

ИЗВЕСТИЯ

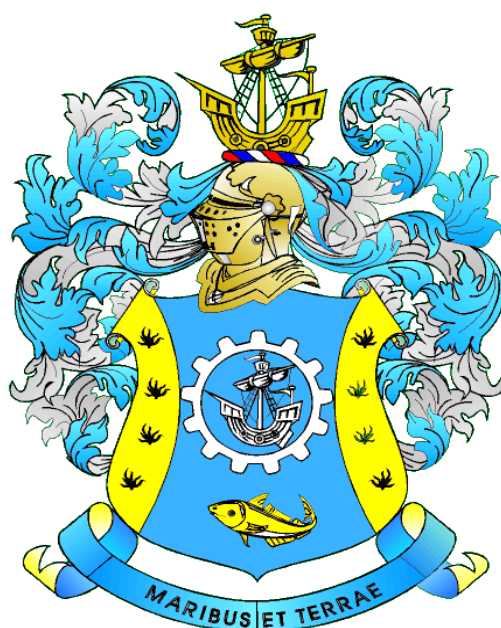
КГТУ

2022

№ 64

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Научный журнал



Индексирование журнала, включение в базы данных

Входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Agricultural Research Information System (Agris)

Калининград

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77- 47915 от 22 декабря 2011 г.

Редакционный совет:

Главный редактор: В. А. Волкогон, канд. экон. наук, доц.
Зам. главного редактора: Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц.

С. Т. Антипов, д-р техн. наук, проф., Воронежский государственный университет инженерных технологий, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств;

А. В. Бараненко, д-р техн. наук, проф., Национально-исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург, советник ректора, заведующий кафедрой холодильных установок;

О. А. Булатов, д-р биол. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), г. Москва, заместитель директора по научной работе;

А. М. Ершов, д-р техн. наук, проф., ООО «Айсберг-Норд», главный научный сотрудник по развитию, г. Мурманск;

Е. А. Криксунов, д-р биол. наук, проф., МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, заведующий лабораторией онтогенеза кафедры ихтиологии;

В. А. Панфилов, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева;

О. Я. Тимофеев, д-р техн. наук, доц., Крыловский государственный научный центр, г. Санкт-Петербург, заместитель генерального директора;

Мирослав Шредер, д-р экон. наук, проф., Гданьский университет (Польша, г. Гданьск), декан факультета управления;

А. В. Юров, д-р физ.-мат. наук, проф., Институт физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта, г. Калининград, директор;

Марек Якубовский, д-р техн. наук, проф., Кошалинский политехнический университет (Польша, г. Кошалин), заведующий кафедрой «Процессы и аппараты пищевых производств»

Редакционная коллегия:

О. В. Агеев, канд. техн. наук, доц.; *О. А. Анциферова*, канд. с.-х. наук, доц.;
А. Г. Архипов, д-р биол. наук, проф.; *О. М. Бедарева*, д-р биол. наук, доц.;
В. Ф. Белей, д-р техн. наук, проф.; *В. В. Брюханов*, д-р физ.-мат. наук, проф.;
Р. Н. Буруковский, д-р биол. наук, проф.; *Верхотуров В. В.*, д-р биол. наук, проф.;
А. А. Герасимов, д-р техн. наук, проф.; *С. В. Дятченко*, д-р техн. наук, доц.;
А. В. Иванов, д-р экон. наук, проф.; *В. П. Иванов*, д-р техн. наук, проф.;
И. П. Корнева, канд. физ.-мат. наук, проф.; *О. Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф.;
В. М. Минько, д-р техн. наук, проф.; *А. Г. Мнацаканян*, д-р экон. наук, проф.;
А. Б. Муромцев, д-р вет. наук, проф.; *Е. Н. Наumenко*, д-р биол. наук, доц.;
В. А. Наумов, д-р техн. наук, проф.; *В. И. Одинцов*, д-р техн. наук, проф.;
А. И. Притыкин, д-р техн. наук, проф.; *М. М. Розенштейн*, д-р техн. наук, проф.;
Е. С. Роньжина, д-р биол. наук, проф.; *В. И. Саускан*, д-р биол. наук, проф.;
Л. И. Сергеев, д-р экон. наук, проф.; *Г. Г. Серпунин*, д-р биол. наук, проф.;
Н. Я. Синявский, д-р физ.-мат. наук, проф.; *В. А. Слежкин*, канд. хим. наук, доц.;
Т. Е. Степанова, д-р экон. наук, проф.; *А. Э. Суслов*, канд. техн. наук, доц.;
В. И. Сутырин, д-р техн. наук, проф.; *И. М. Титова*, канд. техн. наук, доц.;
А. Б. Тристанов, канд. техн. наук, доц.; *Ю. А. Фатыхов*, д-р техн. наук, проф.;
С. В. Фёдоров, д-р техн. наук, проф.; *В. А. Фунтиков*, д-р хим. наук, проф.;
С. В. Шibaев, д-р биол. наук, проф.; *А. Я. Яфасов*, д-р техн. наук

Выпускающий редактор С. В. Супрунова

Адрес редакции: 236022, г. Калининград, Советский проспект, 1;
тел.: (4012) 99-59-01, 99-59-10, 99-59-74; факс: (4012) 91-68-46;
сайт: www.klgtu.ru; E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
2022



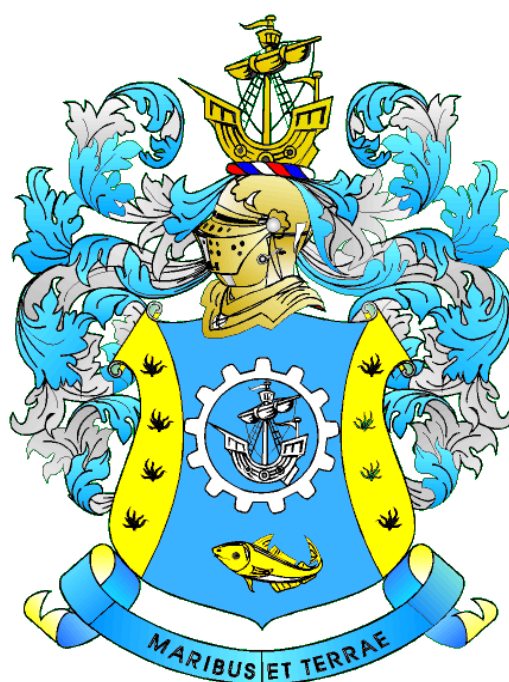
KSTU NEWS

2022

№ 64

FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL
INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
«KALININGRAD STATE TECHNICAL UNIVERSITY»

SCIENTIFIC JOURNAL



Journal index, registration in databases

Included in the list of peer-reviewed scientific publications, in which the main scientific results of dissertations for the candidate of science degree and for the doctor of science degree should be published

Russian Index of Scientific Citation (RISC)

Agricultural Research Information System (Agris)

Kaliningrad

СОДЕРЖАНИЕ

Биология, экология и рыбное хозяйство

<i>Кудрявцева Е. А., Буканова Т. В., Александров С. В.</i> Моделирование первичной продукции в юго-восточной части Балтийского моря.....	11
<i>Ламба С. А., Шибаетов С. В., Федоров Л. С.</i> Эволюция и перспективы развития рыболовства в исключительной экономической зоне Анголы.....	23
<i>Прозоркевич Д. В.</i> Вероятностно-статистический подход в долгосрочном прогнозировании национального вылова.....	36

Техника и технология пищевых производств

<i>Александров Н. К., Чернега О. П.</i> Исследование хранимостепособности продуктов из коллагенового гидролизата.....	53
<i>Андрюхин А. В., Андреев М. П., Галдукевич В. А.</i> Совершенствование технологии комплексной переработки антарктического криля (<i>Euphausia superba</i>).....	67
<i>Воробьев В. И., Казимирченко О. В., Нижникова Е. В.</i> Химические и микробиологические показатели кожи и чешуи рыб при переработке и получении новой пищевой продукции.....	81
<i>Мастюгин Ю. В., Альшевский Д. Л., Коржавина Ю. Н., Кошкина А.</i> Обоснование способа отделения кожной поверхности хвоста бобра от его липидно-белковой части.....	95
<i>Рачкова Н. А., Сохлаков В. В., Воротников Б. Ю.</i> Подходы к решению проблемы определения достаточности очистки морского плацентарного коллагена.....	108

Судостроение, машиностроение и энергетика

<i>Романюта Д. А.</i> Влияние характера распределения нагрузки от колеса на конструкции накатных судов согласно требованиям Российского Речного Регистра.....	121
<i>Волкова Л. Ю., Дорош К. С., Закиров С. Р., Мишин О. Д.</i> Расчетные исследования топливной аппаратуры судовых дизелей.....	134

CONTENT

Biology, ecology and fisheries

<i>Kudryavtseva E. A., Bukanova T. V., Aleksandrov S. V.</i> Modelling the primary production in the South-Eastern Baltic sea.....	11
<i>Lamba S. A., Shibaev S. V., Fedorov L. S.</i> Fisheries evolution and development perspectives in the South sea region (EEZ Angola).....	23
<i>Prozorkevich D. V.</i> A stochastic-statistical approach in long-term forecasting of the national catch.....	36

Processes and technology of food manufacturing

<i>Alexandrov N. K., Chernega O. P.</i> Study of storage stability of products made of collagen hydrolysate.....	53
<i>Andriukhin A. V., Andreev M. P., Galdukevich V. A.</i> Improving the technology of antarctic krill (<i>Euphausia superba</i>) complex processing.....	67
<i>Vorobyov V. I., Kazimirchenko O. V., Nizhnikova E. V.</i> Chemical and microbiological parameters of fish skin and scales in processing and obtaining new food products.....	81
<i>Mastyugin Yu. V., Alshevskiy D. L., Korzhavina Yu. N., Koshkina A.</i> Substantion of the method for separating the skin surface of the beaver tail from its lipid-protein part.....	95
<i>Rachkova N. A., Soklakov V. V., Vorotnikov B. Yu.</i> Approaches to solving the problem of determing the sufficiency of marine placental collagen purification.....	108

Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering

<i>Romanyuta D. A.</i> Influence of the character of load distribution from the wheel on the structure of trailer ships according to the requirements of the Russian River Register.....	121
<i>Volkova L. Yu., Dorosh K. S., Zakirov S. R., Mishin O. D.</i> Calculation studies of fuel equipment for marine diesels.....	134

БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Е. А. Кудрявцева, Т. В. Буканова, С. В. Александров

MODELLING THE PRIMARY PRODUCTION IN THE SOUTH-EASTERN BALTIC SEA

E. A. Kudryavtseva, T. V. Bukanova, S. V. Aleksandrov

Исследования в прибрежной зоне российского сектора юго-восточной части Балтийского моря, выполненные ежемесячно с апреля 2008 по апрель 2009 г., позволили описать закономерности сезонного распределения концентрации хлорофилла (Хл) «а» и первичной продукции (ПП) фитопланктона в столбе воды под влиянием условий среды. Показано, что вертикальное распределение Хл «а» определяется его концентрацией в поверхностном слое и гидрофизическими условиями, а распределение ПП по вертикали является убывающей функцией глубины и света. В конце весны–начале лета, при лимитировании роста фитопланктона биогенными элементами, может наблюдаться образование подповерхностного максимума Хл «а», вследствие чего возрастает вклад этого слоя в интегральную ПП. Рассчитаны показатели продуктивности фитопланктона в прибрежной зоне в зависимости от трофического состояния вод (олиготрофное, мезотрофное, эвтрофное). Показана значительная вариация величин Х «а» ($1,2\text{--}19,8 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$) и ПП фитопланктона ($40\text{--}2153 \text{ мгС}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$) от олиготрофного уровня зимой (декабрь–март) до эвтрофного – весной (апрель) и летом в периоды максимального развития фитопланктона. Проведен анализ предлагаемых для Балтийского моря алгоритмов расчета ПП, включающих известные уравнения для описания зависимости фотосинтеза от света, предложенные Дж. Стиллом, Т. Платтом и А. Яссби–Т. Платтом. Уравнения Т. Платта и А. Яссби–Т. Платта обеспечивали лучшее соответствие вычисленных для разных глубин значений ПП с данными ее натуральных измерений на выбранных горизонтах, а уравнение Дж. Стилла точнее воспроизводило интегральные величины ПП.

первичная продукция, хлорофилл «а», вертикальное распределение, зависимость «фотосинтез–свет», Балтийское море, MODIS

Field measurements conducted in the coastal zone of the Russian sector of the Baltic Sea south-eastern part from April 2008 to April 2009 allowed to describe patterns of seasonal distribution of the chlorophyll *a* concentration (Chl) and primary production (PP) of phytoplankton in the water column under environmental conditions. It is shown that the vertical distribution of Chl is determined by its concentration in the surface layer and hydrophysical conditions, while the vertical distribution of PP performs a decreasing function of depth and light. In late spring-early summer, when the growth of

phytoplankton is limited by nutrients, the subsurface maximum of Chl can be observed; as a result, contribution of this layer to the integral PP increases. Indicators of phytoplankton productivity in the coastal zone have been calculated depending on the trophic state of waters (oligotrophic, mesotrophic, eutrophic). Significant variations of Chl ($1.2\text{--}19.8 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) and PP ($40\text{--}2153 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{day}^{-1}$) values are observed from the oligotrophic level in the winter period (December–March) to eutrophic level in spring (April) and summer during maximum phytoplankton growth. The analysis has been conducted of the well-known algorithms for calculating PP, proposed for the Baltic Sea, including the equations for detecting the dependence of photosynthesis on the light, presented by J. Still, T. Platt, and A. Jassby–T. Platt. The equations of T. Platt and A. Yassby–T. Platt provided a better correspondence of the PP values calculated for different depths to the data of field measurements of PP at these depths, and J. Still's equation better reproduced the average value of water column PP.

primary production, chlorophyll "a", vertical distribution, light curves, Baltic Sea, MODIS

ВВЕДЕНИЕ

В современный период спутниковый мониторинг является важным компонентом оценки состояния водных экосистем. В частности, региональные алгоритмы позволяют получать достаточно объективные данные для расчета концентрации хлорофилла (Хл) «а» как показателя развития фитопланктона [1]. Разрабатываются модели, целью которых стало вычисление первичной продукции (ПП) на основе концентрации Хл «а», однако в прибрежных водах существующие алгоритмы часто приводят к значительному искажению данных [2]. В Балтийском море характеристики вод формируются под большим влиянием взвешенного неорганического и растворенного окрашенного вещества [3, 4].

В юго-восточной части Балтийского моря наилучшее соответствие расчетных и натуральных оценок ПП получено из польской модели DESAMBEM [4, 5]. Она состоит из комплекса полуаналитических и региональных алгоритмов обработки спутниковых данных с разрешением по глубине и спектральному составу света. Тем не менее с середины мая по сентябрь сохраняется существенное занижение вычисленных из модели значений ПП по сравнению с натурными данными. В этот период в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря создается около 70 % годовой величины ПП [6].

Целью работы были анализ сезонного хода вертикального распределения ПП и концентрации Хл «а», вычисление параметров для построения зависимостей «фотосинтез–свет» и верификация алгоритмов расчета ПП по независимым судовым измерениям и спутниковым наблюдениям, а также выбор оптимального варианта для имеющейся базы данных.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря на станции глубиной 35 м ($55^{\circ}01.60'N$, $20^{\circ}11.90'E$). Пробы отбирали ежемесячно с апреля 2008 по апрель 2009 г. со стандартных горизонтов 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30 м [7]. ПП измеряли радиоуглеродным методом [8]. Пробы с указан-

ных горизонтов, а также аликвоты пробы из верхнего 1-го слоя инкубировали в море *in situ*. Продолжительность экспозиции составляла 5–8 ч.

Содержание Хл «а» в фитопланктоне измерено на спектрофотометре LEKI SS 2109 UV (Финляндия) согласно ГОСТ 17.1.04.02-90. Температуру определяли зондом STD90M (Sea & Sun Technology, Германия), освещенность измеряли люксометром ТКА-ЛЮКС (диапазон измерений 400–700 нм). За границу эвфотического слоя принимали глубину, куда доходит 1 % проникающей в воду фотосинтетически активной радиации (ФАР) [8]. В качестве независимой базы данных для верификации модельных значений ПП использовали результаты наблюдений *in situ* на шести заякоренных станциях, которые устанавливали в море в марте–октябре 2006–2007 и в июле 2020 г.

Математическое описание связи между ПП и ФАР проводили по известным формулам, которые ранее применяли в южной части Балтийского моря [9]. Первая формула, описывающая связь между РР и ФАР, предложена Дж. Стиллом [10]:

$$P = P_m \frac{E}{E_k} \exp\left(1 - \frac{E}{E_{opt}}\right), \quad (1)$$

где P – ПП, нормированная на концентрацию Хл (мгС·мгХл⁻¹·ч⁻¹); E – плотность светового потока (моль квантов·м⁻²·ч⁻¹); P_m – максимальное значение ПП, нормированной на концентрацию Хл (мгС·мгХл «а»⁻¹·ч⁻¹); E_k – величина насыщения фотосинтеза по свету (моль квантов·м⁻²·ч⁻¹).

Для описания связи между скоростью фотосинтеза и освещенностью также применяли уравнение Т. Платта [11]:

$$P = P_s \left(1 - \exp\left(-\frac{\alpha E}{P_s}\right)\right) \times \exp\left(-\frac{\beta E}{P_s}\right), \quad (2)$$

где α – начальный наклон кривой (мгС·мгХл «а»⁻¹·моль квантов⁻¹·м⁻²); β – параметр торможения фотосинтеза светом (мгС·мгХл «а»⁻¹·моль квантов⁻¹·м⁻²); P_s – масштабный множитель (мгС·мгХл «а»⁻¹·ч⁻¹) при $\beta=0$ $P_s=P_m$.

Третье – уравнение А. Яссби–Т. Платта [12]:

$$P = P_m \operatorname{tn}\left(\frac{\alpha E}{P_m}\right). \quad (3)$$

Для определения ослабления светового потока с глубиной (z) использовали формулу Воленвайдера [8, 9]. Вертикальное распределение концентрации Хл «а» описано по эмпирическому уравнению из модели DESAMBEM [3]. Спутниковые снимки поверхности моря получены со спектрорадиометра MODIS (на спутниках Aqua и Color Web (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В изучаемом районе среднегодовая концентрация поверхностного Хл «а» составляла $6,98 \pm 6,0$ мг·м⁻³. Ее пиковые изменения в течение года различались 16 раз. Отмечалось два максимума – относительно короткий весенний (в апреле) и относительно продолжительный летний (в июле–сентябре) (рис. 1). В апреле концентрация поверхностного Хл «а» достигала наибольших за год значений – $14,5$ – $19,8$ мг·м⁻³. Его содержание во время летнего максимума составляло $10,5$ – $12,6$ мг·м⁻³, а низкие концентрации ($2,42$ – $3,32$ мг·м⁻³) наблюдались после истощения зимнего запаса биогенных элементов в мае и июне. Второй минимум ($1,23$ – $2,03$ мг·м⁻³) отмечался в период гидрологической зимы, которая в регионе Балтийского моря длится с декабря до марта. Таким образом, в течение года пре-

имущественно зафиксированы либо низкие, либо высокие значения концентрации Хл «а» в поверхностном слое.

Сравнение величин поверхностного Хл «а» с его средним содержанием в эвфотическом слое и столбе воды выявило, что последний показатель был более консервативный, чем первый. В течение года средние концентрации Хл «а» в слое фотосинтеза изменялись 7 раз, в столбе воды – 10 раз. При концентрации поверхностного Хл «а» выше $10 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ отношение его содержания к среднему значению в слое фотосинтеза изменялось от 1,4 до 1,8. Это связано со значительным убыванием концентрации Хл «а» в слое фотосинтеза. В остальные месяцы соотношение поверхностного и среднего в слое фотосинтеза Хл «а» составляло 0,8–1,1. Значения соотношения 0,8–0,9 сопровождалась случаями образования подповерхностного максимума концентрации Хл в эвфотическом слое – в мае в слое от 15 до 20 м, в июне на глубине 5 м и в марте в слое от 5 до 20 м. Критерий для оценки подповерхностного максимума Хл «а» был взят из работы [13].

Вертикальное распределение Хл «а» также зависело от гидрологической структуры вод. В декабре профиль концентрации Хл «а» характеризовался несколькими экстремумами, повторяющими изменения условной плотности воды. В остальные зимние месяцы концентрация Хл «а» в столбе воды слабо варьировала вследствие перемешивания штормами. В марте отмечался подповерхностный максимум Хл «а» протяженностью около 15 м. Он соответствовал ядру конвективного фронта, который образуется при температуре максимальной плотности воды (около $2,4 \text{ }^\circ\text{C}$). Далее, вплоть до октября, толщина эвфотического слоя была меньше толщины перемешанного слоя либо близка к его нижней границе, и вариабельность концентрации Хл «а» в столбе воды определялась преимущественно убыванием его содержания с глубиной. В мае, при максимальной годовой инсоляции, относительно высокой прозрачности воды и дефиците биогенных элементов, наблюдалось формирование выраженного подповерхностного максимума концентрации Хл «а» на границе градиентного слоя.

Можно выделить следующие типы вертикального распределения концентрации Хл в изучаемом районе: 1) профили с выраженным максимумом в верхнем (1–5 м) слое, обусловленные высокими концентрациями Хл у поверхности; 2) профили, характеризующиеся относительно однородным распределением концентрации Хл «а» в нестабильных водах в зимний период; 3) профили с заглубленным максимумом концентрации Хл «а», формирование которых обусловлено гидрологической структурой вод.

В течение года ПП изменялась 53 раза, от $40 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ в январе до $2153 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ в апреле при среднем значении за год $919 \pm 733 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$ (рис. 1). 67 % ее изменчивости было связано с динамикой концентрации Хл в эвфотическом слое. Величины ПП возросли весной, когда ФАР превышала 8 моль квантов $\cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$. Сокращение продолжительности светового дня обуславливало завершение интенсивной вегетации фитопланктона в конце осени ($R^2 = 0,47$). При отсутствии ограничения роста фитопланктона светом происходила смена лимитирующих факторов и возросла роль нитритов и нитратов ($R^2 = 0,42$), затем температуры ($R^2 = 0,41$), контролирующей скорость регенерации биогенных элементов.

Вертикальные профили ПП были проще, чем профили концентрации Хл «а», и являлись убывающей функцией глубины и света. В верхнем, 5-метровом,

слое создавалось 73–92 (77±7) % интегральной ПП, в слое 5–10 м – 6–19 (15±4) %. Образование подповерхностного максимума Хл «а» приводило к увеличению вклада глубинных слоев в интегральную ПП. В мае, июне и марте вклад верхнего слоя уменьшался и составлял от 67 до 53 (61±8) %, а слоя 5–10 м – увеличивался от 27 до 31 (29±3) %. Кроме того, в мае образование подповерхностного максимума Хл «а» обуславливало небольшое увеличение РР на 15-метровой глубине.

Максимальные значения ПП, нормированной на концентрацию Хл «а» в пробах с глубины 1 м, которые экспонировали на горизонтах от 1 до 30 м (P_m), были измерены на горизонте 1 м, куда в течение года проникало 62–90 % поверхностной ФАР. Исключением стал период времени с мая по июнь, когда удельная ПП была одинаковой у поверхности моря и на глубине 5 м. Зимой величины P_m варьировали от 0,87 до 1,31 (1,08±0,17) мгС·мгХл «а»⁻¹·ч⁻¹. В апреле 2008 г., в период весеннего «цветения» фитопланктона, и после, в мае–июне, диапазон значений P_m составлял 1,60–1,86 (1,74±0,13) мгС·мгХл «а»⁻¹·ч⁻¹. Наибольшие величины P_m – 2,45–7,52 (4,78±2,33) мгС·мгХл «а»⁻¹·ч⁻¹ – наблюдались летом, осенью 2008, а также в апреле 2009 г.

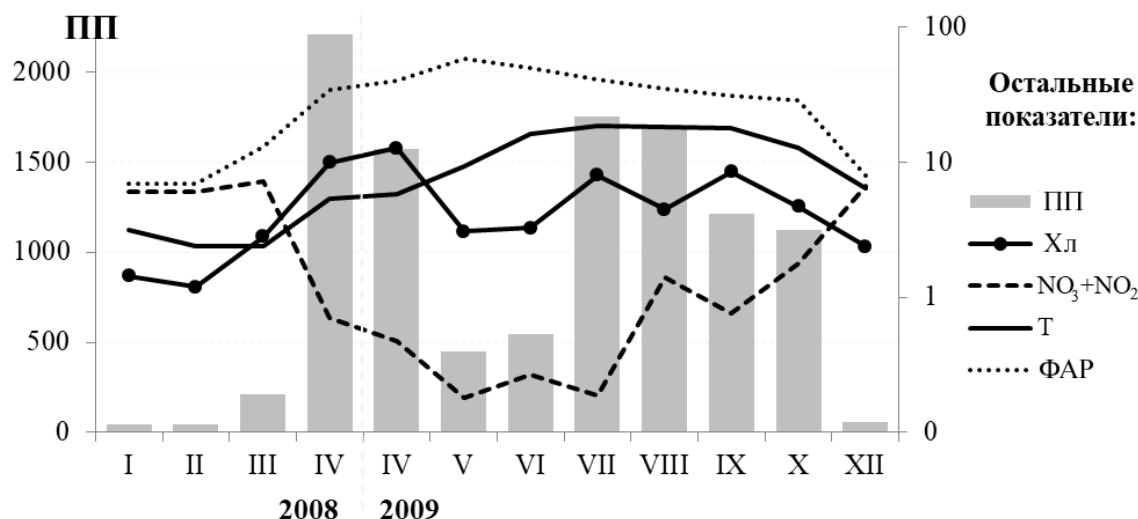


Рис. 1. Сезонный ход интегральной первичной продукции (ПП, мгС·м⁻²·сут⁻¹) и средней концентрации хлорофилла «а» в слое фотосинтеза (Хл, мг·м⁻³) на фоне внутригодовых изменений суточной ФАР (моль квантов м⁻² день⁻¹), температуры воды (Т, °С), концентрации нитритов и нитратов (NO₃+NO₂, μМ)

Fig. 1. Seasonal dynamics of the integrated primary production (ПП, mgC·m⁻²·day⁻¹) and chlorophyll «а» concentration (Хл, mg·m⁻³) with the changes in the daily PAR (mol photons m⁻² d⁻¹), water temperature (Т, °С), nitrogen concentration (NO₃+NO₂, μM)

Наклон кривой, описывающей зависимость фотосинтеза от света, определяется величиной ПП при низких значениях ФАР. По формуле из работы [14] рассчитана эффективность фотосинтеза (α^B). Она изменялась от 0,32±0,09 мгС·мгХл а⁻¹·моль квантов м⁻² в мае–июне до 1,41±0,04 мгС·мгХл а⁻¹·моль квантов м⁻² в апреле, августе и октябре 2009 г. В

зимний период и в остальные месяцы α^B составляла $0,67 \pm 0,23$ и $0,70 \pm 0,30$ $\text{мгС} \cdot \text{мгХл} \text{ а}^{-1} \cdot \text{моль квантов м}^{-2}$ соответственно.

Концентрации Хл «а» на разных этапах сезонной сукцессии фитопланктона хорошо соответствуют шкале трофических градаций, разработанной для акваторий Балтийского и Северного морей [15]. Согласно ей содержание Хл «а» в воде меньше $2 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ характеризует наименее продуктивные олиготрофные воды. К этому диапазону относится период биологической зимы. Эвтрофный статус достигается при содержании Хл «а» от 6 до $20 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$ и отмечается во время весеннего и летнего максимумов роста фитопланктона. Мезотрофные воды (концентрация Хл «а» $2\text{--}6 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$) соответствуют переходным периодам – концу весны– началу лета и концу лета– началу осени. Это делает удобным группировку входящих в алгоритмы расчета ПП параметров согласно стадиям сезонной сукцессии фитопланктона (табл. 1).

Таблица 1. Показатели продуктивности фитопланктона в водах с различным трофическим уровнем и абиотические факторы в эвфотическом слое
Table 1. Parameters of phytoplankton productivity of waters with various trophic status and abiotic factors in the euphotic layer

Показатель	Олиготрофные (декабрь, январь, февраль, март)	Мезотрофные		Эвтрофные (апрель, июль, сентябрь)
		май-июнь	август, октябрь	
$X_{L0}, \text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$	$1,71 \pm 0,60$	$2,87 \pm 0,64$	$4,89 \pm 0,01$	$12,03 \pm 1,92$
$X_{L\text{max}}, \text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$	$2,03 \pm 1,02$	$4,09 \pm 0,07$	$4,97 \pm 0,01$	$12,55 \pm 1,47$
$X_{L\text{max}}/X_{L0}$	1,19	1,42	1,02	1,04
$X_{L\text{eu}}, \text{мг} \cdot \text{м}^{-3}$	$1,96 \pm 0,76$	$3,23 \pm 0,01$	$4,52 \pm 0,21$	$9,80 \pm 2,12$
$\Sigma X_{L\text{eu}}, \text{мг} \cdot \text{м}^{-2}$	32 ± 20	64 ± 5	92 ± 3	159 ± 17
$\text{ПП}_0, \text{мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$	15 ± 8	73 ± 31	362 ± 48	468 ± 221
$\text{ПП}_{\text{eu}}, \text{мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$	6 ± 5	34 ± 7	115 ± 39	130 ± 59
$\Sigma \text{ПП}, \text{мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$	118 ± 132	497 ± 67	1412 ± 407	1520 ± 522
$P_m, \text{мгС} \cdot \text{мгХл}^{-1} \cdot \text{ч}^{-1}$	$1,08 \pm 0,17$	$1,73 \pm 0,2$	$6,68 \pm 1,19$	$2,98 \pm 1,14$
$E_0, \text{моль квантов м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$	9 ± 4	54 ± 4	34 ± 7	31 ± 11
$\alpha^B, \text{мгС} \cdot \text{мгХл}^{-1} \cdot \text{моль квантов м}^{-2}$	$0,67 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,1$	$1,45 \pm 0,4$	$0,77 \pm 0,3$
$Z_{\text{eu}}, \text{м}$	$33,1 \pm 2,7$	$18,0 \pm 4,7$	$20,3 \pm 1,2$	$11,5 \pm 3,0$
$\Delta \text{Sigma-t}, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$	$0,08 \pm 0,08$	$1,38 \pm 1,03$	$0,15 \pm 0,1$	$0,49 \pm 0,19$

Примечание. X_{L0} , $X_{L\text{max}}$, $X_{L\text{eu}}$ – концентрация хлорофилла на поверхности, максимальная в столбе воды, средневзвешенная в эвфотическом слое; $\Sigma X_{L\text{eu}}$ – суммарное содержание в слое фотосинтеза; ПП_0 , ПП_{eu} , $\Sigma \text{ПП}$ – первичная продукция на поверхности, средняя и интегральная в эвфотическом слое; P_m – ассимиляционное число; E_0 – ФАР на поверхности; α^B – начальный наклон кривой «фотосинтез–свет»; Z_{eu} – толщина эвфотического слоя; $\Delta \text{Sigma-t}$ – разность между плотностями в придонном слое и у поверхности

Сравнение вычисленных и измеренных значений ПП для разных глубин показало, что уравнение Дж. Стилла хорошо воспроизводит результаты натурных определений интегральной для слоя фотосинтеза ПП в период с марта по июнь. Коэффициенты детерминации пар данных для этих месяцев составляли $0,96\text{--}0,99$. Худшее соответствие уравнения результатам наблюдений отмечалось зимой при низком уровне ФАР ($0,69\text{--}0,83$). Уравнения Т. Платта и А. Яссби–Т. Платта в це-

лом характеризовались лучшим соответствием кривых, описывающих зависимость фотосинтеза от света в течение года, данным натурных измерений на разных горизонтах отбора проб. Коэффициенты детерминации натурных и вычисленных по уравнению Т. Платта показателей составили 0,84–0,99, по уравнению А. Яссби–Т. Платта – 0,95–0,99. Кривые, построенные по этим уравнениям, заметно отклонялись от результатов измерений только в мае–июне, когда может отмечаться ингибирование фотосинтеза светом на глубинах до 6 м [9]. Более детальный отбор проб в этом слое должен улучшить качество описания зависимости фотосинтеза от света.

Для расчета абсолютных значений ПП кроме параметров, описывающих зависимость фотосинтеза от света, необходимо знать концентрацию Хл «а». Ошибки расчета концентрации Хл «а» с помощью алгоритма, позаимствованного из модели DESAMBEM, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Ошибки вычисления концентрации хлорофилла «а» и первичной продукции (абсолютное значение средней ошибки (AAE), систематическая ошибка в абсолютном (В) и процентном выражении (P_B), случайная (MPE), коэффициент детерминации (R²), ошибка линейной регрессии (RMSE))

Table 2. Errors in the calculation of chlorophyll *a* concentration (absolute average error (AAE), bias (B), percentage of model bias (P_B), mean absolute percentage error (MPE), determination coefficient (R²) and root mean square error (RMSE))

Уравнение и вычисленный из него параметр	AAE	В	P _B , %	MPE, %	R ²	RSME	N
<i>Сопоставление измеренной и вычисленной по алгоритму DESAMBEM концентрации хлорофилла</i>							
Хл _z в столбе воды, мг·м ⁻³	1,51	1,51	11	35	0,65	3,75	56
Хл _z в эвфотическом слое, мг·м ⁻³	0,66	0,66	13	7,8	0,92	1,85	43
Хл _z спутниковый в столбе воды, мг·м ⁻³	0,21	-0,21	-3,4	53	0	7,09	24
Хл _z спутниковый в эвфотическом слое, мг·м ⁻³	0,95	-1,26	-17,2	8,1	0	6,2	18
<i>Сопоставление вычисленной и измеренной удельной ПП для данных 2008–2009 гг.</i>							
(1) ПП по P _m , мгС·мгХл ⁻¹ ·ч ⁻¹	0,36	0,36	136	211	0,69	0,75	43
(2) ПП по P _m , мгС·мгХл ⁻¹ ·ч ⁻¹	0,01	-0,01	-3,1	17	0,71	0,21	43
(3) ПП по P _m , мгС·мгХл ⁻¹ ·ч ⁻¹	0,03	0,03	13	31	0,73	0,26	43
<i>Сопоставление измеренной и вычисленной ПП по независимой базе данных и средним значениям P_m и α^B для трофических градаций из табл. 1</i>							
(1) ПП _z , мгС·м ⁻³ ·сут ⁻¹	24	-24	-36	110	0,84	69	47
(2) ПП _z , мгС·м ⁻³ ·сут ⁻¹	38	-38	-60	1,9	0,63	88	47
(3) ПП _z , мгС·м ⁻³ ·сут ⁻¹	36	-36	-55	33	0,64	86	47
(1) интегральная ПП, мгС·м ⁻² ·сут ⁻¹	548	-548	-38	62	0,67	1125	6
(2) интегральная ПП, мгС·м ⁻² ·сут ⁻¹	982	-982	-68	-20	0,51	1495	6
(3) интегральная ПП, мгС·м ⁻² ·сут ⁻¹	916	-916	-63	3	0,38	1463	6

Высокий коэффициент детерминации между измеренными и вычисленными значениями Хл «а» был получен для эвфотического слоя (R²=0,92, RSME=1,85 мг·м³), менее значимый – для столба воды (R²=0,65, RSME=3,75 мг·м³). Это связано с тем, что в придонном слое возрастает вариабельность концентрации Хл «а» и оптических компонентов, оказывающих влия-

ние на ее определение. В отличие от натуральных, спутниковые данные не обеспечили приемлемую точность расчета концентраций Хл «а». Ошибка линейной регрессии $6,2 \text{ мг} \cdot \text{м}^3$ для эвфотического слоя оказалась эквивалентна среднегодовой концентрации Хл «а» в точке наблюдений.

В процессе верификации алгоритмов расчета ПП в качестве входящих параметров использовали их средние значения для разных трофических градаций, приведенные в табл. 1. Как и в случае сравнения зависимостей фотосинтеза от света, абсолютные величины ПП, вычисленные на основании уравнения Дж. Стилла, лучше всего соответствовали измеренным значениям ПП ($R^2 = 0,84$, $\text{RMSE} = 64 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$). Построенные по этому уравнению кривые зависимости фотосинтеза от света на графике, как правило, проходили выше точек с измеренными значениями ПП. Это компенсировало недостаточно подробный отбор проб в верхнем слое максимального фотосинтеза. В свою очередь, лучшие результаты расчета ПП на отдельных глубинах обуславливали лучшие результаты вычисления интегральной ПП ($R^2 = 0,67$, $\text{RMSE} = 1125 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$) и меньшее занижение ее значений (-38%).

Уравнения Т. Платта и А. Яссби–Т. Платта лучше аппроксимировали расчетные данные ПП к измеренным. Недостаточно частый оборот проб в верхнем слое сказывался на значениях ПП. В результате этого велики были ошибки регрессии ($82\text{--}88 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{сут}^{-1}$ и $1423\text{--}1495 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$). Несмотря на это уравнение Т. Платта сохраняло высокую предсказывающую способность. Коэффициенты детерминации составляли $0,51\text{--}0,63$. Величина относительной ошибки была меньше, чем у других уравнений (-6,8–1,9).

ОБСУЖДЕНИЕ

При вычислении ПП по алгоритмам нельзя избежать приближения, поскольку сложно учитывать такие факторы, как дыхание, экссудация, выедание биомассы фитопланктона, их временная изменчивость. Для приемлемого соответствия между прогнозируемыми и наблюдаемыми величинами ПП значения параметров, по сути, подбираются во время калибровки алгоритмов. Тем не менее при отсутствии корректных измерений невозможно получить приемлемый алгоритм расчета ПП. В связи с этим улучшение экспериментальной базы по пространственно-временной изменчивости фотосинтетических параметров P_m и α^B в изучаемом районе должно позволить усовершенствовать продукционные алгоритмы на основе уравнения Т. Платта.

Один из ключевых для моделирования ПП показателей – P_m – в опытах на культурах контролируется температурой. Для природного сообщества фитопланктона эта связь доказана в тропических районах Мирового океана. В высоких широтах влияние температуры на P_m проследить не удастся. В российском секторе Балтийского моря наибольшие значения P_m отмечаются в конце лета–начале осени [6, 7]. При этом связь P_m с температурой воды в изучаемом районе выражена гораздо слабее, чем между общей ПП и температурой [16]. В диапазоне температуры воды $0\text{--}7$ и $13\text{--}19$ °С изменения P_m и температуры тесно связаны. Первый интервал соответствует началу весеннего цветения, второй – началу летнего.

На данном этапе для изучаемого района получены относительно хорошие результаты восстановления параметров для описания зависимости фотосинтеза от света с использованием уравнения Дж. Стилла. Занижением расчетных значений

ПП на 20–30 % характеризуются многие известные модели ПП [3, 4, 17]. Величина ошибок алгоритма расчета ПП в изучаемом районе на основе уравнения Дж. Стилла выше, чем у спектральной модели DESAMBEM ($AAE = 285 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, $B = -75 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$, $MPE = 64\%$, $P_B = -11\%$, $R^2 = 0,46$, $RSME = 461 \text{ мгС} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$). Однако этапы вычисления значительно проще, а эффективность модели выше ($R^2 = 0,67$) при использовании средних для трофических градаций значений P_m .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования в прибрежной зоне российского сектора юго-восточной части Балтийского моря в 2008–2009 гг. позволили описать закономерности сезонной динамики концентрации Хл «а» и ПП фитопланктона в столбе воды под влиянием условий среды. Установлено, что вертикальное распределение Хл «а» определяется его концентрацией в поверхностном слое и гидрофизическими условиями, а изменение ПП по вертикали является убывающей функцией глубины и света. Проведен анализ алгоритмов расчета ПП. Показано, что вычисление ПП с использованием уравнений Т. Платта и А. Яссби–Т. Платта обеспечивало лучшее соответствие с данными натурных измерений ПП на выбранных горизонтах, а уравнение Дж. Стилла точнее воспроизводило интегральную ПП.

Исследования проведены в рамках государственного задания Института океанологии им П. П. Ширшова РАН № 0128-2021-0012. Статья подготовлена при поддержке гранта РФФИ № 19-05-50090.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гоголев, Д. Г. Региональная коррекция алгоритмов расчета концентрации хлорофилла «а» по данным спутниковых радиометров VIIRS и OLCI в юго-восточной части Балтийского моря / Д. Г. Гоголев, Т. В. Буканова, С. В. Александров // Известия КГТУ. – 2020. – № 59. – С. 13–23.
2. Morel, A. Light and marine photosynthesis: A spectral model with geochemical and climatological implications / A. Morel // Progress in Oceanography. – 1991. – V. 26, № 3. – P. 263–306.
3. Региональные алгоритмы оценки концентрации хлорофилла «а» и взвеси в Юго-Восточной Балтике по данным спутниковых сканеров цвета / Т. В. Буканова, С. В. Вазюля, О. В. Копелевич [и др.] // Современные проблемы дистанционного исследования Земли из космоса. – 2011. – Т. 8, № 2. – С. 64–73.
4. Darecki, M. Algorithms for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM). Part 2: Empirical validation / M. Darecki, D. Ficek, A. Krężel, M. Ostrowska, R. Majchrowski, S.B. Woźniak, K. Bradtke, J. Dera, B. Woźniak // Oceanologia. – 2008. – V. 50, № 4. – P. 509–538.
5. Stramska, M. Comparison of primary productivity estimates in the Baltic Sea based on the DESAMBEM algorithm with estimates based on other similar algorithms / M. Stramska, A. Zuzewicz // Oceanologia. – 2013. – V. 55, № 1. – P. 77–100.

