P. Ekonomicheskaya tselesoobraznost' ispol'zovaniya nasekomykh na korma pri razvedenii ob"ektov akvakul'tury // Moskovskiy ekonomicheskiy zhurnal. 2023. Vol. 8, No. 3. (In Russ.). DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_3_108.

10. Daniel N. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources // International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2018. Vol. 6(2). P. 164–179. URL: https://www.fisheriesjournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartC/6-1-35-823.pdf (accessed: 22.12.2023).

11. Kuchikhin Yu.A. Perspektiva i vozmozhnosti primeneniya belogo lyupina (lupinus albus) v kormakh akvakul'tury dlya donnykh vidov ryb // Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. 2022. No. 4. P. 225–230. (In Russ.). DOI: 10.24412/2311-6447-2022-4-225-230.

12. Hoang M.N., Nguyen P.N., Bossier P. Water quality, animal performance, nutrient budgets and microbial community in the biofloc-based polyculture system of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* and gray mullet, *Mugil cephalus* // Aquaculture. 2020. Vol. 515. 734610.

13. Bouwmeester M.M., Goedknegt M.A., Poulin R., Thieltges D.W. Collateral diseases: Aquaculture impacts on wildlife infections // Journal of Applied Ecology. 2020. Vol. 58(3). P. 453–464. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13775.

14. Ahmed N., Thompson S., Glaser M. Global aquaculture productivity, environmental sustainability, and climate change adaptability // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 63. P. 159–172.

15. Emerenciano M., Cuzon G., Goguenheim J., Gaxiola G. Floc contribution on spawning performance of blue shrimp Litopenaeus stylirostris // Aquaculture Research. Vol. 44(1). P. 75–85. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2011.03012.x.

16. Avnimelech Y. Biofloc Technology – A practical guide book. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 2009. 182 p.

17. Seymour J.R., Amin S.A., Raina J.B., Stocker R. Zooming in on the phycosphere: the ecological interface for phytoplankton-bacteria relationships // Nature Microbiology. 2017. Vol. 2, No. 17065. doi: 10.1038/nmicrobiol.2017.65.

18. Semwal A., Kumar A., Upreti U., Pathak Y. Biofloc technology: An emerging avenue in aquaculture // Agri-India Today. 2021. Vol. 1(4). P. 19–23. URL: https://www.researchgate.net/publication/354380499_biofloc_technology_an_emerging_avenue_in_aquaculture (accessed: 10.01.2023).

19. Kim J.H., Sohn S., Kim, S.K., Kim S.R., Kim S.K., Kim S.M., Kim N.Y., Hur Y.B. Effects on the survival rates, hematological parameters, and neurotransmitters in olive flounders, *Paralichthys olivaceus*, reared in bio-floc and seawater by *Streptococcus iniae* challenge // Fish Shellfish Immunology. 2021. Vol. 113. P. 79–85.

20. Grigorieva N.I., Zhuravel E.V., Mazur A.A. Seasonal changes in water quality in Vostok bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan) // Vodnye Resursy. 2020. Vol. 47, No. 2. P. 162–169. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0321059620020066; EDN: GUQNRI.

21. Koreneva T.G., Latkovskaya E.M., Chastikov V.N. Sezonnaya dinamika gidrologo-gidrokhimicheskikh kharakteristik i kontsentratsii khlorofilla *a* v zal. Aniva v 2003 g. // Voda: khimiya i ekologiya. 2014. No. 4(70). P. 33–45. (In Russ.). EDN: SCKVRV.

22. Hargreaves J.A. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds // Aquaculture. 1998. Vol. 166, No. 3–4. P. 181–212.

23. Folke C., Kautsky N. The role of ecosystems for a sustainable development of aquaculture // Ambio. 1989. No. 18. P. 234–243.

24. Yogev U., Sowers K.R., Mozes N., Gross A. N and carbon balance in a novel near-zero water exchange saline recirculating aquaculture system // Aquaculture. 2017. Vol. 467. P. 118–126.

25. Avnimelech Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems // Aquaculture. 1999. Vol. 176, No. 3–4. P. 227–235.

26. Semwal A., Kumar A., Upreti U., Pathak Y. Recirculatory Aquaculture System (RAS) // Agri-India Today. 2021. Vol. 1(5), 0521. URL: https://www.researchgate.net/publication/354380932_recirculatory_aquaculture_system_ras?_tp=eyjjb250zxh0ijp7imzpcnn0ugfnzsi6inbyb2zpbguilcjwywdlijoichjvzmlszsj9fq (accessed: 10.01.2023).

27. Hargreaves J.A. Biofloc production systems for aquaculture // Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication. 2013. No. 4503. 11 p.

28. Ebeling J.M., Timmons M.B., Bisogni J.J. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems // Aquaculture. 2006. Vol. 257, No. 1–4. P. 346–358. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019.

29. Li L., Tan L., Yang W., Xu X., Shen Y., Li J. Conjoint applications of meta-analysis and bioinformatic data toward understanding the effect of nitrate on fish // Science of the Total Environment. 2021. Vol. 794, 148645. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148645; https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721037177?via%3Dihub (accessed: 10.01.2023).

30. Koltai T., Hancz C., Magyary I., Horn P. () Studies on the effect of nitrate selective resin on the water quality and growth rate of common carp (*Cyprinus carpio* L.) reared in recirculating system // Acta Agraria Kaposváriensis. 2002. Vol. 6(2). P. 277–283.

31. Monsees H., Klatt L., Kloas W., Wuertz S. Chronic exposure to nitrate significantly reduces growth and affects the health status of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in recirculating aquaculture systems // Aquaculture Research. 2016. Vol. 48(7). P. 3482–3492.

32. Timmons M.B., Ebeling J.M., Wheaton F.W., Summerfelt S.T., Vinci B.J. Recirculating Aquaculture Systems. 2nd ed. New York: Cayuga Aqua Ventures, 2002. 769 p.

33. McCarthy J.J. The kinetics of nutrient utilization // Physiological bases of phytoplankton ecology // Bulletin – Fisheries Research Board of Canada. 1981. Vol. 210. P. 211–233.

34. Cheng P., Shan S., Zhu Z., Liu K., Namsaraev Z., Dubovskiy I., Xu Q. The role of microalgae culture modes in aquaculture: a brief opinion // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2023. Vol. 11, 1196948. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1196948.

35. Sicuro B. World aquaculture diversity: Origins and perspectives // Reviews in Aquaculture. 2021. Vol. 133. P. 1619–1634. DOI: 10.1111/raq.12537.

36. Pribyl P., Cepak V. Screening for heterotrophy in microalgae of various taxonomic positions and potential of mixotrophy for production of high-value compounds // Journal of Applied Phycology. 2019. Vol. 313. P. 1555–1564. https://doi.org/10.1007/s10811-019-1738-9.

37. Fan J., Huang J., Li Y., Han F., Wang J., Li X. et al. Sequential heterotrophy-dilution-photoinduction cultivation for efficient microalgal biomass and lipid production // Bioresource Technology. 2012. Vol. 112. P. 206–211. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.046.

38. Pinho S.M., Flores R.M.V., David L.H., Emerenciano M.G., Quagrainie K.K., Portella M.C. Economic comparison between conventional aquaponics and FLOCponics systems // Aquaculture. 2022. Vol. 552, 737987.

39. Yu Y.-B., Choi J.-H., Lee J.-H., Jo A.-H., Han S.W., Han S.-H., Choi H.J., Choi C.Y., Kang J.-C., Min E. et al. Biofloc application using aquaponics and vertical aquaculture technology in aquaculture: Review // Fishes. 2023. Vol. 8(11). P. 543. https://doi.org/10.3390/fishes8110543.

40. Hargreaves J.A. Biofloc production systems for aquaculture // Southern Regional Aquaculture Center (SRAC) Publication. 2013. No. 4503. 11 p.

41. Han P., Lu Qian, Fan L., Zhou W. A review on the use of microalgae for sustainable aquaculture // Applied Sciences. 2019. Vol. 9, 2377. DOI: 10.3390/app9112377.