6. Kudryavtseva, E. A. Hydrological and hydrochemical underpinnings of primary production and division of the Russian sector in the Gdansk Basin of the Baltic Sea / E. A. Kudryavtseva, S. V. Aleksandrov // *Oceanology*. – 2019. – V. 59, № 1. – P. 49–65.
7. Kudryavtseva, E. Relationship between seasonal variations of primary production, abiotic factors and phytoplankton composition in the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea / E. Kudryavtseva, S. Aleksandrov, T. Bukanova, O. Dmitrieva, I. Rusanov // *Regional studies in Marine Science*. – 2019. – V. 32. – Article № 100862.
8. Vollenweider, R. A. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments / R. A. Vollenweider / IBP. №12. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1969. 213 p.
9. Renk, H. Primary production in the Southern Baltic in 1979–1983 / H. Renk // *Oceanologia*. – 1990. – V. 29. – P. 51–75.
10. Steele, J. H. Environmental control of photosynthesis in the sea / J. H. Steele // *Limnology and Oceanography*. – 1962. – V. 7. – P. 137–149.
11. Platt, T. Basin-scale estimates of Oceanic primary production by remote sensing: The North Atlantic / T. Platt, C. Caverhill, S. Sathyendranath // *Journal of Geophysical Research*. – 1991. – V. 96. – № 8. – P. 15147-15159.
12. Platt, T. The relationship between photosynthesis and light for natural assemblages of coastal marine phytoplankton / T. Platt, A. D. Jassby // *Phycology*. – 1976. – V. 12, № 4. – P. 421–430.
13. Uitz, J. Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment on surface chlorophyll / J. Uitz, H. Claustre, A. Morel, S. B. Hooker // *Journal of Geophysical Research*. – 2006. – V. 111. – C08005.
14. Platt, T. Modelling Primary Production. / T. Platt., C. L. Gallegos / In: Falkowski P. G. Primary Productivity in the Sea. Environmental Science Research. Springer, Boston, MA. – V. 19. – 1980.
15. Lindgren, D. Functional classification of coastal areas as a tool in ecosystem modeling and management / D. Lindgren, L. Håkanson / In : Mass-Balance Modelling and GIS-Based 137 Data Analysis as Tools to Improve Coastal Management. Uppsala, Sweden Uppsala University. – Licentiate thesis. – 2007. – 126 p.
16. Кудрявцева, Е. А. Расчет первичной продукции по спутниковым данным в юго-восточной части Балтийского моря / Е. А. Кудрявцева, Т. В. Буканова // VII Международный Балтийский морской форум (07–12 октября 2019): материалы. – Калининград, 2019. – С. 341–346.
17. Behrenfeld, M. J. Carbon-based ocean productivity and phytoplankton physiology from space / M. J. Behrenfeld, E. Boss, D. A. Siegel, D. M. Shea // *Global Biogeochemical cycles*. 2002, vol. 19, GB1006, doi: 10.1029/2004GB002299.

REFERENCES

1. Gogolev D. G., Bukanova T. V., Aleksandrov S. V. Regional'naya korrektsiya algoritmov rascheta koncentratsii khlorofilla «a» po dannym sputnikovykh radiometrov VIIRS i OLCI v yugo-vostochnoy chasti Baltiyskogo morya [Regional correction of algorithms for chlorophyll «a» concentration retrieval from VIIRS and OLCI

radiometers satellite data of in the south-eastern part of the Baltic Sea]. *Izvestiya KGTU*, 2020, no. 59, pp. 13–23.

2. Morel A. Light and marine photosynthesis: A spectral model with geochemical and climatological implications. *Progress in Oceanography*, 1991, vol. 26, no. 3, pp. 263–306.

3. Bukanova T. V., Vazyulya S. V., Kopelevich O. V., Burenkov V. I., Grigor'ev A. V., Khrapko A. N., Sheberstov S. V., Aleksandrov S. V. Regional'nye algoritmy otsenki kontsentratsii khlorofilla i vzvesi v Yugo-Vostochnoy Baltike po dannym sputnikovykh skanerov tsveta [Regional algorithms for estimation of chlorophyll and suspended matter concentrations in the south-eastern Baltic by ocean color sensors]. *Sovremennye problemy distantsionnogo issledovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011, vol. 8, no. 2, pp. 64–73.

4. Darecki M., Ficek D., Krężel A., Ostrowska M., Majchrowski R., Woźniak S. B., Bradtke K., Dera J., Woźniak B. Algorithms for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM). Part 2: Empirical validation. *Oceanologia*, 2008, vol. 50, no. 4, pp. 509–538.

5. Stramska M., Zuzewicz A. Comparison of primary productivity estimates in the Baltic Sea based on the DESAMBEM algorithm with estimates based on other similar algorithms. *Oceanologia*. 2013, vol. 55, no. 1, pp. 77–100.

6. Kudryavtseva E. A., Aleksandrov S. V. Hydrological and hydrochemical underpinnings of primary production and division of the Russian sector in the Gdansk Basin of the Baltic Sea. *Oceanology*, 2019, vol. 59, no. 1, pp. 49–65.

7. Kudryavtseva E., Aleksandrov S., Bukanova T., Dmitrieva O., Rusanov I. Relationship between seasonal variations of primary production, abiotic factors and phytoplankton composition in the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea. *Regional studies in Marine Science*. 2019. vol. 32, article no. 100862.

8. Vollenweider R. A. *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. IBP. №12. Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1969. 213 p.

9. Renk H. Primary production in the Southern Baltic in 1979–1983. *Oceanologia*. 1990, vol. 29, pp. 51–75.

10. Steele J. H. Environmental control of photosynthesis in the sea. *Limnology and Oceanography*, 1962, vol. 7, pp. 137–149.

11. Platt T., Caverhill C., Sathyendranath S. Basin-scale estimates of Oceanic primary production by remote sensing: The North Atlantic. *Journal of Geophysical Research*. 1991, vol. 96, no. 8, pp. 15147–15159.

12. Platt T., Jassby A. D. The relationship between photosynthesis and light for natural assemblages of coastal marine phytoplankton. *Phycology*. 1976, vol. 12, no. 4, pp. 421–430.

13. Uitz J., Claustre H., Morel A., Hooker S.B. Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment on surface Chlorophyll. *Journal of Geophysical Research*. 2006. vol. 111, C08005.

14. Platt T., Gallegos C. L. Modelling Primary Production. In: Falkowski P. G. *Primary Productivity in the Sea. Environmental Science Research*. 1980, vol. 19. Springer, Boston, MA.

15. Lindgren D., Håkanson L. Functional classification of coastal areas as a tool in ecosystem modeling and management. In : *Mass-Balance Modelling and GIS-Based*

137 Data Analysis as Tools to Improve Coastal Management. Uppsala, Sweden Uppsala University. Licentiate thesis. 2007, 126 p.

16. Kudryavtseva E. A., Bukanova T. V. Raschet pervichnoy produktsii po sputnikovym dannym v yugo-vostochnoy chasti Baltiyskogo morya [Primary production calculation from remote sensing data]. *Materialy VII Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma* [Proceedings of the VII International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, 2019, pp. 341–346.

17. Behrenfeld M. J., Boss E., Siegel D. A., Shea D. M. Carbon-based ocean productivity and phytoplankton physiology from space. *Global Biogeochemical cycles*. 2002, vol. 19, GB1006.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кудрявцева Елена Андреевна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН;
кандидат географических наук, научный сотрудник;
E-mail: kudryavtzeva@rambler.ru

Kudryavtseva Elena Andreevna – Shirshov P. P. Institute of Oceanology RAS;
PhD in Geographic Sciences, Scientific researcher; E-mail: kudryavtzeva@rambler.ru

Буканова Татьяна Васильевна – Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН;
кандидат географических наук, научный сотрудник;
E-mail: tatiana.bukanova@gmail.com

Bukanova Tatiana Vasilyevna – Shirshov P. P. Institute of Oceanology RAS; PhD in
Geographic Sciences, Scientific researcher; E-mail: tatiana.bukanova@gmail.com

Александров Сергей Валерьевич – Атлантический филиал Всероссийского научно-
исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии,
зав. лабораторией;
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник; E-mail: hydrobio@mail.ru

Aleksandrov Sergey Valerievich – Atlantic branch of Russian Federal Research Institute
of Fisheries and Oceanography, Head of Laboratory;
Shirshov P. P. Institute of Oceanology RAS, PhD in Biological Sciences,
Senior Researcher; E-mail: hydrobio@mail.ru

ЭВОЛЮЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РЫБОЛОВСТВА
В ИСКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЗОНЕ АНГОЛЫ

С. А. Ламба, С. В. Шибяев, Л. С. Федоров

FISHERIES EVOLUTION AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES IN THE SOUTH
SEA REGION (EEZ ANGOLA)

S. A. Lamba, S. V. Shibaev, L. S. Fedorov

В работе дается общая характеристика рыболовства в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Анголы и его эволюции начиная с 1960 г. Описываются особенности организации промысла в период работы там флота СССР и затем – становления национального рыболовства. Показано, что рыболовный сектор Анголы имеет существенное значение для экономики страны. До конца войны в 2002 г. добыча рыбы являлась третьим по значимости сектором экономики после нефти и алмазов. Общий вылов достигал 500 тыс. т, но затем по причине снижения уровня запасов водных биоресурсов существенно уменьшился. Тем не менее рыболовство по-прежнему остается очень важным сектором для национальной экономики (в 2011 г. – около 4% внутреннего валового продукта), обеспечения страны продовольствием и источником средств к существованию населения. В современных условиях величина вылова оценивается в пределах 220–290 тыс. т, в том числе национальным флотом может обеспечиваться добыча до 40 тыс. т. Дана характеристика промыслового использования пелагических видов рыб и приводятся сведения о динамике их вылова на шельфе Анголы. Основными объектами промысла являются мелкие пелагические виды (родов *Trachurus*, *Sardinella*, *Scomber*), а также димерсальные виды (семейств *Serranidae*, *Scianidae*, *Sparidae*, *Merlucciidae*, *Pomadasyidae*). Проанализированы особенности кошелькового, донного и пелагического тралового лова, а также кустарного промысла.

исключительная экономическая зона Анголы, эволюция промысла, промысловая ихтиофауна, океаническое рыболовство, научно-поисковые исследования

The paper provides a general description of fishing in the economic zone of Angola and its evolution since 1960. It describes the features of the organization of fishing in the exclusive economic zone of Angola during the period of fishing mainly by USSR and then the formation of national fishing. It is shown that the fishing sector of Angola is of significant importance for the country's economy and accounts for about 4.6% of the country's gross domestic product in 2011. Until the end of the war in 2002, Angola's fishing sector was the third largest economic sector after oil and diamond mining. The total catch reached 500 thousand tons, but due to a decrease in the volume of aquatic biological resources, it decreased. However, it still remains a very important sector for the national economy and an important source of livelihood for the population and food

supply for the country. Currently the total catch is estimated in the range of 220–290 thousand tons; the national fleet can provide up to 40 thousand tons.

The characteristics of the size composition of the main pelagic fish species and information on the dynamics of their catch on the shelf of Angola are given. The main objects of the fishery are small pelagic species (species of the genera *Trachurus*, *Sardinella*, *Scomber*), as well as dimesal species (*Serranidae*, *Scianidae*, *Sparidae*, *Merlucciidae*, *Pomadasyidae*). A characteristic of the types of fishery is given, which include purse seine fishing, bottom and pelagic trawling, as well as artisanal fishery.

aquatic bioresources, oceanic fisheries, the state of fishing for aquatic bioresources in the Angolan region, scientific and exploratory research

ВВЕДЕНИЕ

Промысловый лов рыбы на шельфе Анголы начал развиваться с 60-х годов XX в. и осуществлялся преимущественно советским флотом, работавшим на основании двухстороннего соглашения между СССР и Республикой Ангола. Начавшаяся в 1975 г. гражданская война создала серьезные препятствия для развития рыболовства, в результате чего большинство российских добывающих компаний свернуло работу в этом регионе, а к 2000 г. российский рыболовный флот совсем ее прекратил. После окончания войны начал восстанавливаться местный промысел, однако он не смог обеспечить достижение размеров довоенных уловов. В настоящее время предпринимаются попытки дальнейшего развития промыслового лова рыбы за счет различных мер на уровне государственного регулирования [1].

До конца войны в 2002 г. рыболовный сектор Анголы был третьим по значимости в ее экономике после добычи нефти и алмазов, но по причине снижения объемов водных биоресурсов уменьшился. Тем не менее он по-прежнему остается очень важным для национальной экономики, источником средств к существованию населения [1]. В 2011 г. рыболовный сектор Анголы составлял около 4,6 % внутреннего валового продукта страны.

Цель настоящей работы – характеристика современного состояния рыболовства в экономической зоне Анголы и оценка перспектив его развития.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом для настоящей работы послужили данные, собранные Национальным институтом рыболовства и морских исследований Анголы, *INIPEM* (Angola National Fisheries Research Institute and Sea Studies) [2], осуществляющим изучение рыбных запасов в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Анголы в настоящее время, которое ранее проводилось российским научно-исследовательским институтом АтлантНИРО (последняя научно-исследовательская экспедиция на СТМ «Очер» состоялась в 1989 г.) [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ангола расположена на юго-западе африканского континента. С севера и северо-востока страна граничит с Демократической Республикой Конго, с востока – с Замбией, с юга – с Намибией. Западная часть Анголы омывается водами

Атлантического океана. Побережье простирается от 6° ю. ш. на севере до 18° ю. ш. на юге. Длина береговой линии составляет 1650 км.

К ней примыкают семь ее приморских провинций: Кабинда (Cabinda), Заире (Zaire), Бего (Bengo), Луанда (Luanda), Южная Кванза (Cuanza Sul), Бенгела (Benguela) и Намибе (Namibe) (рис. 1) [1].



Рис. 1. Административно-территориальное деление Анголы

Fig. 1. Administrative division of Angola

ИЭЗ Анголы имеет общую площадь 332 000 км². На севере она граничит с ИЭЗ Конго; на юге – с ИЭЗ Намибии. Почти весь промысел осуществляется вдоль побережья на глубине до 200 м, что соответствует пределу континентального шельфа (с максимальной шириной более 95 км, а минимальной – менее 2 км) [1].

В целом вся прибрежная зона характеризуется высокой биологической продуктивностью. Принято выделять две подзоны: «Север-Центр» и «Южную». Подзона «Север-Центр» находится под воздействием теплого Ангольского течения. Ей присущи высокое видовое разнообразие преимущественно тропических видов водных биоресурсов и средняя рыбопродуктивность. На акватории «Южной» подзоны доминирует холодное Бенгельское течение. Здесь меньшее видовое разнообразие при больших биомассах рыбных запасов. Граница между этими двумя подзонами смещается в зависимости от климатических условий почти от Бенгела в холодное время года до государственной границы с Намибией – в теп-

лый сезон. В течение последнего десятилетия была отмечена тенденция смещения рассматриваемой термической границы между зонами к югу вплоть до фиксации ее в водах Намибии [3].

Ресурсы прибрежных вод Анголы разнообразны и недостаточно изучены. По многим объектам промысла не определена оптимальная степень эксплуатации запасов ввиду дефицита необходимой для этого первичной информации [4]. Первые официальные сведения о вылове рыбы на шельфе Анголы появились в 1950 г. (ФАО, 2011 г.). Устойчивый промысел начал развиваться в 60-х годах благодаря флоту СССР [3].

В период массового присутствия советского флота (преимущественно судов кошелькового лова) на шельфе Анголы (70-е – 80-е годы XX в.) фиксировались высокие уловы, достигавшие в отдельные годы более 500 тыс. т (рис. 2) [6].

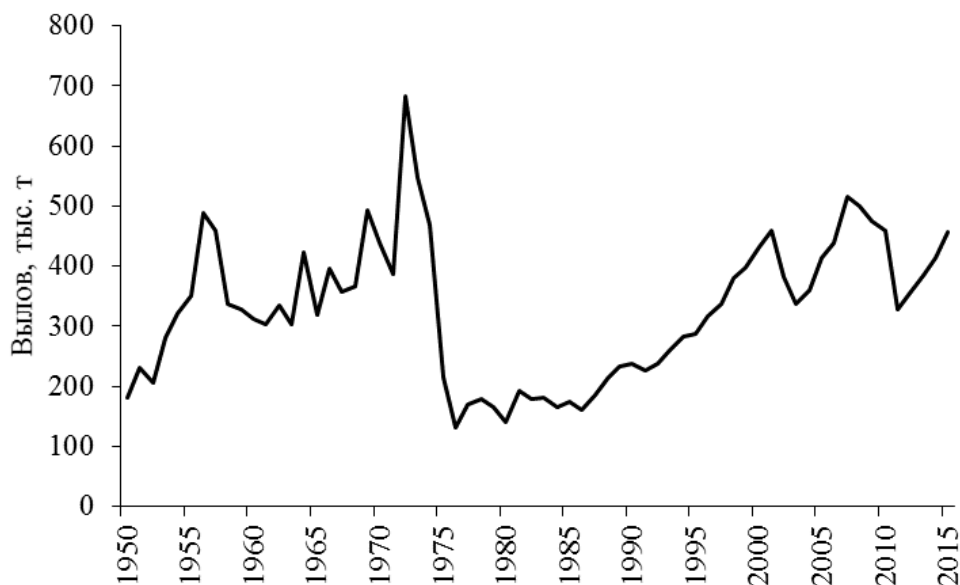


Рис. 2. Динамика вылова водных биоресурсов в ИЭЗ Анголы в 1950–2015 гг.

Fig. 2. Dynamics of the catch of aquatic bioresources in the Angolan EEZ in 1950–2015

С введением ИЭЗ прибрежными государствами Юго-Восточной Атлантики (ЮВА), в том числе в исторически традиционном районе Анголы, добывать биоресурсы могут только национальные предприятия и граждане этих государств. Доступ иностранных компаний к морским биоресурсам стал возможен, но даже при заключении новых межправительственных соглашений по рыболовству, на что направлены усилия ангольской стороны, квоты на добычу биоресурсов судам могут быть выделены в ограниченных объемах через национальные и совместные компании.

В связи с изменением рыболовной политики и начавшейся в 1976 г. гражданской войной советский флот вынужден был покинуть ИЭЗ Анголы, в результате чего наступил резкий спад объемов добычи водных биоресурсов.

После окончания войны (1999 г.) уловы рыбы возросли. Согласно статистическим данным общий вылов в ангольской экономической зоне с начала 2000-х годов оценивается в пределах 220–290 тыс. т, в том числе национальным флотом добывается не более 35–40 тыс. т [1].

Промысел водных биоресурсов ведется за пределами четырехмильной зоны. Основные особенности промысла в морских водах и в целом подразделяются на пять основных групп, включающих промысел:

- (i) мелких пелагических видов рыб;
- (ii) крупных пелагических видов рыб;
- (iii) донных (демерсальных) видов рыб (фон);
- (iv) ракообразных;
- (v) головоногих моллюсков.

Эти ресурсы используются разными типами судов и способами лова.

Статистикой учитываются объемы вылова при осуществлении промышленного, кустарного и любительского рыболовства, а также объемы водных биологических ресурсов, используемых на питание экипажей судов и выбрасываемых при ведении добычи (рис. 3). За период 2011–2015 гг. опубликованы только сведения о промышленном рыболовстве [2].

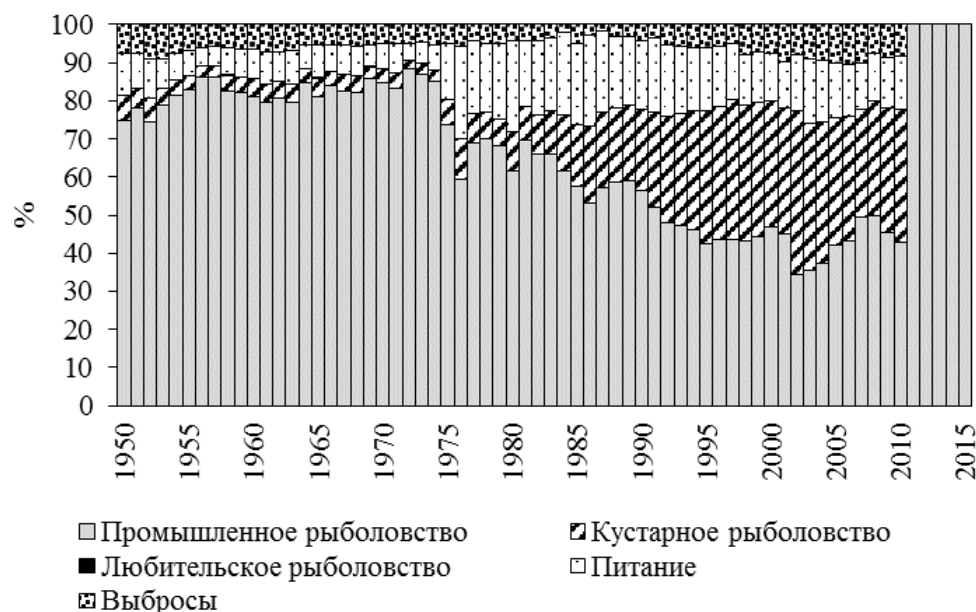


Рис. 3. Динамика вылова водных биоресурсов в ИЭЗ Анголы в 1950–2015 гг.

Fig. 3. Dynamics of the catch of aquatic bioresources in the Angolan EEZ in 1950–2015

Основная доля рыбы добывается при осуществлении промышленного рыболовства, однако, начиная с 80-х годов, значение кустарного промысла существенно возросло.

Более половины сырьевой базы ИЭЗ Анголы (60 % биомассы доступных водных биологических ресурсов) составляет группа мелких пелагических рыб, к которой относят западноафриканскую ставриду (*Trachurus trecae*), капскую ставриду (*Trachurus capensis*), круглую сардинеллу (*Sardinella aurita*), плоскую сардинеллу (*Sardinella maderensis*), западноафриканскую скумбрию (*Scomber japonicus*), африканского каранкса (*Decapterus rhonchus*), сардинопса (*Sardinops sagax*) и анчоусов (*Engraulidae*). Все мелкие пелагические виды рыб пользуются наибольшим спросом на рынке.

Весьма важное значение имеют демерсальные виды семейств спаровых (*Sparidae*), горбылевых (*Scianidae*), каменных окуней (*Serranidae*), помодасиевых (*Pomadasyidae*), мерлузовых (*Merlucciidae*) и некоторые другие. Второстепенной является группа крупных пелагических рыб: тунцы и им подобные, а также акулы.

Ставриды. В водах Анголы встречаются два вида ставрид: *Trachurus trecae* – западноафриканская ставрида, обитающая вдоль всего побережья в течение всего года, и *Trachurus capensis* – капская ставрида, приуроченная к системе холодного Бенгельского течения, скопления которой облавливаются только в южных районах шельфа преимущественно в холодный сезон.

Динамика общего вылова двух видов ставрид в ИЭЗ Анголы и освоение общего допустимого улова (ОДУ) представлены на рис. 4 [1].

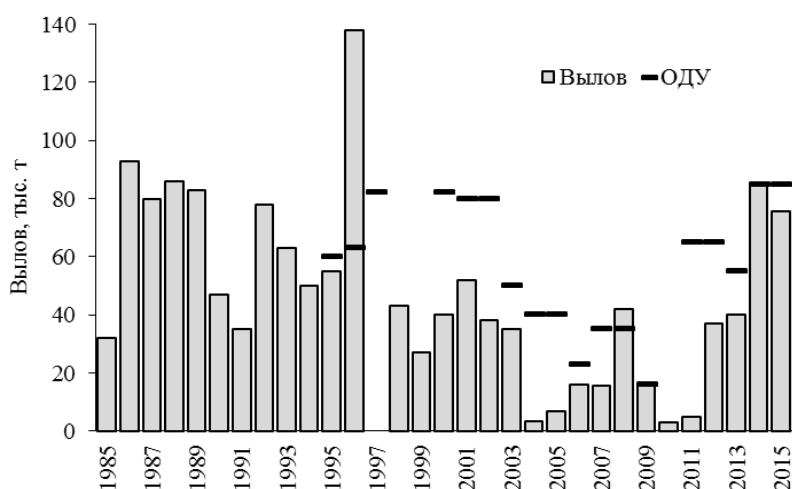


Рис. 4. Вылов и освоение общего допустимого улова ставриды в ИЭЗ Анголы в 1985–2015 гг.

Fig. 4. Catch and development of the horse mackerel TAC in the Angolan EEZ in 1985–2015

ОДУ в 2014–2015 гг. составил 85 тыс. т. В 2014–2015 гг. уловы были наиболее высокими за период с 1998 г. Согласно статистике промысла в 2014 г. ОДУ освоен полностью, а в 2015 г. – на 88 %.

В 2015 г. общий вылов ставрид составил 74 942 т, из которых 60 110 т выловлены кошельковыми неводами (80 %), 12 592 т – донными тралами (17 %) и 2 239 т – прочими орудиями лова при осуществлении кустарного рыболовства (3%) (рис. 5) [2].

Доля каждого из двух видов ставрид в совокупном улове зависит от дислокации промысла. В северных районах шельфа Анголы доминирует теплолюбивая западноафриканская ставрида (*Trachurus trecae*), в южных – доля капской ставриды (*Trachurus capensis*) увеличивается, однако и здесь преобладает западноафриканская (рис. 6). Лишь в 2010 г. соотношение обоих видов было почти равным [3].

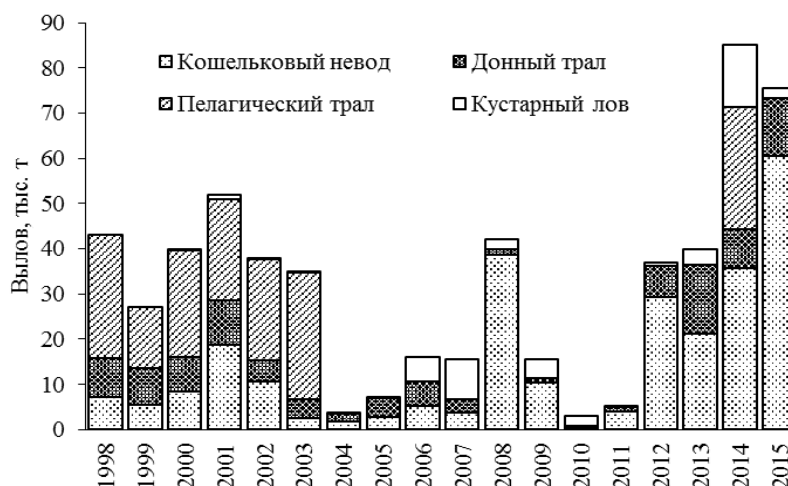


Рис. 5. Динамика вылова ставриды различными орудиями лова в ИЭЗ Анголы в 1998–2015 гг.

Fig. 5. Dynamics of the horse mackerel catch by various fishing gear in the Angolan EEZ in 1998–2015

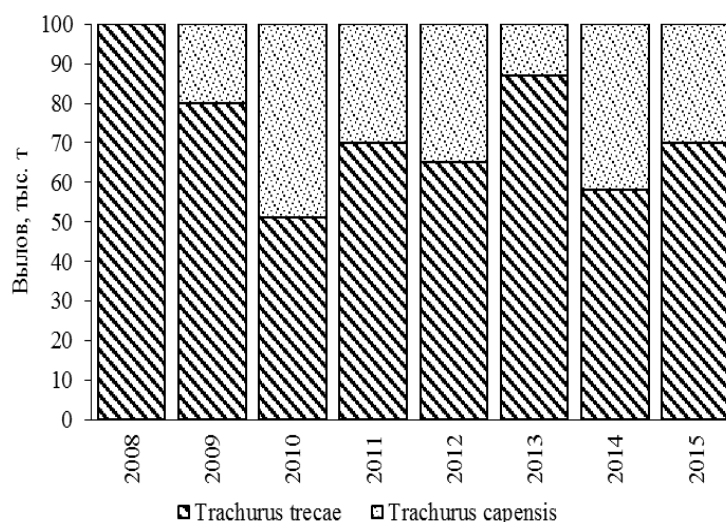


Рис. 6. Соотношение видов ставриды в уловах на южных участка шельфа ИЭЗ Анголы в 2008–2015 гг.

Fig. 6. The ratio of horse mackerel species in catches in the southern sections of the Angolan EEZ shelf in 2008–2015

Западноафриканская ставрида (*Trachurus trecae*) становится половозрелой в возрасте 2–3 года при длине 22–24 см. В промысловых уловах встречаются 1–8-годовалые особи, но основные размерные группировки включают в себя рыб от 16 до 45 см [1]. Размерный состав западноафриканской ставриды при различных орудиях лова и на разных участках шельфа Анголы приведен в табл. 1 и 2 [2].

Таблица 1. Размерный состав западноафриканской ставриды в уловах кошельковым неводом

Table 1. Size composition of West African horse mackerel in purse seine catches

Параметр	Год										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Провинция Луанда											
L_{min}	24	21	16	23	23	–	26	32	33	31	–
$L_{cp.}$	31	34	33	35	36	–	34	38	40	37	–
L_{max}	41	47	44	47	46	–	42	47	48	44	–
N	1239	3118	1328	1076	693	–	992	145	140	102	–
Провинция Бенгеле											
L_{min}	14	22	16	19	19	–	18	17	19	19	17
$L_{cp.}$	29	31	29	29	30	–	21	22	29	29	27
L_{max}	48	48	44	49	54	–	36	35	43	47	47
N	20876	830	17913	20499	13158	–	6851	10788	10182	4365	1434
Провинция Намибе											
L_{min}	23	15	18	14	16	–	14	16	15	15	15
$L_{cp.}$	31	27	26	27	27	–	24	26	27	25	25
L_{max}	40	36	39	40	44	–	37	36	40	38	38
N	2563	1664	2330	3936	8903	–	5765	2102	3115	3203	4795

Таблица 2. Размерный состав западноафриканской ставриды в уловах пелагическим тралом

Table 2. Size composition of West African horse mackerel in pelagic trawl catches

Параметр	Год										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
L_{min}	22	17	20	21	22	21	18	22	18	18	14
$L_{cp.}$	31	31	29	29	28	25	30	34	28	29	30
L_{max}	44	49	55	46	49	31	50	50	51	52	56
N	1068	3379	1717	1619	706	258	3066	936	3827	5823	6610

Устойчивых тенденций изменения средней длины ставриды не выявлено, однако с 2013 г. наблюдается некоторое уменьшение данного показателя по сравнению с предшествующими годами [2].

Запасы капской ставриды (*Trachurus capensis*) эксплуатируются совместно с Республикой Намибия, где располагается большая часть биомассы ресурса. Присутствие промысловых скоплений данного вида в водах Анголы зависит от расположения водных масс «Ангола–Бенгела».

Запасы капской ставриды в настоящее время находятся в состоянии полной эксплуатации [2] (по другим источникам – в состоянии чрезмерной эксплуатации [3]), и в последние годы имеет место тенденция к их снижению. Увеличение биомассы вида до уровня 80-х годов в ближайшее время не прогнозируется [3].

Сардинеллы. В водах Анголы обитают два вида сардинелл: *Sardinella aurita* – сардинелла круглая, на которую традиционно есть спрос, а также *Sardinella maderensis* – сардинелла плоская, на которую увеличивается востребованность в связи со снижением уловов ставриды. Как круглая, так и плоская сардинеллы добываются вдоль всего побережья, однако в южной части ИЭЗ Анголы данные биоресурсы в массовом количестве встречаются только в теплый период

года. Запасы этих видов являются общими для всех стран западного побережья Африки. В последнее пятилетие биомасса сардинелл оценивается на уровне 400 тыс. т. Зарегистрированные уловы составляют 100–150 тыс. т в год [6].

Динамика общего вылова двух видов сардинелл в ИЭЗ Анголы и освоение ОДУ представлены на рис. 7.

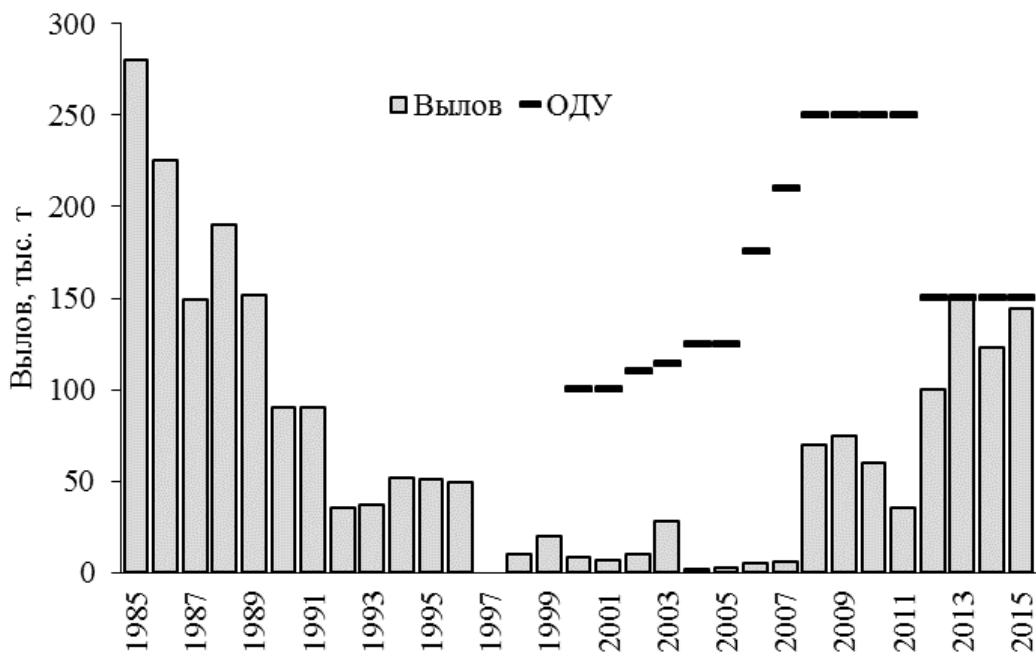


Рис. 7. Освоение общего допустимого улова сардинеллы в ИЭЗ Анголы в 1985–2015 гг.

Fig. 7. Development of the Sardinella TAC in the Angolan EEZ in 1985–2015

В 2015 г. согласно данным промышленной статистики кошельковыми неводами было выловлено 139 585 т (97 % общего вылова сардинелл за год), кустарным промыслом и донными тралами – 2 813 (2 %) и 1 350 т (1 %) соответственно. В свою очередь, суммарный улов сардинелл составил около 93 % освоения ОДУ [2].

Круглая сардинелла (*Sardinella aurita*). В промысловых уловах встречаются особи длиной от 16 до 48 см (табл. 3), в основном размерные группировки – 24–38 см с массой – 150–550 г [2].

В провинциях Луанда и Бенгеле до 2013 г. наблюдалась относительная стабильность средней длины круглой сардинеллы. В то же время, в провинции Намибе в этот период имели место существенные колебания средней длины данного вида рыб [2].

С 2013 г. отмечается тенденция к существенному снижению средней длины круглой сардинеллы в водах всех трех рассматриваемых провинций.

Таблица 3. Размерный состав круглой сардинеллы в уловах кошельковым неводом

Table 3. Size composition of round sardinella in purse seine catches

Параметр	Год										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Провинция Луанда											
L _{min}	17	20	22	17	21	28	18	21	16	18	–
L _{cp.}	29	29	29	29	30	31	30	29	29	28	–
L _{max}	35	45	40	36	36	34	34	35	34	35	–
N	1302	2358	3974	3146	1813	612	4233	3604	1572	777	–
Провинция Бенгеле											
L _{min}	20	16	18	19	18	16	16	18	19	16	16
L _{cp.}	29	29	29	30	29	29	29	29	28	28	26
L _{max}	48	36	39	40	39	37	37	46	35	39	43
N	51323	2368	29628	28584	25891	37566	26738	35068	35403	9838	3486
Провинция Намибе											
L _{min}	27	19	18	23	20	19	21	18	21	18	18
L _{cp.}	31	29	27	29	25	27	28	28	28	25	25
L _{max}	34	36	36	35	34	37	38	36	34	34	35
N	141	1905	3095	2628	4942	4552	2923	4864	3831	5140	5452

Длина облавливаемых особей плоской сардинеллы (*Sardinella maderensis*) варьирует в пределах 16–41 см (табл. 4), преобладающие размерные группировки – 30–35 см с массой 400–550 г) [1].

Таблица 4. Размерный состав плоской сардинеллы в уловах кошельковым неводом

Table 4. Size composition of flat sardinella caught with purse seine

Параметр	Год										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Провинция Луанда											
L _{min}	19	23	16	16	17	21	23	24	24	27	–
L _{cp.}	27	29	28	29	28	29	29	28	28	29	–
L _{max}	35	39	33	36	37	33	37	33	33	33	–
N	1688	3331	2935	2906	1762	595	454	745	301	130	–
Провинция Бенгеле											
L _{min}	17	22	17	18	21	20	19	17	23	17	17
L _{cp.}	28	29	29	30	29	29	30	29	30	28	28
L _{max}	36	34	40	36	35	34	34	35	41	35	34
N	19902	1321	11947	7296	9676	3668	2032	6250	4969	7533	9065
Провинция Намибе											
L _{min}	28	28	23	27	27	22	23	26	28	25	28
L _{cp.}	31	31	30	31	31	30	30	32	32	31	32
L _{max}	36	36	34	36	35	36	35	39	35	34	35
N	412	303	714	502	754	500	569	453	360	245	869

В южных акваториях (провинция Намибе) облавливалась более крупная сардинелла. В целом же динамика изменений средней длины рыб была схожа во всех рассматриваемых районах.

Следует отметить, что за период с 2011 по 2015 г. средняя длина рыб, облавливаемых в провинции Намибе, увеличилась с 30 до 32 см.

Западно-африканская скумбрия (*Scomber japonicus*) и **африканский каранкс** (*Decapterus rhonchus*) рассматриваются как прилов при промысле мелких пелагических рыб. Совокупный улов обоих видов не превышает 17 тыс. т/год. В государственных источниках оценка запасов скумбрии и каранкса не проводится, однако ОДУ (2015) на сопутствующие ресурсы установлен в размере 14 тыс. т/год [2].

Промысел **сардинопса** (*Sardinops sagax*) существовал на юге Анголы, но с 80-х годов биомасса запасов и величина уловов слишком низкие для поддержания специализированного промысла. Запасы используются совместно с Республикой Намибия; уловы были незначительными и не зафиксированы статистикой [1].

Демерсальные рыбы вылавливаются вдоль всего побережья. Основные ресурсы принадлежат группам семейств спаровым, горбылевым, морским окуням и помодасиевым. Большинство промысловых видов рыб обитают на глубинах от 20 до 200 м, за исключением мерлуз, которые облавливаются в диапазоне глубин 200 – 800 м. Они добываются преимущественно средствами промышленного рыболовства. Численность значительной части популяций демерсальных видов рыб имеет тенденцию некоторого снижения [2].

Запасы большинства демерсальных видов не являются общими с соседними государствами. Исключение составляет большеглазый зубан (*Dentex macrophtalmus*), скопления которого осваиваются совместно с Республикой Намибия.

Общий вылов демерсальных видов, заявленный предприятиями в 2014 г., составил 71,4, а в 2015 г. – 70,8 тыс. т. Данные о вылове этой группы рыб не разделены по видам, что затрудняет оценку состояния запасов и интенсивности их промысла. Тем не менее индексы обилия, полученные в результате исследований, показывают снижение общей биомассы этих ресурсов на 22 % в 2015–2016 гг. относительно 2012 г. Наиболее резкое уменьшение было характерно для спаровых и горбылевых – 50 и 80 % соответственно. Предполагается, что это ухудшение запасов является следствием избыточного пресса промысла, который привел к невозможности их восстановления [1].

К крупным пелагическим рыбам, вылавливаемым в ИЭЗ Анголы, относят тунцов и им подобных, а также акул. Виды данной группы ресурсов распределяются вдоль всего побережья. Имеющаяся информация недостаточна для подробной характеристики запасов этих видов рыб [2].

Крупноразмерные тунцы в ИЭЗ Анголы облавливаются только промышленным флотом. Наиболее многочисленными, задействованными в промысле крупных пелагических видов рыб в ИЭЗ Анголы, являются рыболовные суда Испании, а также Франции, Панамы и Японии. Информация о вылове составляется по утвержденной форме, разработанной Международной комиссией по сохранению атлантических тунцов (ИССАТ); отчеты отправляются официальным образом.

Ангола имеет только два лицензированных в ИССАТ судна. Лов рыбы осуществляется главным образом в ИЭЗ Намибии, что обеспечивает лучшие условия

для выгрузки продукта. Вся продукция тунцового промысла отправляется на экспорт.

Мелкие виды тунцов добываются в прибрежных водах Анголы кустарным и полупромышленным способом. Их уловы практически не зарегистрированы [2].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одна из главных задач рыбохозяйственной науки в соответствии с планированием государства Ангола – обеспечение стабильного уровня промысла [5]. Исключительно важным является изучение динамики состояния и эксплуатации запасов водных биоресурсов с целью разработки научно обоснованных рекомендаций по управлению промыслом.

Анализ тенденций в области рыболовства на континентальном шельфе Анголы отражает изменение состояния запасов различных сообществ пелагических и демерсальных видов рыб [1].

Необходимо продолжение изучения рыболовства и запасов объектов промысла как традиционных, так и перспективных, например, ракообразных и придонных моллюсков.

Именно этим путем рыбная отрасль Анголы должна идти в ближайшее десятилетие.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. FAO Yearbook / Fishery and Aquaculture Statistics (2010). – Rome: FAO, 2012. – 79 p.
2. Отчет о состоянии морской среды ангольского побережья // -Министерство рыболовства, Национальный институт рыбного хозяйства – INIP, Луанда / Ангола. – 2014. – 150 с.
3. Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2010–2013 годах. Калининград: АтлантНИРО, 2014. – Т. 2. Океанические районы. – 220 с.
4. Морская доктрина РФ на период до 2020 года // Рыбное хозяйство. – 2001. – № 5. – С. 3–11.
5. Шибаяев, С. В. Промысловая ихтиология / С. В. Шибаяев. – Калининград: ООО «Аксиос», 2014. – 535 с.
6. Бандурин, К. В. Современное состояние водных биологических ресурсов в океанических районах исследований АтлантНИРО / К. В. Бандурин, А. Г. Архипов // Ученые записки РГГМУ. – 2017. – № 48. – С. 148–166.

REFERENCES

1. FAO Year book. Fishery and Aquaculture Statistics (2010). Rome: FAO, 2012, 79 p.
2. *Otchet o sostoyanii morskoy sredy angol'skogo poberezhya* [Report on the state of the marine environment of the Angolan coast]. Ministerstvo rybolovstva, Natsional'nyy institut rybnogo khozyaystva – INIP, Luanda, Angola, 2014, 150 p.