42. De Schryver P., Crab R., Defoirdt T., Boon N., Verstraete W. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture // Aquaculture. 2008. Vol. 277. P. 125–137.

43. Ogello E.O., Outa N.O., Obiero K.O., Kyule D.N., Munguti J.M. The prospects of biofloc technology (BFT) for sustainable aquaculture development // Scientific African. 2021. Vol. 14(1). e01053. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01053.

44. Yu Y.-B., Choi J.-H., Lee J.-H., Jo A.-H., Lee K.M., Kim J.-H. Biofloc technology in fish aquaculture: A review // Antioxidants. 2023. Vol. 12(2), 398. https://doi.org/10.3390/antiox12020398.

45. Emerenciano M., Gaxiola G., Cuzon G. Biofloc Technology (BFT): A review for aquaculture application and animal food industry. London: InTech, 2013. http://dx.doi.org/10.5772/53902.

46. Luo G., Gao Q., Wang C., Liu W., Sun D., Li L. et al. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system // Aquaculture. 2014. Vol. 422. P. 1–7.

47. Lakra W.S., Goswami M., Trudeau V.L. (Eds) Frontiers in aquaculture biotechnology. Elsevier, Academic Press, 2022. 298 p.

48. Nurhatijah N., Muchlisin Z.A., Sarong M.A., Supriatna A. Application of biofloc to maintain the water quality in culture system of the tiger prawn (*Penaeus monodon*) // AACL Bioflux. 2016. Vol. 9, No. 4. URL: http://www.bioflux.com.ro/aacl.

49. McCusker S., Warberg M.B., Davies S.J., Valente C.D.S., Johnson M.P., Cooney R. et al. Biofloc technology as part of a sustainable aquaculture system: A review on the status and innovations for its expansion // Aquaculture, Fish and Fisheries. 2023. Vol. 3. P. 331–352. https://doi.org/10.1002/aff2.108.

50. Martinez-Porchas M., Ezquerra-Brauer M., Mendoza-Cano F., Chan-Higuera J.E., Vargas-Albores F., Martinez-Cordova L.R. Effect of supplementing heterotrophic and photoautotrophic biofloc, on the production response, physiological condition and post-harvest quality of the white leg shrimp, *Litopenaeus vannamei* // Aquaculture Reports 2020. Vol. 16, 100257. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100257.

51. Xu W.J., Morris T.C., Samocha T.M. Effects of C/N ratio on biofloc development, water quality, and performance of *Litopenaeus vannamei* juveniles in a biofloc-based, high-density, zero-exchange, outdoor tank system // Aquaculture. 2016. Vol. 453. P. 169–175.

52. Tkacheva I.V., Polyakhov V.S. Sposob vodopodgotovki dlya zapuska bioflokovoi sistemy na osnove probiotikov s raznymi kompozitsiyami // Rybovodstvo i rybnoe khozyaistvo. 2019. No. 11(166). P. 60–65.

53. Castro-Nieto L.M., Castro-Barrera T., De Lara-Andrade R., Castro-Mejía J., Castro-Mejía G. Biofloc systems: a technological breakthrough in aquaculture // Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente. 2012. Vol. 1(1). P. 1–5.

54. Crab R., Kochva M., Verstraete W., Avnimelech Y. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia // Aquaculture Engineering. 2009. Vol. 40. P. 105–112.

55. Khanjani M.H., Sharifinia M., Emerenciano M.G.C. Biofloc technology (BFT) in aquaculture: What goes right, what goes wrong? A scientific-based snapshot // Aquaculture Nutrition. 2024. Vol. 2024, No. 7496572. 24 p. https://doi.org/10.1155/2024/7496572.

56. Samocha T.M. Sustainable biofloc system for marine shrimp. Elsevier, Academic Press, 2019. https://doi.org/10.1016/C2018-0-02628-6.

57. Harun A.A.C., Mohammad N.A.H., Ikhwanuddin M., Jauhari I., Sohaili J., Kasan N.A. Effect of different aeration units, N types and inoculum on biofloc formation for improvement of Pacific whiteleg shrimp production // The Egyptian Journal of Aquatic Research. 2019. Vol. 45. P. 287–292. https://doi.org/10.1016/j.ejar.2019.07.001.

58. Gaona C.A.P., de Almeida M.S., Viau V., Poersch L.H., Wasielesky W.J. Effect of different total suspended solids levels on a *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) BFT culture system during biofloc formation // Aquaculture Research. 2015. Vol. 48(3). P. 1070–1079. https://doi.org/10.1111/are.12949.

59. Emerenciano M., Martinez-Cordova L.R., Martinez-Porchas M., Miranda-Baeza A. Biofloc technology (BFT): a tool for water quality management in aquaculture // Tutu H. (ed.) Water Quality. London: Intech, 2017. P. 91–109. https://doi.org/10.5772/66416.

60. Ogunkalu O.A. Application of biofilms in aquaculture systems // Academia Letters. 2021. Article No. 2002. https://doi.org/10.20935/AL2002.

61. Suryakumar B., Avnimelech Y. Adapting biofloc technology for use in small scale ponds with vertical substrate // World Aquaculture. 2017. URL: https://www.researchgate.net/publication/320181276_Adapting_Biofloc_Technology_for_Use_in_Small_Scale_Ponds_with_Vertical_Substrate (accessed: 13.02.2024).

62. Negri M., Romera D.M., Garcia F. Integrated multitrophic aquaculture in ponds using substrate for periphyton as natural source of food // Boletin do Instituto de Pesca. 2023. Vol. 49, No. e783. https://doi.org/10.20950/1678-2305/bip.2023.49.e783.

Информация об авторах

С.А. Низяев – кандидат биологических наук, ведущий инженер лаборатории химико-биологических исследований, SPIN-код: 8837-2677, AuthorID: 395356, ResearcherID: AAX-8701-2021;

Е.М. Латковская – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, биологии и природных ресурсов, зав. лабораторией химико-биологических исследований, SPIN-код: 9855-3629, AuthorID: 152625, Scopus Author ID: 26027600100, ResearcherID: AAX-1484-2021;

Ю.А. Ревин – координатор проектов по марикультуре, Ассоциация социальных предпринимателей Сахалинской области.

Information about the authors

S.A. Nizyaev – PhD in Biology Sciences, Leading Engineering of the Laboratory of chemical and biological research, SPIN-code: 8837-2677, AuthorID: 395356, ResearcherID: AAX-8701-2021;

E.M. Latkovskaya – PhD in Biology Sciences, Associate Professor of the Department, Head of the Laboratory of chemical and biological research, SPIN-code: 9855-3629, AuthorID: 152625, Scopus Author ID: 26027600100, ResearcherID: AAX-1484-2021;

Y.A. Revin – Coordinator of mariculture projects, Association of Social Entrepreneurs of the Sakhalin Region.

Статья поступила в редакцию 28.02.2024; одобрена после рецензирования 01.03.2024; принята к публикации 20.03.2024.

The article was submitted 28.02.2024; approved after reviewing 01.03.2024; accepted for publication 20.03.2024.

СВЕДЕНИЯ О ЖУРНАЛЕ

Научный журнал «Научные труды Дальрыбвтуза» издается с 1996 года.

Тематика статей, публикуемых в журнале, соответствует следующим отраслям науки:

2.5.20 – Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)

4.2.6 – Рыбное хозяйство, аквакультура и промышленное рыболовство

4.3.3 – Пищевые системы

4.3.5 – Биотехнологии продуктов питания и биологически активных веществ

В журнале публикуются научные статьи преподавателей, научных сотрудников и аспирантов ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз», а также ученых и преподавателей других образовательных и научных организаций Российской Федерации и зарубежных стран.

В одном номере журнала может быть опубликовано не более двух статей одного автора, в том числе в соавторстве.

Статьи в научном журнале «Научные труды Дальрыбвтуза» публикуются бесплатно.

Предлагаемая к публикации статья должна соответствовать научной тематике журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской научной общественности. Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы и содержать очевидный элемент создания нового знания.

При цитировании и копировании публикаций ссылка в журнал обязательна.