3. Pomyslovo-biologicheskie issledovaniya AtlantNIRO v 2010–2013 godakh [Industrial and biological research by AtlantNIRO in 2010-2013]. *Okeanicheskie rayony* [Oceanic areas]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 2014, vol. 2, 220 p.
4. Morskaya doktrina RF na period do 2020 goda [Russian Maritime Doctrine for the period up to 2020]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2001, no. 5, pp. 3–11.
5. Shibaev S. V. *Promyslovaya ikhtiologiya* [Ichthyology]. Kaliningrad, Axios LLC, 2014, 535 p.
6. Bandurin K. V., Arkhipov A. G. Sovremennoe sostoyanie vodnykh biologicheskikh resursov v okeanicheskikh rayonakh issledoaniy AtlantNIRO [Current state of water bio-reosurces in the ocean areas of AntlantNIRO research]. *Uchenye zapiski RGGMU*, 2017, no. 48, pp. 148–166.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ламба Симао Антонио – Калининградский государственный технический университет, аспирант кафедры ихтиологии и экологии; Национальный институт рыболовства и морских исследований, Ангола, помощник;
E-mail: sapienciaru@hotmail.com

Lamba Simao Antonio – Kaliningrad State Technical University, Post-graduate student of the Department of Ichthyology and Ecology; State National Institute of Fisheries and Marine Research, Angola, Assistant; E-mail: sapienciaru@hotmail.com

Шибяев Сергей Вадимович – Калининградский государственный технический университет; доктор биологических наук, профессор; зав. кафедрой ихтиологии и экологии; E-mail: shibaev@klgtu.ru

Shibaev Sergey Vadimovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Biological Sciences, Professor; Head of the Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: shibaev@klgtu.ru

Федоров Леонид Станиславович – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук; доцент кафедры ихтиологии и экологии; E-mail: leonid.fedorov@klgtu.ru

Fedorov Leonid Stanislavovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biological Sciences; Associate Professor of Department of Ichthyology and Ecology; E-mail: leonid.fedorov@klgtu.ru

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ДОЛГОСРОЧНОМ
ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ВЫЛОВА

Д. В. Прозоркевич

A STOCHASTIC-STATISTICAL APPROACH IN LONG-TERM FORECASTING
OF THE NATIONAL CATCH

D. V. Prozorkevich

В практической деятельности отраслевых НИИ Росрыболовства и других научных организаций достаточно часто возникает потребность подготовки прогнозов возможного национального вылова на длительную перспективу. Это необходимо различным субъектам для планирования, в том числе хозяйственной деятельности. Точность этих детерминистических прогнозов, как правило, невысока. Кроме того, для некоторых коммерческих видов вылов определяется не только биологически обоснованными аспектами, но и рядом управленческих решений, которые могут быть сложно предсказуемы в дальнейшем. В работе рассмотрена возможность выполнения долгосрочного (перспективного) прогноза национального вылова промысловых объектов, который зависит не только от состояния запаса, но и от экономико-политических факторов. В его основе лежит вероятностно-статистический подход, базирующийся на многолетнем ряде наблюдений за историей промысла с учетом некоторых закономерностей и допущений. Проанализированы возможные факторы, которые непосредственно могут влиять на объем вылова, и зависимости между ними. Моделирование процессов основано на методе Монте-Карло и выполнено программными средствами, предназначенными для оценки возможных рисков в условиях неопределенности входных параметров. Результатом является наиболее вероятный сценарий развития рыболовства с указанием степени неопределенности. В качестве тестового примера выбран перспективный прогноз отечественного промысла путассу (*Micromesistius poutassou*) гибридо-норвежской популяции на период до 2042 г. Для данного объекта промысла российский вылов в долгосрочной перспективе, очевидно, составит не менее 86 тыс. т. Подобные расчеты могут быть выполнены и для других промысловых видов.

прогноз, запас, общий допустимый улов (ОДУ), вероятность, путассу

Practical activities of research institutes of the Federal Agency for Fishery and other research organizations often involves the necessity to prepare forecasts of a possible national catch for extended time-periods. Different institutions require these forecasts for their business planning and other activities. Generally, accuracy of these deterministic forecasts is low. Moreover, catches of some commercial species are deter-

mined by not only biological parameters, but also management decisions that may result in unpredictable consequences.

This paper considers the possibility to prepare a long-term forecast of the national catches of commercial species, which depends not only on the state of stocks, but also on economic and political factors. This forecast involves a stochastic-statistical approach that is based on a long-term series of observations over fisheries taking into account some patterns and assumptions. The paper includes analysis of some possible factors that can have a direct impact on sizes of catches and the relation between them. Modelling is based on the Monte-Carlo method and is performed using software designed to assess possible risks when input parameters are uncertain. The result is the most likely scenario for the development of fisheries, indicating the range of forecast uncertainty. As a test example, a long-term forecast for the Russian catch of NA blue whiting (*Micromesistius poutassou*) up to 2042 was made. For this fish species, the Russian catch sizes may comprise at least 86 000 tons in the long-term. Similar assessments can be made for other commercial species.

forecast, stock, total allowable catch (TAC), probability, blue whiting

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений деятельности отраслевых НИИ Росрыболовства является оценка запасов промысловых гидробионтов, а также подготовка прогноза их состояния и перспектив дальнейшего промысла. Для этих целей используются различные методы [1–3]. Для запасов, хорошо обеспеченных данными, как правило, применяются различные математические модели. В случае недостатка информации используют методы категории LDM [3].

На основе оценки запасов и их эксплуатации формируются прогнозы возможного вылова, качество которых зависит не только от обеспеченности данными и верных оценок, но и от видовой специфики рыб и особенностей водоемов [4]. Так, выполнить прогноз для короткоциклического вида с высокой вариабельностью пополнения и естественной смертности сложнее, чем для вида с длинным жизненным циклом и многовозрастной структурой запаса.

Дополнительные трудности при построении индуктивной части прогноза [5] возникают при применении статистических моделей для объектов промысла, возможный вылов которых зависит не только от состояния запаса или биологических особенностей вида, но и от таких факторов-аргументов, как управленческие решения и экономико-политические аспекты. Это различные межправительственные договоренности, «обменные квоты», зональное перераспределение возможного вылова, разрешенные приловы при промысле других рыб, перенос части вылова на следующий год, вылов в счет квоты следующего года и т. д.

Выбрать формы уравнения, описывающего динамику или взаимосвязь этих явлений и процессов, оценить их параметры с помощью того или иного метода крайне трудно, а иногда и невозможно.

Процесс поиска долговременных закономерностей и тенденций в рыболовстве и прогноза возможного вылова берет свое начало с середины XX в. [6]. Но до сих пор для большинства промысловых гидробионтов в основном выполняются долгосрочные прогнозы вылова [7] с заблаговременностью от 1 до 5 лет. Перспективное прогнозирование состояния запасов и величины возможного вылова с

большой заблаговременностью пока не имеет широкого распространения в мировой и отечественной практике [8, 9], хотя обсуждается часто [10, 11].

Тем не менее ежегодно от различных федеральных, региональных органов власти, рыбопромышленников в адрес отраслевых НИИ поступают запросы о предоставлении перспективных прогнозов возможного отечественного вылова на длительный период (до 20 лет и более) для планирования хозяйственной деятельности, экономических расчетов или стратегии промысла.

Выполнение точного детерминистического прогноза вылова на длительную перспективу представляет собой сложную задачу. Для его подготовки применяются, как правило, среднесрочные значения величины запасов и интенсивности промысла с привлечением данных по абиотическим факторам и т. д. [8, 12–14]. Существуют и иные подходы, основанные на использовании «нейронных сетей» [15] или анализе глобальных изменений климата [16].

Во многих случаях такой «перспективный прогноз» представляет просто некую экспертную оценку [7] на основании анализа трендов и может иметь достаточно высокую ошибку.

Целью данной работы было исследовать возможность использования для перспективного прогноза отечественного вылова с заблаговременностью 20 лет и более стохастический (вероятностный) сценарий, который с известной степенью надежности мог бы служить основанием для планирования будущей хозяйственной деятельности. Данный подход находится на стыке нескольких научных дисциплин [7] – биологии, математики, экономики.

Вероятностный прогноз широко используется при расчете финансовых, промышленных и прочих рисков, при разработке различных тестовых систем, от простых до сложнейших [17, 18]. В рыбохозяйственной отрасли использование вероятностного (или стохастического) подхода известно при определении ОДУ некоторых видов рыб [19], однако нам не удалось найти в литературе его применение для оценки возможного долгосрочного вылова.

Исследования были выполнены для нескольких видов рыб, промысел которых активно ведется в настоящее время в Северной Атлантике. Это атлантиско-скандинавская сельдь, путассу, окунь-клевач и скумбрия. В данной работе рассматриваемый подход представлен на примере путассу.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Путассу (*Micromesistius poutassou*) – массовый промысловый вид, широко распространенный в Северо-Восточной Атлантике [20]. Международный промысел базируется на эксплуатации в основном гибридо-норвежской популяции, которая выделена в отдельную единицу запаса [21], и ведется между 48 и 72° с. ш. С конца 80-х годов XX в. путассу – важный объект отечественного промысла, который осуществляется традиционно в районах регулирования NEAFC и рыболовной зоне Фарерских островов. Вылов этого вида отечественным флотом в отдельные годы превышал 350 тыс. т [20]. Оценку запаса и подготовку управленческих рекомендаций выполняет Международный Совет по исследованию морей (ICES) с использованием математической модели SAM [22]. Долгосрочный прогноз дается с максимальным шагом в 2 года [20, 22].

История эксплуатации запаса путассу показывает, что с конца 90-х годов XX в. фактический вылов превышает рекомендуемый (рис. 1). В отдельные годы

общий допустимый уровень (ОДУ) не был согласован, что стало причиной неконтролируемого лова и последующего снижения величины запаса. Среди прибрежных государств иногда возникают разногласия по поводу величины ОДУ и национальных долей [23]. В настоящее время запас путассу находится в хорошем состоянии, хотя и имеет некоторую тенденцию к снижению. Предполагается его стабилизация при условии отсутствия значительных переловов и соблюдения действующего Плана управления, в основе которого лежит стратегия максимально устойчивого улова (MSY) [22].

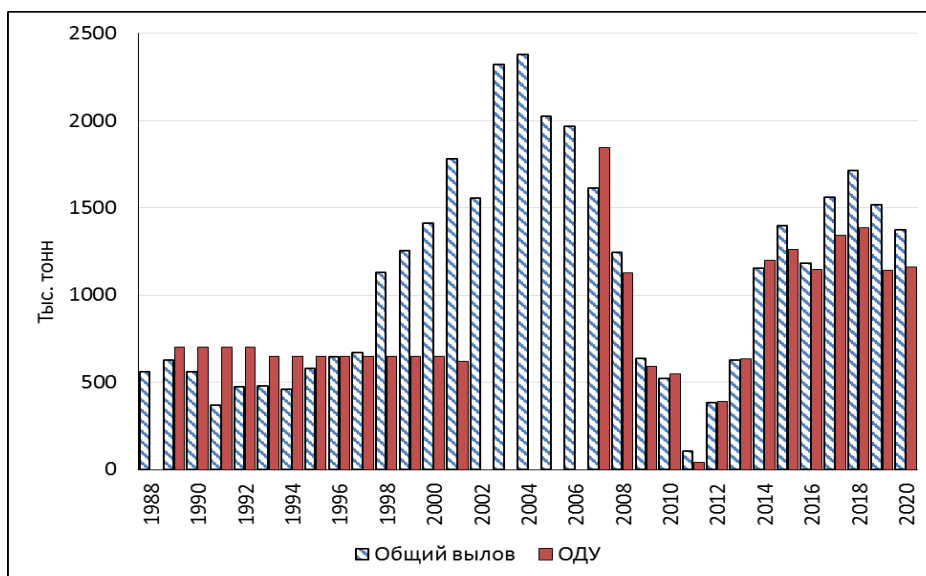


Рис. 1. Вылов путассу всеми странами и ОДУ за период 1988–2020 гг.
 Fig. 1. Total catch of blue whiting (blue) and TAC (red) for the period 1988–2020

Россия не является государством, прибрежным по отношению к запасу путассу, и ее национальная квота в международных водах составляет 7,42 % от ОДУ. Дополнительные квоты Россия получает от Фарерских островов и Норвегии в обмен на свои ресурсы.

В качестве исходных данных использованы материалы рабочей группы ICES по широко распределяющимся рыбам (WGWIDE) [22], протоколы Совместной Российско-Фарерской и Российско-Норвежской Комиссий по рыболовству.

Статистическая обработка данных выполнялась с применением программных пакетов «XLSTAT 2017» и «@Risk Analyses v.7.5.1 © Palisade Company LLC», интегрированных в MS EXCEL. Количество расчетных итераций было установлено равным 50 000. Более подробную информацию о программном обеспечении можно узнать на сайте разработчика <https://www.palisade.com>.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках достижения поставленной цели (составить вероятностный прогноз возможного российского вылова путассу на период до 2042 г.) предполагалось решить следующие задачи:

- исследовать зависимость общего вылова от пополнения;

- выполнить вероятностный прогноз пополнения;
- оценить возможную долю вылова России как функцию от общего вылова;
- учесть объем и вероятность обменных квот.

Несмотря на то, что в последние годы была согласована долгосрочная стратегия управления запасом путассу и эксплуатация запаса стала более рациональной, фактический вылов все же превышает рекомендованный (рис. 1), поэтому в качестве аргумента для модели было принято решение взять именно фактический вылов вместо научно-обоснованного ОДУ.

Существуют достаточно сложные модели, описывающие связь величины запаса или прибавочной продукции с промысловым усилием [1], но попытки использовать эти модели при стохастическом подходе оказались безуспешными, поскольку каждый параметр модели имеет свою структуру ошибок и кумулятивная ошибка делает прогноз вылова нереалистичным (от 0 до ∞). Для вероятностного подхода более пригодны относительно простые решения. Например, общий вылов путассу за ретроспективный период с 1988 г. достаточно хорошо функционально связан с величиной нерестового запаса ($R^2=0,81$) и может быть описан простой линейной регрессией. Соответствие динамики запаса и вылова характерно и для других видов рыб [16], путассу не является исключением.

В свою очередь, величина нерестового запаса хорошо коррелирует с величиной очередных поколений. При этом наилучшая связь ($R^2=0,88$) наблюдается между запасом и кумулятивной численностью поколений (n) в возрасте 1 год (R_1) и выражена уравнением (1):

$$n = \sum_{y-1}^{y-5} R_1, \quad (1)$$

где y – терминальный год.

Таким образом, общий вылов путассу фактически зависит от кумулятивного пополнения рекрутами ($R^2=0,86$), и промежуточный элемент в виде величины нерестового запаса может быть исключен. Зависимость эффективности промысла от численности пополнения отмечалась исследователями и ранее [24]. В том числе известен факт, что пополнение может активно изыматься промыслом.

Линейная регрессия зависимости общего вылова (C , тыс. т) от кумулятивного пополнения (n) представлена на рис. 2 и описывается уравнением (2):

$$C = 12.2840509257354 \times n \pm 617 \quad (2)$$

При этом значение угла наклона кривой ($\beta_0=144,89$) было исключено из уравнения, поскольку вылов при отсутствии пополнения невозможен. Это несколько снижает коэффициент детерминации, но является логически обоснованным. Данная регрессия в целом адекватно описывает связь двух переменных. График остатков имеет нормальное распределение ($W=0,989$, $p\text{-value}=0,978$, $\alpha=0,05$).

Зная величину пополнения, можно с некой степенью вероятности спрогнозировать общий вылов. Выполнить перспективный прогноз пополнения является наиболее трудной задачей, так как для путассу, как и для многих других видов, не существует четкой зависимости между нерестовым запасом и пополнением, и применение эмпирического подхода [25] затруднительно. Формирование численности очередных поколений зависит от неизвестных нам факторов и имеет вероятностный характер. Для выполнения прогноза по путассу рабочая группа ICES WG WIDE использует среднее геометрическое за ретроспективный период [22].

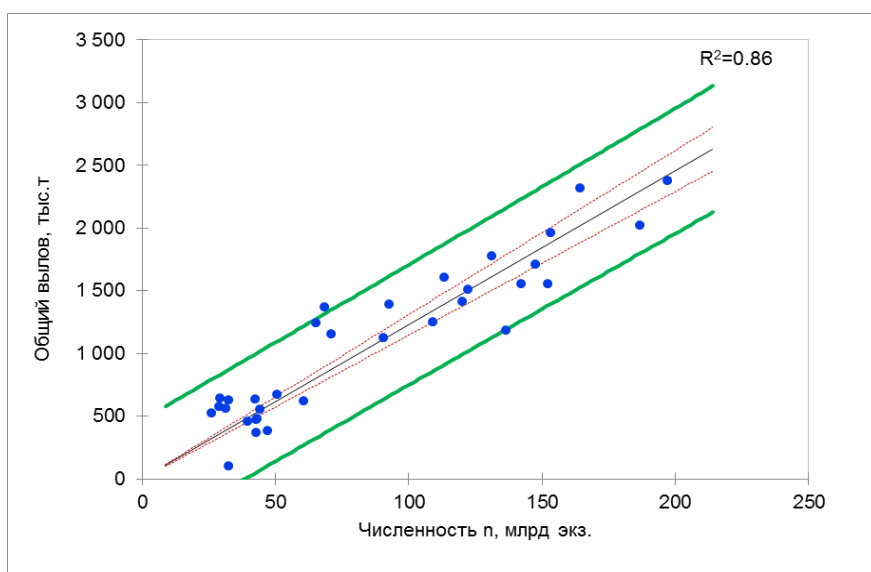


Рис. 2. Линейная регрессия (диаграмма рассеяния) зависимости вылова от кумулятивного пополнения. Толстыми линиями обозначен доверительный интервал с вероятностью 95 %

Fig. 2. Linear regression (scatter plot) between total catch and cumulative recruitment. The bold lines are the 95 % confidence interval

На основании имеющихся оценок [22] за период с 1981 по 2020 гг. видно, что численность пополнения путассу в возрасте 1 год изменялась от $3,96 \cdot 10^9$ до $63,696 \cdot 10^9$ экз.

Вероятность формирования численности наиболее точно (p -value = 0,628; $\alpha=0,05$; K-S test: $D=0,115 > 0,215$) описывается лог-нормальным законом, частотная диаграмма которого представлена на рис. 3.

Это дает основание с определенной долей вероятности моделировать пополнение (n) и, используя описанную выше линейную регрессию, рассчитать общий вылов путассу с учетом существующих неопределенностей.

Зная прогностическую величину общего вылова, можно предположить и долю отечественного, который в районах NEAFC исторически составлял 0–30,93 % от мирового. В последние 8 лет Россия имеет достаточно стабильную величину вылова в этих районах – 3,74–8,62 % от общего вылова (в среднем – 6 %) и является ответственным пользователем запаса, исключаящим переловы. Предполагаем, что такая ситуация сохранится в будущем.

Однако, как было указано выше, объем российского вылова зависит не только от квоты в NEAFC, но и от обменных, которые Россия исторически получает от Фарерских островов и Норвегии.

Для объема, выделяемого ежегодно Фарерскими островами, нет четко сформулированных правил. Фарерская рыболовная зона является важным районом для отечественного промысла, и вылов России в этом районе составлял в разные годы от 30 до 100 %, в среднем – 57 %. Обменная квота от Фарерских островов за ретроспективный период изменялась от 207 (2004 г.) до 8 (2011 г.) тыс. т. Данная величина статистически не зависит ни от ОДУ или общего вылова ($R^2=0,28$), ни от собственного вылова путассу Фарерскими островами ($R^2=0,26$). В

последние 7 лет обменная квота стабилизировалась на уровне около 80 тыс. т [20]. Эту величину можно рассматривать как медианное значение.

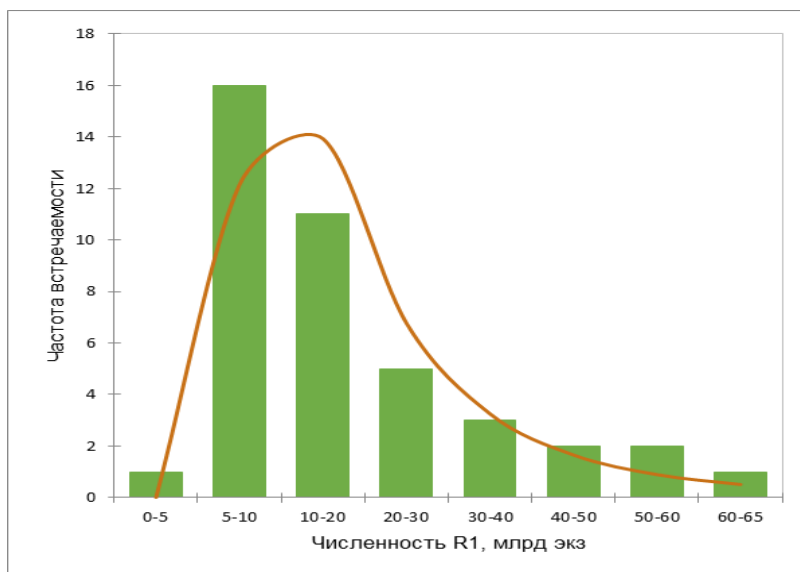


Рис. 3. Вероятностное распределение численности поколений путассу в возрасте 1+ за период 1981–2020 гг. Линия – лог-нормальная кривая

Fig. 3. Probabilistic distribution of the number of blue whiting at the age of 1+ for the period 1981–2020. The line is the log-normal curve

До 2007 г. процесс формирования обменной квоты от Норвегии основывался на двусторонних договоренностях и не имел какой-либо статистической зависимости от величины общего вылова ($R^2=0,18$) либо от вылова Норвегии ($R^2=0,13$). СССР (Россией) впервые получено 10 тыс. т путассу от Норвегии в 1978 г. В дальнейшем объемы достигали 485 тыс. т (1983 г.) или 290 тыс. т (1989 г.). Столь значительные квоты представляются необоснованно завышенными и маловероятны в дальнейшей перспективе, так как отечественный флот практически не ведет промысел путассу в НЭЗ [26].

В 1992–1995 гг. обменная квота составляла 80 тыс. т, в 1996–2006 гг. – 50 тыс. т. С 2007 г. процесс обмена приобретает некую логическую зависимость от величины ОДУ и общего вылова. Не вдаваясь в детали с временным и пространственным перераспределением, можно рассмотреть зависимость норвежской обменной квоты от величины ежегодного вылова. В наилучшей степени они согласуются за период 2008–2020 гг. (рис. 4).

Данная регрессия в целом адекватно описывает связь двух переменных ($R^2=0,97$), хотя основана на сравнительно небольшом наборе данных. График остатков имеет нормальное распределение ($W=0,920$, $p\text{-value}=0,287$; $\alpha=0,05$).

Полученную зависимость величины обменной квоты (Δ) от общего вылова (C , тыс. т) можно описать уравнением (3):

$$\Delta=0.76031369534709+0.0140123272144078\times C\pm 7.48. \quad (3)$$

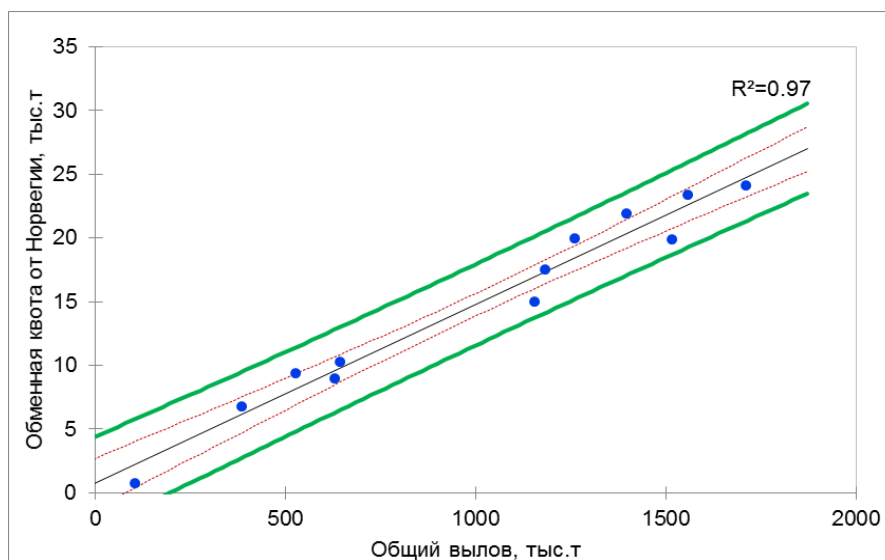


Рис. 4. Линейная регрессия (диаграмма рассеяния) зависимости норвежской обменной квоты, получаемой Россией от общего вылова. Толстыми линиями обозначен доверительный интервал с вероятностью 95 %

Fig. 4. Linear regression (scatter plot) of the dependence of the Russian quotas in NEZ and the total catch. The bold lines are the 95 % confidence interval

Таким образом, при переходе к дедуктивной части вероятностного прогноза нами использовались приведенные ниже предположения. Их нельзя рассматривать как окончательные, они должны быть подвергнуты ревизии в зависимости от актуальной ситуации на момент запуска модели [5]. Некоторые моделируемые аргументы могут казаться спорными, и мы открыты к дискуссии. Каждое из последующих положений может быть активно только при выполнении предыдущего.

Факторы-аргументы развития рыболовства (в порядке значимости):

- практика по установке национальных квот путассу в одностороннем порядке не будет возобновлена, и страны, ведущие промысел, станут придерживаться долгосрочной стратегии управления запасом;
- пополнение путассу в возрасте 1+ не выйдет за пределы для исторического периода 1981–2020 гг. Оно формируется согласно закону лог-нормального распределения (рис. 3) с вероятностью 95 %;
- российский вылов в районах регулирования NEAFC с вероятностью 100 % будет 3,74–8,62 % от общего вылова и в среднем составит 6 %;
- установленные в модели лимиты ежегодной квоты, получаемой Россией от Фарерских островов, составят 8–207 тыс. т, с вероятностью 90 % они будут находиться в пределах 47–112 тыс. т.
- установленные в модели ограничения ежегодной квоты, получаемой Россией от Норвегии, будут находиться в пределах 0–50 тыс. т, на 95 % они станут зависимыми от общего вылова и на 5 % – от других факторов;
- с 2023 г. вылов начнет зависеть от кумулятивного пополнения (n), которое не может быть меньше или равно 0;
- для 2021–2022 гг. вылов путассу с вероятностью 95 % будет превышать ОДУ на величину от 3 до 24 % ежегодно, в среднем – на 10,5 %.

Далее моделирование выполнено программным пакетом @RISK с использованием метода Монте-Карло, который широко применяется для изучения стохастических явлений и основан на генерации случайных величин [18]. Подстановкой диапазона значений распределения вероятностей указанных выше факторов-аргументов и с учетом их внутренней неопределенности получены диаграммы распределения всех возможных результатов (рис. 5–7).

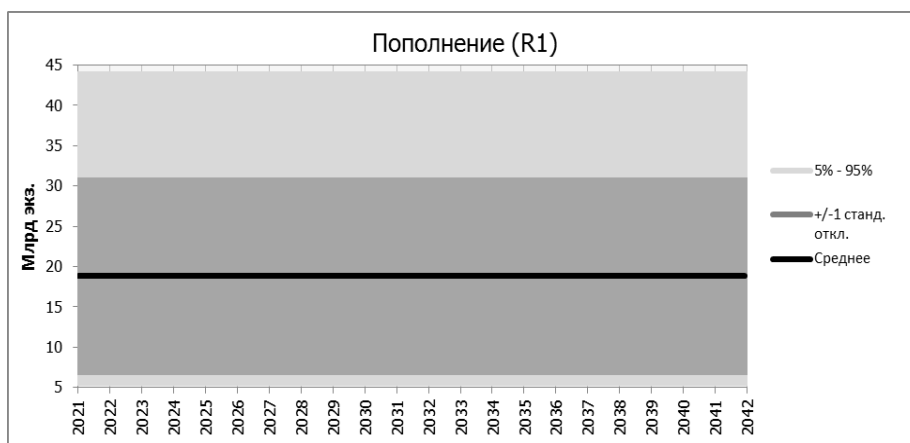


Рис. 5. Вероятностный прогноз численности пополнения путассу в возрасте 1 год на период 2021–2042 гг.

Fig. 5. Probabilistic forecast of the number of replenished blue whiting at the age 1 for the period 2021–2042

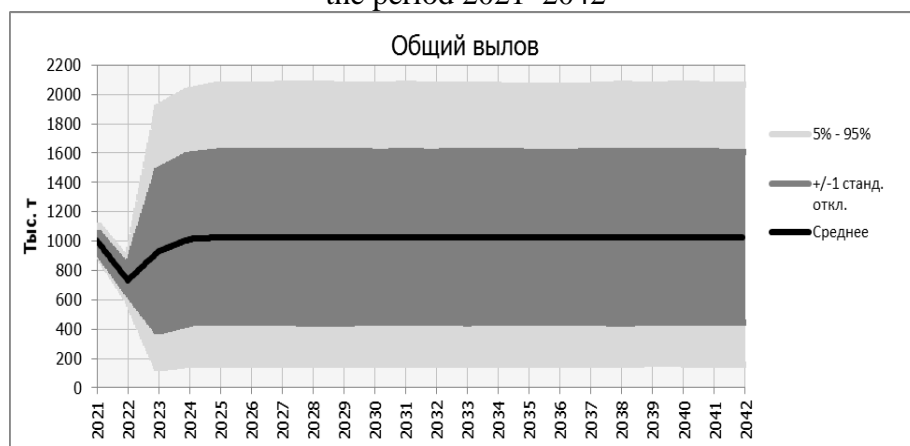


Рис. 6. Вероятностный прогноз общего вылова путассу на период 2021–2042 гг.

Fig. 6. Probabilistic forecast of the total catch of blue whiting for the period 2021–2042

Как видно из диаграмм, уровень неопределенности данного перспективного прогноза достаточно высок. Неопределенность возрастает по мере использования только моделируемых параметров (например, численности пополнения).

Учитывая выдвинутые предположения о динамике запаса вида, характеристиках промысла и управленческих решениях, можно рассмотреть некий диапазон или медианное значение как наиболее вероятный сценарий развития рыболовства.

Предполагаем, что в долгосрочной перспективе нижний порог общего вылова с вероятностью 95 % составит 180 тыс. т, его среднее значение – около 1 млн т. В обозримой перспективе мировой вылов будет равен 400–1600 тыс. т.

Вылов России в рассматриваемый период с вероятностью 95 % не будет ниже 86 тыс. т, наиболее ожидаем – 108–209, в среднем – 159 тыс. т.

В данном случае самой значимой величиной следует считать нижнюю границу 95 % перцентиля (рис. 7). Этот объем (86 тыс. т) можно рекомендовать в качестве ответа на запрос о перспективном прогнозе вылова путассу как наиболее вероятное значение для планирования хозяйственной деятельности.

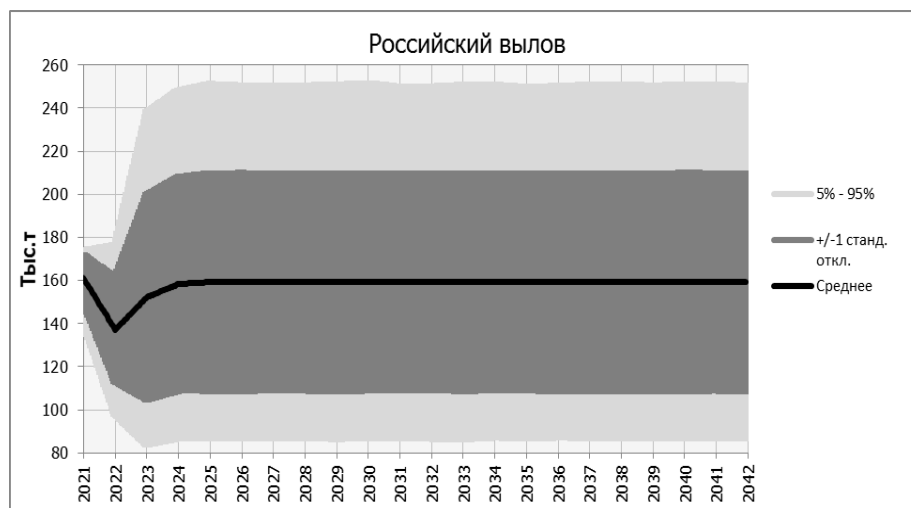


Рис. 7. Вероятностный прогноз российского вылова путассу на период 2021–2042 гг.

Fig. 7. Probabilistic forecast of the Russian catch of blue whiting for the period 2021–2042

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование изложенного вероятностно-статистического (или рискового) подхода демонстрирует одну из возможностей перспективного рыбопромыслового прогнозирования отечественного вылова для объектов рыболовства, при промысле которых существует значительное количество неопределенностей. Набор факторов-аргументов может включать в себя и другие параметры, для которых известна статистика или какие-либо зависимости. Это могут быть данные по производительности промысла, конъюнктуре рынка сбыта и т. д.

Мы попытались максимально обоснованно ответить на вопрос о возможном отечественном вылове (на примере путассу) в долгосрочной перспективе и на базе имеющихся знаний определить его минимальный уровень в ближайшие 22 года. Вероятнее всего при прогнозируемой ситуации с эксплуатацией запаса путассу отечественный вылов в этот период составит не менее 86 тыс. т с вероятностью 95 %. Данный объем можно рекомендовать в качестве ответа за запросы, связанные с долгосрочным планированием хозяйственной деятельности и стратегии рыболовства.

Автор выражает благодарность главному специалисту Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» А. А. Пронюку за ценные замечания при подготовке работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Максименко, В. П. Количественные методы оценки рыбных запасов / В. П. Максименко, Н. П. Антонов. – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2003. – 256 с.
2. Rosenberg, A. A. Developing new approaches to global stock status assessment and fishery production potential of the seas / A. A. Rosenberg, M. J. Fogarty, A. B. Cooper, M. Dickey-Collas, E. A. Fulton, N. L. Gutiérrez, K. J. W. Hyde, K. M. Kleisner, T. Kristiansen, C. Longo, C. Minte-Vera, C. Minto, I. Mosqueira, G. Chato Osio, D. Ovando, E. R. Selig, J. T. Thorson // FAO Fisheries and Aquaculture Circular. – Rome, FAO, 2014. – No. 1086. – 175 p.
3. Методические рекомендации по оценке запасов приоритетных видов водных биологических ресурсов / В. К. Бабаян, А. Е. Бобырев, Т. И. Булгакова, Д. А. Васильев [и др.]. – Москва: Изд-во ВНИРО, 2018. – 312 с.
4. Дементьева, Т. Ф. Биологическое обоснование промысловых прогнозов / Т. Ф. Дементьева. – Москва: Пищевая промышленность, 1976. – 238 с.
5. Четыркин, Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. – Москва: Статистика, 1977. – 200 с.
6. Kesteven, G. L. A note on the fisheries resources of the North West Atlantic / G. L. Kesteven, S. J. Holt // FAO Fisheries Paper. – Rome: FAO, 1955. – No. 7. – 12 p.
7. Бабаян, В. К. Краткий словарь терминов долгосрочного прогнозирования (промысловые биопрогнозы) / В. К. Бабаян. – Москва: ВНИРО, 1990. – 48 с.
8. Ulltang, Ø. Fish stock assessment and prediction: integrating relevant knowledge. An overview / Ø. Ulltang // Scientia Marina. – 2003. – Vol. 67, No. S 1. – pp. 5–12.
9. Гаврилов, Г. М. Динамика вылова, методические основы оценки запасов, прогнозирования общего допустимого улова (ОДУ) и возможного вылова (ВВ) промысловых рыб в экономической зоне России дальневосточных морей и северо-западной части Тихого океана / Г. М. Гаврилов // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 5 (1). – С. 55–76.
10. Тезисы докладов X Всероссийской конференции по проблемам рыбопромышленного прогнозирования / отв. ред. Л. И. Пестрикова. – Мурманск: ПИНРО, 2009. – 147 с.
11. Материалы XI Всероссийской конференции по проблемам рыбопромышленного прогнозирования, посвященной 150-летию со дня рождения Н. М. Книповича / отв. ред. М. С. Шевелев. – Мурманск: Издательство ПИНРО, 2012. – 228 с.
12. Мельников, И. В. Современное состояние сырьевой базы рыбной промышленности Дальневосточного бассейна и перспективный прогноз ее развития на период до 2025 г. / И. В. Мельников, А. А. Байталюк // Таможенная политика России на Дальнем востоке. – 2012. – № 3(60). – С. 15–21.

13. Ojaveer, E. Long-term prediction on Baltic fish stocks based on periodicity of solar activity / E. Ojaveer, M. Kalejs // *Rev Fish Biol Fisheries*, 2012. – Vol. 22, Issue 3. – P. 683–693. [Электронный ресурс] – URL: <https://doi.org/10.1007/s11160-012-9264-8> (дата обращения 03.08.2021).
14. Филин, А. А. Модельный анализ динамики запаса баренцевоморской трески при различных сценариях долгосрочного изменения температуры воды / А. А. Филин // *Вопросы рыболовства*. – 2016. – Т. 17, № 4. – С. 232–245.
15. Yuan, H. Study on the Medium and Long Term of Fishery Forecasting Based on Neural Network / H. Yuan, Y. Gu, J. Wang, Y. Chen, X. Chen // *Artificial Intelligence and Computational Intelligence*. – Berlin, Heidelberg : Springer, 2012. – vol. 7530. – pp. 186–205. [Электронный ресурс] – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33478-8_77 (дата обращения 31.07.2021).
16. Кляшторин, Л. Б. Циклические изменения климата и рыбопродуктивности: моногр. / Л. Б. Кляшторин, А. А. Любушин. – Москва: ВНИРО, 2005. – 235 с.
17. Merayo, M. G. Statistical Approach to Test Stochastic and Probabilistic Systems / M. G. Merayo, I. Hwang, M. Núñez, A. A. Cavalli // *Formal Methods and Software Engineering. Part of the Lecture Notes in Computer Science*. – Berlin, Heidelberg : Springer, 2009. – vol. 5885. – pp. 186–205. [Электронный ресурс] – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-642-10373-5_10 (дата обращения 31.07.2021).
18. Картвелишвили, В. М. Риск-менеджмент. Методы оценки риска: учеб. пособие / В. М. Картвелишвили, О. А. Свиридова. – Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2017. – 120 с.
19. Gjøsæter, H. Assessment methodology for Barents Sea capelin, *Mallotus villosus* (Müller) / H. Gjøsæter, B. Bogstad, S. Tjelmeland // *ICES Journal of Marine Science*. – 2002. – 59. – pp. 1086–1095.
20. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2021 г. / Д. И. Александров, А. В. Амелькин, А. С. Амеликина, М. Ю. Анциферов [и др.] / отв. ред. Л. И. Пестрикова. – Мурманск: ПИПРО им. Н. М. Книповича, 2021. – 145 с.
21. Report of the Blue Whiting Assesment Working Group // *ICES Document C. M.* – 1987. – Assess: 4. – 57 p.
22. Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE) // *ICES Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 2, Issue 82. – 1019 p. [Электронный ресурс] – URL: <http://doi.org/10.17895/ices.pub.7475> (дата обращения 28.07.2021).
23. Международное регулирование промысла сельди, путассу и скумбрии / Ю. Н. Калашников, А. И. Крысов, А. А. Пронюк, М. О. Рыбаков // *Вестник МГТУ*. – 2017. – Т. 20, № 2. – С. 422–433.
24. Зиланов, В. К. Путассу Северной Атлантики / В. К. Зиланов. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 160 с.
25. Шибаев, С. В. Промысловая ихтиология / С. В. Шибаев. – Калининград: ООО «Аксиос», 2014. – 535 с.
26. Борисов, В. М. Смешанная Российско-Норвежская комиссия по рыболовству: плюсы и минусы (к 30-летию образования СРНК) / В. М. Борисов, Б. Н. Котенев // *Рыбное хозяйство*. – 2005. – № 2. – С. 6–8.

REFERENCES

1. Maksimenko V. P., Antonov N. P. *Kolichestvennyye metody otsenki rybnyykh zapasov* [Quantitative Methods of Fish Reserves Evaluation]. Petropavlovsk-Kamchatskiy, KamchatNIRO, 2003, 256 p.
2. Rosenberg A. A., Fogarty M. J., Cooper A. B., Dickey-Collas M., Fulton E. A., Gutiérrez N. L., Hyde K. J. W., Kleisner K. M., Kristiansen T., Longo C., Minto-Vera C., Minto C., Mosqueira I., Chato Osio G., Ovando D., Selig E. R., Thorson J. T. Developing new approaches to global stock status assessment and fishery production potential of the seas. *FAO Fisheries and Aquaculture Circular*, Rome, FAO, 2014, no. 1086, 175 p.
3. Babayan V. K., Bobyrev A. E., Bulgakova T. I., Vasilyev D. A., Il'in O. I., Kovalev Yu. A., Mikhailov A. I., Mikheyev A. A., Petukhova N. G., Safaraliev I. A., Chetyrkin A. A., Sheremet'ev A. D. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke zapasov prioritnykh vidov vodnykh biologicheskikh resursov* [Guidelines for assessing the stocks of priority species of water biological resources]. Moscow, Publish. VNIRO, 2018, 312 p.
4. Dement'eva T. F. *Biologicheskoe obosnovanie promyslovykh prognozov* [Biological basis of commercial forecasts]. Moscow, Pishchevaya promyshlennost', 1976, 238 p.
5. Chetyrkin E. M. *Statisticheskie metody prognozirovaniya* [Statistical forecasting methods]. Moscow, Statistika, 1977, 200 p.
6. Kesteven G. L., Holt S. J. A note on the fisheries resources of the North West Atlantic. *FAO Fisheries Paper*, Rome, FAO, 1955, no. 7, 12 p.
7. Babayan V. K. *Kratkiy slovar' terminov dolgosrochnogo prognozirovaniya (promyslovye bioprognozy)* [A short glossary of terms for long-term forecasting (fishery biopredictions)]. Moscow, VNIRO, 1990, 48 p.
8. Ulltang Ø. Fish stock assessment and prediction: integrating relevant knowledge. An overview. *Scientia Marina*, 2003, vol. 67, no. S 1, pp. 5–12.
9. Gavrilov G. M. Dinamika vylova, metodicheskie osnovy otsenki zapasov, prognozirovaniya obshchego dopustimogo ulova (ODU) i vozmozhnogo vylova (VV) promyslovykh ryb v ekonomicheskoy zone Rossii dal'nevostochnykh morey i severozapadnoy chasti Tikhogo okeana [Dynamics of catch, methodical basis framework for the assessment of reserves and forecasting of the total allowable catch (TAC) of commercial fish in the Russian economic zone of the Far Eastern seas and North-Western Pacific]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2014, no. 5 (1), pp. 55–76.
10. *Tezisy dokladov X Vserossiyskoy konferentsii po problemam rybopromyshlennogo prognozirovaniya* [Abstracts of the X Russian Conference on the Problems of Fishery Industry Forecasting]. Pestrikova L.I. Ed. Murmansk, PINRO, 2009, 147 p.
11. *Materialy XI Vserossiyskoy konferentsii po problemam rybopromyslovogo prognozirovaniya, posvyashchennoy 150-letiyu so dnya rozhdeniya N. M. Knipovicha* [Proceedings of the XI Russian Conference on the Problems of Fishery Industry Forecasting]. Shevelev M. S. Ed. Murmansk, Izdatel'stvo PINRO, 2012, 228 p.
12. Mel'nikov I. V., Baytalyuk A. A. Sovremennoe sostoyanie syr'evoy bazy rybnoy promyshlennosti Dal'nevostochnogo basseyna i perspektivnyy prognoz ee razvitiya na period do 2025 g. [Current status of the resource base of the fishing

industry in the Far Eastern basin and a long-term forecast of its development for the period up to 2025]. *Tamozhennaya politika Rossii na Dal'nem vostoke*, 2012, no. 3(60), pp. 15–21.

13. Ojaveer E., Kalejs M. Long-term prediction on Baltic fish stocks based on periodicity of solar activity. *Rev Fish Biol Fisheries*, 2012, Vol. 22, Issue 3, pp. 683–693. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11160-012-9264-8> (Accessed 03 August 2021).

14. Filin A. A. Model'nyy analiz dinamiki zapasa barentsevomorskoy treski pri razlichnykh stsenariyakh dolgosrochnogo izmeneniya temperatury vody [Model analysis of the dynamics of the Barents Sea cod stock under different scenarios of long term changes in water temperature]. *Voprosy rybolovstva*, 2016, vol. 17, no. 4, pp. 232–245.

15. Yuan H., Gu Y., Wang J., Chen Y., Chen X. Study on the Medium and Long Term of Fishery Forecasting Based on Neural Network. *Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, Berlin, Heidelberg, Springer, 2012, vol. 7530, pp. 186–205. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-642-33478-8_77 (Accessed 31 July 2021).

16. Klyashtorin L. B., Lyubushin A. A. *Tsiklicheskie izmeneniya klimata i ryboproduktivnosti* [Cyclic Changes in Climate and Fish Capacity]. Moscow, VNIRO, 2005, 235 p.

17. Merayo M. G., Hwang I., Núñez M., Cavalli A. A. Statistical Approach to Test Stochastic and Probabilistic Systems. *Formal Methods and Software Engineering*. Part of the Lecture Notes in Computer Science, Berlin, Heidelberg, Springer, 2009, vol. 5885, pp. 186–205. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-642-10373-5_10 (Accessed 31 July 2021).

18. Kartvelishvili V. M., Sviridova O. A. *Risk-menedzhment. Metody otsenki riska: uchebnoe posobie* [Risk management. Risk assessment methods: manual]. Moscow, FGBOU VO “REU im. G. V. Plekhanova”, 2017, 120 p.

19. Gjørseter H., Bogstad B., Tjelmeland S. Assessment methodology for Barents Sea capelin, *Mallotus villosus* (Müller). *ICES Journal of Marine Science*, 2002, 59, pp. 1086–1095.

20. Aleksandrov D. I., Amelkin A. V., Amelkina A. S., Antsiferov M. Yu. [i dr.]. *Sostoyanie syr'evykh biologicheskikh resursov Barentseva, Belogo i Karskogo morey i Severnoy Atlantiki v 2021 g.* [Status of biological resources of the Barents, White and Kara Seas and North Atlantic in 2021]. Murmansk, PINRO im. N. M. Knipovicha, 2021, 145 p.

21. Report of the Blue Whiting Assesment Working Group. *ICES Document C.M.*, 1987, Assess: 4, 57 p.

22. Working Group on Widely Distributed Stocks (WGWIDE). *ICES Scientific Reports*, 2020, vol. 2, issue 82, 1019 p. Available at: <http://doi.org/10.17895/ices.pub.7475> (Accessed 28 July 2021).

23. Kalashnikov Yu. N., Krysov A. I., Pronyuk A. A., Rybakov M. O. Mezhdunarodnoe regulirovanie promysla sel'di, putassu i skumbrii [International regulation of the fishery for herring, blue whiting and mackerel]. *Vestnik MGTU*, 2017, vol. 20, no. 2, pp. 422–433.

24. Zilanov V. K. *Putassu Severnoy Atlantiki* [North Atlantic blue whiting]. Moscow, Lyogkaya i pishchevaya promyshlennost', 1984, 160 p.

25. Shibaev S. V. *Promyslovaya ikhtiologiya* [Commercial ichthyology]. Kaliningrad, ООО “Aksios“, 2014, 535 p.

26. Borisov V. M., Kotenev B. N. Smeshannaya Rossiysko-Norvezhskaya komissiya po rybolovstvu: plyusy i minusy (k 30-letiyu obrazovaniya SRNK) [The Joint Russian-Norwegian Commission on Fisheries: pluses and minuses (to the 30-th Anniversary of the JRNFC)]. *Rybnoe khozyaystvo*, 2005, no. 2, pp. 6–8.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Прозоркевич Дмитрий Владимирович – Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н. М. Книповича), г. Мурманск; кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник; E-mail: dvp@pinro.ru

Prozorkevich Dmitry Vladimirovich – Polar Branch of FSBSI “VNIRO” (“PINRO” named after N. M. Knipovich), Murmansk; PhD in Biology; leading researcher; E-mail: dvp@pinro.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ХРАНИМОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКТОВ
ИЗ КОЛЛАГЕНОВОГО ГИДРОЛИЗАТА

Н. К. Александров, О. П. Чернега

STUDY OF STORAGE STABILITY OF PRODUCTS MADE OF COLLAGEN HY-
DROLYZATE

N. K. Alexandrov, O. P. Chernega

Приведены результаты микробиологического исследования субпродуктов птицы (голов и ног цыпленка-бройлера), а также изготовленного из них коллагенового гидролизата (КГ) в процессе хранения при пониженных температурах (в охлажденном при 4 ± 2 °С и замороженном при минус 18 °С виде) по показателям желированного продукта из птицы. Подтверждена безопасность сырья (субпродуктов) по нормативным требованиям и КГ по показателям патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. Описано изменение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных бактерий в КГ в процессе хранения. Получены продукты коллагенового гидролизата (ПГ) – лиофилизат КГ и КГ, высушенный при 50 °С (ВКГ). Установлена массовая доля влаги в КГ – $90,1 \pm 0,1$ %, в ВКГ – $10,7 \pm 1,2$ %, в лиофилизате – $11,1 \pm 0,3$ %. Определена активность воды: для КГ она составила более 0,95; для лиофилизата – $0,36 \pm 0,15$; для ВКГ – $0,32 \pm 0,14$. При хранении КГ в охлажденном состоянии на 10-е сутки органолептическим методом фиксировались процессы порчи продукта, в замороженном виде – на 72-е сутки. Прочность КГ при пониженных температурах увеличивалась. На основе полученных экспериментальных данных рекомендованы сроки годности КГ: 7 сут при температуре хранения (4 ± 2) °С, 60 сут – при минус 18 °С. Приведен вариант возможного использования ПГ в качестве добавки к соусу, причем при дозировке в 2 % из соуса было получено желе, что доказывает наличие у ПГ свойств желирующего агента.

коллагеновый гидролизат, сроки годности, микробиологические, реологические и органолептические исследования

The paper presents the results of microbiological studies of poultry offals (chicken feet and heads) and collagen hydrolysate (CH) stored at low temperatures (chilled (4 ± 2 °C) and frozen (minus 18 °C) form). The CH has been studied according to the indicators by which gelled poultry products are evaluated. Safety of raw materials (poultry offals) in accordance with regulatory requirements has been confirmed. Safety of CH in terms of pathogenic and presumptive pathogenic microorganisms has been confirmed as well. The paper also describes a change in the number of mesophilic aerobes and facultative anaerobes in CH in the process of storage. The CH products (HP) have been obtained, namely CH lyophilisate and CH that was dried at 50 °C (DCH). It

has been found that the moisture content in the CH is $90.1 \pm 0.1\%$, in the DCH it is $10,7 \pm 1,2\%$, in the lyophilisate it's $11,1 \pm 0,3\%$. The water activity has been determined: for the CH it is more than 0.95, for the lyophilisate it is $0,36 \pm 0,15$, for DCH $0,32 \pm 0,14$. With the use of organoleptic methods it has been found that chilled form of CH has signs of spoilage on the 10th day of storage, and the frozen form has them on 72th day of storage. The strength of CH increased during storage at low temperatures. On the basis of the research, the recommended shelf life for chilled (4 ± 2 °C storage) CH is 7 days, for frozen (minus 18 °C storage) – it's 60 days. The paper also presents a variant of HP use as an additive to sause. The dosage of 2% HP in the sauce produces a jelly, which confirms the gelling agent properties of the HP.

collagen hydrolysate, shelf life, microbiological, organoleptic and rheological researches

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетом птицеводческой отрасли является получение белоксодержащего сырья животного происхождения, которое после переработки можно использовать в пищевых, кормовых, технических и медицинских целях. К пищевому сырью убоя сельскохозяйственной птицы относят мясо (полупотрошенные, потрошенные тушки и продукты ее разделки) и субпродукты (потроха, гребни, обработанные шея, голова, ноги), к техническому – перо и пух, жир и железистые желудки, к кормовому – отходы переработки (кровь, пищевод, зоб, желчный пузырь, трахея, селезенка, яичники, семенники, кутикула). Направление использования каждой группы сырья зависит от его гистологического строения, химического состава и пищевой ценности.

В настоящее время актуален вопрос максимально рационального применения вторичных продуктов переработки птицы, основными структурными белками которых являются склеропротеины – коллаген, эластин и ретикулин. Они преобладают в соединительной, костной, хрящевой и покровной тканях. Эти белки могут быть извлечены и использованы для различных целей. Повышение функциональности и усвояемости данных компонентов возможно путем модификации их структуры до пептидов и аминокислот, которая выполняется различными способами, вызывающими разной степени изменения нативной структуры (щелочно-солевая, кислотная, термическая и ферментативная обработка).

В данной работе в результате ферментного гидролиза компонентов субпродуктов птицы был получен коллагеновый гидролизат (КГ) [1]. Для рекомендаций по его использованию на пищевые цели необходимо оценить хранимоспособность КГ и его продуктов различной степени обезвоживания, определить возможность их применения в производстве пищевых продуктов.

Для достижения цели был поставлен технологический эксперимент, в ходе которого решались следующие задачи:

- изготовить КГ;
- получить на его основе продукты различного способа производства и степени обезвоживания (КГ, порошок);
- изучить влияние продолжительности хранения на качество, включая реологические и органолептические аспекты охлажденного и мороженого КГ;

- определить стабильность показателей гигиенической безопасности охлажденного и мороженого КГ, время хранения;
- установить сроки годности порошка из КГ различного способа производства;
- дать рекомендации возможного использования полученных продуктов гидролиза коллагена.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры технологии продуктов питания Калининградского государственного технического университета (КГТУ).

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования явились сырье птицепереработки (голова и ноги цыпленка-бройлера), изготовленный из него КГ в виде геля в охлажденном ($4,0 \pm 2$ °С) и замороженном состоянии (минус 18 °С); КГ лиофилизированный и измельченный (пористый порошок); КГ, высушенный при температуре 50 °С и измельченный (порошок).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении исследований использовали эмпирические методы-операции (наблюдение, измерение, экспертные оценки, изучение научной и патентной литературы) и методы действия (опытная работа, эксперимент). Для оценки качества выработанного КГ в процессе холодильного хранения применяли реологические, микробиологические и органолептические методы исследования. Массовую долю влаги определяли по ГОСТ 33319, прочность студня – по ГОСТ 26185, органолептические показатели – по общепринятым методам исследования, активность воды в порошках различного способа сушки – методом Конвея [2].

Методики, в соответствии с которыми производилось определение санитарно-микробиологических показателей, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Нормативные документы на методы определения санитарно-микробиологических показателей исследуемых образцов

Table 1. Normative documents for methods that determine the sanitary and microbiological indicators of the test samples

Показатель	Нормирующий документ
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы	ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002)
<i>Listeria monocytogenes</i>	ГОСТ 32031-2012
КМАФАнМ	ГОСТ 10444.15-94
БГКП (колиформы)	ГОСТ 31747-2012
<i>S. aureus</i>	ГОСТ 31746-2012 (ISO 6888-1:1999, ISO 6888-2:1999, ISO 6888-3:2003)
Сульфитредуцирующие клостридии	ГОСТ 29185-2014 (ISO 15213:2003)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Получена экспериментальная партия КГ по технологии ферментативного гидролиза голов и ног цыпленка-бройлера [1]. Процесс осуществлялся с помощью

препарата сухого животного происхождения Энзи-микс У (протепсин) с протеолитической активностью 120 ед/г, оптимумом действия в мясных системах при 40 °С и рН 6,0. Для оценки сроков годности КГ была определена массовая доля влаги и активность воды (a_w) сразу после его выработки. Показатель активности воды выступает критерием оценки возможной продолжительности хранения продукта. На практике a_w характеризует прежде всего доступность воды для микроорганизмов, поэтому чем ниже a_w в продукте, тем менее вероятна жизнедеятельность микроорганизмов, тем сильнее подавляется их развитие. И наоборот, чем выше a_w , тем активнее те или иные виды микрофлоры. Содержание влаги в полученной партии КГ составило $90,1 \pm 0,1 \%$, $a_w > 0,95$. Следовательно, в данном полуфабрикате остаточная микрофлора продукта на этапе хранения при определенных условиях способна к размножению и может привести к его порче.

Выработанная партия КГ была упакована в герметичную тару и заложена на холодильное хранение при температуре $4,0 \pm 2$ °С и минус 18 °С (рис. 1).



Рис. 1. Опытная партия КГ, заложённая на холодильное хранение
Fig. 1. Experimental batch of CH that was placed in cold storage

Оценка гигиенической безопасности КГ, хранившегося в охлажденном и замороженном виде, проводилась с учетом нормативных требований Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

В сырье, а также в охлажденном и замороженном КГ в процессе хранения контролировали количество КМАФАнМ, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, бактерии группы кишечной палочки (БГКП, колиформы), *Listeria monocytogenes*. В КГ также определяли *S. aureus* и сульфитредуцирующие клостридии.

Так как данный полуфабрикат (КГ) не представлен в ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», критерием его оценки были выбраны показатели желированного продукта из мяса птицы как близкого по параметрам технологии производства и химическому составу.

Схема микробиологических исследований задана на основании рекомендаций МУК 4.2.1847-04. Продолжительность экспертизы продуктов должна превышать предполагаемый срок годности по нормативно-технической документации на время, определяемое коэффициентом резерва. Для охлажденного КГ длительность исследований составляет 10,5 сут (коэффициент резерва 1,5), для замороженного – 72 сут (коэффициент резерва 1,2) [3].

Результаты микробиологического исследования сырья, из которого был выработан КГ, представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты санитарно-микробиологического исследования сырья (размороженные головы и ноги цыпленка-бройлера) [4]

Table 2. Results of sanitary and microbiological research of raw materials (defrosted heads and feet of chicken) [4]

Показатель	Величина допустимого уровня по ТР ТС 021/2011	Значение
КМАФАнМ	Не более $1 \cdot 10^6$ КОЕ/г	$3,9 \cdot 10^5$ КОЕ/г
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы	Не допускается в 25 г продукта	н/о
<i>Listeria monocytogenes</i>	Не допускается в 25 г продукта	н/о
БГКП (колиформы)	Не допускается в 0,1 г продукта	н/о

Согласно данным микробиологического анализа сырье для получения КГ соответствовало нормативным требованиям.

Результаты исследования КГ, хранившегося в охлажденном и замороженном виде, отображены в табл. 3, 4.

Таблица 3. Результаты исследования КГ в процессе хранения при температуре $4,0 \pm 2$ °С [3, 4]

Table 3. Results of CH researches while storage at $4,0 \pm 2$ °С [3, 4]

Показатель	Величина допустимого уровня по ТР ТС 021/2011	Контрольные точки проведения исследований			
		Начало хранения	Сутки хранения		
			5	7	10
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы	Не допускается в 25 г продукта	н/о	–	–	н/о
<i>Listeria monocytogenes</i>	Не допускается в 25 г продукта	н/о	–	–	н/о
КМАФАнМ	Не более $2 \cdot 10^3$ КОЕ/г	$2,0 \cdot 10^5$	$2,52 \cdot 10^3$	$8,9 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^5$
БГКП (колиформы)	Не допускается в 0,1 г продукта	н/о	–	–	н/о
<i>S. aureus</i>	Не допускается в 1,0 г продукта	н/о	–	–	н/о
Сульфитредуцирующие клостридии	Не допускается в 0,1 г продукта	н/о	–	–	н/о

Примечание. «–» обозначает, что показатель не исследовался в данной точке.

Таблица 4. Результаты исследования КГ в процессе хранения при температуре минус 18 °С [3, 4]

Table 4. Results of CH researches while storage at minus 18 °С [3, 4]

Показатель	Величина допустимого уровня по ТР ТС 021/2011	Контрольные точки проведения исследований (сутки хранения)				
		Начало хранения	18	36	60	72
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы	Не допускается в 25 г продукта	н/о	–	–	–	н/о
<i>Listeria monocytogenes</i>	Не допускается в 25 г продукта	н/о	–	–	–	н/о
КМАФАнМ	Не более $2 \cdot 10^3$ КОЕ/г	$2,0 \cdot 10^5$	$1,0 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	$1,0 \cdot 10^4$
БГКП (колиформы)	Не допускается в 0,1 г продукта	н/о	–	–	–	н/о
<i>S. aureus</i>	Не допускается в 1,0 г продукта	н/о	–	–	–	н/о
Сульфитредуцирующие клостридии	Не допускается в 0,1 г продукта	н/о	–	–	–	н/о

Примечание. « – » обозначает, что показатель не исследовался в данной точке

В сырье и опытных образцах КГ при температуре хранения 4 °С и минус 18 °С патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, бактерии группы кишечной палочки (БГКП, колиформы), *Listeria monocytogenes*, *S. aureus* и сульфитредуцирующие клостридии не были обнаружены в течение всего периода наблюдений.

Динамика КМАФАнМ при холодильном хранении охлажденного и мороженого полуфабриката представлена на рис. 2.

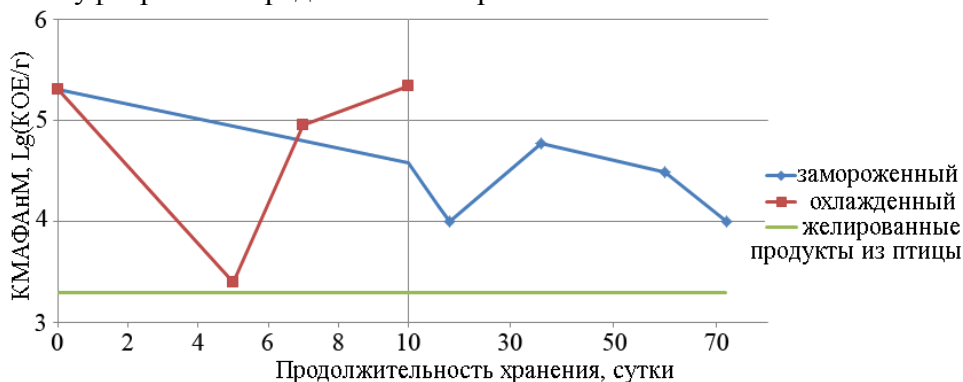


Рис. 2. Динамика КМАФАнМ КГ в процессе холодильного хранения
Fig. 2. Dynamics of QMAFAnM in CH in the process of cold storage

Как видно из графика, у охлажденного полуфабриката на 5-е сутки хранения зафиксирована минимальная обсемененность, затем происходит рост КМАФАнМ. На 10-е сутки количество микроорганизмов увеличивается до $2,2 \cdot 10^5$ КОЕ/г. Это можно объяснить тем, что в процессе понижения температуры от 25 до 4 °С одни виды бактерий начинают погибать, а другие продолжают активно размножаться, так как КГ является благоприятным субстратом для роста и развития микроорганизмов.

Изменения КМАФАнМ при хранении замороженного полуфабриката имеют несколько фаз. На 18-е сутки после замораживания КМАФАнМ уменьшилось до $1,0 \cdot 10^4$ КОЕ/г, затем был зафиксирован незначительный его рост, что связано с тем, что одни виды бактерии начинают погибать, а другие, преимущественно споровые бактерии, продолжают размножаться. На 60-е сутки хранения КМАФАнМ составило $3,2 \cdot 10^4$ КОЕ/г, на 72-е – показатель КМАФАнМ был зафиксирован на уровне $1,0 \cdot 10^4$ КОЕ/г. Снижение обсемененности замороженного продукта обусловлено созданием неблагоприятных условий для дальнейшего развития бесспоровых форм микроорганизмов.

Важно отметить, что хотя КГ и был отнесен по показателям КМАФАнМ к желированной продукции из мяса птицы, в проводимых исследованиях он не рассматривался в качестве готового продукта и являлся полуфабрикатом для изделий колбасных вареных [1, 5]. В технологии этой продукции применяется высокотемпературная термическая обработка, при которой значительная часть микробных клеток погибает. Поэтому КГ, не имеющий патогенной микрофлоры, при внесении на этапе куттерования фарша не должен повлиять на рост обсемененности готовой продукции.

Параллельно микробиологическим проводились органолептические исследования полуфабриката. Изменения органолептических показателей КГ представлены в табл. 5, 6.

Таблица 5. Органолептические характеристики охлажденного КГ
Table 5. Organoleptic characteristics of chilled CH

Показатель	Контрольные точки проведения исследований (сутки холодильного хранения)			
	0	5	7	10
Внешний вид	Непрозрачная однородная масса с тонкой жировой пленкой на поверхности, сохраняющая форму, с незначительным количеством прозрачной жидкости			Непрозрачная однородная масса с тонкой жировой пленкой на поверхности, частично потерявшая форму, с незначительным количеством мутной жидкости
Консистенция	Плотная, упругая, сохраняет форму, не разрушается при надавливании, легко нарезается			Менее плотная и упругая, жир отделяется от поверхности, легко нарезается
Запах	Свойственный продуктам птицепереработки, слабый, без постороннего запаха			Ощущается присутствие постороннего запаха
Цвет	Кремово-бежевый			

Таблица 6. Органолептические характеристики замороженного КГ
Table 6. Organoleptic characteristics of frozen CH

Показатель	Контрольные точки проведения исследований (сутки морозильного хранения)			
	18	36	60	72
Внешний вид	Непрозрачная однородная масса с тонкой жировой пленкой на поверхности			
Консистенция	Твердая. После размораживания плотная, упругая, не разрушается при надавливании, легко нарезается			
Запах	После размораживания свойственный, слабовыраженный, без постороннего запаха		Ощущается слабый запах окислившегося жира	
Цвет	Кремowo-бежевый			

В рамках данного исследования в процессе холодильного хранения также оценивались реологические свойства КГ. Показатели снимались при комнатной температуре. Образцы замороженного КГ предварительно подвергались размораживанию. Изменение прочности студня при хранении представлено в табл. 7.

Таблица 7. Изменение прочности коллагенового геля при хранении (по Валенту)
Table 7. Change in the strength of CH during storage (according to Valent)

Сутки хранения	Нагрузка		
	г	г/см ²	Па
Охлажденный КГ			
0	404,0	202,0	19 809
5	509,0	254,5	24 958
7	656,0	328,0	32 166
10	649,0	324,5	31 752
Замороженный КГ			
18	237,0	118,5	11 621
36	306,0	153,0	15 004
60	639,0	319,5	31 332
72	547,0	273,5	26 821

Как видно из полученных данных, при холодильном хранении консистенция КГ уплотняется, прочность геля увеличивается. Это вызвано образованием дополнительных химических связей между отдельными аминокислотными цепями (агрегатами) гидролизованного коллагена. Под действием бактерий в охлажденном КГ верхний слой начинает разжижаться, прочность КГ незначительно уменьшается, что сопровождается и органолептическими изменениями, в том числе появлением резкого неприятного запаха.

Таким образом, установлено, что на протяжении 7 сут холодильного хранения охлажденный полуфабрикат характеризуется хорошими органолептическими показателями и высокой прочностью геля. Далее данные показатели начинают меняться. На 10-е сутки появляется неприятный запах, прочность уменьшается, значительно увеличивается КМАФАнМ, отделяющаяся жидкость становится

мутной и тягучей. Следовательно, рекомендуемый срок годности охлажденного полуфабриката не более 7 сут.

После 36 сут хранения у мороженого полуфабриката КМАФАНМ составило $6,2 \cdot 10^4$ КОЕ/г и в дальнейшем не возрастало. На 72-е сутки появился слабый запах окислившегося жира на поверхности. Таким образом, рекомендуемый срок годности замороженного КГ не более 72 сут. Увеличить период холодильного хранения можно за счет обезжиривания КГ.

В лабораториях кафедр технологии продуктов питания и пищевой биотехнологии КГТУ из данного полуфабриката были изготовлены образцы высушенного тонким слоем при температуре 50 °С гидролизата коллагена в виде пленки, измельченной в порошок (рис. 3), и лиофилизированного КГ в виде тонкого диска пористой структуры, который также был измельчен в порошок (рис. 4). Оба образца поместили в герметичную тару и положили на хранение при комнатной температуре.



Рис. 3. Лيوфилизат КГ пористой структуры (слева) и измельченный в порошок (справа)

Fig. 3. CH Lyophilisate with porous structure (left) and powdered (right)



Рис. 4. Высушенный при температуре 50 °С КГ в виде пленки (слева) и измельченный в порошок (справа)

Fig. 4. CH dried at 50 °С in the form of a thin layer (left) and crushed into powder (right)

После получения из КГ порошка различных видов сушки определяли в них активность воды и массовую долю влаги (W) для установления возможного срока

хранения. При доверительной вероятности $P=0,95$ показатель W для высушенного при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ КГ составил $10,7 \pm 1,2\%$, для лиофилизата – $11,1 \pm 0,3\%$.

Таблица 8. Активность воды в продуктах КГ

Table 8. Water activity of CH products

Продукты коллагенового гидролиза			
Высушенный при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ КГ (порошок)		Лиофилизат КГ (порошок)	
Номер опыта	Значение a_w	Номер опыта	Значение a_w
1	0,26	1	0,29
2	0,22	2	0,25
3	0,43	3	0,32
4	0,45	4	0,34
5	0,29	5	0,54
6	0,27	6	0,43

Как видим, активность воды в образце высушенного при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ КГ составляет $0,32 \pm 0,14$ при надежности (α), равной $0,98$; в лиофилизированном КГ – $0,36 \pm 0,15$ при $\alpha = 0,98$. Абсолютным порогом для всех микроорганизмов является $a_w = 0,6$ – ниже этого значения они не развиваются и не размножаются, а химические и ферментативные реакции с их участием замедляются [2]. Следовательно, данные образцы могут иметь достаточно длительное время хранения. Точные сроки должны быть установлены с помощью дополнительных микробиологических исследований. Имеются данные о том, что полученные определенным способом гидролизаты коллагена обладают антиоксидантным действием, а также снижают бактериальную активность *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* [6].

Гидролизированный коллаген богат аминокислотами, такими как глицин, пролин и оксипролин [7]. Полученные продукты КГ из сырья птицы можно использовать в пищевой промышленности в виде коллагеновых пленок, например, в качестве пищевой оболочки при производстве вареных колбасных изделий и т. п. [1, 5]. Тепловая обработка коллагенового гидролизата при температуре до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха менее 70% , предназначенная для получения пленок, является наиболее эффективным, а также экологически безопасным методом сшивания денатурированного коллагена, который улучшает технологические свойства пищевых пленок [8].

Полученные порошки КГ обладают желеобразующими свойствами, не имеют ярко выраженного специфического запаха, хорошо растворимы в воде. На основе исследуемого порошка было приготовлено желе из шпината и сливок с дозировкой КГ 2% на 100 г продукта (рис. 5). Данное направление использования сухого гидролизата может найти применение в рецептурах разнообразных блюд и кондитерских изделий.



Рис. 5. Желе с использованием порошка коллагенового гидролизата
Fig. 5. Jelly with collagen hydrolyzate powder use

Актуальность данной технологии подтверждается тем, что гидролизат коллагена, представляющий собой смесь биоактивных пептидов, часто используется как ингредиент для разработки нутрицевтиков. Например, коллагеновые пептиды применяют в качестве пищевых добавок при недостаточном питании или дегенеративных заболеваниях для восстановления плотности костной ткани, они благотворно влияют на эластичность кожи [9]. Пептиды связывают ионы кальция, способствуя большей их биодоступности [10]. Биоматериалы на основе коллагена используются для перевязки ран и их заживления [6].

Ожидается, что среднегодовой темп роста (CAGR) мирового производства коллагеновых пептидов в период 2019–2024 гг. составит 5,05 % [11]. Однако применение коллагеновых гидролизатов крупного рогатого скота ограничено ввиду возможности передачи прионных заболеваний, в частности, губчатой энцефалопатии [10, 11], поэтому очевидна перспективность использования сырья птицеводства для получения гидролизатов коллагена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценены экспериментальные значения микробиологических показателей охлажденного и мороженого КГ, изучена его гигиеническая безопасность согласно ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». В комплексе с органолептической оценкой обоснованы сроки годности охлажденного (7 сут при температуре 4 ± 2 °С) и мороженого КГ (2,5 мес. при температуре минус 18 °С). Порошки из него различного способа сушки, имея значения $a_w = 0,32 \pm 0,14$ и $W = 10,7 \pm 1,2$ % (порошок из высушенного при 50 °С КГ), $a_w = 0,36 \pm 0,15$ и $W = 11,1 \pm 0,3$ % (порошок лиофилизата КГ), при определенных условиях могут храниться достаточно длительное время.

Продукты коллагенового гидролизата можно применять в пищевой промышленности, медицине и косметологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александров, Н. К. Использование коллагенового геля из субпродуктов птицы в технологии производства колбасных хлебов / Н. К. Александров, О. П. Чернега // Вестник молодежной науки: электронный научный журнал. –

2021. – № 3 [Электронный ресурс]. – URL: <http://vestnikmolnauki.ru/3-30/> (дата обращения: 24.08.2021).

2. Чернега, О. П. Физико-химические и биохимические основы производства рыбных продуктов / О. П. Чернега, И. П. Ковалева. – Калининград: Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – 78 с.

3. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. Методические указания. – Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 31 с.

4. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: Утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г. № 880. – 2011. – 242 с.

5. Чернега, О. П. Использование вторичного сырья переработки птицы в технологии вареных колбасных изделий / О. П. Чернега, С. С. Гудебская // Балтийский морской форум: VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Инновации в технологии продуктов здорового питания» (5–10 октября 2020 г.): материалы. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2020. – С. 126–133.

6. Shomita, S. Mathew-Steiner. Collagen in Wound Healing / Shomita S. Mathew-Steiner, Sashwati Roy, Chandan K. Sen // Bioengineering. – 2021. – № 8 [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.3390/bioengineering8050063> (дата обращения: 24.08.2021).

7. Бондаренко, Л. Б. Коллаген хряща цыплят при различной обеспеченности Са и витамином D₃ / Л. Б. Бондаренко, Р. И. Яхимович, В. К. Бауман // Биополимеры и клетка – 1992. – Т. 8, № 5. – С. 35–37.

8. Donghui, Shi. Effect of aging treatment on the physicochemical properties of collagen films / Donghui Shi, Fei Liu, Zhe Yu, Bingyu Chang, Douglas Goff, Fang Zhong // Food Hydrocolloids. – 2019. – № 87. – pp. 436–447.

9. Mihaela-Adi Lupu. Beneficial effects of food supplements based on hydrolyzed collagen for skin care (Review) / Mihaela-Adi Lupu, Gratiela Gradisteanu Pircalabioru, Mariana-Carmen Chifiriuc, Radu albulescu, Cristiana Tanase // Experimental and therapeutic medicine. – 2019. – № 1. – pp. 12–17.

10. Arely Leon-Lopez. Hydrolyzed Collagen – Sources and Applications / Arely Leon-Lopez, Alejandro Morales-Penalosa, Victor Manuel Martinez-Juarez, Apolonio Vargas-Torres, Dimitrios I. Zeugolis, Gabriel Aguirre-Alvarez // Molecules. – 2019. – № 24 [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.3390/molecules24224031> (дата обращения: 24.08.2021).

11. Ragavy Radhakrishnan. Poultry spent wastes: an emerging trend in collagen mining / Ragavy Radhakrishnan, Muthiah Shanmugavel, Puja Ghosh, Thanganadar Apparam Selvakumar, Arumugam Gnanamani // Advances in Tissue Engineering and Regenerative Medicine. – 2020. – № 6. – pp. 26–35.

REFERENCES

1. Aleksandrov N. K., Chernega O. P. Ispolzovanie kollagenovogo gelya iz subproduktov ptitsy v tekhnologii proizvodstva kolbasnykh khlebov [Use of collagen gel from poultry offals in the technology of meat breads production]. *Vestnik molodezh-*

noy nauki, 2021, no. 3, available at: <http://vestnikmolnauki.ru/3-30/> (Accessed 06 August 2021).

2. Chernega O. P., Kovaleva I. P. *Fiziko-khimicheskie i biokhimicheskie osnovy proizvodstva rybnykh produktov* [Physicochemical and biochemical bases of the production of fish products]. Kaliningrad, FGBOU VO «KGTU» Publ., 2018, 78 p.

3. Sanitarno-epidemiologicheskaya otsenka obosnovaniya srokov godnosti i usloviy khraneniya pishchevykh produktov. Metodicheskie ukazaniya. Moscow, Federalnyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004, 32 p.

4. Tekhnicheskiy reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 021/2011 “O bezopasnosti pishchevoy produktsii” [Technical Regulations of the Customs Union TR CU 021/2011 “On the Safety of Food Products”]. Utverzhen resheniem Komissii Tamozhennogo soyuza ot 09 dekabrya 2011 g., no. 880, 2011, 242 p.

5. Chermega O. P., Gudebskaya S. S. Ispolzovanie vtorichnogo syrya pererabotki ptitsy v tekhnologii varenykh kolbasnykh izdeliy [Use of secondary raw materials of poultry processing in the technology of boiled sausage products]. *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. “Innovatsii v tekhnologii produktov zdorovogo pitaniya” (5–10 oktyabrya 2020 g.)* [Materials of the 8th International Scientific and Practical Conference “Innovations in Healthy Food Technology” (5–10 October 2020)]. Kaliningrad, 2020, pp. 126–133.

6. Shomita S. Mathew-Steiner. Collagen in Wound Healing. Shomita S. Mathew-Steiner, Sashwati Roy, Chandan K. Sen. *Bioengineering*. 2021, no. 8, available at: <https://doi.org/10.3390/bioengineering8050063> (Accessed 24 August 2021).

7. Bondarenko L. B., Yakhimovich R. I., Bauman V. K. Kollagen khryashcha tsyplyat pri razlichnoy obespechennosti Ca i vitaminom D₃ [Chicken cartilage collagen with different levels of Ca and vitamin D₃]. *Biopolimery i kletka*, 1992, vol. 8, no. 5, pp. 35 – 37.

8. Donghui Shi. Effect of aging treatment on the physicochemical properties of collagen films. Donghui Shi, Fei Liu, Zhe Yu, Bingyu Chang, Douglas Goff, Fang Zhong. *Food Hydrocolloids*. 2019, no. 87, pp. 436–447.

9. Mihaela-Adi Lupu. Beneficial effects of food supplements based on hydrolyzed collagen for skin care (Review). Mihaela-Adi Lupu, Gratiela Gradisteanu Pircalabioru, Mariana-Carmen Chifiriuc, Radu albulescu, Cristiana Tanase. *Experimental and therapeutic medicine*. 2019, no. 1, pp. 12–17.

10. Arely Leon-Lopez. Hydrolyzed Collagen – Sources and Applications. Arely Leon-Lopez, Alejandro Morales-Penaloza, Victor Manuel Martinez-Juarez, Apolonio Vargas-Torres, Dimitrios I. Zeugolis, Gabriel Aguirre-Alvarez. *Molecules*. 2019, no. 24, available at: <https://doi.org/10.3390/molecules24224031> (Accessed 24 August 2021).

11. Ragavy Radhakrishnan. Poultry spent wastes: an emerging trend in collagen mining. Ragavy Radhakrishnan, Muthiah Shanmugavel, Puja Ghosh, Thanganadar Appapalam Selvakumar, Arumugam Gnanamani. *Advances in Tissue Engineering and Regenerative Medicine*. 2020, no. 6, pp. 26–35.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Александров Никита Константинович – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры технологии продуктов питания;
E-mail: nikesha98@mail.ru

Aleksandrov Nikita Konstantinovich – Kaliningrad State Technical University; Master student of the Department of Food Technology; E-mail: nikesha98@mail.ru

Чернега Ольга Павловна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: olga.chernega@klgtu.ru

Chernega Olga Pavlovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Technology; E-mail: olga.chernega@klgtu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ
АНТАРКТИЧЕСКОГО КРИЛЯ (*EUPHAUSIA SUPERBA*)

А. В. Андрюхин, М. П. Андреев, В. А. Галдукевич

IMPROVING THE TECHNOLOGY OF ANTARCTIC KRILL (*EUPHAUSIA SUPERBA*) COMPLEX PROCESSING

A. V. Andriukhin, M. P. Andreev, V. A. Galdukevich

Приведены данные по изменению химического состава, содержания депротенизированного панциря, выхода фарша и панцирьсодержащих отходов при пресс-сепарировании антарктического криля в зависимости от степени прижатия ленты к перфорированному барабану пресс-сепаратора с диаметром отверстий 3 мм. С учетом полученных данных выявлено необходимое условие последовательного применения двух пресс-сепараторов с различными диаметрами отверстий рабочего барабана для производства фарша с приемлемыми качественными показателями. Отмечено изменение содержания формольно-титруемого и небелкового азота при предварительном ферментативном гидролизе биологической жидкости, выделенной из целого криля-сырца при центрифугировании. Исследован химический состав биологической жидкости (сока), образующейся при центрифугировании. Внесение добавок позволило замедлить процессы гидролиза липидов фарша криля, что выразилось в меньших значениях кислотного числа на протяжении всего срока хранения. Предварительная ферментативная обработка дала возможность увеличить выход липидной фракции более чем на 20 %. Исследовано влияние степени прижатия ленты пресс-сепаратора на химический состав панцирьсодержащих отходов. Увеличение степени прижатия способствует повышенному содержанию липидов. Показано изменение качественных показателей фарша криля и панцирьсодержащих отходов при холодильном хранении с использованием вакуум-упаковки и стабилизирующих добавок. Применение добавок позволило замедлить процессы гидролиза липидов фарша криля, что выразилось в меньших значениях кислотного числа на протяжении всего срока хранения. Сохранение влагоудерживающей способности выше 60 % в течение 120 сут при использовании пищевых добавок даст возможность расширить ассортимент выпускаемой продукции относительно фарша без добавок. Внесение пищевых добавок позволяет замедлить динамику снижения качественных показателей фарша криля при холодильном хранении.

антарктический криль, крилевый жир, сыромороженный фарш, пресс-сепарирование, панцирьсодержащие отходы, ферментативная обработка, депротенизированный панцирь

The paper presents data on change of chemical composition, content of deproteinized shell and output of mince and shell-containing wastes at press-separation of Antarctic krill depending on degree of pressing of belt of perforated drum of press-separator with diameter of holes 3 mm. Taking into account the obtained data, the necessary condition for sequential use of two press separators with different diameters of holes of the working drum for mince production with acceptable qualitative parameters has been revealed. Change of formol-titrated nitrogen and non-protein nitrogen content during preliminary enzymatic hydrolysis of biological liquid isolated from whole crude krill during centrifugation is shown. Chemical composition of biological fluid (juice) formed during centrifugation has been investigated. A clear dependence of the use of krill mince on the production of molded, culinary products or stuffed products has been determined, depending on the water-holding capacity. The use of additives made it possible to slow down the hydrolysis of krill mince lipids, which was expressed in lower values of the acid number throughout the shelf life. Preliminary enzymatic treatment made it possible to increase the yield of the lipid fraction by more than 20% and intensify the process of destruction of protein substances. The paper also shows a change in the quality of krill mince during refrigeration storage using vacuum packaging and stabilizing additives. Maintaining water-retaining capacity above 60% for 120 days when using food additives will expand the range of products relative to mince without using additives. Introduction of food additives in a certain amount from the mass of krill mince makes it possible to slow down dynamics of decrease of quality indices of krill mince during refrigeration storage.

antarctic krill, krill oil, raw-frozen minced meat, press separation, shell-containing waste, enzymatic treatment, deproteinized shell

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость расширения океанического рыболовства в Атлантическом океане делает актуальным освоение дополнительной сырьевой базы, способной обеспечить устойчивый долговременный рост добычи и переработки водных биологических ресурсов. В антарктической части Атлантики таким ресурсом является антарктический криль (*Euphausia superba*). Липиды криля обладают рядом уникальных свойств, в частности, относительно высоким (до 58 %) содержанием фосфолипидов, наличием растворенных в жире каротиноидов, обусловленных особенностями его химического состава, в связи с чем криль является сырьем для производства высокоценных пищевых и кормовых продуктов [10].)

На данный момент наиболее распространенное использование криля – сырье для производства крилевой муки с целью замены рыбной муки в рецептурах кормов для аквакультуры [11, 12].

Мировое производство продукции пищевого и медицинского назначения из криля (в основном так называемое «крилевое масло» и варено-мороженое мясо) в количественном выражении составляет менее 1 %, при этом в стоимостном ее доля достигает 45 %, что обуславливает актуальность исследований, связанных с глубокой переработкой данного биоресурса.

В период ведения СССР промысла криля советскими судами были успешно созданы и промышленно апробированы технологии его переработки на пищевые, кормовые, технические и иные цели, однако в настоящее время миро-

вой промышленный выпуск продукции из него ограничивается производством целого мороженого криля, кормовой муки, крилевого жира и варено-мороженого мяса [1]. Несмотря на имеющийся технологический задел в области переработки криля, остающийся сегодня отчасти актуальным, необходимо проводить исследования по совершенствованию технологии его глубокой переработки [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работы проводили на СТМ «Атлантида» в антарктической части Атлантики (АЧА) с использованием свежельовленного антарктического криля *Euphausia superba*, а в береговых условиях – сыромороженого фарша.