За точность воспроизведения имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Редакция журнала в своей деятельности руководствуется положениями гл. 70 «Авторское право» Гражданского кодекса Российской Федерации и рекомендациями Международного комитета по публикационной этике (cope) – http://publicationethics.org/resources/ flowcharts.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Объем статьи (включая список литературы, таблицы и подрисуночные подписи) должен быть от 5 до 12 страниц; текст – в формате А4; наименование шрифта – Times New Roman; размер (кегель) шрифта – 12 пунктов; все поля должны быть 2 см, отступ (абзац) – 1 см, междустрочный интервал – одинарный.

Текст статьи набирать без принудительных переносов, слова внутри абзаца разделять только одним пробелом, не использовать пробелы для выравнивания. Следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, дублирования одних и тех же результатов в таблицах и графиках.

Границы таблиц и рисунков должны соответствовать параметрам полей текста. Математические и химические формулы должны набираться одним объектом в редакторе формул Equation (MathType) или в Редакторе MS Word кеглем 12.

Формулы и уравнения печатаются с новой строки и нумеруются в круглых скобках в конце строки.

Рисунки должны быть представлены в формате *.jpg или *.tiff. Подрисуночная подпись должна состоять из номера и названия (Рис. 1. …). В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Таблицы должны иметь заголовки и порядковые номера. В тексте статьи должны присутствовать ссылки на каждую таблицу.

В связи с тем, что электронные версии публикаций обрабатываются в специальных программах для размещения в различных электронных библиотечных системах, математические символы, формулы с надстрочными и подстрочными индексами и буквы греческого алфавита в заголовках статей, аннотациях и ключевых словах отображаются некорректно. Убедительная просьба избегать употребления таких символов в указанных частях публикации!

Требования к оформлению статьи приводятся в соответствии с ГОСТ Р 7.0.7–2021 «СТАТЬИ В ЖУРНАЛАХ И СБОРНИКАХ. Издательское оформление»:

1. Вверху по центру страницы прописными буквами указывается рубрика:

- БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ
- ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
- РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО
- СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

2. Тип статьи – научная статья, обзорная статья, редакционная статья и т.д. указывают в начале статьи отдельной строкой слева.

3. Индекс УДК (слева).

4. Список авторов в формате: «Имя, отчество, фамилия» (полностью) набирается полужирным шрифтом. Если у статьи несколько авторов, то имена авторов приводят в принятой ими последовательности. Сведения о месте работы (учебы), электронные адреса, ORCID авторов указывают после имен авторов на разных строках и связывают с именами с помощью надстрочных цифровых обозначений [1)]. Если у авторов одно и то же место работы, учебы, то эти сведения приводят один раз. В случае, когда автор работает (учится) в нескольких организациях (учреждениях), сведения о каждом месте работы (учебы) указывают после имени автора на разных строках и связывают с именем с помощью надстрочных цифровых обозначений.

После списка авторов указываются следующие данные:

- полное название учреждения (место работы);
- город, страна;
- адрес электронной почты.

Наименование организации (учреждения), подразделения, где работает автор, приводится без обозначения организационно-правовой формы юридического лица (ФГБОУ ВО, ФГБУН, ОАО и т.д.).

5. Заглавие статьи. Название статьи должно быть кратким (10–12 слов). Заголовок набирают полужирными буквами по центру страницы. Первое слово заглавия статьи приводят с прописной буквы, остальные слова – со строчной буквы (кроме собственных имен, аббревиатур и т.д.). В заглавии не допускается употребление сокращений, кроме общепризнанных. В конце заглавия точку не ставят

6. Аннотация (не менее 150–250 слов). Перед текстом необходимо поставить слово «аннотация» и выделить его полужирным курсивом.

7. Ключевые слова (словосочетания) должны соответствовать теме статьи и отражать ее предметную, терминологическую область. Не рекомендуется использовать обобщенные и многозначные слова, а также словосочетания, содержащие причастные обороты. Количество ключевых слов (словосочетаний) не должно быть меньше 3 и больше 15 слов (словосочетаний). Их приводят, предваряя словами «Ключевые слова», набранными полужирным курсивом, и отделяют друг от друга запятыми. После ключевых слов точку не ставят.