Фарш в этом рейсе заготавливали в проливе Дрейка в марте 2020 г. пресс-сепарированием криля на сепараторе с диаметром отверстий рабочего барабана 3 мм с последующим интенсивным промыванием морской и ополаскиванием пресной водой, отделением влаги на вибросите и дальнейшим центрифугированием.

При пресс-сепарировании использовали несколько степеней прижатия ленты к барабану сепаратора. Степень прижатия регулировали в зависимости от угла поворота ролика натяжения ленты: 0° – слабое прижатие, 45° – среднее, 90° – сильное.

При проведении исследований по выделению липидной фракции из жидкости, полученной при центрифугировании, криль-сырец в количестве 1 кг помещался в сетчатые мешки и подвергался центрифугированию до прекращения отделения биологической жидкости (сока), в которой определялось содержание влаги, жира, азотистых веществ.

Приготовленный сок перемешивали и разделяли на две части. В одной из них растворялся ферментный препарат протосубтилин F20X в количестве, равном 5,0 % к содержанию сырого протеина. Во вторую часть сока ферментный препарат не вносился. Из обеих частей отбирали пробы в количествах, равных емкостям градуированных пробирок лабораторной центрифуги, и помещали на водяную баню с температурой 45 °С. Сок в пробирках подвергается гидролизу под действием собственных ферментов и фермента протосубтилина 20XГ (проба 1) и только собственных ферментов (проба 2) в течение 150 мин. Через каждые 30, 60, 90, 120, 150 мин ферментативного гидролиза пробирки извлекали из водяной бани и подвергали центрифугированию в течение 20 мин при скорости 12000 об/мин. В них определяли количество выделившейся липидной фракции. Далее пробирки с содержимым нагревали на водяной бане до температуры 90 °С в течение 5 мин и охлаждали на водяной бане до 40 °С, затем вновь центрифугировали, после чего проводили замер количества липидов.

В отдельных пробирках параллельно проводился гидролиз, и каждые 30 мин определялось количество небелкового и формольно-титруемого азота (НБА и ФТА).

По полученным данным устанавливалось влияние продолжительности процесса гидролиза на количество выделившегося из сока липидной фракции.

Для исследования динамики изменения качественных показателей фарша при холодильном хранении были использованы коммерческие образцы смесей пищевых добавок: «Стабифреш» (регуляторы кислотности – ацетат натрия E262, цитрат натрия E331; антиокислители – аскорбат натрия E301, пиросульфит натрия

Е223), «Рутафиш» (глюконо-дельта-лактон Е575, лактат кальция Е327, антиокислитель Е316 – изоаскорбат натрия). Пищевые добавки вносили в количестве 0,3 % от массы фарша согласно спецификации производителя. В качестве контроля использовали образцы фарша криля без добавок. Обе партии фарша упаковывали в полимерные пакеты. Панцирьсодержащие отходы (ПСО), полученные после пресс-сепарирования криля, упаковывали под вакуумом. Все образцы фарша и ПСО замораживали в установке «шокового замораживания» при температуре минус 45 °С и далее хранили при температуре не выше минус 18 °С. Через определенные временные интервалы образцы фарша размораживали при комнатной температуре до температуры минус 1,5 °С и направляли на исследование качественных показателей.

Отбор проб и лабораторных образцов для исследования проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 31339 «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб» [3].

Накопление свободных жирных кислот фиксировали по кислотному числу (КЧ), определенному в хлороформенном экстракте липидов [4], степень разрушения высоконенасыщенных жирных кислот липидов – по йодному числу методом Вииса титрованием хлороформенной мисцеллы тиосульфатом натрия в присутствии КС1 и крахмала [4].

Количество хитинового (депротеинизированного панциря – ДП) в продукте характеризовали по методике ВНИРО [4].

Органолептические свойства продукции из криля оценивали по 5-балльной шкале по четырем органолептическим показателям [5].

Количество саркоплазматических водорастворимых белков (ВРБ), миофибриллярных солерастворимых белков (СРБ) определяли минерализацией навески в серной кислоте при температуре 420 °С в минерализаторе Velp DK-6 и последующей отгонкой паром в аппарате Velp UDK139 экстрактов, полученных при последовательной экстракции белков из пробы дистиллированной водой и растворами хлористого и едкого натрия [6]. Водоудерживающую способность (ВУС) определяли весовым методом [7], реакцию среды рН в образцах – потенциометрическим.

Содержание небелковых азотистых веществ (НБА) и азота летучих оснований (АЛО) определяли из трихлоруксусного экстракта методом Кьельдаля (для НБА) и дистилляцией в титрованный раствор кислоты (для АЛО).

Для статистической обработки результатов исследований и построения графических зависимостей использовали программное обеспечение из пакета Microsoft Office и программный набор для статистической обработки данных XLStat.

Результаты выражались как значение показателя ± стандартное отклонение трех параллельных измерений. Достоверность разницы между значениями проверяли с помощью t-критерия независимой выборки. Значение считалось статистически значимым при $P < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальные работы по установлению влияния степени прижатия ленты пресс-сепаратора к барабану с диаметром отверстий 3 мм на количество в фарше ДП показали, что с ослаблением прижатия ленты содержание ДП снижает-

ся. Наименьший выход панциря отмечен при слабом прижатии. При этом фарш содержал 2,7–4,2 % ДП в зависимости от кратности сепарирования (табл. 1).

Снижению органолептической оценки способствовало наличие избыточного количества панциря, что отчетливо ощущалось при разжевывании образцов. Фарш, полученный по всем испытываемым технологическим схемам, при взятии проб на варку имел приемлемые баллы органолептической оценки по цвету и запаху, обладая светло-розовым цветом и креветочным запахом.

Таблица 1. Влияние кратности обработки (сепарирования) и степени прижатия на содержание депротеинизированного панциря в продукте

Table 1. Influence of the frequency of processing (separation) and the degree of pressing on the content of deproteinized shell in the product

Степень прижатия ленты	Кратность обработки (сепарации)	Депротеинизированный панцирь, % от сырья
Слабая	1	4,2± 0,3
	2	3,8± 0,1
	3	2,7± 0,4
Средняя	1	5,3± 0,3
	2	4,3± 0,1
	3	3,6± 0,2
Сильная	1	6,7± 0,1
	2	5,0± 0,2
	3	4,6± 0,3

Проведенные экспериментальные работы выявили, что при диаметре отверстий барабана 3 мм для обеспечения приемлемых по органолептическим показателям значений необходимая кратность сепарации составляет не менее шести, что нетехнологично и труднореализуемо на практике в судовых условиях, при этом содержание ДП в фарше составило 1,2–1,5 %.

С учетом полученных данных для производства фарша с приемлемыми качественными показателями применение последовательно двух пресс-сепараторов с различными диаметрами отверстий рабочего барабана является необходимым условием.

Изучено влияние кратности сепарирования и степени прижатия ленты на химический состав и выход готовой продукции (табл. 2).

При повторном сепарировании происходит увеличение влажности фарша на 3,8 % для слабого и 1,5 % – для сильного прижатия. При этом выход готового фарша снижается.

В образцах фарша криля с внесенными стабилизирующими добавками отмечена меньшая динамика снижения содержания ВРБ и СРБ относительно первоначального, чем в фарше без внесения добавок. На 180-е сутки хранения содержание ВРБ в образцах без добавок составляло 82,8 % от начального, в образцах с добавками – 88,9 %. Содержание СРБ в образцах без добавок снизилось с 3,5 до 3,0 %, в образцах с добавками осталось практически неизменным, разница между

начальным и конечным содержанием находилась в пределах величины стандартного отклонения. Внесение добавок позволило также замедлить динамику снижения ВУС фарша (табл. 3).

Таблица 2. Влияние технологических режимов на химический состав и выход сыромороженого фарша криля

Table 2. Influence of technological modes on the chemical composition and yield of raw frozen minced krill

Степень прижаривания фарша	Номер схемы	Технологическая схема	Содержание, %			Выход фарша, %
			влаги	соли	панциря	
Слабая	1	Криль-сырец, пресс-сепарирование, промывка морской водой, ополаскивание пресной водой, механическое центрифугирование	79,8± 0,5	2,1± 0,1	3,2± 0,1	12,0± 0,4
Средняя			80,4± 1,0	2,1± 0,2	4,3± 0,3	13,9± 0,5
Сильная			78,5± 0,5	2,2± 0,1	4,7± 0,3	14,5± 0,5
Слабая	2	Криль-сырец, пресс-сепарирование, промывка морской водой, ополаскивание пресной водой, пресс-сепарирование, механическое центрифугирование	83,6± 0,5	1,8± 0,5	1,7± 0,2	9,9± 0,8
Средняя			83,3± 0,8	2,0± 0,5	2,8± 0,5	10,3± 0,5
Сильная			80,0± 1,2	2,6± 0,3	2,9± 0,4	11,2± 0,5

Таблица 3. Изменение качественных показателей фарша антарктического криля в процессе холодильного хранения

Table 3. Changes in the quality indicators of Antarctic krill minced meat during storage

Длительность холодильного хранения, сут	ВРБ, %		СРБ, %		Кислотное число, мг КОН/г	рН	АЛО, мг/%	ВУС, %
	от навески	от общего кол-ва белка	от навески	от общего кол-ва белка				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Без добавок								
0	7,0±0,3	100,0	3,5±0,1	100,0	23,4±0,6	7,1±0,1	8,4±0,2	80,2±2,3
30	5,8±0,1	82,9	3,1±0,2	88,6	28,2±0,5	6,9±0,1	9,2±0,3	69,2±1,4
60	-	-	-	-	35,2±0,5	7,2±0,2	13,6±0,5	54,5±1,0
180	5,8±0,1	82,8	3,0±0,2	85,7	-	7,3±0,2	16,5±0,1	50,2±2,5
С добавками								
0	6,3±0,2	100,0	3,0±0,2	100,0	24,3±0,4	7,6±0,2	7,9±0,3	79,4±1,3
30	5,5±0,2	87,3	2,8±0,2	93,3	26,6±0,3	7,3±0,2	8,7±0,1	74,6±2,6
60	-	-	-	-	30,1±0,7	7,5±0,2	10,3±0,4	68,1±2,1
180	5,6±0,1	88,9	2,8±0,2	93,3	-	7,5±0,1	16,7±0,3	60,8±1,9

Согласно проведенным ранее исследованиям фарш с показателем ВУС выше 65 % хорошо формуется и может быть использован как сырье для производства сосисок, колбас и других формованных изделий. При ВУС от 50 до 65 % целесообразно направлять сырье на производство кулинарных изделий [9].

Таким образом, при холодильном хранении вследствие снижения ВУС до значения 54,5 % на 60-е сутки фарш криля без внесения пищевых добавок целесообразно направлять на производство кулинарных изделий. В образцах фарша с внесенными добавками на 120-е сутки ВУС составила 65,2 %, что будет способствовать расширению ассортимента производимой из него продукции.

При применении добавок замедлились процессы гидролиза липидов фарша криля, что выразилось в меньших значениях кислотного числа на протяжении всего срока хранения. Кислотное число (КЧ) в образцах с добавками на 60-е сутки составило 30,1 мг КОН/г жира, без внесения добавок – 35,2 мг КОН/г.

В первые 60 сут холодильного хранения накопление АЛО в образцах фарша с добавками проходило менее интенсивно. На конечном этапе хранения содержание АЛО во всех образцах находилось фактически на одном уровне.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности внесения исследуемых пищевых добавок в количестве 0,3 % от массы фарша криля.

Увеличение степени прижатия ленты пресс-сепаратора способствует снижению влагосодержания ПСО и увеличивает их выход. Одновременно с увеличением степени прижатия ленты повышается содержание липидов в ПСО в среднем на 1,1 % (табл. 4).

Таблица 4. Влияние степени прижатия ленты пресс-сепаратора на химический состав и выход панцирьсодержащих отходов от производства фарша антарктического криля

Table 4. Influence of pressing belt degree on the chemical composition and yield of shell-containing waste from Antarctic krill processing

Степень прижатия ленты*	Содержание, %			Выход ПСО, %
	влага	липиды	азотистые вещества	
Слабая	78,5±0,8	1,2±0,1	13,1±0,4	1,4±0,3
Средняя	76,6±0,5	1,4±0,1	10,7±0,2	4,0±0,2
Сильная	76,0±0,4	2,3±0,2	13,3±0,1	4,4±0,2

Примечание. *Степень прижатия регулировали в зависимости от угла поворота ролика натяжения ленты: 0° – слабая, 45° – средняя, 90° – сильная.

Таким образом, при использовании ПСО в качестве сырья для получения крилевого жира пресс-сепарирование следует проводить с максимальной степенью прижатия ленты к барабану.

Упаковка под вакуумом позволяет замедлить процессы гидролиза и окисления липидов ПСО при холодильном хранении, образующихся после пресс-сепарирования (табл. 5).

Таблица 5. Изменение качественных показателей липидов при холодильном хранении ПСО

Table 5. Changes of lipid quality during cold storage of shell containing waste

Показатель	Длительность холодильного хранения, сут	Кислотное число, мг КОН/г липидов	Йодное число, г йода на 100 г жира
Упаковка без вакуумирования	0	26,5±0,3	155,3±0,9
	30	29,9±0,5	123,9±0,7
	90	37,3±0,6	107,0±0,7
Упаковка под вакуумом	0	23,2±0,6	163,6±0,4
	30	25,1±0,7	144,1±0,5
	90	34,5±0,7	123,3±0,5

КЧ липидов, содержащихся в ПСО, упакованных под вакуумом, на 30-е сутки хранения составило 25,1 мг КОН/г, что на 4,8 мг КОН/г ниже, чем КЧ липидов ПСО, подвергнутых хранению без вакуумирования. Динамика изменения йодного числа липидов ПСО, хранящихся в упаковке под вакуумом, в 1,6 раза ниже, чем в упаковке без вакуумирования. Таким образом, можно заключить, что использование вакуум-упаковки при хранении и транспортировании ПСО для дальнейшей обработки на берегу целесообразно.

Фарш при пробе на варку имел приемлемые баллы органолептической оценки, обладая светло-розовым цветом и креветочным запахом. Органолептическая оценка фарша, полученного при слабом прижатии ленты, по показателю «внешний вид» была ниже за счет значительного наличия включений глаз, в меньшей степени подвергавшихся разрушению при сепарировании, чем при сильном прижатии ленты.

При повторном сепарировании глаза подвергались дополнительному разрушению, что повышало значения органолептической оценки соответствующих образцов. Наибольшие средние значения органолептической оценки получили образцы при двукратном сепарировании со слабой и средней степенями прижатия ленты. За счет наличия избыточного количества панциря все образцы фарша были низко оценены по показателю «вкус», что существенно снизило их общую органолептическую оценку, делая ее неприемлемой по показателю «вкус».

В результате проведенных экспериментальных работ выяснилось, что при диаметре отверстий барабана 3 мм для обеспечения приемлемых по органолептическим показателям значений необходимая кратность сепарации составляла не менее шести, что нетехнологично и труднореализуемо на практике в судовых условиях, при содержании депротеинизированного панциря в фарше 1,2–1,5 %. С учетом полученных данных, а также исследований, проведенных ранее [7], для производства фарша с приемлемыми качественными показателями необходимым условием является применение последовательно двух пресс-сепараторов с различными диаметрами отверстий рабочего барабана (5 и 1,2 мм, соответственно).

Исследование химического состава биологической жидкости (сока), образующейся при центрифугировании, показало, что данное сырье является источником азотистых веществ (средний показатель 8,5 %) и липидов (средний показатель 1,6 %). В пересчете на сухое вещество содержание липидов составляет в среднем 14,3 %, азотистых веществ – до 70 % (табл. 6).

Таблица 6. Химический состав биологической жидкости, полученной при центрифугировании криля

Table 6. Chemical composition of the liquid fraction obtained by centrifuging krill

Влага, %	Липиды, %	Азотистые вещества (N*6,25), %	НБА, %
89,0 ± 0,9	1,6 ± 0,3	8,5 ± 0,2	0,8 ± 0,2

Проведены экспериментальные работы по исследованию влияния ферментного препарата протосубтилина Г20Х на выход липидной фракции из крилевого сока (жидкой фракции после центрифугирования). Добавление ферментного препарата интенсифицирует процесс деструкции белковых веществ.

Отмечено увеличение содержания НБА и ФТА в образцах сока с добавлением ферментного препарата. В образцах без внесенного ферментного препарата содержание НБА составило 725 мг/%, при внесении ферментного препарата – 871 мг%. Через 120 мин гидролиза содержание ФТА в образцах было 665 и 720 мг% соответственно для образцов с внесенным ферментным препаратом и без внесения фермента (рис. 1 и 2).

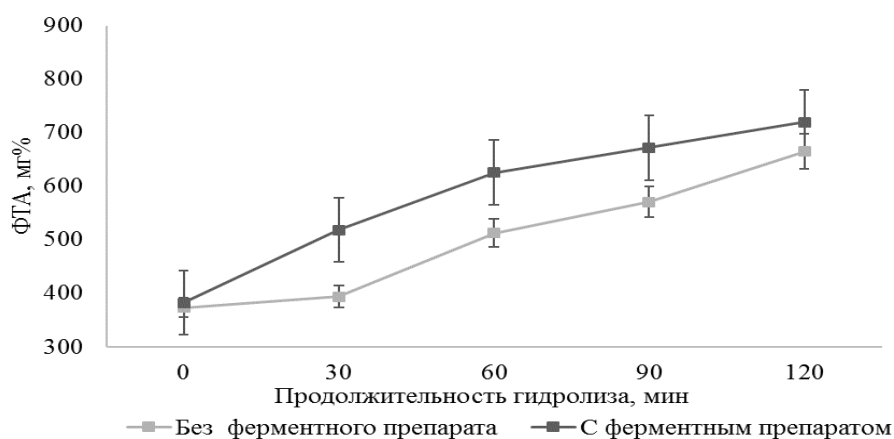


Рис. 1. Динамика накопления ФТА при ферментативном гидролизе сока, выделенного при центрифугировании криля

Fig. 1. Dynamics of formalin-titrated nitrogen accumulation during enzymatic hydrolysis of juice isolated during centrifugation

Параллельно в пробирках проводилось центрифугирование сока на лабораторной центрифуге при скорости 12000 об/мин с использованием четырех пробирок объемом 9 мл.

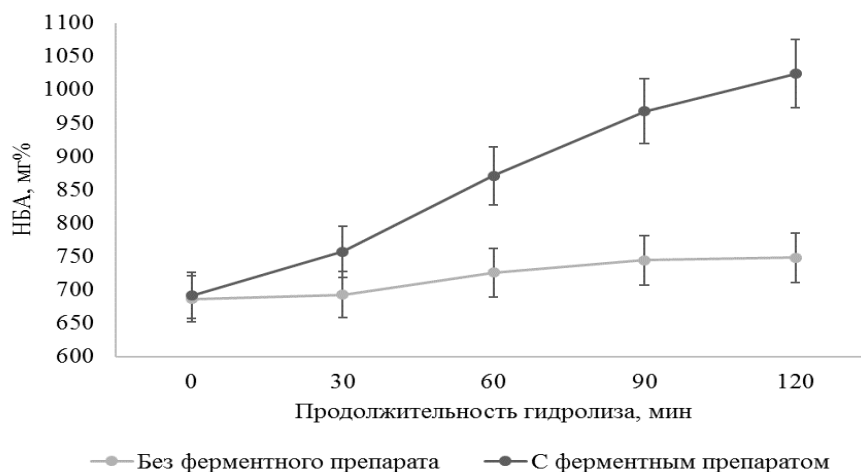


Рис. 2. Динамика накопления НБА при ферментативном гидролизе сока, выделенного при центрифугировании криля

Fig. 2. Dynamics of non-protein nitrogen accumulation during enzymatic hydrolysis of juice isolated during centrifugation of krill

Изначально выделенное центрифугированием количество липидной фракции составило в среднем 0,9 мл. Через 60 мин гидролиза наблюдалось увеличение количества отцентрифугированной фракции липидов до 1,8 мл, в то время как для образцов без добавления ферментного препарата количество выделенных липидов было 1,3 мл. Через 120 мин гидролиза количество выделенной липидной фракции в образцах 1 и 2 составило 2,1 и 1,7 мл соответственно (рис. 3).

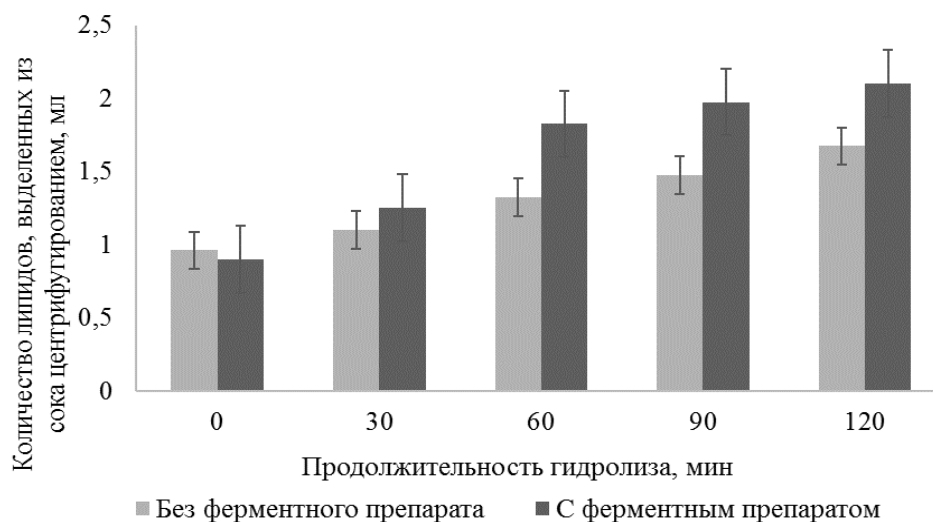


Рис. 3. Изменение выхода липидной фракции при ферментативном гидролизе

Fig. 3. Change in the yield of the lipid fraction during enzymatic hydrolysis

Таким образом, использование ферментного препарата позволяет увеличить выход липидной фракции из жидкой фракции, образующейся при центрифугировании промытого фарша, более чем на 20 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая полученные в результате проведенных работ данные, можно заключить, что:

- для приготовления фарша из криля с допустимым содержанием депротенизированного панциря (не более 0,2 %) необходима дополнительная обработка фарша на пресс-сепараторе с диаметром отверстий рабочего барабана 1,2 мм;
- внесение пищевых добавок «Стабифреш» и «Рутафиш» в количестве 0,3 % от массы фарша криля позволяет замедлить динамику снижения качественных показателей фарша криля при холодильном хранении;
- вследствие снижения ВУС до 65 % после 60 сут холодильного хранения фарш криля без внесения пищевых добавок целесообразно направлять на производство кулинарных изделий; ВУС фарша с внесенными добавками на 120-е сутки составила 65,0 %, что способствует расширению ассортимента фаршевой продукции, в том числе выпуску кулинарных изделий из фарша криля;
- при использовании ПСО как сырья для получения крилевого жира пресс-сепарирование криля следует проводить с максимальной степенью прижатия ленты к барабану;
- для сохранения качественных характеристик липидов криля целесообразно использовать вакуум-упаковку для транспортирования и хранения ПСО до обработки в береговых условиях;
- внесение ферментного препарата протосубтилина 20 ГХ в количестве 5 % от содержания сырого протеина позволяет увеличить выход липидной фракции более чем на 20 % из жидкости, полученной при центрифугировании криля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андреев, М. П. Антарктический криль (*Euphausia Superba*) – прошлое, настоящее и будущее развития технологии переработки / М. П. Андреев // Вопросы рыболовства. – 2021. – Т. 22, № 6. – С. 133–153.
2. Криль – сокровище Антарктики / Ю. А. Ситников, А. В. Уляшев, В. Н. Доровских, М. П. Андреев // Fishnews. – 2021. – № 3 (64). – С. 51–54.
3. ГОСТ 31339-2006 Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб. Дата введения 2008-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 12 с.
4. Головин, А. Н. Контроль производства рыбной продукции: в 2 ч. / А. Н. Головин. – Москва: Пищевая пром-сть, 1978. – Ч. 1. – 496 с., ч. 2. – 584 с.
5. Методические указания по изучению техно-химического состава и технологических свойств объектов промысла в экспедиционных условиях / Л. И. Перова, Б. Н. Семенов, А. Б. Одинцов, В. Т. Смирнов. – Калининград: АтлантНИРО, 1983. – 76 с.
6. ГОСТ 7636–85 Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. Введ. 1986-01-01. – Москва: Изд-во стандартов, 1985. – 89 с.
7. Сафронова, Т. М. Справочник дегустатора рыбы и рыбной продукции / Т. М. Сафронова. – Москва: ВНИРО, 1998. – 244 с.

8. Рамбеза, Е. Ф. Влияние химического состава мяса рыбы на качество и сроки хранения пищевого мороженого рыбного фарша / Е. Ф. Рамбеза, Н. И. Рехина // Рыбное хозяйство. – 1980. – № 3. – С. 66–68.

9. Андреев, М. П. Разработка технологического процесса получения сыромороженого фарша из криля: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 «Технология мясных, молочных и рыбных продуктов» / Андреев Михаил Павлович; Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии «АтлантНИРО». – Москва, 1982. – 90 с.

10. Dan Xie. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: A comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications / Dan Xie, Mengyue Gong, Wei Wei, Jun Jin, Xiaosan Wang, Xingguo Wang, Qingzhe Jin // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2019. – Vol. 18(2) – 514–534 p.

11. Yuting Wei. Replacement of dietary fishmeal by Antarctic krill meal on growth performance, intestinal morphology, body composition and organoleptic quality of large yellow croaker *Larimichthys crocea* / YutingWei Haohao Shen, Weiqi Xu, Ying Pan, Jia Chen, Wenbing Zhang // Aquaculture. – 2019. – vol. 512 [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734281> (дата обращения: 25.09.2021).

12. SilviaTorrecillas. Replacement of fish meal by Antarctic krill meal in diets for European sea bass *Dicentrarchus labrax*: Growth performance, feed utilization and liver lipid metabolism / SilviaTorrecillas, Daniel Montero, MartaCarvalho, Tibiabin Benitez-Santana, MarisolIzquierdo // Aquaculture. – 2021. – vol. 545 [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737166> (дата обращения: 25.09.2021).

REFERENCES

1. Andreev M. P. Antarkticheskiy kril' (*Euphausia Superba*) – proshloe, nastoyashchee i budushchee razvitiya tekhnologii pererabotki [Antarctic krill (*Euphausia Superba*) – past, present and future of the processing technology development]. *Voprosy rybolovstva*, 2021, vol. 22, no. 6, pp. 133–153.

2. Sitnikov Yu., Ulyashev A., Dorovskikh V. N., Andreev M. P. Kril' – sokrovishche Antarktiki [Krill – a treasure of the Antarctic]. *Fishnews*, 2021, no. 3 (64), pp. 50–54.

3. State Standard 31339-2006. Fish, non-fish objects and products from them. Acceptance rules and sampling methods. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 12 p. (In Russian)

4. Golovin A.N. *Kontrol' proizvodstva rybnoy produktsii* [Control over the production of fish products]. Moscow, Pishchevaya prom-st', part 1, 496 p., part 2, 584 p.

5. Perova L. I., Semenov B. N., Odintsov A. B., Smirnov V. T. *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu tekhnokhimicheskogo sostava i tekhnologicheskikh svoystv ob'ektov promysla v ekspeditsionnykh usloviyakh* [Methodical instructions for study of techno-chemical composition and technological properties of the target species in field conditions]. Kaliningrad, AtlantNIRO, 1983, 76 p.

6. State Standard 7636–85. Fish, marine mammals, marine invertebrates and products of their processing. Analysis methods. Moscow, Publishing house of standards Publ., 1985. 89 p. (In Russian)
7. Safronova T. M. *Spravochnik degustatora ryby i rybnoy produktsii* [Fish and Fish Products Taster Guide]. Moscow, VNIRO, 1998, 244 p.
8. Rambeza E. F., Rekhina N. I. Vliyanie khimicheskogo sostava myasa ryby na kachestvo i sroki khraneniya pishchevogo morozhenogo rybnogo farsha [Influence of the chemical composition of fish meat on the quality and shelf life of edible frozen fish mince]. *Ryb. khoz-vo*, 1980, no. 3, pp. 66–68.
9. Andreev M. P. *Razrabotka tekhnologicheskogo protsessa polucheniya syromorozhenogo farsha iz krilya. Diss. kand. tekhn. nauk* [Development of a technological process for obtaining raw-frozen minced meat from krill. Diss. kand. tekhn. sci.]. Moscow, 1982, 90 p.
10. Dan Xie. Antarctic krill (*Euphausia superba*) oil: A comprehensive review of chemical composition, extraction technologies, health benefits, and current applications, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, vol. 18 (2), pp. 514–534.
11. Yuting Wei. Replacement of dietary fishmeal by Antarctic krill meal on growth performance, intestinal morphology, body composition and organoleptic quality of large yellow croaker *Larimichthys crocea*, *Aquaculture*, 2019, vol. 512. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734281> (Accessed 25 September 2021).
12. Silvia Torrecillas. Replacement of fish meal by Antarctic krill meal in diets for European sea bass *Dicentrarchus labrax*: Growth performance, feed utilization and liver lipid metabolism, *Aquaculture*, 2021, vol. 545. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737166> (Accessed 25 September 2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрюхин Анатолий Владимирович – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («АтлантНИРО»); кандидат технических наук; зав. лабораторией стандартизации и нормирования; E-mail: fishtech@atlantniro.ru

Andriukhin Anatoliy Vladimirovich – Atlantic branch of Research Institute of Fisheries and Oceanography – VNIRO (AtlantNIRO); PhD; Head of the laboratory of standardization and regulation; E-mail: fishtech@atlantniro.ru

Андреев Михаил Павлович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук; профессор кафедры технологии продуктов питания; E-mail: mpandreev49@gmail.com

Andreev Mikhail Pavlovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Engineering, Professor of the Department of Food Technology; E-mail: mpandreev49@gmail.com

Галдукевич Владислав Артурович – Атлантический филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии («АтлантНИРО»); ведущий инженер лаборатории стандартизации и нормирования; E-mail: v.galdukevich@yandex.ru

Galdukevich Vladislav Arturovich – Atlantic branch of Research Institute of Fisheries and Oceanography – VNIRO (AtlantNIRO); Leading engineer at the laboratory of standardization and regulation; E-mail: v.galdukevich@yandex.ru

ХИМИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОЖИ
И ЧЕШУИ РЫБ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ И ПОЛУЧЕНИИ НОВОЙ
ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

В. И. Воробьев, О. В. Казимирченко, Е. В. Нижникова

CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PARAMETERS OF FISH SKIN AND
SCALES IN PROCESSING AND OBTAINING NEW
FOOD PRODUCTS

V. I. Vorobyov, O. V. Kazimirchenko, E. V. Nizhnikova

Предложен способ переработки рыбьей кожи с чешуей с целью получения пищевых добавок и напитков, обогащенных коллагеном и продуктами его гидролиза. Определено, что в результате термического гидролиза (100 °С в течение 2 мин) рыбьей чешуи в яблочном соке (массовая доля белка 0,1 %, углеводов – 11,8 %, золы – 0,46 %, фосфора – 0,11 %, кальция – следы) и последующего фракционирования смеси получаемый сокосодержащий напиток, обогащенный продуктами гидролиза коллагена, имел следующий химический состав: белок – 1,12 %, углеводы – 10,7 %, зола – 0,69 %, фосфор – 0,18 %, кальций – 0,02 %.

Частично гидролизованная, набухшая и измельченная в яблочном соке (соотношение 1:3 по массе, продолжительность гидролиза 48 ч при 4 °С) рыбья кожа (полуфабрикат) смешивалась и гомогенизировалась при соотношении 1:5 с яблочно-грушевым соком, приобретая пюреобразную консистенцию с содержанием белка 1,86 %, углеводов – 8,2, золы – 0,54, фосфора – 0,26, кальция – 0,01 %.

Микробиологические испытания фруктовых соков, кожи и чешуи судака выявили соответствие по нормируемым показателям. Наибольшей микробиологической стабильностью при холодильном хранении обладали пробы яблочно-грушевого сока. Состав микрофлоры фруктовых соков формировали споровые и неспоровые палочковидные бактерии, на конечных этапах хранения – дрожжевые и плесневые грибы, микрофлору кожи и чешуи – кокки. Показатели бактериальной обсемененности проб обогащенных напитков, полуфабриката, пюре на основе яблочного сока и экспериментальных смешанных проб с добавлением апельсинового сока в фоновых точках были незначительными (в среднем на уровне $8,2 \times 10^2$ КОЕ/см³), к концу срока хранения они закономерно повышались. Микрофлору проб обогащенных напитков формировали неспоровые палочки *Pseudomonas putida*, единично *Bacillus subtilis*, в пробах с более низкими значениями pH доминировали кислотоустойчивые бактерии *Streptococcus sp.*, *Micrococcus candidus*.

рыбный коллаген, кожа рыб, чешуя рыб, яблочный сок, гидролиз, микробиологический анализ проб кожи и чешуи, обогащенный напиток

A method is proposed for processing fish skin with scales in order to obtain food additives and drinks enriched with collagen and its hydrolysis products. It has been de-

terminated that as a result of thermal hydrolysis (100 deg C for 2 minutes) fish scales in apple juice (mass fraction of protein – 0.1%, carbohydrates – 11.8%, ash – 0.46%, phosphorus – 0.11%, calcium – traces) and subsequent fractionation of the mixture, the resulting juice drink enriched with collagen hydrolysis products has the following chemical composition: protein – 1.12%, carbohydrates – 10.7%, ash – 0.69%, phosphorus – 0.18%, calcium – 0.02%.

Partially hydrolyzed, swollen and crushed in apple juice (ratio 1:3 by weight, duration of hydrolysis – 48 hours at 4 deg C) fish skin (semi-finished product) was mixed and homogenized at a ratio of 1:5 with apple-pear juice, acquiring puree-like consistency with protein content: 1.86%, carbohydrates – 8.2%, ash – 0.54%, phosphorus – 0.26%, calcium – 0.01%.

Microbiological tests of fruit juices, skin and scales of pike perch showed compliance with the standardized indicators. Samples of apple-pear juice had the highest microbiological stability during cold storage. Composition of the microflora of fruit juices was formed by spore and non-spore rod-shaped bacteria, at the final stages of storage – yeast and mold fungi, microflora of the skin and scales – coccal bacteria. Indicators of bacterial contamination of samples of fortified drinks, semi-finished products, puree based on apple juice and experimental mixed samples with the addition of orange juice at the background points were insignificant (on average, 8.2×10^2 CFU / cm³), by the end of the shelf life, they naturally increased. The microflora of samples of enriched drinks was formed by non-spore sticks of *Pseudomonas putida*, *Bacillus subtilis* alone; in samples with lower pH values, acid-fast bacteria *Streptococcus sp.*, *Micrococcus candidus* dominated.

fish collagen, fish skin, fish scales, apple juice, hydrolysis, microbiological analysis of skin and scale samples, enriched drink

ВВЕДЕНИЕ

Значительный рост населения планеты, острый дефицит пищевого и кормового белка, сокращение биоресурсов Мирового океана являются мощным стимулом для разработки и внедрения новых комплексных безотходных технологий, позволяющих максимально использовать биопотенциал гидробионтов. В России 1/3 всего объема добытой рыбы реализуется в неразделанном виде, а 2/3 перерабатываются предприятиями рыбопромышленного комплекса, при этом наметилась тенденция к росту доли перерабатываемого сырья гидробионтов, что приводит к увеличению количества субпродуктов, образующихся в процессе разделки рыбы [1, 2]. В настоящее время кожа и чешуя рыб – недостаточно востребованное сырье, которое в ограниченных объемах (ввиду высокой клеящей способности при нагревании и значительного содержания кальция и фосфора в чешуе) направляется на производство малорентабельной рыбной кормовой муки. Основной белковый компонент кожи – коллаген, чешуи – коллаген и гидроксипатит кальция (биоминерал), что определяет главные направления их применения в медицине, косметической, пищевой и комбикормовой промышленности [3–5]. Рыбный коллаген и продукты его гидролиза активно используются при получении таких продуктов питания, как напитки, кисель, лапша, кофе, коктейли, а также пищевых добавок функционального назначения [6–10].

Ввиду отсутствия промышленного производства рыбного коллагена в России с учетом значительных объемов сырья при разделке рыбы (до 10 % от исходной массы) представляют интерес разработка и внедрение экономически приемлемого способа переработки кожи и чешуи рыб в качестве компонента пищевой продукции, в том числе функционального назначения.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Химический состав образцов сырья и готовой продукции определяли следующими методами: жир – экстракционно-весовым по ГОСТ 8756.21-89, п. 4; белок – по Кьельдалю в соответствии с ГОСТ 26889-86; влагу – гравитометрическим по ГОСТ 28561-90, п. 2; золу – гравитометрическим по ГОСТ 5901-2014; углеводы – расчетным по МУ № 4237-86 от 29.12.86 г., фосфор – с применением спектрофотометрии с молибденовокислым аммонием в присутствии гидрохинона и сульфита натрия по ГОСТ 9794, п. 8; кальций – с использованием атомно-абсорбционной спектрометрии по ГОСТ 32343-2013(ISO 6869:2000); pH среды – в соответствии с ГОСТ 26188-2016.

Пробы пастеризованных соков, согласно требованиям Технического регламента Таможенного союза 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей», тестировали по следующим микробиологическим показателям: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) по ГОСТ 10444.15-94; бактерии семейства *Enterobacteriaceae* по ГОСТ 32064-2013; бактерии *Bacillus cereus* по ГОСТ 10444.8-2013; количество дрожжевых и плесневых грибов по ГОСТ 10444.12-2013.

В пробе свежееотжатого сока (согласно требованиям ТР ТС 023/2011) определяли количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерий группы кишечных палочек (БГКП, колиформы) по ГОСТ 31747-2012, бактерий *E. coli* по ГОСТ 30726-2001, бактерий *Staphylococcus aureus* по ГОСТ 31746-2012.

Оценку микробиологической безопасности проб кожи и чешуи рыб проводили согласно требованиям Технического регламента Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции».

Пробы кожи, чешуи рыб, пробы в комбинации «кожа рыбы – фруктовый сок», «чешуя рыбы – фруктовый сок» анализировали по общей бактериальной обсемененности (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов КМАФАнМ), бактериям группы кишечных палочек (БГКП), количеству дрожжевых и плесневых грибов. Состав микрофлоры испытуемых проб определяли по совокупности признаков.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основными этапами получения рыбного коллагена являются отделение коллагенсодержащего компонента сырья, его очистка и мойка, измельчение (уменьшение размеров частиц), удаление неколлагеновых компонентов (белков, жиров, минералов, пигментов, остатков клеток), экстракция коллагена (кислотная, щелочная, ферментативная и др.), осаждение солями и извлечение [5, 11].

Рыбья чешуя для извлечения коллагена требует дополнительной стадии деминерализации. Процедуры переработки коллагенсодержащего рыбного сырья

длительны по времени (до 2 недель), требуют значительных объемов промывных и реакционных жидкостей (вода, растворы кислот, щелочей, солей, ферментов, спирта), энергозатрат (сушка) и сопровождаются потерями массы (неколлагеновые компоненты, удаляемые вместе с жидкостями), загрязняя тем самым окружающую среду. Ключевым моментом получения коллагена (желатина) является перевод коллагена из сырья в растворимое состояние (жидкий гидролизат) с последующим его выделением из раствора (осаждение солями, лиофилизация, сушка). Основным сдерживающим фактором промышленного производства морского коллагена (около 1,5 % от общего мирового производства коллагена) – значительные затраты и высокая стоимость конечного продукта [12].

На основании ранее проведенных исследований нами предложен способ переработки кожи с чешуей (положительное решение о выдаче патента), позволяющий получать сокодержательные напитки с продуктами гидролиза рыбного коллагена, а также пищевые добавки с улучшенными органолептическими показателями качества по запаху и вкусу, с сохранением ценных природных свойств рыбьей кожи в готовом продукте [13, 14]. Коммерческая привлекательность получаемой продукции заключается в том, что гидролиз коллагенсодержащего сырья осуществляется в жидкостях, содержащих природные кислоты (фруктовые, овощные, ягодные соки, кисломолочные продукты переработки молока), а получаемый гидролизат после отделения твердой части (осадок, образующийся в случае гидролиза чешуи) является готовой продукцией (сокодержательный напиток) с улучшенными функциональными свойствами. Отделенная твердая часть (проваренная чешуя) измельчается, гидролизуется в соке с последующим фракционированием, гомогенизацией и замораживанием (коллагенсодержащая пищевая добавка).

При частичном гидролизе рыбьей кожи в фруктовых соках при температуре 4 °С происходит ее набухание и размягчение, что позволяет измельчить сырье с образованием вязкой коллоидной массы, которую охлаждают или замораживают (пищевая добавка) либо повторно смешивают и гомогенизируют с жидкостями, в том числе с соками в различных соотношениях с целью получения функциональных напитков и коктейлей. Отсутствие химических реагентов, значительного количества промывных и реакционных жидкостей, необходимости перевода коллагена рыбного сырья в водорастворимое состояние с последующим его выделением и сушкой значительно сокращают продолжительность производственного процесса, расход сырья, энергозатраты и себестоимость получаемой продукции, кроме того, существенно снижается экологическая нагрузка на окружающую среду.

Способ переработки заключается в очистке кожи с чешуей от жира, прирезей мяса, сгустков крови и последующей промывке водой. Очищенное сырье загружают в смеситель вместе с поваренной солью и льдом и обрабатывают до полного отделения чешуи от кожи. Образовавшуюся смесь сепарируют с разделением на две фракции (чешуя и кожа), которые отдельно погружают в водный раствор с добавлением пищевой соды, соли и кожуры цитрусовых. Продолжительность нахождения в этом растворе составляет не менее 30 мин, далее жидкость удаляют. Промытую водой чешую с кожурой цитрусовых смешивают с соком, стерилизуют в течение 0,5–5 мин при 100 °С и фракционируют. Отделенную жидкость (первый обогащенный напиток) разливают в тару и герметично упаковывают. Термообра-

ботанную и отделенную чешую измельчают, смешивают с соком и выдерживают при температуре не более 4 °С в течение 18–48 ч, затем фракционируют. Жидкую фракцию (второй обогащенный напиток) стерилизуют и герметично упаковывают. Твердую фракцию гомогенизируют, расфасовывают и замораживают (пищевая добавка).

Промытую рыбу кожу смешивают с соком и выдерживают при температуре не более 4°С в течение 48 ч, далее измельчают до образования гелеобразной однородной массы, которую расфасовывают и замораживают (пищевая добавка) либо повторно смешивают и гомогенизируют в различных пропорциях с фруктовыми соками с целью получения обогащенного сокосодержащего напитка с коллагеном.

Общий химический состав сырья и готовой продукции (включая кальций и фосфор), а также pH среды в процессе переработки предварительно очищенных фракций рыбьей кожи и чешуи представлен в табл. 1.

Таблица 1. Общий химический состав сырья и готовой продукции (включая кальций и фосфор), а также pH среды в процессе переработки предварительно очищенных фракций рыбьей кожи и чешуи
Table 1. General chemical composition of raw materials and finished products (including calcium and phosphorus), as well as the pH of the medium during the processing of pre-purified fractions of fish skin and scales

№ п/п	Сырье и продукты	Массовая доля, %							pH
		вода	белок	зола	жир	угле- воды	каль- ций	фос- фор	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Очищенная чешуя судака									
1	Чешуя	66,1	15,76	18,14	0,2	–	6,22	1,35	–
2	Яблочный сок	86,4	0,10	0,46	0,2	11,8	менее 2×10^{-4}	0,11	3,7
Смешивание № (1+2) при массовом соотношении 1:3, последующий нагрев смеси до 100 °С в течение 2 мин и ее фракционирование									
3	Обогащенный напиток (1)	88,0	1,12	0,69	не об- нару- жено	10,2	0,02	0,18	5,1
4	Термически обработанная чешуя	57,8	13,26	21,11	0,1	7,7	6,13	2,54	6,5
Смешивание термически обработанной чешуи с яблочным соком № (4+2), выдерживание смеси в течение 36 ч при 4 °С и ее фракционирование									
5	Обогащенный напиток (2)	87,1	0,62	0,36	0,1	11,8	0,07	0,18	4,9
6	Пищевая до- бавка	70,2	6,66	10,4	0,3	12,4	3,87	1,16	6,0

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Очищенная кожа судака									
7	Кожа (0)	78,2	23,95	0,70	не об- нару- жено	не об- нару- жено	0,09	0,28	
8	Яблочный сок	86,4	0,10	0,46	0,2	11,8	Следы	0,11	3,7
Смешивание № (7+8) при массовом соотношении 1:3. Выдерживание смеси в течение 48 ч при 4 °С и гомогенизация									
9	Кожа с яблоч- ным соком (полуфабри- кат)	86,3	5,15	0,57	0,1	7,9	0,02	0,27	4,6
Смешивание и гомогенизация									
10	Сок яблочно- грушевый	89,7	0,12	0,61	0,1	9,5	Следы	0,13	3,4
Смешивание и гомогенизация № (9+10) при массовом соотношении 1:5									
11	Пюре 1	89,3	1,86	0,54	0,1	8,2	0,01	0,26	3,8
Смешивание и гомогенизация № (9+10) при массовом соотношении 1:8									
12	Пюреобразный напиток	90,3	0,71	0,56	0,1	8,3	следы	0,11	3,5

Из данных табл. 1 видно, что в полученном при термическом гидролизе чешуи обогащенном напитке (1) массовая доля белка выше в 11,2 раза (1,12 %), золы – в 1,5 (0,69 %), фосфора – в 1,6 (0,18 %), кальция – в 100 раз (0,02 %) по сравнению с содержанием их в исходном яблочном соке, где массовая доля углеводов ниже в 1,1 раза (10,2 %).

В обогащенном напитке (2) также в 6,2 раза выше содержание белка (0,62 %), в 1,6 – фосфора (0,18 %), в 350 раз – кальция (0,07 %) при пониженном содержании золы в 1,3 раза (0,36 %).

Гомогенизированный полуфабрикат из рыбьей кожи и яблочного сока (5,15 % белка; 7,9 – углеводов; 0,57 – золы; 0,27 – фосфора; 0,02 % кальция) представляет собой вязкий гелеобразный продукт.

При смешивании и гомогенизации полуфабриката с яблочно-грушевым соком в массовом соотношении 1:5 продукт обладает пюреобразной консистенцией, а при соотношении 1:8 является напитком.

Внешний вид охлажденных (5 °С) напитков и пищевых добавок представлен на рис. 1, 2.

Аналогично были получены образцы напитков и пищевых добавок с использованием апельсинового сока, которые тестировали только по микробиологическим показателям (без определения общего химического состава).



Рис. 1. Обогащенный напиток яблочного сока (охлажденный) с продуктами термического гидролиза (100 °С, продолжительность обработки – 2 мин, массовое соотношение 1:3) коллагена рыбьей чешуи – слева; обогащенный напиток яблочного сока (охлажденный) с продуктами гидролиза рыбного коллагена термообработанной чешуи (массовое соотношение 1:3, продолжительность обработки 36 ч при 4 °С) – справа

Fig. 1. Enriched apple juice drink (chilled) with thermal hydrolysis products (100 °C, processing time – 2 min, mass ratio 1:3) fish scale collagen – left; enriched apple juice drink (chilled) with heat-treated scales fish collagen hydrolysis products (mass ratio 1:3, processing time 36 hours at 4 °C) – on the right

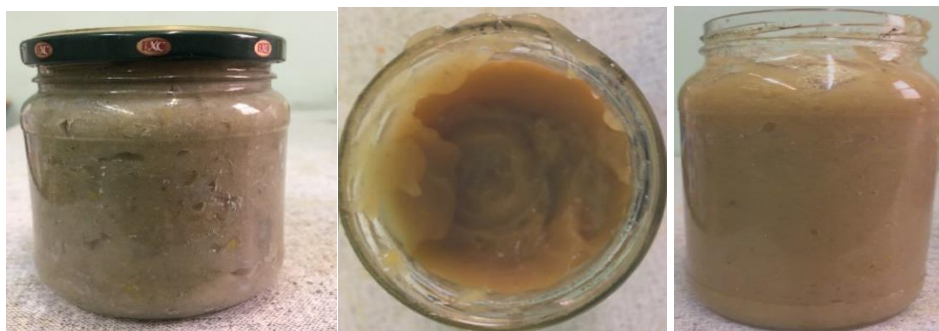


Рис. 2. Гомогенизированная рыбья кожа с яблочным соком при массовом соотношении 1:3 (полуфабрикат) – слева с крышкой; полуфабрикат смешанный и гомогенизированный с яблочно-грушевым соком в массовом соотношении 1:5 (пюре) – справа без крышки

Fig. 2. Homogenized fish skin with apple juice at a mass ratio of 1:3 (semi-finished product) – on the left with a lid, semi-finished product mixed and homogenized with apple-pear juice in a mass ratio of 1:5 (puree) – on the right without a lid

Результаты микробиологических испытаний проб пастеризованных соков (фоновые точки) представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты микробиологических испытаний проб пастеризованных соков

Table 2. Results of microbiological tests of pasteurized juices samples

№ п/п	Наименование показателя	Нормативное значение	Яблочный сок	Яблочно-грушевый сок
1	КМАФАнМ	Не более $1,0 \times 10^2$ кое/см ³	$1,1 \times 10^2$ КОЕ/см ³	Менее 10 КОЕ/см ³
2	Бактерии семейства Enterobacteriaceae	Не допускаются в 1 см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
3	Бактерии Bacillus cereus	Не допускаются в 0,1 см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
4	Дрожжи	Не допускаются в 0,1 см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
5	Плесневые грибы	Не более 5 КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены

Результаты микробиологических испытаний пробы свежееотжатого апельсинового сока (фоновая точка) представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты микробиологических испытаний пробы свежееотжатого апельсинового сока

Table 3. Results of microbiological tests of a sample of freshly squeezed orange juice

№ п/п	Наименование показателя, нормативное значение	Нормативное значение	Результаты испытаний
1	КМАФАнМ,	Не более $1,0 \times 10^3$ КОЕ/см ³	90 КОЕ/см ³
2	Бактерии группы кишечных палочек БГКП (коли-формы)	Не допускаются в 1 см ³	Не обнаружены
3	Escherichia coli	Не допускаются в 1 см ³	Не обнаружены
4	Staphylococcus aureus	Не допускаются в 1 см ³	Не обнаружены

Пробы пастеризованных соков и проба свежееотжатого апельсинового сока соответствовали всем нормируемым микробиологическим показателям согласно ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей».

Микробиологические испытания были проведены также для проб пастеризованных соков и свежееотжатого апельсинового сока по суткам хранения в условиях холодильника (табл. 4), проанализированы изменение показателя КМАФАнМ и обсемененность дрожжевыми и плесневыми грибами.

Таблица 4. Результаты микробиологических испытаний проб соков по суткам хранения

Table 4. Results of microbiological tests of juice samples by days of storage

Сутки хранения	КМАФАнМ	Дрожжи	Плесени
Апельсиновый сок			
2-е	$1,1 \times 10^2$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	$4,7 \times 10^2$ КОЕ/см ³	Обнаружены	Обнаружены
Яблочный сок			
2-е	$5,8 \times 10^2$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	$6,9 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
Яблочно-грушевый сок			
2-е	40 КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	63 КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены

Микробиологической стабильностью в процессе хранения обладали образцы яблочно-грушевого сока, показатели были в пределах нормируемых значений. В составе микрофлоры данного вида сока в единичных количествах присутствовали спорообразующие палочковидные бактерии *Bacillus subtilis*. Показатель общей бактериальной обсемененности яблочного сока превышал нормативные значения к 4-м суткам хранения. В пробах апельсинового сока к концу испытаний регистрировали наличие дрожжевых (видов *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula sp.*) и плесневых грибов (*Penicillium glaucum*). В составе бактериофлоры апельсинового сока к концу срока хранения преобладали неспоровые палочковидные бактерии *Pseudomonas putida*.

Результаты микробиологических испытаний проб исходного сырья (кожи и чешуи судака) (фоновые точки) представлены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты микробиологических испытаний проб чешуи и кожи судака

Table 5. Results of microbiological tests of samples of pike perch scales and skin

№ п/п	Наименование показателя	Нормативное значение	Кожа судака	Чешуя судака
1	КМАФАнМ	Не более $5,0 \times 10^4$ КОЕ/г	$1,8 \times 10^3$ КОЕ/г	$4,2 \times 10^2$ КОЕ/г
2	БГКП	Не допускаются в 0,01 г	Не обнаружены	Не обнаружены
3	Дрожжи	Не нормируются	Не обнаружены	Не обнаружены
4	Плесени	Не нормируются	Не обнаружены	Не обнаружены

Пробы кожи и чешуи судака соответствовали нормативным показателям безопасности согласно ТР ЕАЭС 040/2016 по категории продукции «рыба-сырец (свежая)». В составе микрофлоры сырья преобладали кокковые бактерии (*Staphylococcus citreus*, *Staph. saprophyticus*, *Micrococcus luteus*).

Результаты микробиологических анализов проб чешуи и кожи рыб в процессе холодильного хранения представлены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты микробиологических испытаний проб чешуи и кожи судака по суткам хранения

Table 6. Results of microbiological tests of pike perch scales and skin samples by days of storage

Сутки хранения	КМАФАнМ	Дрожжи	Плесени
Кожа судака			
2-е	$5,3 \times 10^3$ КОЕ/г	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	$2,5 \times 10^4$ КОЕ/г	Обнаружены	Не обнаружены
Чешуя судака			
2-е	$1,1 \times 10^3$ КОЕ/г	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	$6,9 \times 10^4$ КОЕ/г	Не обнаружены	Не обнаружены

В процессе хранения чешуи и кожи судака регистрировали закономерное возрастание численности мезофильной микрофлоры. Превышения показателя КМАФАнМ отмечали для проб чешуи к 4-м суткам хранения; состав микрофлоры был смешанным: стафилококки и микрококки тех же видов, что и в фоновой точке (доминирование), единично присутствовали палочковидные бактерии *Pseudomonas putida*. Кроме того, в образцах чешуи к концу испытательного срока хранения выявили рост плесневых грибов *Penicillium sp.* в среднем на уровне $8,0 \times 10^2$ КОЕ/г.

Обсемененность проб кожи судака в период хранения не превышала нормативных показателей, не обнаружено микробов-порчи группы «дрожжевые–плесневые грибы», бактериофлору составляли кокковые виды (*Staph. saprophyticus*, *Micr. luteus*).

Результаты микробиологических анализов обогащенных напитков и полуфабрикатов на основе яблочного сока по срокам холодильного хранения представлены в табл. 7.

Таблица 7. Результаты микробиологических испытаний обогащенных напитков и полуфабрикатов на основе яблочного сока по суткам хранения

Table 7. Results of microbiological tests of fortified drinks and semi-finished products based on apple juice by days of storage

Сутки хранения	КМАФАнМ	Дрожжи	Плесени
1	2	3	4
Обогащенный напиток (1)			
0-е	$1,3 \times 10^2$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
2-е	$2,9 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	$8,6 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Единично
Обогащенный напиток (2)*			
0-е	$9,4 \times 10^2$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
2-е	$1,1 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	$9,9 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Единично
Кожа с яблочным соком гомогенизированная (полуфабрикат)			
0-е	$1,3 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
2-е	$2,1 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены

Окончание табл. 7

1	2	3	4
4-е	$2,2 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Единично
Пюре			
0-е	$8,9 \times 10^2$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
2-е	$1,3 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	$1,4 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Единично

Примечание. * пробы не подвергали пастеризации

Фоновые значения микробной обсемененности испытуемых проб были низкими, к концу срока хранения наблюдали закономерное повышение КМА-ФАНМ и единичный рост плесневых грибов. Общее количество остаточных бактерий практически не изменялось для проб «полуфабрикат» и «пюре», что, по-видимому, связано с более низкими значениями кислотности.

В составе микрофлоры обогащенных напитков присутствовали неспоровые палочковидные бактерии *Pseudomonas putida*, в незначительных количествах *Bacillus subtilis*, в пробах полуфабриката и пюре – кислотоустойчивые бактерии *Streptococcus sp.*

Результаты микробиологических анализов образцов на основе апельсинового сока представлены в табл. 8.

Таблица 8. Результаты микробиологических испытаний образцов на основе апельсинового сока по суткам хранения

Table 8. Results of microbiological tests of samples based on orange juice by days of storage

Сутки хранения	КМАФАНМ	Дрожжи	Плесени
Полуфабрикат «кожа судака с апельсиновым соком»			
0-е	$9,7 \times 10^2$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
2-е	$1,6 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	$2,1 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Единично
Апельсиновое пюре с добавлением яблочного сока			
0-е	$2,3 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
2-е	$2,5 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Не обнаружены
4-е	$9,8 \times 10^3$ КОЕ/см ³	Не обнаружены	Единично

В анализируемых образцах наблюдали аналогичные изменения бактериальной обсемененности с закономерным повышением к концу срока хранения и начальными этапами порчи плесневыми грибами. Наибольшие показатели КМА-ФАНМ регистрировали в апельсиновом пюре с добавлением яблочного сока. Микрофлора проб была различной: в полуфабрикате «кожа судака с апельсиновым соком» преобладали неспоровые палочки *Pseudomonas putida*, в апельсиновом пюре с добавлением яблочного сока – кислотоустойчивые *Micrococcus can- didus*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан экономически приемлемый способ переработки кожи и чешуи судака с применением фруктовых соков, позволяющий получать обогащенные коллагеном и продуктами его гидролиза сокосодержащие напитки и пищевые добавки.

2. Исследованы химические и микробиологические показатели сырья и готовой пищевой продукции, получаемой в процессе переработки рыбьей кожи с чешуей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ФАО. 2018. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры 2018 – Достижение целей устойчивого развития. Рим [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.fao.org> (дата обращения 01.11.2021).

2. Соколов, А. В. Научное обоснование комплексной переработки вторичного сырья рыбной промышленности: состав, свойства и инновационные технологии: дис. ... докт. техн. наук: 05.18.14 / Соколов Александр Викторович; ФГБОУ ВО «ВГУИТ». – Воронеж, 2020. – 652 с.

3. Антипова, Л. В. Создание коллагеновых продуктов из рыбного сырья / Л. В. Антипова, С. А. Сторублевцев, С. Б. Болгова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2015. – №. 1 (63). – С. 130–133.

4. Olden, J. D. There's more to Fish than Just Food: Exploring the Diverse Ways that Fish Contribute to Human Society / J. D. Olden, J. R. Vitule, J. Cucherousset, & M. J. Kennard // Fisheries. – 2020. – V. 45. – №. 9. – P. 453–464.

5. Ideia, P. Fish processing industry residues: A review of valuable products extraction and characterization methods / P. Ideia, J. Pinto, R. Ferreira, L Figueiredo, V. Spínola, & P. C. Castilho // Waste and Biomass Valorization. – 2020. – V. 11, №. 7. – P. 3223–3246.

6. Антипова, Л. В. Коллагенсодержащие напитки для функционального питания // Л. В. Антипова, С. А. Сторублевцев, А. А. Гетманова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2018. – Т. 80, №. 3 (77). – С. 97–103.

7. Разработка технологии напитков типа «Шорли» с коллагеном / И. В. Новикова, Л. В. Антипова, Т. И. Романюк, О. А. Бовва, М. С. Кудряшов // Вестник ВГУИТ. – 2020. – Т. 82. – № 3.– С. 50–57. DOI 10.20914/2310-1202-2020-3-50-57

8. Bilek, S. E. Fruit juice drink production containing hydrolyzed collagen / S. E. Bilek, S. K. Bayram // Journal of Functional Foods – 2015. – V. 14. – P. 562–569. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.024> (дата обращения 13.12.2021).

9. Hashim, P. Collagen in food and beverage industries / P. Hashim, M. M. Ridzwan, J. Bakar, & M. D. Hashim // International Food Research Journal. – 2015. – V. 22. – №. 1. – P. 1–8.

10. Volokitina, Z. V. Whey beverage with collagen hydrolysate from salmon skin and feijoa / Z. V. Volokitina, I. I. Ionova, I. S Krasnova // IOP Conference Series:

Earth and Environmental Science. – IOP Publishing. – 2020. – V. 421, №. 3. – P. 032017.

11. Salvatore, L. Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bio-resources for healthcare / L. Salvatore, N. Gallo, M. L. Natali, L. Campa, P. Lunetti, M. Madaghiele, ... & A. Sannino // *Materials Science and Engineering: C*. – 2020. – V. 113. – P. 110963.

12. Milovanovic, I. Marine Gelatine from rest raw materials / I. Milovanovic, M. Hayes // *Applied Sciences*. – 2018. – V. 8. – №. 12. – P. 2407.

13. Способ обработки рыбной чешуи для получения функционального напитка, функциональной пищевой добавки и косметического скраба: пат. Рос. Федерация / Воробьев В. И. – № 2718862; заявл. 10.01.2019; опубл. 15.04.2020. Бюл. № 11. – 10 с.

14. Способ получения пищевых коллагенсодержащих продуктов: пат. Рос. Федерация / Воробьев В. И. – № 2734034; заявл. 28.10.2019; опубл. 12.10.2020. Бюл. № 29. – 12 с.

REFERENCES

1. *FAO. 2018. Sostoyanie mirovogo rybolovstva i akvakul'tury 2018 – Dostizhenie tseley ustoychivogo razvitiya. Rim* [The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 – Achieving Sustainable Development Goals. Rome]. Available at: <http://www.fao.org> › (Accessed 01 November 2021).

2. Sokolov A. V. *Nauchnoe obosnovanie kompleksnoy pererabotki vtorichnogo syr'ya rybnoy promyshlennosti: sostav, svoystva i innovatsionnye tekhnologii. Diss. dokt. tekhn. nauk* [Scientific substantiation of the complex processing of secondary raw materials of the fish industry: composition, properties and innovative technologies. Dis. dr. tech. sci.]. Voronezh, 2020, 652 p.

3. Antipova L. V., Storublevtsev S. A., Bolgova S. B. Sozdanie kollagenovykh produktov iz rybnogo syr'ya [Creation of collagen products from fish raw materials]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2015, no. 1 (63), pp.130–133

4. Olden J. D., Vitule J. R., Cucherousset J., Kennard M. J. There's more to Fish than Just Food: Exploring the Diverse Ways that Fish Contribute to Human Society. *Fisheries*, 2020, vol. 45, no. 9, pp. 453–464.

5. Ideia P., Pinto J., Ferreira R., Figueiredo L., Spínola V., Castilho P. C. Fish processing industry residues: A review of valuable products extraction and characterization methods. *Waste and Biomass Valorization*, 2020, vol. 11, no. 7, pp. 3223–3246.

6. Antipova L. V., Storublevtsev S. A., Getmanova A. A. Kollagensoderzhashchie napitki dlya funktsional'nogo pitaniya [Collagen drinks for functional nutrition]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2018, vol. 80, no. 3 (77), pp. 97–103.

7. Novikova I. V., Antipova L. V., Romanyuk T. I., Bovva O. A., Kudryashov M. S. Razrabotka tekhnologii napitkov tipa "SHorli" s kollagenom [Development of technology for drinks like "Shorley" with collagen]. *Vestnik VGUIT*, 2020, vol. 82, no. 3. pp. 50–57. DOI 10.20914/2310-1202-2020-3-50-57.

8. Bilek S. E., Bayram S. K. Fruit juice drink production containing hydrolyzed collagen. *Journal of functional foods*. 2015, vol. 14, pp. 562–569. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.02.024> (Accessed 13 December 2021).

9. Hashim P., Ridzwan M. M., Bakar J., Hashim M. D. Collagen in food and beverage industries. *International Food Research Journal*, 2015, vol. 22, no. 1, pp. 1–8.

10. Volokitina Z. V., Ionova I. I., Krasnova I. S. Whey beverage with collagen hydrolysate from salmon skin and feijoa. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2020, vol. 421, no. 3. pp. 032017.

11. Salvatore L., Gallo N., Natali M. L., Campa L., Lunetti P., Madaghiele M., Sannino A. Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bio-resources for healthcare. *Materials Science and Engineering C*, 2020, vol. 113, pp. 110963.

12. Milovanovic I., Hayes M. Marine Gelatine from Rest Raw Materials. *Applied Sciences*, 2018, vol. 8, no. 12, pp. 2407.

13. Vorob'yov V. I. Sposob obrabotki rybnoy cheshui dlya polucheniya funktsional'nogo napitka, funktsional'noy pishchevoy dobavki i kosmeticheskogo skraba [A method of processing fish scales for obtaining a functional drink, a functional food additive and a cosmetic scrub]. Patent RF, no. 2718862, 2020.

14. Vorob'yov V. I. Sposob polucheniya pishchevykh kollagensoderzhashchikh produktov [A method of obtaining collagen-containing food products]. Patent RF, no. 2734034, 2020.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Воробьев Виктор Иванович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры химии;
E-mail: mobi.dik.10@mail.ru

Vorobyov Victor Ivanovich – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry;
E-mail: mobi.dik.10@mail.ru

Казимирченко Оксана Владимировна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиопатологии и гидробиологии; E-mail: okazimirchenko@gmail.com

Kazimirchenko Oksana Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Ichthyopathology and Hydrobiology;
E-mail: okazimirchenko@gmail.com

Нижникова Елена Владимировна – Калининградский государственный технический университет; кандидат биологических наук, доцент кафедры химии;
E-mail: nizhnikova6462@mail.ru

Nizhnikova Elena Vladimirovna – Kaliningrad State Technical University;
PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Chemistry;
E-mail: nizhnikova6462@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОТДЕЛЕНИЯ КОЖНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ХВОСТА БОБРА ОТ ЕГО ЛИПИДНО-БЕЛКОВОЙ ЧАСТИ

Ю. В. Мاستюгин, Д. Л. Альшевский, Ю. Н. Коржавина, А. Кошкина

SUBSTANTIATION OF THE METHOD FOR SEPARATING THE SKIN SURFACE
OF THE BEAVER TAIL FROM ITS LIPID-PROTEIN PART

Yu. V. Mastuygin, D. L. Alshevskiy, Yu. N. Korzhavina, A. Koshkina

Дичь, как правило, имеет высокую пищевую ценность, превосходя мясо сельскохозяйственных животных и птицы по количеству белка, витаминов и минеральных веществ, поэтому подходит в качестве питания людям, страдающим повышенным содержанием холестерина в крови и придерживающимся диет с пониженной калорийностью. Мясо бобров употребляют в пищу, однако, несмотря на разрешенную на них охоту и частичную переработку частными хозяйствами в колбасы или иные виды мясных продуктов, число отлавливаемых особей стремительно растет, вместе с тем увеличивается количество сырья и отходов, которые обладают пищевой ценностью и могут быть использованы в качестве источника питания человеком. В рамках представленной работы была обоснована технология обработки хвоста ферментным препаратом для упрощения отделения кожи от липидно-белковой части, установлены оптимальная концентрация фермента, время выдержки, температура и длительность тепловой обработки. Изучено влияние ферментного препарата совместно с такими катализаторами, как лимонная кислота и поваренная соль, на изменение массы, толщины и плотности кожного покрова хвоста. Установлено, что все образцы, подвергшиеся ферментации, в среднем увеличили свою массу на 23 % от первоначальной. Так, наиболее удачными с точки зрения целостности отделения кожи являлись образцы, обработанные растворами ферментного препарата с концентрацией 0,01 % и с добавлением лимонной кислоты. Образцы с концентрацией ферментов 0,55 % и с внесенными в раствор лимонной кислотой и поваренной солью также продемонстрировали высокие результаты. Эксперимент показал, что предложенный способ двухэтапной обработки, включающий ферментацию совместно с варкой, значительно упрощает отделение кожи от липидно-белковой части хвоста и делает возможным его дальнейшую переработку.

мясо бобра, хвост бобра, мясо диких животных, ферментные препараты, липидно-белковая часть

Despite of the hunting permission and partial processing of their meat by private farms for sausages or other meat products, the number of animals is growing rapidly, and at the same time the amount of waste after meat processing that has nutritional value is increasing. The present study provides a rationale for the technology of applying

an enzyme to the tail to simplify separation of the skin from the lipoprotein part. The optimal concentration of the enzyme, the fermenting time, temperature and duration of heat treatment have been analyzed as well. The enzyme application effect together with such catalysts as citric acid and salt on the beaver tails, resulted in weight, skin thickness and density change. The amount of dry solids passing into the solution after treatment has been also taken into account. During the experiment, it has been found that all fermented samples gain weight by 23% from the initial one. According to the results, the most successful patterns are the samples that get 4 points using citric acid and 0.1% enzyme solution and the sample that get 5 points with a high concentration of the enzyme 0.55 % and two catalysts. The experiment showed that an enzyme-treated tail samples, combined with heat treatment, gave a good result and greatly simplified the separation of inedible skin from the fatty part of the tail.

beaver meat, beaver tail, enzyme preparations, lipoprotein part

ВВЕДЕНИЕ

Производство мяса в России стремительно растет, несмотря на то, что показатель потребления данного продукта вплотную подошел к верхней границе рекомендаций Минздрава. По итогам 2020 г. в России произведено 11 млн т мясной продукции, преимущественно из свинины и птицы. Общий объем производства мясных изделий увеличился на 4 % [1]. Мясоперерабатывающая промышленность – это один из самых востребованных, стабильных и быстро развивающихся секторов, поэтому введение сырьевых инноваций вполне оправдано.

Как правило, чаще всего используется традиционное сельскохозяйственное сырье, однако иногда – и мясо диких животных, например, в тех случаях, когда их популяция начинает стремительно увеличиваться. Дичь отстреливают, получив соответствующие лицензии, а мясо употребляют в пищу после проведения ветеринарно-санитарной экспертизы.

Одним из видов, представляющих интерес для переработки на сегодняшний день, является речной, или обыкновенный бобр (*Castor fiber*). С 1920 г. началась повсеместная охрана крупных грызунов (на тот момент исчезающего вида), а Республика Беларусь считалась резерватом Советского Союза. Однако обыкновенный бобр – млекопитающее с интенсивной экспансией. Проведенная в начале XX в. реинтродукция вида по разным частям Европы, а в дальнейшем и скорость естественного прироста привели к увеличению численности особей данного вида. В настоящий момент развитие популяции происходит невероятно динамично, отчего имеющиеся данные о численности бобров быстро устаревают. Так, на начало 2020 г. популяция бобра в Европе насчитывала около 1 222 000 особей, более 6000 из которых обитали в Калининградской области [2, 3].

Строение бобровых хаток и плотин возвращает природе ее нативное состояние, помогает бороться с лесными пожарами, однако сельскохозяйственные участки, дачные поселки, базы отдыха терпят ущерб от заболачивания освоенных животными территорий. Они разрушают дамбы, дороги, берега, забивают шлюзы и портят искусственные водоемы. По словам специалиста ЗАО «Залесский фермер» А. Булатова, число бобров в Калининградской области стремительно растет, что приводит к проблемам с мелиоративной системой региона и повсеместным заболачиванием. Губернатор региона А. Алиханов предлагал объявить их в Кали-

нинградской области вредителями [4]. С целью недопущения нанесения ущерба существующей инфраструктуре региональным Министерством природных ресурсов и экологии принято решение о проведении мероприятий по регулированию численности бобра на территории охотничьих угодий, закрепленных за юридическими лицами, заключившими соответствующие соглашения, согласно распоряжению Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области от 15.05.2020 №7) и приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 30.04.2010 № 138 «Об утверждении нормативов допустимого изъятия охотничьих ресурсов и нормативов численности охотничьих ресурсов в охотничьих угодьях» [5].

Мясо бобров употребляется в пищу во многих странах, из него делают консервы, колбасы. Ливер используется при приготовлении блюд, преимущественно частными хозяйствами, кастореум – в парфюмерии и медицине, из шкур делают шапки, шубы, варежки, пояса. Изучение физико-химического состава мяса молодых и половозрелых животных показало, что тушка молодого бобра содержит 20,52 % белка и 1,86 % жира, а половозрелых грызунов – 22,16 и 0,73 % соответственно. Индекс питательности протеинов колеблется в диапазоне 2,03–2,24. Мясо взрослых бобров отличается и по цвету, оно более темное и имеет голубоватый оттенок [6].

Однако тушки бобров перерабатываются не в полной мере. Как правило, остается большое количество пищевых отходов, а именно видимая часть хвоста бобра, составляющая порядка 10 % от общей массы животного. Она редко используется в пищу, несмотря на то, что питательна и богата моно- и полиненасыщенными жирными кислотами; всему виной – трудности ее очистки и подготовка к употреблению.

Целью данной работы являются изучение влияния ферментного препарата на отделение кожи от липидно-белковой части хвоста бобра и разработка параметров, позволяющих интенсифицировать этот процесс.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования в работе – хвост речного бобра (*Castor fiber*). Особи были пойманы в Калининградской области в установленный сезон охоты (29.04.2021–30.06.2021). Длина хвостов в среднем составляла 35 ± 3 см, вес особей – 21 ± 1 кг. Образцы соответствовали требованиям, предъявляемым к мясу диких животных согласно ТР ТС 021/2021 «О безопасности пищевой продукции» и Правилам ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизе мяса и мясных продуктов [7].

Хвост речного бобра представлен на рис. 1.

Для ферментной обработки был использован Энзи-Микс У – энзимный препарат, произведенный в соответствии с ТУ 20.14.64.-015-427789257-2019. Ферментный состав комплекса сбалансирован по степени воздействия на различные белки мяса и мясных систем, применяющихся в технологии получения мясных продуктов. Энзи-Микс У работает в мясной системе аналогично внутриклеточным ферментам. Он является их синергистом и обладает дополнительными качествами [8].



Рис. 1. Хвост речного бобра
Fig. 1. European beaver tail

Было подготовлено шесть различных комбинаций растворов для обработки образцов хвоста ферментным препаратом концентрацией 0,01 и 0,55 % и с добавлением катализаторов, таких как поваренная соль NaCl, 5 % от объема раствора, и лимонная кислота в количестве, необходимом до достижения рН=3 в растворе (табл. 1).

Таблица 1. Количество составных компонентов раствора для ферментации
Table 1. Fermenting solution component content

Компоненты	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Ферментный препарат, %	0,01	0,01	0,01	0,01	0,55	0,55
NaCl, %	–	–	5%	5%	–	5%
Лимонная кислота, рН	–	3	–	3	–	3

Обработку хвоста бобра проводили в два этапа: I – ферментация, II – температурная обработка.

Хвост был разделан на куски толщиной 5 мм, содержащие кожу и липидно-белковую часть размерами 3х3 см, и помещен в емкости (рис. 2), в каждую из которых залили водный раствор ферментного препарата в соотношении 2:1.

Время ферментации составляло 12 ч при температуре 5 ± 2 °С. В качестве контроля изучались образцы хвоста, не подвергшиеся ферментному воздействию, один из которых (образец № 7) был при варке залит водой, а второй (образец № 8) не подвергался тепловой обработке.

Изменения толщины кожи измерялись ручным микрометром по общепринятой методике [9].



Рис. 2. Образец хвоста
Fig. 2. Beaver tail piece sample

После выдержки образцов в ферментном препарате в течение 12 ч определили следующие показатели: изменения толщины кожи и массы.

Далее образцы подвергались варке при температуре 95 ± 2 °С в течение 45 мин. Данные параметры обработки (температура и время) обусловлены морфологическим строением липидного слоя хвоста бобра, поскольку температура выше 100 °С и более длительное время варки приводят к разрушению липидного слоя и вытапливанию жира, оставляя белковый каркас, что делает образцы твердыми и непригодными к дальнейшей переработке.

После варки образцы охлаждались до 20 °С и определялись следующие показатели: масса образцов и легкость отхождения кожи от хвоста.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЯ

На первом этапе исследования после ферментации и тепловой обработки наблюдалось изменение массы во всех образцах (кроме контрольных).

Данные по изменению массы образцов в течение двух этапов исследования представлены на рис. 3.

Из представленных данных видно, что у образца № 1 ($\omega_{\text{ф}} - 0,01$ %) наименьшее увеличение массы после ферментации. Образцы № 2 ($\omega_{\text{ф}} - 0,01$ %; лимонная кислота) и № 6 ($\omega_{\text{ф}} - 0,55$ %; лимонная кислота, NaCl) показали наибольший прирост массы на I этапе исследования.

На II этапе минимальное возрастание массы обнаружено у контрольного образца, который для варки был залит водой. Образцы № 2 ($\omega_{\text{ф}} - 0,01$ %; лимонная кислота), № 5 ($\omega_{\text{ф}} - 0,55$ %) и № 6 ($\omega_{\text{ф}} - 0,55$ %; лимонная кислота, NaCl) увеличили свою массу относительно первоначальной, а после термообработки – уменьшили. Максимальное увеличение массы наблюдалось у образцов № 3 ($\omega_{\text{ф}} - 0,01$ %; NaCl) и № 4 ($\omega_{\text{ф}} - 0,01$ %; лимонная кислота, NaCl).

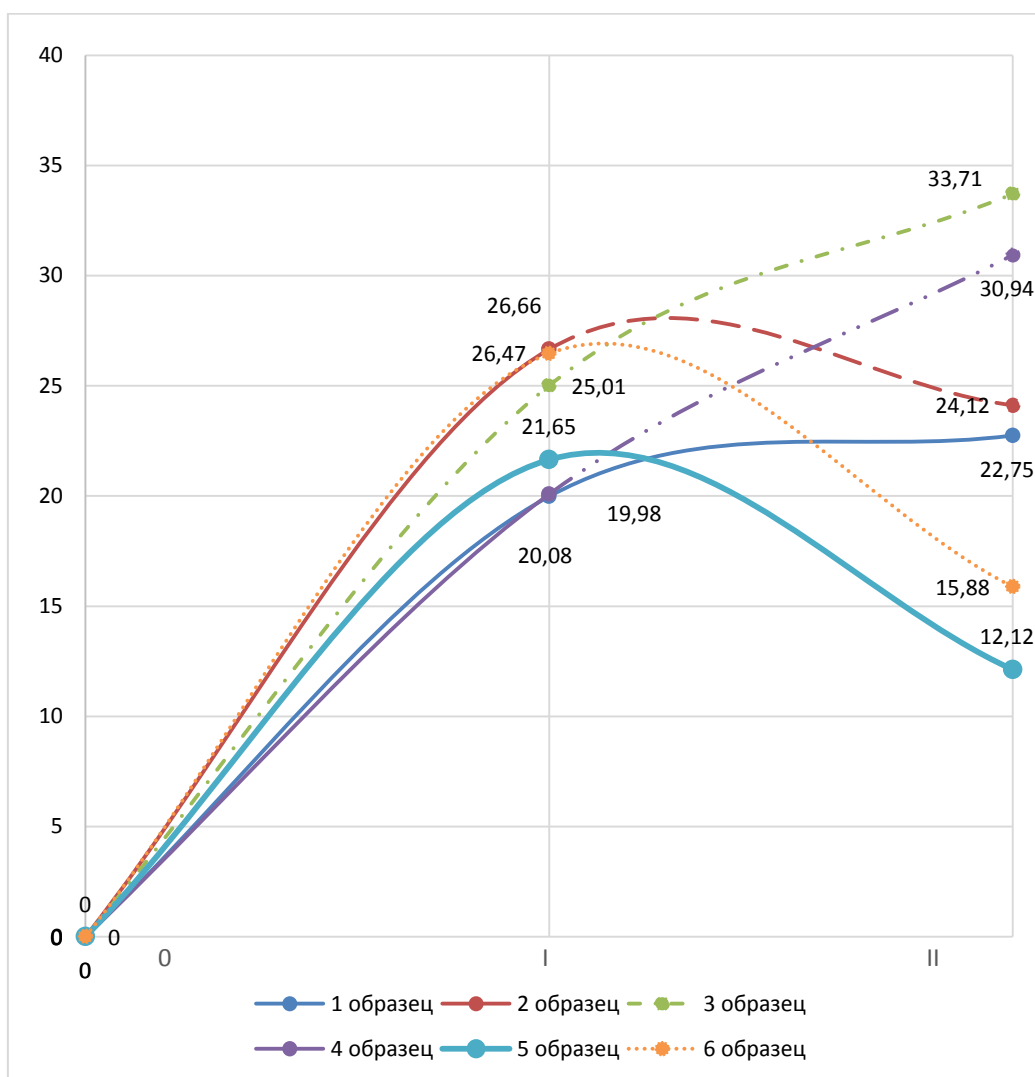


Рис. 3. Процентное изменение массы образцов
 Fig. 3. Percentage change of beaver tail samples weight

Влияние ферментных растворов на изменение толщины кожи хвоста бобра представлено на рис. 4.

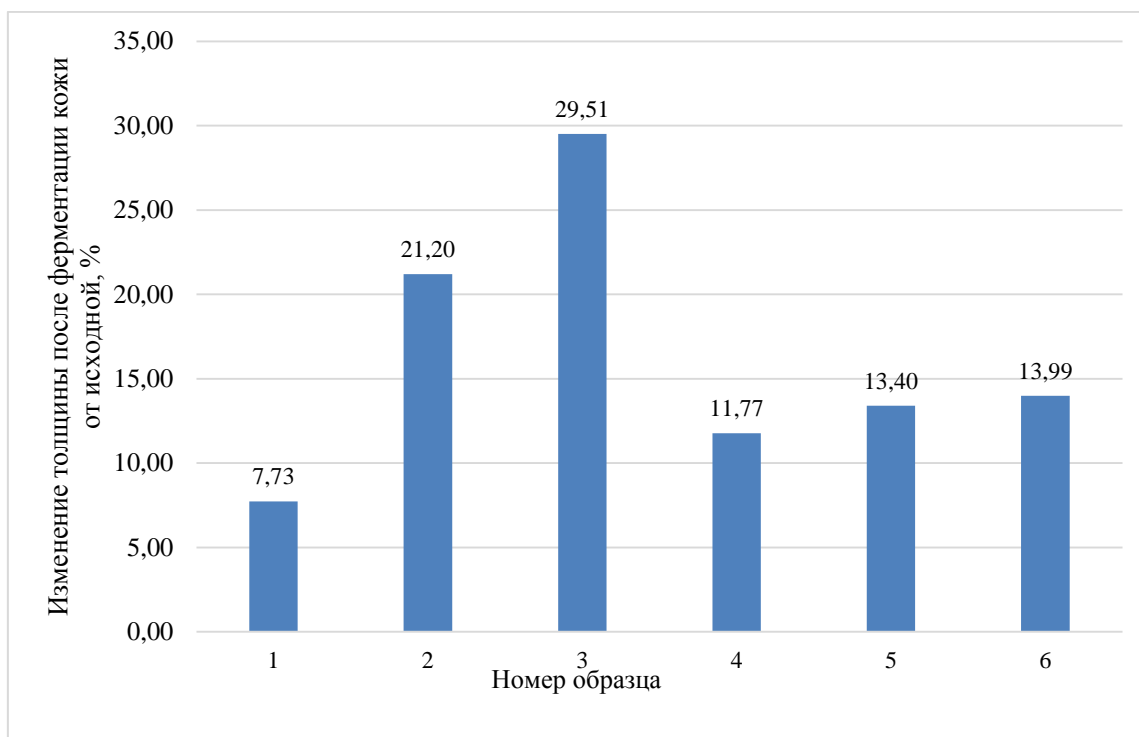


Рис. 4. Изменение толщины кожи хвоста бобра
Fig. 4. Beaver tail samples thickness change

Из рис. 4 видно, что наибольшее изменение толщины произошло в образцах № 2 ($\omega_{\text{ф}} = 0,01\%$; лимонная кислота) и № 3 ($\omega_{\text{ф}} = 0,01\%$; NaCl).

Для оценки полноты отделения кожи бобра от его липидно-жировой части была разработана 5-балльная шкала (табл. 2).

Таблица 2. Расшифровка балльной оценки отделения кожи от хвоста бобра
Table 2. Beaver tail skin separation score transcript

Балл	0	1	2	3	4	5
Описание	Кожа совершенно не отделяется от липидно-белковой части	Кожа отделяется плохо, необходимо прилагать усилие, рвется, отделяется с частичками жира	Кожа отделяется легко, но частично остается на хвосте	Кожа отделяется сегментами, с кусочками жира	Отделяется хорошо, но надрывается	Кожа отделяется полностью одним куском за одно движение

Описание полноты отделения кожи (в баллах) указано в табл. 3.