8. Благодарности. После ключевых слов при необходимости приводят слова благодарности организациям (учреждениям), научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи, сведения о грантах, финансировании подготовки и публикации статьи, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых опубликована статья.

9. Знак охраны авторского права приводят по ГОСТ Р 7.01 внизу первой полосы статьи с указанием фамилии и инициалов автора (-ов) или других правообладателей и года публикации статьи.

НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ УКАЗЫВАЕТСЯ:

10. Рубрика – по центру прописными буквами:

- BIOTECHNOLOGY OF FOOD AND BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES
- FOOD SYSTEMS
- FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES
- MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

11. Тип статьи: Origrnal article

12. Заглавие статьи – по центру страницы полужирным шрифтом.

13. Список авторов в формате «Имя, инициал отчества с точкой, фамилия» (Ivan I. Ivanov)

После списка авторов указываются следующие данные:

- полное название учреждения / места работы (Far Eastern State Technical Fisheries University);
- город, страна (Vladivostok, Russia);
- адрес электронной почты.

14. Аннотация (первое слово ***Abstract*** набирается полужирным курсивом).

15. Ключевые слова (первое слово ***Keywords*** набирается полужирным курсивом).

16. Благодарности (первое слово ***Acknowledgments*** набирается полужирным курсивом).

17. ТЕКСТ СТАТЬИ обязательно должен содержать следующие разделы:

- Введение

- Объекты и методы исследований

- Результаты и их обсуждение

- Заключение

18. Список источников. Перечень затекстовых библиографических ссылок помещают после основного текста статьи с предшествующими словами «Список источников». В перечень библиографических ссылок включают записи только на ресурсы, которые упомянуты или цитируются в основном тексте статьи. Библиографическую запись составляют по ГОСТ Р 7.0.5. Библиографические записи в перечне затекстовых библиографических ссылок нумеруют и располагают в порядке цитирования источников в тексте статьи, номер источника указывается в тексте в квадратных скобках [1, 2, 3] после цитаты.

19. Библиографический список (при наличии) помещают после списка источников с предшествующими словами «Библиографический список». В него включают записи на ресурсы по теме статьи, на которые не даны ссылки, а также записи на произведения лиц, которым посвящена статья. Записи в библиографическом списке нумеруют и располагают в алфавитном или хронологическом порядке.

20. Информация об авторе (авторах) / Information about the author (authors) – дополнительные сведения об авторе приводят с предшествующими словами **Информация об авторе (авторах) / Information about the author (authors)** в конце статьи после Списка источников (библиографического списка) на русском и английском языках. Дополнительные сведения об авторе (авторах) могут содержать:

- полное имя, отчество и фамилия,
- ученая степень,

- ученое звание,
- должность (с наименованием организации и подразделения),
- почетное звание;
- членство в организациях и творческих / профессиональных союзах;
- другие, кроме ORCID, идентификационные номера авторов.

21. Вклад авторов. Сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов, при необходимости приводится на русском и английском языках в конце статьи после «Информации об авторах». Этим сведениям предшествуют слова «Вклад авторов» (Contributions of the authors) – после фамилии и инициалов автора в краткой форме описывается его личный вклад в написание статьи (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста и т.д.)

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MS Word 10 версии и выше в формате .docx на флэш-носителе или отправляется на электронный адрес редакции (nauch-tr@dgtru.ru). Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – Петров А.А.doc.
2. Распечатанный экземпляр статьи, строго соответствующий электронной версии.
3. Сопроводительное письмо на имя главного редактора сборника на бланке направляющей организации о возможности опубликовать научную статью в сборнике, с подписью руководителя учреждения (заверенной печатью), в котором выполнена работа, или его заместителя (сотрудникам Дальрыбвтуза сопроводительное письмо не требуется).
4. Экспертное заключение о возможности публикации в открытой печати, с гербовой печатью организации (скачать на сайте: https://nauch-tr.dalrybvtuz.ru/ в разделе «Требования к оформлению статей»).
5. Авторское соглашение на публикацию статьи (скачать на сайте: https://nauch-tr.dalrybvtuz.ru/ в разделе «Требования к оформлению статей»).