Таблица 3. Балльная оценка отделения кожи с хвоста речного бобра и описание процесса

Table 3. Beaver tail skin separation score and separation process description

Номер образца	Описание	Балльная оценка
1	Кожа при отделении рвется на сегменты, частицы жира остаются на месте	2
2	Кожа плотная, отделяется хорошо и отходит целиком, не рвется	4
3	Образец сморщен, кожа при отделении надрывается, но отделяется хорошо	3
4	Кожа отделяется хорошо, но с частицами бобрового жира	3
5	Кожа отделяется сегментами, кожа по ощущениям «резиновая» (фермент уплотняет кожный слой и сильно воздействует на липидную фракцию)	2
6	Кожа отделяется быстро, целиком, не затрагивая жир	5
7	Кожа отделяется сегментами и со значительными частицами бобрового жира	1
8	Образцы кожи не поддаются отделению кожных чешуек от липидно-белковой части хвоста	0

Образец № 7 является контрольным с добавлением воды при варке, а № 8 – контрольным образцом без обработки.



Рис. 5. Полное отделение кожи от хвоста при обработке образца ферментами при пониженной pH

Fig. 5. Full beaver tail skin separation after fermentation during low pH

Из представленных в табл. 3 данных можно отметить, что двухступенчатая обработка образцов ферментным препаратом заметно упрощает отделение кожи от хвостовой части речного бобра (рис. 5).

Наиболее полно кожа отделяется в образце № 6 ($\omega_{\text{ф}}$ – 0,55 %; лимонная кислота; NaCl). Образец № 2 ($\omega_{\text{ф}}$ – 0,01 %; лимонная кислота) также показал хорошие результаты по отделению кожи от липидно-белковой части хвоста.

Образцы, в растворы которых при ферментации добавлялась соль, были подвержены изменению формы (скручиванию) (рис. 6). Однако это не повлияло на отделение кожи от липидно-белковой части и ее дальнейшую обработку.



Рис. 6. Образцы с добавленной солью в ферментативный раствор
Fig. 6. Beaver tail samples after fermentation with high salt content in solution

Также проведенные исследования показали, что увеличение концентрации ферментного препарата до 0,55 % приводит к повышению прочности кожи и в дальнейшем может способствовать переработке не только липидно-белковой части хвоста речного бобра, но и кожи.

ВЫВОДЫ

Научно обоснован способ двухэтапной обработки хвоста бобра, включающий ферментацию на первом этапе и варку – на втором, упрощающий отделение кожи от липидно-белковой части.

Показано, что лучше всего процесс отделения проходит у образцов с концентрацией ферментного препарата 0,01 %, с добавлением лимонной кислоты и образцов, где концентрация фермента составляет 0,55 % и содержится лимонная кислота совместно с NaCl. Также было отмечено, что увеличение концентрации ферментного препарата приводит к утолщению кожных покровов и их уплотнению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белая, А. Три рекорда мясного сектора / А. Белая // Агроинвестр, 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/34912-tri-rekorda-myasnogo-sektora-potreblenie-i-proizvodstvo-myasa-vsekh-vidov-v-2020-godu-uvelichitsya-d/> (дата обращения: 10.11.2021).

2. Кононов, С. Бобр в Беларуси и его использование / С. Кононов // Охотник, 2015 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ohotniki.ru/hunting/article/2015/08/13/358873-bobr-v-belarusi-i-ego-ispolzovanie.html> (дата обращения: 10.11.2021).
3. Костоглодов, Д. Эксперт: Бобры в Калининградской области должны быть вне закона / Д. Костоглодов // Сельское хозяйство (2018.02) [Электронный ресурс]. – URL: <https://kgd.ru/news/society/item/70927-jekspert-bobry-v-kaliningradskoj-oblasti-dolzny-byt-vne-zakona> (дата обращения: 11.10.2021).
4. Митренков, А. М. Ценность мяса бобра речного / А. М. Митренков, О. Л. Бузо // Труды БГТУ. – 2016. – № 1 (183). – С. 264–268.
5. Распоряжение Министерства природных ресурсов и экологии Калининградской области от 15.05.2020 №7 [Электронный ресурс]. – URL: <https://minprirody.gov39.ru/news/3364/> (дата обращения: 10.11.2021).
6. Флорек, М. Примерный состав и физико-химические свойства мяса европейского бобра / М. Флорек, Л. Джозд // Наука о мясе. – Елсивер Лтд, 2017. – С. 8–12 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.084983670682&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=b945abf721fc4ad211429fa59e917bc6&sot=b&sdt=b&sl=37&s=TITLE-ABS-KEY%28beaver+meat+processing%29&relpos=1&citeCnt=9&searchTerm=>(дата обращения: 10.11.2021).
7. Правила ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов, утвержденные Минсельхозом СССР 27.12.1983 г. (вместе с Методиками физико-химического исследования мяса).
8. Феклистов, П. А. Охотничьи звери и способы их добычи / П. А. Феклистов, В. Н. Евдокимов. – Архангельск: СОЛТИ, 1998. – 119 с.
9. Приказ Минприроды России от 30 апреля 2010 года N 138 «Об утверждении нормативов допустимого изъятия охотничьих ресурсов и нормативов численности охотничьих ресурсов в охотничьих угодьях» (с изменениями на 11 января 2017 года). [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902215390> (дата обращения: 10.11.2021).
10. Инструкция использования микрометра [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rinscom.com/articles/kak-polzovatsya-mikrometrom/> (дата обращения: 10.11.2021).
11. Козлов, Ю. А. Мясная и техническая продукция от охоты на евразийского бобра (*Castor Fiber*) / Ю. А. Козлов, А. А. Сергеев, Б. Е. Зарубин, А. В. Эконов // Дальневосточный аграрный вестник. – 2020. – № 4 (56). – С. 64–75.
12. Коржавина, Ю. Н. Оценка качества сырокопченых колбасных изделий из нетрадиционного сырья с применением имитационного шпика / Ю. Н. Коржавина, Ю. В. Мастюгин, В. И. Сингаев, Д. Л. Альшевский // Вестник молодежной науки: электронный научный журнал. – 2019. – № 1 (18) [Электронный ресурс]. – URL: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2019/03/Korzhavina-118.pdf> (дата обращения: 10.11.2021).
13. Баранов, В. А. Технология переработки кожевенного, овчинно-шубного и пушно-мехового сырья: учеб. пособие / В. А. Баранов. – Казань: ФГБОУ ВО «КГАВМ имени Н. Э. Баумана», 2018. – 56 с.
14. Препараты для мясной промышленности [Электронный ресурс]. – URL: <https://zefbio.ru/catalog/preparaty-dlya-myasnoj-promyshlennosti/12768-protepsin> (дата обращения: 10.11.2021).

15. Зомек, М. Микробиологические изменения в мясе и печени бобра в процессе хранения / М. Зомек, Л. Дрозд // *Фудс* 10(6) – 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.3390/foods10061270> (дата обращения: 10.11.2021).
16. Майер, М. Как структура ландшафта и плотность населения влияют на внутривидовую агрессивность бобров / М. Майер, С. К. Винделс // *Экология и эволюция* (10) – 26.11.2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.1002/ece3.6980> (дата обращения: 10.11.2021).
17. Żochowska-Kujawska, J. Compositional Characteristics and Nutritional Quality of European Beaver (*Castor fiber L.*) Meat and its Utility for Sausage Production / J. Żochowska-Kujawska, K. Lachowicz, M. Sobczak et al. // *Czech Journal of Food Sciences*. – 2016. – Vol. 34. – P. 87–92.
18. Митренков, А. М. Ценность мяса бобра речного / А. М. Митренков, О. Л. Бузо // *Труды БГТУ*, 2016 (1). – 264–268 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsennost-myasa-bobra-rechnogo> (дата обращения: 10.11.2021).

REFERENCES

1. Belaya A. *Tri rekorda myasnogo sektora. Agroinvestr* [Three records in the meat sector]. 2020, available at: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/34912-tri-rekorda-myasnogo-sektora-potreblenie-i-proizvodstvo-myasa-vsekh-vidov-v-2020-godu-uvlechitsya-d/> (Accessed 10 November 2021).
2. Kononov S. *Bobr v Belarusi i ego ispol'zovanie* [Belarus beaver and its use]. Okhotnik, 2015, available at: <https://www.ohotniki.ru/hunting/article/2015/08/13/358873-bobr-v-belarusi-i-ego-ispolzovanie.html> (Accessed 10 November 2021).
3. Kostoglodov D. *Bobry v Kaliningradskoy oblasti dolzhny byt' vne zakona* [Beavers in the Kaliningrad region must be outlawed]. *Sel'skoe khozyaystvo*, 2018, available at: <https://kgd.ru/news/society/item/70927-jekspert-bobry-v-kaliningradskoj-oblasti-dolzhny-byt-vne-zakona> (Accessed 10 November 2021).
4. Mitrenkov A. M., Buzo O. L. *Tsennost' myasa bobra rechnogo* [The value of river beaver meat]. *Trudy BGTU*, 2016, no. 1 (183), 264–268 p.
5. *Rasporyazhenie Ministerstva prirodnikh resursov i ekologii Kaliningradskoy oblasti ot 15.05.2020 № 7*, available at: <https://minprirody.gov.ru/news/3364/> (Accessed 10 November 2021).
6. Florek M., Dzhozhd L. *Primernyy sostav i fiziko-khimicheskie svoystva myasa evropeyskogo bobra* [Proximate composition and physicochemical properties of European beaver (*Castor fiber L.*) meat]. Elsevier Ltd, 2017, pp. 8–12, available at: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84983670682&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=b945abf721fc4ad211429fa59e917bc6&sot=b&sdt=b&sl=37&s=TITLE-ABS-KEY%28beaver+meat+processing%29&relpos=1&citeCnt=9&searchTerm=> (Accessed 10 November 2021).
7. *Pravila veterinarnogo osmotra uboynykh zhivotnykh i veterinarno-sanitarnoy ekspertizy myasa i myasnykh produktov, utverzhdennoye Minsel'khozom SSSR 27.12.1983.*
8. Feklistov P. A., Evdokimov V. N. *Okhotnich'i zveri i sposoby ikh dobychi* [Hunting animals and methods of their hunt]. Arkhangel'sk, SOLTI, 1998, 119 p.

9. Prikaz Minprirody Rossii ot 30 aprelya 2010 goda N 138 “Ob utverzhdenii normativov dopustimogo iz'yatiya okhotnich'ikh resursov i normativov chislennosti okhotnich'ikh resursov v okhotnich'ikh ugod'yakh” (s izmeneniyami na 11 yanvarya 2017 goda), available at: <http://docs.cntd.ru/document/902215390> (Accessed 10 November 2021).

10. *Instruktsiya ispol'zovaniya mikrometra* [Micrometer user guide]. Available at: <https://www.rinscom.com/articles/kak-polzovatsya-mikrometrom/> (Accessed 10 November 2021).

11. Kozlov Yu. A., Sergeev A. A., Zarubin B. E., Ekonomov A. V. Myasnaya i tekhnicheskaya produktsiya ot okhoty na evraziyskogo bobra [Meat and technical products obtained from hunting the Eurasian beaver (Castor Fiber)]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*, 2020, no. 4 (56), p. 64–75.

12. Korzhavina Yu. N., Mastyugin Yu. V., Singaev V. I., Al'shevskiy D. L. Otsenka kachestva syropochenykh kolbasnykh izdeliy iz netraditsionnogo syr'ya s primeneniem imitatsionnogo shpika [Evaluation of the quality of raw smoked sausages from non-traditional raw materials using fat imitation]. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2019, no. 1 (18), available at: <http://vestnikmolnauki.ru/wp-content/uploads/2019/03/Korzhavina-118.pdf> (Accessed 10 November 2021).

13. Baranov V. A. *Tekhnologiya pererabotki kozhevennogo, ovchinno-shubnogo i pushno-mekhovogo syr'ya* [Technology of processing leather, sheepskin coat and fur raw materials]. FGBOU VO “KGAVM imeni Baumana”, Kazan', 2018, 56 p.

14. *Preparaty dlya myasnoy promyshlennosti* [Substances for the meat industry]. Available at: <https://zefbio.ru/catalog/preparaty-dlya-myasnoj-promyshlennosti/12768-protepsin> (Accessed 10 November 2021).

15. Ziomek M., Drozd L. Mikrobiologicheskie izmeneniya v myase i livere bobra v protsesse khraneniya [Microbiological Changes in Meat and Minced Meat from Beavers (Castor fiber L.) during Refrigerated and Frozen Storage]. *Foods*, 2021, no. 10 (6), available at: <https://doi.org/10.3390/foods10061270> (Accessed 10 November 2021).

16. Mayer M., Windels S. K. Kak struktura landshafta i plotnost' naseleniya vliyayut na vnutrividovuyu agressivnost' bobrov [Landscape structure and population density affect intraspecific aggression in beavers]. *Ecology and Evolution*, 2020, no. 10, available at: <https://doi.org/10.1002/ece3.6980> (Accessed 10 November 2021).

17. Żochowska-Kujawska J., Lachowicz K., Sobczak M. et al. Compositional Characteristics and Nutritional Quality of European Beaver (Castor fiber L.) Meat and its Utility for Sausage Production. *Czech Journal of Food Sciences*, 2016, vol. 34, pp. 87–92.

18. Mitrenkov A. M., Buzo O. L. Tsennost' myasa bobra rechnogo [Value of the river beaver meat]. *Trudy BGTU*, 2016, pp. 264–268, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsennost-myasa-bobra-rechnogo> (Accessed 10 November 2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мастюгин Юрий Викторович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры технологии продуктов питания;
E-mail: silter@rambler.ru

Mastyugin Yuriy Viktorovich – Kaliningrad State Technical University; post-graduate student at the Department of Food Technology; E-mail: silter@rambler.ru

Альшеевский Дмитрий Леонидович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: alshevsky@klgtu.ru

Alshevskiy Dmitriy Leonidovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Food Technology;
E-mail: alshevsky@klgtu.ru

Коржавина Юлия Николаевна – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры технологии продуктов питания;
E-mail: yuliya.korzhavina@klgtu.ru

Korzhavina Yulia Nikolaevna – Kaliningrad State Technical University; post-graduate student at the Department of Food Technology; E-mail: yuliya.korzhavina@klgtu.ru

Кошкина Анастасия – Калининградский государственный технический университет; магистрант кафедры технологии продуктов питания;
E-mail: anastasija.koskina@gmail.com

Koshkina Anastasiya – Kaliningrad State Technical University; Master student at the Department of Food Technology; E-mail: anastasija.koskina@gmail.com

ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОСТАТОЧНОСТИ
ОЧИСТКИ МОРСКОГО ПЛАЦЕНТАРНОГО КОЛЛАГЕНА

Н. А. Рачкова, В. В. Соклаков, Б. Ю. Воротников

APPROACHES TO SOLVING THE PROBLEM OF DETERMINING THE SUFFI-
CIENCY OF MARINE PLACENTAL COLLAGEN PURIFICATION

N. A. Rachkova, V. V. Soklakov, B. Yu. Vorotnikov

Внедрение в условиях опытно-промышленной эксплуатации уникального способа получения морского плацентарного коллагена потребовало серьезного анализа методов оценки параметров отдельных технологических операций. Основными процессами, определяющими качество получаемого продукта, являются отделение водо-, соле- и щелочерастворимых белков в сочетании с удалением липидов. Для управления изготовлением продукции в рамках производственного контроля предложено использовать оценку динамики накопления белков в экстрагентах и остаточное содержание липидов в готовом коллагене. Проведенный анализ стандартизированных методик определения массовых долей белка и жира, применяемых в пищевой и фармацевтической промышленности, показал теоретическую возможность использования для производственных целей соответственно колориметрического метода с биуретовым реактивом и гравиметрического модифицированного метода Сокслета. Измерение содержания белков позволило обосновать способ определения длительности производственного процесса экстракции при конкретных температурных режимах. Сформулированы необходимые и достаточные условия, служащие граничными факторами при установлении данного параметра. Остаточные количества неколлагеновых белков в полученном продукте рассматриваются как технически трудноудаляемая примесь. Применение широко распространенной методики количественного определения липидов на современном лабораторном оборудовании, пригодном для оснащения производственных лабораторий, в совокупности с проведенным анализом иных доступных стандартизированных методик выявили проблему, связанную с отсутствием приемлемого способа из-за содержания измеряемого компонента в анализируемой матрице ниже достоверных пределов. Ее решением представляется фиксация в технических условиях значения остаточного содержания липидов на уровне двукратного предела повторяемости наиболее точного из доступных методов выполнения измерений.

морской плацентарный коллаген, параметры технологического процесса, количественное определение белков, количественное определение жиров

Implementation of a unique method for producing marine placental collagen in the pilot operation conditions required a serious analysis of methods for assessing the parameters of individual technological stages. The main processes determining the quality of the finished product are separation of water-, salt- and alkali-soluble proteins in

combination with the removal of lipids. To control the manufacturing process in the framework of in-process monitoring, it has been proposed to use an assessment of the dynamics of protein accumulation in extractants and the residual lipid content in the collagen. The analysis of standardized methods for determining the mass fractions of protein and fat used in food and pharmaceutical industries has shown a theoretical possibility of using the colorimetric method with a biuretic reagent and the gravimetric modified Soxhlet method, respectively, for technological purposes. Measurement of the protein content allowed for justification of a method for determining the duration of the extraction process under specific temperature conditions. The necessary and sufficient conditions are formulated as boundary factors in determining of this parameter. It has been proposed to consider the residual amounts of non-collagen proteins in the finished product as a technically difficult-to-remove impurity. The appliance of a widely used procedure for the quantitative determination of lipids with modern laboratory equipment suitable for production laboratories equipping, together with the analysis of other available standardized procedures, revealed a problem associated with the lack of an acceptable method due to the content of the measured component in the analyzed matrix at a level below reliable results. As a solution, it has been proposed to fix the value of remaining lipid content in product specification at the level of twice the repeatability limit of the most accurate available measurement procedure.

marine placental collagen, parameters of technological process, quality determination of proteins, quality determination of lipids

ВВЕДЕНИЕ

Неизменно актуальной задачей в пищевой промышленности является рациональная комплексная переработка сырья. В результате реализации инновационной схемы, предложенной авторами [1], возникает возможность получения морского плацентарного коллагена из ястычных пленок рыб, рассматриваемых в качестве вторичного сырья при производстве икорной продукции.

Известно, что коллаген относится к фибриллярным белкам группы склеропротеинов, он образует волокна соединительной ткани и обеспечивает ее прочность и эластичность. Это – исключительно животный белок, и его доля составляет примерно третью часть от общего количества белков в организме. В настоящее время выделяют 29 типов коллагена, при этом в плаценте преобладает его V тип [2, 3]. В пищевой промышленности в качестве структурообразователя традиционно используется продукт гидролиза коллагена – желатин, а в медицине и косметологии на основе этого белка изготавливают покровный тканевый и пластифицирующий материал [4].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Постановка задачи

Предложенная авторами уникальная технология предполагает получение целевого продукта – морского плацентарного коллагена – из общей массы соединительной ткани ястыка. Одной из основных задач при этом, очевидно, представлялось обоснование параметров ключевых технологических этапов, на которых происходит отделение (экстракция) коллагеновых белков от прочих компонентов сырья. Для этого было необходимо осуществить как выбор показателей, характеризующих достаточность обработки, так и способы их определения. К используемым в этих целях методикам выполнения измерений были обозначены следующие требования:

– максимально оперативное получение результатов в рамках производственного контроля, чтобы иметь возможность осуществлять требуемые коррекции управляемых технологических параметров, которые могут понадобиться вследствие нативных различий, характерных для химического состава используемого сырья;

– минимально возможная стоимость необходимых средств измерений либо их универсальность для реализации различных методик в производственной лаборатории рыбоперерабатывающего предприятия;

– доступность и низкая цена применяемых реактивов и расходных материалов.

Исходя из нутриентного состава сырья, компонентами, от которых необходимо очистить получаемый морской плацентарный коллаген, будут липиды и прочие фракции белка – водо-, соле- и щелочерастворимые.

Очевидно, что извлечение липидов, количество которых для соединительной ткани ястыков невелико, возможно совместить с удалением белков, а характеризующим результативность технологического этапа качественным показателем в данном случае может служить уровень содержания липидов в выделенном коллагене.

Известно, что для количественного определения жира применительно к продукции пищевой промышленности используют гравиметрические, спектрофотометрические и рефрактометрические методы.

Чаще всего применяется гравиметрический метод Сокслета, заключающийся в многократной экстракции жира из пробы одной и той же порцией органического растворителя (ГОСТ 7636, ГОСТ 10857, ГОСТ 15113.9, ГОСТ 23042, ГОСТ 26183, ГОСТ 26829, ГОСТ 29033, ГОСТ 31762). Как правило, применяют модификацию, предполагающую определение массы обезжиренного остатка, реже – модификацию, признанную в качестве арбитражной, согласно которой определяют непосредственно массу экстрагированного жира. Метод сравнительно длителен, а арбитражная модификация включает дополнительный этап – отгонку экстрагента, отсутствующую в определении массовой доли жира по обезжиренному остатку.

Вариантами экстракционно-гравиметрического метода являются растирание измельченной и обезвоженной навески в растворителе или кратная экстракция пробы различными порциями растворителей (ГОСТ 5668, ГОСТ 7636, ГОСТ 8756.21, ГОСТ 15113.9, ГОСТ 17681, ГОСТ 22760, ГОСТ 23042, ГОСТ 26829, ГОСТ 27670, ГОСТ 30648.1, ГОСТ 31469, ГОСТ 32189, ГОСТ ISO 659, ГОСТ ISO 734-1, ГОСТ ISO 734-2, ГОСТ ISO 1736, ГОСТ Р 51452, ГОСТ Р 51457). Как и арбитражная модификация метода Сокслета, данные методики предполагают отгонку использованного экстрагента, увеличивая этапность и, как следствие, продолжительность проведения измерений. Также применяется методика кратной экстракции, основанная на определении количества жира по обезжиренному остатку навески, в которой ранее было установлено содержание влаги (ГОСТ 31762).

Нормирован метод измерения массовой доли жира и воды отгонкой (метод Дина-Старка), заключающийся в одновременном извлечении жира и воды из пробы растворителем с последующим их количественным разделением (ГОСТ 7636). Его недостатком является длительность определения содержания жира и отгонка используемого растворителя.

Другие варианты гравиметрического метода представлены гидролизными (в т. ч. бутирометрическими) методиками, предполагающими кислотный гидролиз пробы и последующее отделение высвобожденного жира при помощи центрифуги

(ГОСТ 5668, ГОСТ 5867, ГОСТ 7698, ГОСТ 15113.9, ГОСТ 29247, ГОСТ 30648.1, ГОСТ 31469, ГОСТ 31762, ГОСТ 31902, ГОСТ Р 55063, ГОСТ Р 55361, ГОСТ Р ИСО 2446). К недостаткам данных методик можно отнести не только необходимость их валидации для наших целей, но и, в первую очередь, использование концентрированных неорганических кислот, включенных в перечень прекурсоров, что создает дополнительные сложности по их обороту в производственных лабораториях.

Известны гравиметрические методики, сочетающие в себе гидролиз пробы и извлечение жира из гидролизата при помощи растворителей (ГОСТ 5867, ГОСТ 33925, ГОСТ 33926, ГОСТ 34455). Соответственно, такие методики обладают недостатками, характерными для обоих методов.

Турбидиметрический метод определения массовой доли жира основан на измерении рассеяния света жировым слоем жидкой пробы (ГОСТ 5867). Метод не подходит для нашей матрицы из-за ее агрегатного состояния.

При использовании колориметрического метода определения массовой доли жира жировую фазу пробы выделяют вымораживанием, экстрагированием и измеряют оптическую плотность полученного экстракта при длине волны 440 нм (ГОСТ 31633). Применение данной методики ограничено молочной продукцией.

Методом ИК-спектроскопии содержание жира определяется путем измерения коэффициентов пропускания или отражения пробы в диапазоне волн 400 – 11000 нм (ГОСТ 31795, ГОСТ 32255, ГОСТ 32749, ГОСТ 34567). Метод требует наличия образцов для градуировки, содержание целевого нутриента в которых должно определяться арбитражным методом, и использования дорогостоящего аналитического оборудования.

Рефрактометрический метод определения количества жиров базируется на измерении разности коэффициентов преломления чистого растворителя и растворенного в нем жира (ГОСТ 5668, ГОСТ 7636, ГОСТ 8756.21, ГОСТ 10857, ГОСТ 15113.9, ГОСТ 17681, ГОСТ 31902). Метод несложен, непродолжителен, но предполагает использование сравнительно токсичных соединений в качестве экстрагентов.

Удаление нецелевых фракций белков в предложенной технологии является двухстадийным процессом, соответственно, обоснование технологических параметров и контроль достаточности этапов должны быть осуществлены для каждого из них. Наиболее точным методом оценки достаточности очистки коллагена от остальных фракций белка, содержащихся в плацентарной ткани, мог бы стать электрофорез в полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия, позволяющий осуществить требуемое фракционирование белков полученного продукта [5–11], однако он в достаточной степени продолжителен и трудоемок, что делает его малоприменимым для целей оперативного технологического контроля. Исходя из этого, лучшим решением в данной ситуации представляется анализ динамики накопления белков, извлекаемых из обрабатываемого сырья, в используемых на данных технологических этапах растворах.

Известно, что для количественного определения белка применяют титриметрические, спектрофотометрические, колориметрические, спектрофлуориметрические, потенциометрические и кулонометрические методы.

Одним из наиболее традиционных методов, признанным также в качестве арбитражного (в т. ч. для гидробионтов и продукции из них), является метод Кьельдаля, основанный на разложении (пиролизе) испытуемого образца. При нагревании азотсодержащего органического вещества в присутствии концентрированной серной кислоты происходит превращение азота в сульфат аммония, который в

дальнейшем определяют количественно (ГОСТ 7636, ГОСТ 7698, ГОСТ 25011, ГОСТ 26889, ГОСТ 30648.2, ГОСТ 31469, ГОСТ 31681, ГОСТ 31762, ГОСТ 33454, ГОСТ 34536, ГОСТ 34551, ГОСТ Р 51470, ГОСТ Р 54662, ОФС.1.2.3.0012.15). Однако для наших целей он представляется достаточно длительным, а кроме того, предполагает использование концентрированной серной кислоты, входящей в перечень прекурсоров.

Метод Дюма близок методу Кьельдаля, но в отличие от последнего является более быстрым, здесь не применяются концентрированные неорганические кислоты и щелочи, он более точен для определения общего азота и расчета сырого протеина, поскольку позволяет измерить весь небелковый азот, а не его часть. Метод Дюма стандартизирован применительно к зерновым, бобовым, молотым зерновым продуктам, масличным культурам и кормам и теоретически может применяться для продуктов из гидробионтов (ГОСТ Р ИСО 16634-1, ГОСТ Р 54390). Недостатком данного метода является использование специального оборудования для сжигания проб – аппарата Дюма.

Определение содержания белка УФ-спектрофотометрическим методом основано на способности ароматических аминокислот (триптофана, тирозина), входящих в состав белковой молекулы, поглощать ультрафиолетовый свет при длине волны 280 нм (ОФС.1.2.3.0012.15). Метод отличается занижением получаемых результатов из-за осаждения белка на стенках измерительных кювет, кроме того, он требует наличия измерительного оборудования, стоимость которого высока по сравнению с колориметрическим.

Установление содержания белка методом ИК-спектроскопии аналогично упомянутому для измерения массовой доли жиров.

К колориметрическим методам определения содержания белка относят следующие: Лоури (как с предварительным осаждением белка, так и без него), Бредфорд, с использованием индофенолового синего, применением Амидо черного, с биуретовым реактивом, реактивом Несслера и бицинхониновой кислотой.

Метод Лоури основан на измерении интенсивности окраски при длине волны 750 нм продуктов взаимодействия реактива Фолина со щелочными растворами белка (ОФС.1.2.3.0012.15). Он позволяет достаточно быстро получить результаты в лабораторных условиях, однако трудоемок в части приготовления реактива Фолина, составными частями которого являются вольфрамат натрия, фосфорная кислота, соляная кислота, сульфат лития, бром, вода. Кроме того, данный метод обладает недостаточной точностью, поскольку реактив Фолина взаимодействует не только с белками, но и с фенольными соединениями.

Метод Бредфорд базируется на измерении оптической плотности растворов белков с использованием красителя кислотного синего 90 при длине волны 595 нм (ОФС.1.2.3.0012.15). Одним из слабых мест метода является погрешность, обусловленная наиболее активным связыванием красителя с остатками аргинина и лизина. К другому его недостатку можно отнести необходимость использования белка, аналогичного определяемому, в качестве стандартного образца, что не всегда возможно при переработке смеси вторичного сырья разных биологических видов.

Колориметрический метод с применением индофенолового синего предполагает измерение интенсивности окраски реактива при длине волны 625 нм (ГОСТ 17681, ГОСТ 25011). Такая интенсивность пропорциональна содержанию аммиака в минерализованной пробе, к которой добавляют растворы нитропруссиды натрия, фенола, щелочи и гипохлорита натрия. В части минерализации пробы

данный метод обладает теми же недостатками, что и метод Кьельдаля, в том числе – продолжительностью пробоподготовки.

В колориметрическом методе с использованием Амидо черного 10 Б водорастворимые белки взаимодействуют при рН ниже их изоэлектрической точки с красителем с образованием нерастворимого осадка. Определяемой характеристикой служит оптическая плотность оставшегося после реакции избытка красителя при длине волны 590 нм (ГОСТ 25179). Данный метод специфичен по характеру определяемого белка – он применим для молока и потребует надлежащей валидации для наших целей, результат которой может быть отрицательным.

В основе метода колориметрического определения белка с биуретовым реактивом лежит качественная реакция на наличие пептидных связей. В ее ходе ионы меди (II) биуретового реактива взаимодействуют с молекулами белка, образуя в щелочной среде окрашенные комплексы, что позволяет количественно определить продукты реакции путем измерения оптической плотности раствора при длине волны 540 нм (ОФС.1.2.3.0012.15). Данный метод сравнительно непродолжителен, не требует реактивов, включенных в списки прекурсоров, в качестве средства измерений предполагает использование колориметра, который зачастую входит в оснащение производственных лабораторий.

Метод с использованием реактива Несслера основан на получении окрашенных солей аммония в результате взаимодействия данного реагента с получаемым в соответствии с рассмотренным выше методом Кьельдаля отгоном аммония в серной кислоте; оптическую плотность образующегося раствора измеряют при длине волны 430 нм (ГОСТ 7698). Данная методика обладает недостатками, характерными для метода Кьельдаля.

Колориметрический метод определения белка с бидинхониновой кислотой базируется на взаимодействии пептидной связи с медью (II) и указанной кислотой и измерении интенсивности окрашивания раствора образовавшегося комплексного соединения при длине волны 562 нм (ОФС.1.2.3.0012.15). Определению мешают возможное присутствие в растворе восстановителей.

Спектрофлуориметрический метод предполагает дериватизацию белка о-фталальдегидом, реагирующим с первичными аминогруппами белка (N-концевая аминокислота и ε-аминогруппы остатков лизина), и последующее измерение флуоресценции полученного комплекса (ОФС.1.2.3.0012.15). Метод отличается высокой чувствительностью и, как спектрометрический, требует наличия сравнительно дорогостоящего оборудования.

Один из потенциометрических методов заменяет визуальное определение точки эквивалентности в методе Кьельдаля на приборное – титрование ведется до величины рН, равной 5,4. При кулонометрическом методе вместо потенциометра используется автоматический кулонометрический титратор (ГОСТ 23327). Соответственно, для этих электрохимических методов также характерны как применение прекурсоров, так и длительность выполнения методики измерений, а для кулонометрического – потребность в специфическом оборудовании.

Другим потенциометрическим методом определения белка является метод формольного титрования, основанный на нейтрализации свободных карбоксильных групп белков щелочью при том, что свободные аминогруппы блокируются за счет добавления формалина. Точкой эквивалентности считается рН=9 (ГОСТ 25179). К недостаткам данной методики можно отнести то, что ее валидированная область распространения ограничивается молочными белками, и для определения вносимой в расчеты поправки требуется проведение арбитражных измерений по методу Кьельдаля.

Методы исследования

Морской плацентарный коллаген получали из замороженных ястычных пленок горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* Walbaum, заготовленных при выделении фракции икры-зерна.

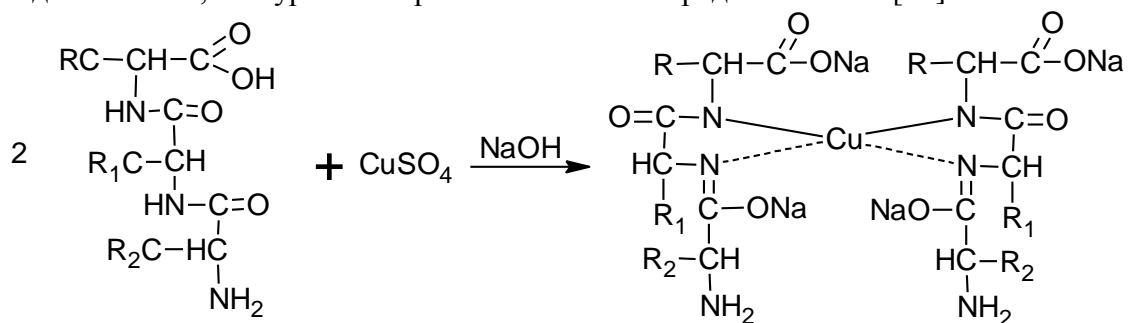
После первичной обработки сырья экстракцию коллагена проводили посредством двух последовательных технологических этапов:

- отмывки водо- и солерастворимых белков в растворе поверхностно-активных веществ (ПАВ) с последующей промывкой ястычных пленок водой;
- отмывки щелочерастворимых белков в щелочном растворе, по окончании которой очищенный морской плацентарный коллаген промывали водой и передавали на операции по получению товарной формы.

В качестве метода определения липидов в готовом продукте нами был выбран гравиметрический метод по обезжиренному остатку [12], модифицированный в части замены классического аппарата Сокслета на полуавтоматический «Вилитек» АСВ-6М.

Содержание белков в экстрагентах определялось колориметрическим методом с биуретовым реактивом [13]. Отбор проб исследуемого экстрагента проводили с интервалом 5 мин после начала отмывки, оптическую плотность определяли через 60 мин после добавления биуретового реактива на колориметре КФК-2, в качестве контрольного раствора использовали смесь биуретового реактива с чистым экстрагентом.

Проходящую реакцию между молекулами, имеющими не менее двух пептидных связей, и биуретовым реактивом можно представить как [14]:



Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения белка проиллюстрированы рис- 1 и 2. Как видно из графиков, зависимость оптической плотности от концентрации белка носит логарифмический характер, что соответствует кинетической зависимости 1-го порядка. Полученные экспериментальные данные позволяют предложить установление достаточности отмывки при следующих ограничениях:

- очередное значение оптической плотности отмывочного раствора достоверно отличается от значения, измеренного через 5 мин после начала процесса (необходимое условие);
- очередное значение оптической плотности отмывочного раствора достоверно отличается от значения, установленного при предыдущем измерении (достаточное условие).

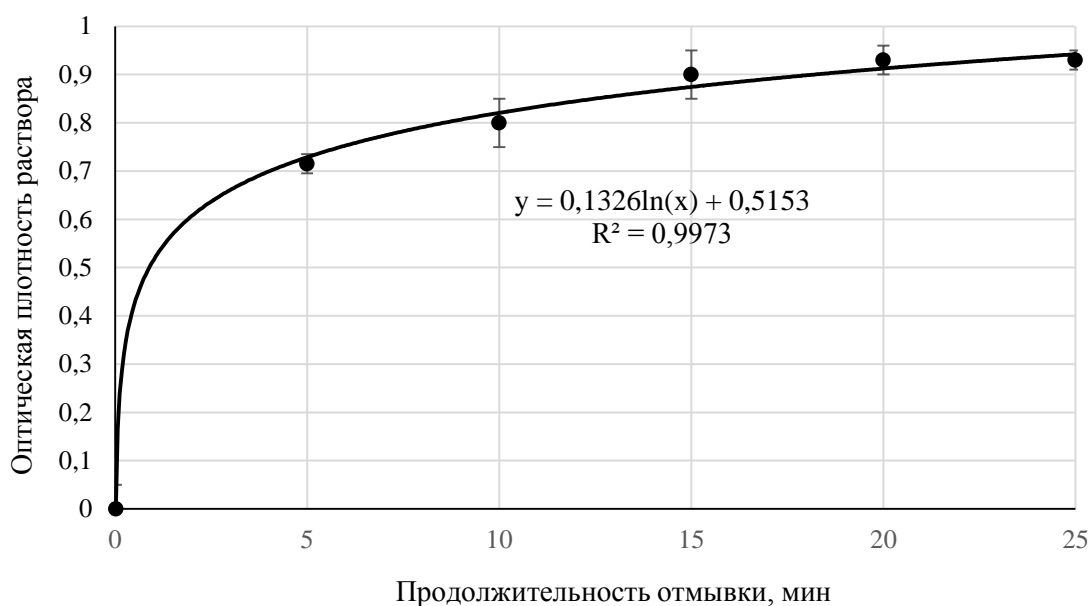


Рис. 1. Динамика накопления водо- и солерастворимых белков в растворе поверхностно-активных веществ
 Fig. 1. Dynamics of accumulation of water- and salt-soluble proteins in a surfactants solution

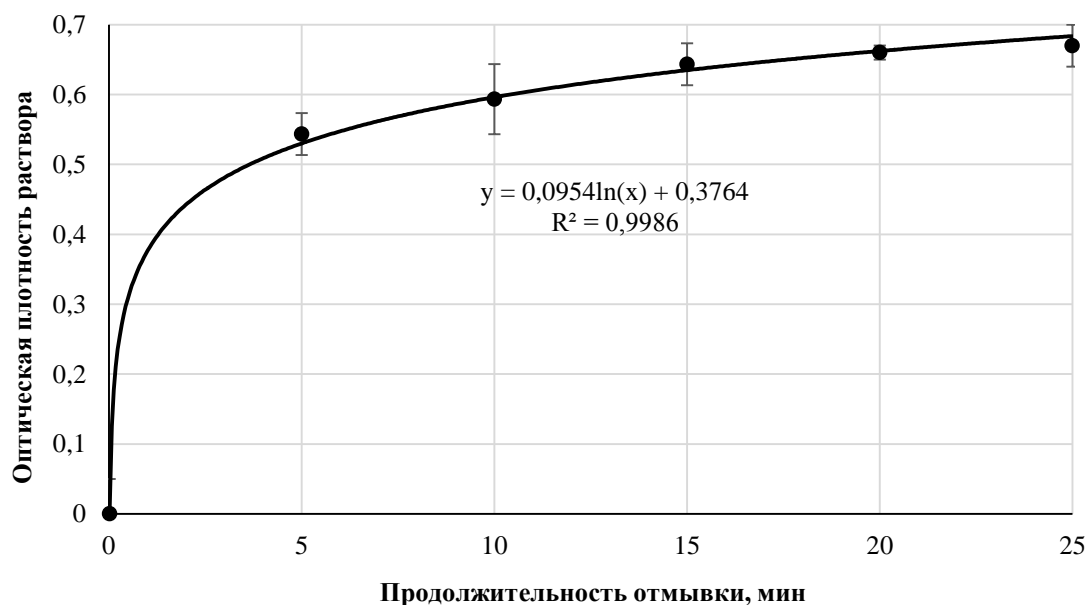


Рис. 2. Динамика накопления щелочерастворимых белков в щелочном растворе
 Fig. 2. Dynamics of accumulation of alkali-soluble proteins in an alkaline solution

Следуя принятым ограничениям, можно определить, что достаточная продолжительность обоих этапов отмывки коллагена от прочих белков составляет по 15 мин, при этом для этапа отмывки водо- и солерастворимых белков (рис. 1) реализованы оба ограничивающих условия, а для этапа отмывки щелочерастворимых белков (рис. 2) эта продолжительность определена только по необходимому из них. В любом случае предлагаемый нами способ контроля и обоснования ключе-

вых технологических этапов получения морского плацентарного коллагена позволяет отрегулировать процесс таким образом, чтобы массовая доля целевого продукта в получаемом веществе составляла не менее 80 % от общего количества белка; оставшиеся части неотмытых фракций рассматриваются в качестве трудноудаляемой технической примеси.

Полученные результаты определения липидов не превышали уровень пределов повторяемости для выбранной методики выполнения измерений. Поскольку для нее не определены такие метрологические характеристики, как аттестованный диапазон измерений и приписанная погрешность, следует считать полученные значения недостоверными и лежащими ниже предела обнаружения. Учитывая, что все исследованные методики определения липидов, не требующие валидации, характеризуются пределом повторяемости не ниже 0,3 %, то логично предположить, что минимально достоверный определяемый уровень массовой доли липидов в нашей матрице будет составлять 0,6 %.

ВЫВОДЫ

Для целей технологического контроля основных этапов экстракции коллагеновых белков обоснован контролируемый параметр – динамика накопления отмываемых нецелевых белков в экстрагенте – и выбран метод его определения.

Предложен метод интерпретации получаемых результатов при исследовании такой динамики, обосновывающий достаточность продолжительности этапов удаления водо-, соле- и щелочерастворимых белков из используемого нами коллагенового сырья.

Необходим дальнейший поиск метода выполнения измерений, чувствительность которого позволит подтверждать чистоту получаемого морского плацентарного коллагена по показателю остаточного содержания липидов. При невозможности подбора такого метода следует зафиксировать в нормативно-технической документации на морской плацентарный коллаген уровень остаточного содержания липидов не выше 0,6 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Способ комплексной переработки икры гидробионтов: пат. РФ / Вороников Б. Ю., Рачкова Н. А., Вайнерман Е. С., Соклаков В. В. – № 2019128233; заявл. 09.09.2019; опубл. 09.10.2020. Бюл. № 28. – 5 с.
2. Biochemistry of collagens, laminins and elastin. Structure, function and biomarkers / Ed. by M. A. Karsdal. – London: Academic Press, 2016. – 238 p.
3. Sionkowska, A. Collagen based materials in cosmetic application: a review / A. Sionkowska, K. Adamiak, K. Musiał, M. Gadomska // Materials. – 2020. – Vol. 13. – No. 4217. – 15 p.
4. Afifah, A. Utilization of fish skin waste as a collagen wound dressing on burn injuries: a mini review / A. Afifah, O. Suparno, L. Haditjaroko, K. Tarman // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sciences. – 2019, No. 335. – 9 p.
5. Atef, M. Biochemical and structural characterization of sturgeon fish skin collagen (*Huso huso*) / M. Atef, S. M. Ojagh, A. M. Latifi, M. Esmaili, C. C. Udenigwe // J. Food Biochem. – 2020, No. 00:e13256. – 10 p.
6. Blanco, M. Collagen extraction optimization from the skin of the small-spotted catshark (*S. canicula*) by response surface methodology / M. Blanco, J. A. Vázquez, R. I. Pérez-Martín, C. G. Sotelo // Marine Drugs. – 2019. – Vol. 17. – 13 p.