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 58, № 4. С. 5–8.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2021. Vol. 58, no 4. P. 5–8.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья

УДК 123

Чужеродные виды рыб залива Петра Великого

Александр Александрович Иванов[1], Иван Иванович Петров[2]

[1] Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

[2] Тихоокеанский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Владивосток, Россия

[1] ivanov.aa@dgtru.ru ORCID: 0000-0000-000-000X

[2] petrovII@mail.ru ORCID: 0000-0000-000-000X

Аннотация. Приводится информация о времени проникновения чужеродных видов рыб в залив Петра Великого, их половом и возрастном составе. Установлено, что все чужеродные виды рыб акватории залива Петра Великого относятся к короткоцикловым, максимальный возраст не превышает 5 лет. Виды, проникшие в акваторию залива раньше, преимущественно имеют устоявшуюся половозрастную структуру с преобладанием самок или равнозначную, а виды, проникшие в водоем относительно недавно, отличаются преобладанием самцов.

***Ключевые слова*:** гидробионты, чужеродные виды рыб, залив Петра Великого, популяционная структура

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Alien species of fish in the Peter the Great Bay

Aleksandr A. Ivanov[1], Ivan I. Petrov[2]

[1] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

[2] Pacific branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Vladivostok, Russia

[1] ivanov.aa@dgtru.ru ORCID: 0000-0000-000-000X

[2] petrovII@mail.ru ORCID: 0000-0000-000-000X

Abstract. The article presents data on the time of invasion of alien fish species into the Peter the Great Bay, their gender and age structure. It has been found out that all the alien fish species in Peter the Great Bay water area refer to short-cycle ones, their maximum age being no more than 5 years. The species that had invaded the water area earlier predominantly have a settled gender

and age structure with the domination of females or the equal correlation; and the species which invaded the water area later are marked by the domination of males.

***Keywords*:** hydrobionts, alien fish species, Peter the Great Bay, population structure

ТЕКСТ СТАТЬИ

Список источников

1. Алеев Ф.Т., Семенов Д.Ю. Новые данные о нахождении рыб-вселенцев (Gobiidae, Pisces) в Ульяновском и Ундоровском плесах Куйбышевского водохранилища // Природа Симбирского Поволжья: сборник научных трудов. Ульяновск: Изд-во Средневолжского научного центра. 2003. Вып. 4. С. 96–99.

2. Понамарев, Н.М. Эпизоотологический мониторинг заболеваний рыб в озерах Алтайского края / Н.М. Понамарев, Н.В. Тихая // Вестник АГАУ. 2019. № 1(171). С. 132–135.

Сведения об авторах

А.А. Иванов – доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экологии Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета, SPIN-cod: 0000-0000;

И.И. Петров – кандидат экономических наук, заведующий лабораторией океанических рыб Тихоокеанского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, AuthorID: 000000.

Information about the authors

A.A. Ivanov Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Ecology of the Far Eastern State Technical Fisheries University, SPIN-cod: 0000-0000;

I.I. Petrov PhD in Economics, Head of the Oceanic Fish Laboratory of the Pacific branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, AuthorID: 000000.

© Иванов А.А., Петров И.И., 2023

Научное электронное издание

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА

Научный журнал

№ 1 2024

Том 67

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»
Адрес: Россия, 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б; e-mail: nauch-tr@dgtru.ru

Главный редактор – Ю.С. Клочков, доктор технических наук

Свидетельство о регистрации СМИ (сетевое издание) Эл. № ФС77-81684
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 6 августа 2021 г.
Сайт: http://nauch-tr.dalrybvtuz.ru

Издание не подлежит маркировке в соответствии с гл. 3, ст. 11, п. 4 ФЗ № 436-ФЗ «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию»

Редактор Т.В. Ломакина
Макет, обложка О.В. Нечипорук

Дата выхода в свет 26.03.2024.
Формат 60x84/8.

Оригинал-макет подготовлен
Центром публикационной деятельности
«Издательство Дальрыбвтуза»
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б