7. Chen, L. L. Isolation and characterization of acid-soluble collagen from the skin of *Amiurus nebulosus* / L. L. Chen, L. Zhao, M. Yuan, W. Su, H. Liu // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 781 – 784. – P. 1728 – 1735.
8. Jeong, H.-S. Isolation and characterization of collagen from marine fish (*Thunnus obesus*) / H.-S. Jeong, J. Venkatesan, S.-K. Kim // *Biotechnology and Bioprocess Engineering*. – 2013, No. 18. – P. 1185 – 1191.
9. Kuwahara, J. Extraction of type I collagen from tilapia scales using acetic acid and ultrafine bubbles // *Processes*. – 2021. – Vol. 9. – No. 288. – 11 p.
10. Muhammad, A. A. S. Characterization of collagen extract from the skins of commercial freshwater fish / A. A. S. Muhammad, R. H. Hamdan, R. Shaari, M. F. M. Nordin, R. A. Saufi, S. J. Mei // *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*. – 2015. – Vol. 77. – No. 33. – P. 43 – 48.
11. Nagai, T. Collagen from diamondback squid (*Thysanoteuthis rhombus*) outer skin // *Zeitschrift für Naturforschung C*. – 2004. – Vol. 59. – Iss. 3 – 4. – P. 271 – 275.
12. ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа: межгос. стандарт : изд. офиц. : дата введ. 01.01.86. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 87 с.
13. ОФС.1.2.3.0012.15 Определение белка: фармакоп. статья: изд. офиц. // Государственная фармакопея Российской Федерации: XIV издание: в 4 т. – Москва, 2018. – Т. 1. – С. 1026–1041.
14. Кочетков, Н. И. Химия природных соединений / Н. И. Кочетков, И. В. Торгов, М. М. Ботвиник. – Москва: Изд. АН СССР, 1961. – 559 с.

REFERENCES

1. Vorotnikov B. Yu., Rachkova N. A., Vaynerman E. S., Soklakov V. V. Sposob kompleksnoy pererabotki ikry gidrobiontov [A method of complex processing of hydrobiont roe]. Patent RF, no. 2019128233, 2020.
2. Biochemistry of collagens, laminins and elastin. Structure, function and biomarkers. Ed. by M. A. Karsdal. London, Academic Press, 2016, 238 p.
3. Sionkowska A., Adamiak K., Musiał K., Gadomska M. Collagen based materials in cosmetic application: a review. *Materials*, 2020, vol. 13, no. 4217, 15 p.
4. Afifah A., Suparno O., Haditjaroko L., Tarman K. Utilization of fish skin waste as a collagen wound dressing on burn injuries: a mini review. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Sciences*, 2019, no. 335, 9 p.
5. Atef M., Ojagh S. M., Latifi A. M., Esmaili M., Udenigwe C. C. Biochemical and structural characterization of sturgeon fish skin collagen (*Huso huso*). *J. Food Biochem.*, 2020, no. 00:e13256, 10 p.
6. Blanco M., Vázquez J. A., Pérez-Martín R. I., Sotelo C. G. Collagen extraction optimization from the skin of the small-spotted catshark (*S. canicula*) by response surface methodology. *Marine Drugs*, 2019, vol. 17, 13 p.
7. Chen L. L., Zhao L., Yuan M., Su W., Liu H. Isolation and characterization of acid-soluble collagen from the skin of *Amiurus nebulosus*. *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 781 – 784, pp. 1728 – 1735.
8. Jeong H.-S., Venkatesan J., Kim S.-K. Isolation and characterization of collagen from marine fish (*Thunnus obesus*). *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2013, no. 18, pp. 1185 – 1191.
9. Kuwahara J. Extraction of type I collagen from tilapia scales using acetic acid and ultrafine bubbles. *Processes*, 2021, vol. 9, no. 288, 11 p.

10. Muhammad A. A. S., Hamdan R. H., Shaari R., Nordin M. F. M., Saufi R. A., Mei S. J. Characterization of collagen extract from the skins of commercial freshwater fish. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 2015, vol. 77, no. 33, pp. 43–48.

11. Nagai T. Collagen from diamondback squid (*Thysanoteuthis rhombus*) outer skin. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 2004, vol. 59, iss. 3 – 4, pp. 271 – 275.

12. Interstate Standard GOST 7636-85. Fish, marine mammals, invertebrates and products of their processing. Methods of analysis. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 87 p. (In Russian).

13. State Pharmaceutical Section OFS.1.2.3.0012.15. Determination of protein. State Pharmacopoeia of Russian Federation, XIV edition. In 4 volumes. Vol. 1. Moscow, 2018, pp. 1026 – 1041. (In Russian).

14. Kochetkov N. I., Torgov I. V., Botvinik M. M. *Khimiya prirodnikh soedineniy* [Chemistry of natural compounds]. Moscow, USSR Academy of Science Publ., 1961, 559 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рачкова Наталья Анатольевна – Калининградский государственный технический университет; инженер 1-й категории кафедры химии;
E-mail: natalya.rachkova@klgtu.ru

Rachkova Natalya Anatolevna – Kaliningrad State Technical University; 1 category engineer, Department of Chemistry; E-mail: natalya.rachkova@klgtu.ru

Соклаков Владимир Владимирович – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания; E-mail: vladimir.soklakov@klgtu.ru

Soklakov Vladimir Vladimirovich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Food Products Technology; E-mail: vladimir.soklakov@klgtu.ru

Воротников Борис Юрьевич – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент; зав. кафедрой химии;
E-mail: vorotnikov@klgtu.ru

Vorotnikov Boris Yurievich – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor; Head of the Department of Chemistry; E-mail: vorotnikov@klgtu.ru

СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ОТ КОЛЕСА
НА КОНСТРУКЦИИ НАКАТНЫХ СУДОВ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ
РОССИЙСКОГО РЕЧНОГО РЕГИСТРА

Д. А. Романюта

INFLUENCE OF THE CHARACTER OF LOAD DISTRIBUTION
FROM THE WHEEL ON THE STRUCTURE OF TRAILER SHIPS ACCORDING
TO THE REQUIREMENTS OF THE RUSSIAN RIVER REGISTER

D. A. Romanyuta

В статье выполнен анализ формы отпечатка и характера распределения давления по пятну контакта от колес на накатных судах, требуемых Правилами Российского Речного Регистра (РРР). Установлено, что предписываемая РРР прямоугольная форма пятна контакта от колеса в большинстве случаев соотносится с реальными условиями. Распределение равномерных давлений по длине отпечатка колеса не соответствует фактической картине, а в направлении ширины – допустимо. Представлена формула, описывающая некоторую параболическую функцию и отображающая форму неравномерного давления вдоль пятна контакта. С помощью специализированного программного комплекса FEMAP with NX NASTRAN методом конечных элементов произведена оценка напряженно-деформированного состояния перекрытий двух накатных судов от воздействия колес грузового и легкового автомобиля. Расчет выполнен с учетом двух видов нагрузок: при равномерном и параболическом характере распределения давлений вдоль пятна контакта. Пиковое значение давления при параболической форме оказалось в 1,5 раза больше, чем при равномерной. Разница в результатах прочностного анализа по максимальным перемещениям и напряжениям в балках составила около 3 %. В то же время максимальные значения напряжений в настиле при разных формах распределения давления по отпечатку колеса отличаются на 10–11 %. Использование предложенной формулы, описывающей параболический характер нагрузки по длине пятна контакта, может быть существенно при определении размеров отпечатка колеса, величины максимального напряжения в настиле и значения допускаемого остаточного прогиба настила в соответствии с требованиями РРРР.

накатное судно, пятно контакта, отпечаток колеса, распределение давления, регистр, метод конечных элементов, Femap

The article analyzes the shape of the imprint and the nature of the pressure distribution over the contact patch from the wheels on rolling ships, required by the Rules of the Russian River Register (RRR). It has been found that the rectangular shape of the contact patch from the wheel prescribed by the RRR in most cases corresponds to real

conditions. Distribution of uniform pressures along the length of the imprint of the wheel does not correspond to the actual picture, but in the direction of the width it is permissible. A formula is presented that describes a certain parabolic function and displays the form of non-uniform pressure along the contact patch. Using the specialized software complex FEMAP with NX NASTRAN, the finite element method was used to assess the stress-strain state of the floors of two trailer ships from the impact of the wheels of a truck and a car. The calculation was carried out taking into account two types of loads: with a uniform and parabolic nature of the pressure distribution along the contact patch. The peak value of the pressure with a parabolic shape turned out to be 1.5 times higher than with a uniform one. The difference in the results of the strength analysis for the maximum displacements and stresses in the beams was about 3%. At the same time, the highest stress values in the flooring, with different forms of pressure distribution over the wheel imprint, differ by 10–11%. The use of the proposed formula, which describes the parabolic nature of the load along the length of the contact patch, can be essential in determining the dimensions of the wheel imprint, the value of the maximum stress in the flooring, and the value of the admissible residual deflection of the flooring, in accordance with the requirements of the RRR Rules.

trailer ship, contact patch, wheel print, pressure distribution, register, finite element method, Femap

ВВЕДЕНИЕ

Накатные суда (ролкеры) предназначены для перевозки различной накатной техники – автомобилей, грузов на поддонах, прицепах и т. д. [1]. В процессе их проектирования особое внимание уделяется прочности палубного перекрытия в связи со специфичным характером воспринимаемых нагрузок (колес накатной техники).

Рассматривая задачу в статической постановке, можно сказать, что на палубу действует нагрузка в виде веса автомобилей, который передается через его колеса. Ввиду того, что шины машин не абсолютно жесткие, а эластичные, под действием собственного веса колесо деформируется, и в месте его контакта с палубой возникает отпечаток определенной площади [2], схожий по форме с прямоугольником, – пятно контакта. При этом нагрузка распределяется по пятну по некоторому криволинейному закону. Форма отпечатка колеса и характер распределения нагрузки в реальных условиях представлены на рис. 1 (а). Отпечаток колеса заштрихован наклонными линиями, распределение нагрузки – вертикальными.

РРР для выполнения расчетов прочности приводит некоторые указания к определению формы отпечатка и нагрузки от колеса. Так, в соответствии с п. 2.2.29, частью I [3] нагрузка считается равномерно распределенной по отпечатку колеса и равной давлению в шине. Отпечаток рассматривается в виде прямоугольника с определенными сторонами. Форма пятна контакта и характер распределения нагрузки в соответствии с требованиями РРР представлены на рис. 1 (б).

Таким образом, для выполнения расчетов в соответствии с требованиями Правил РРР необходимо ввести два допущения:

- 1) форма пятна контакта представляет собой обычный прямоугольник;
- 2) давление в шине распространяется по всему отпечатку равномерно.

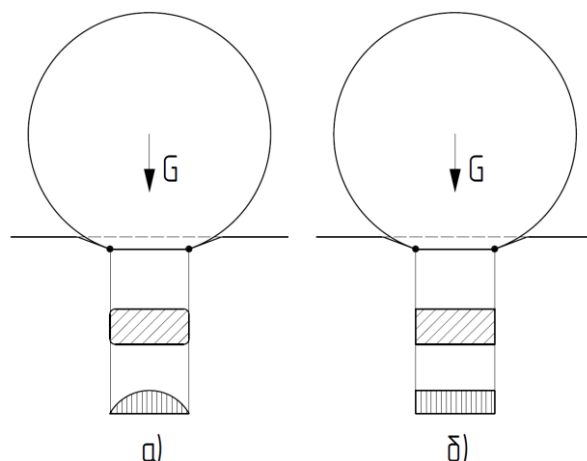


Рис. 1. Деформация колеса, форма отпечатка и характер распределения нагрузки в реальных условиях (а) и в соответствии с требованиями РРР (б)

Fig. 1. Wheel deformation, imprint shape and the nature of the pattern of distribution in real conditions (a) and in accordance with the requirements of the RRR (b)

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы является проверка возможности использования допущений, представленных выше. Для этого необходимо:

- 1) соотнести, насколько реальная форма пятна контакта колеса с твердой поверхностью похожа на обычный прямоугольник;
- 2) сравнить, как отличается фактическая форма распределения давления от колеса по отпечатку от той, что предписана Правилами РРР;
- 3) рассчитать и сопоставить максимальные напряжения и перемещения в судовом перекрытии от нагрузок, действующих на пятно контакта в соответствии с реальными условиями и согласно требованиям Правил.

СРАВНЕНИЕ ФОРМЫ ПЯТНА КОНТАКТА, ПОЛУЧАЕМОГО В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ И ТРЕБУЕМЫХ ПРАВИЛАМИ РРР

Существует ряд работ [4, 5 и др.], в которых показано и обосновано, что пятно контакта вдоль колеса ограничивается прямыми линиями. Если принять во внимание форму реального распределения давления по пятну контакта от неподвижного колеса (см. ниже), то можно отметить, что в крайних точках пятна давление стремится к нулю. С учетом этого имеется возможность сделать два вывода-допущения:

1. Крайние области пятна контакта в направлении длины отпечатка вносят минимальный вклад в передаваемое от колеса давление.
2. Форму пятна вдоль ширины колеса допускается ограничить также прямыми линиями.

Таким образом, формируется пятно контакта в форме обычного прямоугольника. Закруглениями в углах образующегося прямоугольника можно пренебречь ввиду того, что в этих областях величина давления незначительна и стремится к нулю по краям пятна контакта.

Предлагаемые допущения (пятно контакта в форме обычного прямоугольника) используются и в других статьях [6–8 и др.], а также подтверждены экспериментально [9].

СРАВНЕНИЕ ФОРМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПО ПЯТНУ КОНТАКТА, ПОЛУЧАЕМОЙ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ И ТРЕБУЕМОЙ ПРАВИЛАМИ РРР

Форма распределения давления по пятну контакта у неподвижного колеса в реальных условиях неравномерна и зависит от различных факторов: типа шин, давления и т. д., однако эта функция в середине отпечатка по длине должна иметь максимальное значение, а на концах отпечатка – стремиться к нулю. Под такое описание попадает множество различных форм функций: полуокружность, синус, различные параболы, треугольник, трапеция и др.

Считается [10], что для шин среднего и низкого давления подходит трапециевидный, а для шин высокого давления – параболический закон распределения давления. Для массивных шин (например, погрузчиков) – это функция, представляющая собой нечто среднее между параболическим и эллиптическим законом [10]. Далее в работе рассматриваются шины среднего и высокого давления.

По рекомендациям [9] расчетная форма распределения давления по пятну контакта в его продольном направлении будет представлена в виде параболической функции, а в поперечном направлении – в качестве постоянной распределенной [11].

Таким образом, реальную форму распределения давления по пятну контакта можно отобразить в следующем виде: в продольном направлении – параболическая, а в поперечном – постоянная равномерная.

Функция распределения давления в продольном направлении (вдоль длины отпечатка) определяется следующей формулой [9, 10]:

$$q = \frac{3}{8} \frac{F}{\left(\frac{l_2}{2}\right)^3 l_1 s} \left(\frac{l_2^2}{2} - x^2\right), \quad (1)$$

где F – нагрузка на колесо в соответствии с техническим паспортом; l_1 – ширина пятна контакта колеса; l_2 – длина пятна контакта колеса; s – коэффициент насыщенности.

Ввиду того, что колесо всегда имеет какой-то протектор, непосредственно взаимодействие между ним и опорой происходит не всей площадью колеса, а только соприкасающейся с поверхностью рисунком протектора. Коэффициент насыщенности представляет собой отношение между контурной площадью пятна контакта и реальной площадью соприкосновения через протектор.

Так как невозможно предусмотреть все варианты соприкосновения рисунка протектора с опорной поверхностью, величина коэффициента насыщенности в дальнейшем будет принята равной 1.

Требования Правил РРР в п. 2.2.29, части I [3] предписывают считать давление по отпечатку равномерно распределенным по всей площади. Ниже на примере легкового (Toyota Camry, 2010 г.) и грузового (Neoplan N1216HD, 2006 г.) автомобиля проиллюстрирована разница между равномерным распределением давления по отпечатку и распределением по закону (1).

Определение размеров отпечатков колес выполняется в соответствии с п. 2.2.29, частью I [3] по формулам (2) и (3):

$$l_1 = 0,7 \cdot b; \quad (2)$$

$$l_2 = \frac{10KFg}{1000(p l_1)}, \quad (3)$$

где b – ширина шины; p – давление в шине согласно технической документации; K – коэффициент, принимаемый для автомобиля равным 1,1.

Исходные данные и полученные значения представлены в табл. 1. Требуемые для расчета величины по легковому автомобилю отражены в [12–14], а по грузовому – в [15, 16].

Таблица 1. Расчет размеров отпечатка легкового и грузового автомобиля
Table 1. Calculation of the dimensions of the wheel imprint of a car and a truck

Наименование величины, обозначение, размерность	Легковой автомобиль	Грузовой автомобиль
Ширина шины, b , см	21,5	29,5
Нормальное давление в шине, p , МПа	0,27	0,85
Коэффициент, K	1,1	1,1
Нагрузка на колесо, F , т	0,69	4,0
Расчетная ширина отпечатка, l_1 , см	15,0	20,6
Расчетная длина отпечатка, l_2 , см	18,3	24,6
Принятая ширина отпечатка, l_{1p} , см	15,0	20,6
Принятая длина отпечатка, l_{2p} , см	18,3	21,8
Фактическая нагрузка на отпечаток, Fp , т	0,755	3,89

Вопрос метода расчета размеров отпечатка в данной работе не рассматривается.

На рис. 2 проиллюстрирована форма распределения нагрузки по длине отпечатка в соответствии с принятыми расчетными условиями (штриховая линия) и согласно требованиям Правил РРР (сплошная линия). Для легкового и грузового автомобиля формы обеих зависимостей совпали. При этом пиковое значение нагрузки при реальном распределении ($P_{r_{max}}$) как для легковой, так и для грузовой машины оказалось на 50 % больше равномерного распределения, предлагаемого Правилами РРР ($P_{p_{max}}$).

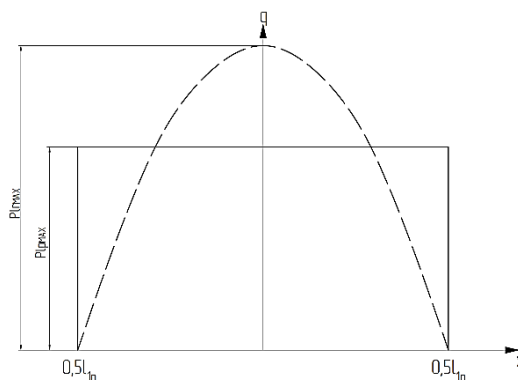


Рис. 2. Распределение давления по длине отпечатка колеса автомобиля
Fig. 2. Distribution of pressure along the length of the car wheel imprint

**СРАВНЕНИЕ МАКСИМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
ПРИ РАСЧЕТЕ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ РЕАЛЬНОГО
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПО ПЯТНУ КОНТАКТА
И ТРЕБУЕМОГО ПРАВИЛАМИ РРР**

Проверка влияния характера распределения давления по пятну контакта на напряженно-деформированное состояние (далее – НДС) судовых конструкций проводилась на примере перекрытий двух накатных судов. Расчет производился с помощью программного комплекса FEMAP with NX NASTRAN методом конечных элементов.

Первое судно – десантный катер пр. «А-3», шифр «Армеец», на данный момент переоборудовано для перевозки пассажиров и накатной техники. В настоящее время функционирует три подобных судна. Фотография катера «Цитрин» указанного проекта приведена на рис. 3.

Второе судно – среднемагистральный автомобильно-пассажирский экологически чистый паром на электроходе пр. «19411», шифр «ЭКО-Паром», в данное время разрабатывается в Научно-исследовательском центре судостроения Калининградского государственного технического университета (КГТУ). Изображение парома представлено на рис. 4.

Основные характеристики обоих судов отражены в табл. 2.

Таблица 2. Основные характеристики рассматриваемых судов

Table 2. Main characteristics of the vessels

Характеристика судна	Проект «А-3», шифр «Армеец»	Проект «19411», шифр «ЭКО-Паром»
Длина наибольшая, м	15,7	36,0
Ширина, м	3,85	9,80
Осадка в полном грузу, м	0,86	1,76
Пассажировместимость, чел.	Около 30	80
Автомобилевместимость, шт.	Около 2 легковых	15 легковых или 2 грузовых
Водоизмещение в полном грузу, т	32	273



Рис. 3. Судно «Цитрин», проект «А-3», шифр «Армеец»
Fig. 3. Vessel "Citrine", project "A-3", code "Armeets"

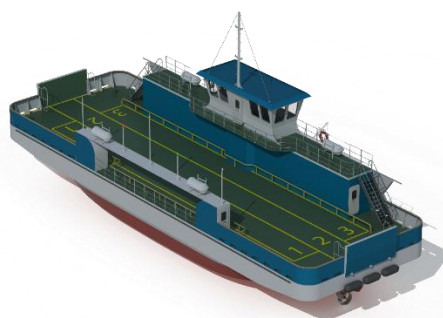


Рис. 4. Паром, проект «19411», шифр «ЭКО-Паром»
Fig. 4. Ferry, project "19411", code "ECO-Parom"

Выполнено моделирование двух случаев:

- 1) Расчет НДС части днищевого перекрытия судна пр. «А-3» при условии размещения на нем одного легкового автомобиля Toyota Camry 2010 г.;
- 2) Расчет НДС всего палубного перекрытия судна пр. «19411» при условии размещения на нем двух автобусов Neoplan N1216HD.

Эскизы смоделированных перекрытий с указанием размещения отпечатков колес представлены на рис. 5, 6.

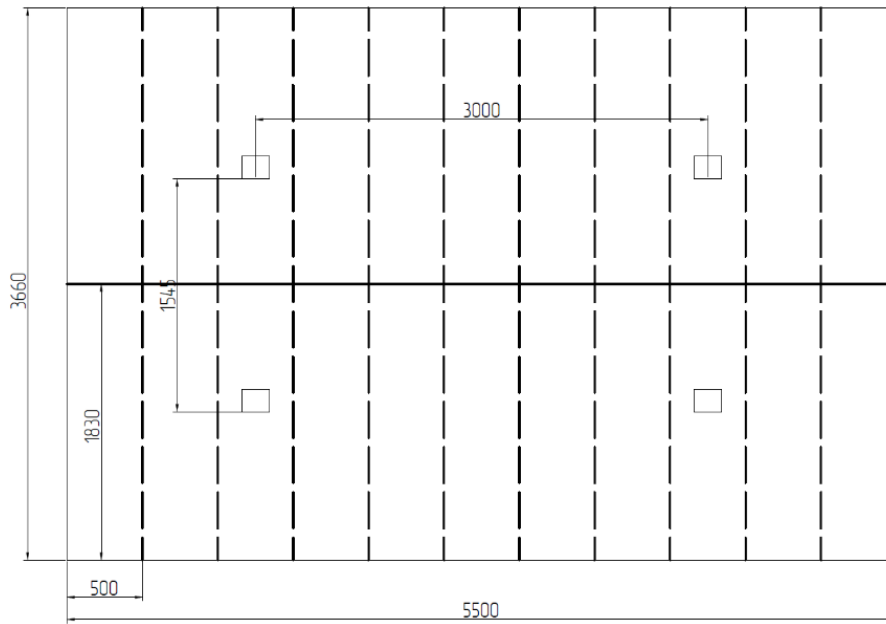


Рис. 5. Эскиз днищевого перекрытия судна пр. «А-3» с размещенными следами отпечатков колес

Fig. 5. A sketch of the bottom structure of the ship (project) «А-3» with the traces of the imprints of the wheels

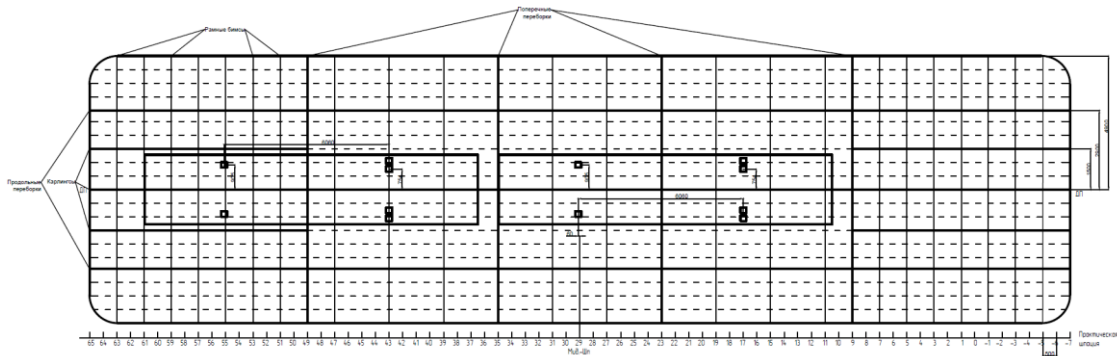


Рис. 6. Эскиз палубного перекрытия судна пр. «19411» с размещенными следами отпечатков колес

Fig. 6. A sketch of the deck structure of the ship (project "19411") with the traces of the imprints of the wheels

При моделировании рассматривались следующие элементы перекрытий:

1) для судна пр. «А-3»: толщина опорной поверхности – 6 мм; профиль поперечных балок: равнополочный уголок 80x80x6; профиль продольной балки: сварной тавр со стенкой 200x5 и полкой 100x8;

2) для судна пр. «19411»: толщина опорной поверхности – 10 мм; профиль поперечных балок: неравнополочный уголок 125x80x10; профиль продольных балок: сварной тавр со стенкой 250x8 и полкой 120x10; толщина части продольных и поперечных переборок – 6 мм.

В качестве материала применялась сталь категории А с пределом текучести 235 МПа.

Перекрытия рассчитывались из условия, что настил по периметру является жестко заделанным. Кроме того, у судна пр. «19411» использовалось дополнительное закрепление в виде жесткого защемления нижних кромок продольных и поперечных переборок.

Для расчета применялась сетка с переменным шагом. В районах пятен контактов расстояние между узлами составляло 5 мм, а на границах перекрытия – 2 см.

Расчет выполнялся в линейной упругой постановке. Результаты для судна пр. «А-3» представлены в табл. 3, для судна пр. «19411» – в табл. 4. На рис. 7 отражена картина распределения перемещений в перекрытии при параболическом распределении давления для судна пр. «А-3», для парома пр. «19411» – на рис. 8.

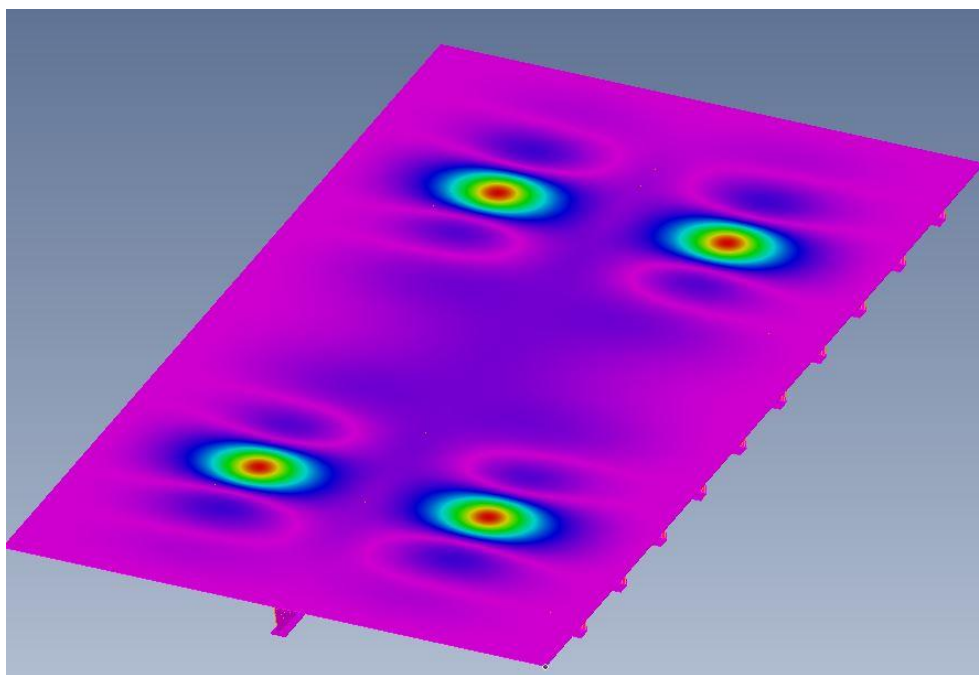


Рис. 7. Картина распределения перемещений в перекрытии судна пр. «А-3»

Fig. 7. A distribution pattern of displacements in the overlap of the ship (project "A-3")

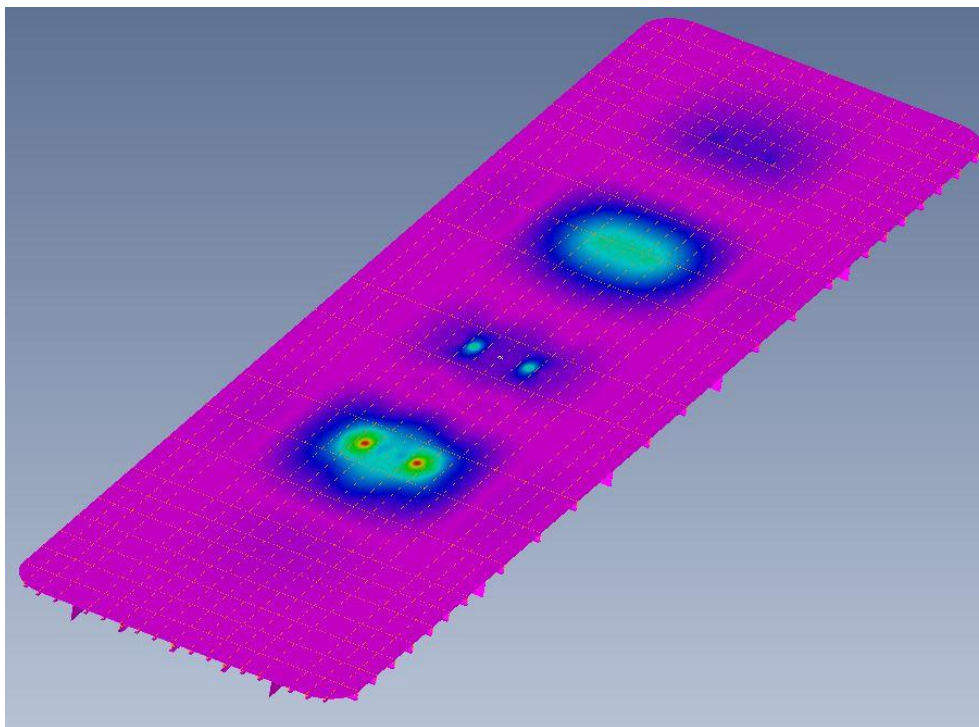


Рис. 8. Картина распределения перемещений в перекрытии судна пр. «19411»
 Fig. 8. A distribution pattern of displacements in the overlap of the ship (project "19411")

Таблица 3. Результаты расчета перекрытия судна пр. «А-3»
 Table 3. Calculation results of the structure of the vessel (project "A-3")

Показатель	Равномерная нагрузка (по PPP)	Нагрузка по параболе	Разница, %
Максимальное перемещение, мм	4,63	4,78	-3,07
Максимальное напряжение в пластине по Мизесу, МПа	177	198	-10,6
Максимальное напряжение в балке, МПа	58,3	58,4	-0,171

Таблица 4. Результаты расчета перекрытия судна пр. «19411»
 Table 4. Calculation results of the structure of the vessel (project "19411")

Показатель	Равномерная нагрузка (по PPP)	Нагрузка по параболе	Разница, %
Максимальное перемещение, мм	9,77	9,91	-1,41
Максимальное напряжение в пластине по Мизесу, МПа	291	320	-9,06
Максимальное напряжение в балке, МПа	246	252	-2,38

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как было указано выше, основными рассматриваемыми вопросами в данной статье являлись форма пятна контакта и форма распределения нагрузки.

Использование прямоугольной формы пятна контакта колеса, требуемой Правилами РРР, для расчетов местной прочности допустимо.

Рекомендуемая Правилами РРР равномерно распределенная нагрузка по площади отпечатка не соответствует той, что возникает в реальных условиях (промежуточная между параболической и эллиптической формой). Разница в максимальных значениях нагрузки в середине отпечатка может составлять 50 %.

Выполненные расчеты показали, что если для картины перемещений в перекрытии и распределения напряжений по балкам набора такое упрощение нагрузки допустимо (погрешность до 3 %), то для оценки напряжений в опорной поверхности оно дает погрешность в 10 %. В отдельных случаях такая погрешность может привести к необходимости дополнительных расчетов с учетом пластических деформаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Замена реальной формы пятна контакта обычным прямоугольником допустима.

2. Использование постоянной равномерной формы распределения давления по пятну контакта дает погрешность в определении напряжений в настиле до 10 %.

Из-за данной погрешности возникает вероятность появления пластических деформаций на реальном судовом перекрытии.

Во избежание подобной ситуации рекомендуется при расчете, рассматривая форму распределения давления по отпечатку колеса, использовать формулу (1).

Влияние характера распределения давления может оказаться существенным при расчете размеров отпечатка колеса (п. 2.2.29, часть II, [3]) и определении допускаемого остаточного прогиба настила (п. 2.2.59, часть II, [3]).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Как устроены морские суда. Накатные суда [Электронный ресурс]. – URL: <https://seaships.ru/roll.htm> (дата обращения: 02.02.2021).

2. Все о пятне контакта шины [Электронный ресурс]. – URL: <https://goroshina.com.ua/blog/vse-o-pyatne-kontakta-shiny> (дата обращения: 03.02.2021).

3. Правила Российского Речного Регистра: в 5 т. – Москва: Российский Речной Регистр, 2019. – Т. 2, ч. I. Корпус и его оборудование. – Гл. 2. Конструкция и прочность стального судна. – С. 23–33.

4. Автомобильные шины (конструкция, расчет, испытания, эксплуатация) / В. Л. Бидерман [и др.]; под общ. ред. В. Л. Бидермана. – Москва: Гос. науч.-техн. изд-во химич. лит-ры, 1963. – 383 с.

5. Ларин, А. Н. Сцепление автомобильной шины с дорогой, покрытой слоем воды: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Ларин Александр Николаевич; Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. – Харьков, 1988. – 171 с.
6. Абузов, В. И. Общие вопросы взаимодействия эластичного колеса с жесткой опорной поверхностью / В. И. Абузов, Т. А. Балабина, С. И. Чепурной // Известия Московского государственного технического университета. – 2012. – № 2. – С. 392–397.
7. Влияние параметров и условия касания эластичности колес на их силовые и кинематические характеристики / Т. А. Балабина, Н. П. Баловнев, В. А. Иванов, С. И. Чепурной // Известия Московского государственного технического университета «МАМИ». – 2013. – № 1 (15), т. 1. – С. 28–32.
8. Яньков, О. С. Повышение качества контроля тормозных систем АТС на стендах с кинематически связанными опорными роликами: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Яньков Олег Сергеевич; Иркутский национальный исследовательский технический университет. – Иркутск, 2017. – 283 с.
9. Кнороз, В. И. Работа автомобильной шины / В. И. Кнороз. – Москва: Науч.-техн. изд-во мин-ва автомоб. тр-та и шоссейн. дорог РСФСР, 1960. – 229 с.
10. Мамаев, А. Н. Общие вопросы взаимодействия эластичного колеса с жесткой опорной поверхностью / А. Н. Мамаев, Р. В. Вирабов, Т. А. Балабина // Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров: материалы междунар. научно-техн. конф. Ассоциации автомобильных инженеров России / Московский государственный технический университет «МАМИ». – Москва, 2012. – С. 71–85.
11. Смирнов, Г. А. Теория движения колесных машин / Г. А. Смирнов. – Москва: Машиностроение, 1990. – 352 с.
12. Размеры шин и дисков для Toyota Camry [Электронный ресурс]. – URL: https://tyres.spb.ru/cars_toyota_camry (дата обращения: 04.02.2021).
13. Автомобильная шина Kratos FM316 215/60 R16 95H всесезонная [Электронный ресурс]. – URL: <https://market.yandex.ru/old/product-avtomobilnaia-shina-kratos-fm316-215-60-r16-95h-vsesezonnaia/1824692897/spesuy> (дата обращения: 04.02.2021).
14. Размеры шин и рекомендуемое производителем давление в колесах Тойота Камри [Электронный ресурс]. – URL: <https://polomkiauto.ru/razmery-shin-i-rekomenduемое-proizvoditelem-davlenie-v-kolesah-toyota-kamri.html> (дата обращения: 04.02.2021).
15. Путешествие в мир футбола на NEOPLAN Cityliner [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gruzovikpress.ru/article/24650-neoplan-cityliner-n-1216-hd-p14-avtobus-sbornoy-rossii-po-futbolu-puteshestvie-v-mir-futbola-na-neoplan-cityliner/> (дата обращения: 04.02.2021).
16. Таблица давления грузовых шин Goodyear [Электронный ресурс]. – URL: <https://nagaevtires.ru/images/uploads/tab1-davleniya.pdf> (дата обращения: 04.02.2021).

REFERENCES

1. *Kak ustroeny morskije suda. Nakatnye suda* [How sea vessels are arranged. Ro-ro vessels]. Available at: <https://seaships.ru/roll.htm> (Accessed 02 February 2021).
2. *Vse o pyatne kontakta shiny* [All about the tire contact patch]. Available at: <https://goroshina.com.ua/blog/vse-o-pyatne-kontakta-shiny> (Accessed 03 February 2021).
3. *Pravila Rossiyskogo Rechnogo Registra* [Russian River Register Rules]. Moscow, 2019, vol. 2, pp. 23–33.
4. Biderman V. L. *Avtomobil'nye shiny (konstruktsiya, raschet, ispytaniya, ekspluatatsiya)* [Car tires (design, calculation, testing, operation)]. Moscow, Gos-e nauch.-tekhn. izd-vo khimich. lit-ry, 1963, 383 p.
5. Larin A. N. *Stseplenie avtomobil'noy shiny s dorogoy, pokrytoy sloem vody. Diss. kand. tekhn. nauk* [Adhesion of a car tire to a road covered with a layer of water. Diss. cand. tech. sciences]. Khar'kov, 1988, 171 p.
6. Abuzov V. I., Balabina T. A., Chepurnoy S. I. Obshchie voprosy vzaimodeystviya elastichnogo koleasa s zhestkoy opornoj poverkhnost'yu [General issues of the interaction of an elastic wheel with a rigid support surface]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, no. 2, pp 392–397.
7. Balabina T. A., Chepurnoy S. I., Balovnev N. P., Ivanov V. A. Vliyanie parametrov i usloviya kasaniya elastichnosti kolyos na ikh silovye i kinematicheskie kharakteristiki [Influence of parameters and conditions of contact of elasticity of wheels on their power and kinematic characteristics]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta "MAMI"*, 2013, no. 1, pp. 28–32.
8. Yan'kov O. S. *Povyshenie kachestva kontrolya tormoznykh sistem ATS na stendakh s kinematicheski svyazannymi opornymi rolikami. Diss. kand. tekhn. nauk* [Improving the quality of control of vehicle brake systems on stands with kinematically connected support rollers. Diss. cand. tech. sciences]. Irkutsk, 2017, 283 p.
9. Knoroz V. I. *Rabota avtomobil'noy shiny* [Car tire operation]. Moscow, Nauch.-tekhn. izd-vo min-va avtomob. tr-ta i shosseyn. dorog RSFSR., 1960, 229 p.
10. Mamaev A. N., Virabov R. V., Balabina T. A. Obshchie voprosy vzaimodeystviya elastichnogo koleasa s zhestkoy opornoj poverkhnost'yu [General issues of the interaction of an elastic wheel with a rigid support surface]. *Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiya i podgotovka kadrov: materialy mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. Assotciatsii avtomobilnykh inzhenerov Rossii. Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet "MAMI"*. Moscow, 2012, pp. 71–85.
11. Smirnov G. A. *Teoriya dvizheniya kolesnykh mashin* [Theory of motion of wheeled vehicles]. Moscow, Mashinostroenie, 1990, 352 p.
12. *Razmery shin i diskov dlya Toyota Camry* [Tire and wheel sizes for Toyota Camry]. Available at: https://tyres.spb.ru/cars_toyota_camry (Accessed 04 February 2021).
13. *Avtomobil'naya shina Kpatos FM316 215/60 R16 95H vsesezonnaya* [Car tire Kpatos FM316 215/60 R16 95H all season]. Available at: <https://market.yandex.ru/old/product--avtomobilnaia-shina-kpatos-fm316-215-60-r16-95h-vsesezonnaia/1824692897/specy> (Accessed 04 February 2021).
14. *Razmery shin i rekomenduemoje proizvoditelem davlenie v kolesakh Toyota Kamri* [Tire sizes and manufacturer's recommended tire pressure for Toyota Camry].

Available at: <https://polomkiauto.ru/razmery-shin-i-rekomenduemoe-proizvoditelem-davlenie-v-kolesah-toyota-kamri.html> (Accessed 04 February 2021).

15. *Puteshestvie v mir futbola na NEOPLAN Cityliner* [Journey to the world of football on NEOPLAN Cityliner]. Available at: <http://www.gruzovikpress.ru/article/24650-neoplan-cityliner-n-1216-hd-p14-avtobus-sbornoy-rossii-po-futbolu-puteshestvie-v-mir-futbola-na-neoplan-cityliner/> (Accessed 04 February 2021).

16. *Tablitsa davleniya gruzovykh shin Goodyear* [Goodyear Truck Tire Pressure Table]. Available at: <https://nagaevtires.ru/images/uploads/tabl-davleniya.pdf> (Accessed 04 February 2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Романюта Дмитрий Александрович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры кораблестроения;
E-mail: dmitrij.romanyuta@klgtu.ru

Romanyuta Dmitriy Alexandrovich – Kaliningrad State Technical University;
Post-graduate student of the Department of Shipbuilding;
E-mail: dmitrij.romanyuta@klgtu.ru

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ
СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Л. Ю. Волкова, К. С. Дорош, С. Р. Закиров, О. Д. Мишин

CALCULATION STUDIES OF FUEL EQUIPMENT FOR MARINE DIESELS

L. Yu. Volkova, K. S. Dorosh, S. R. Zakirov, O. D. Mishin

Приведена методика и выполнен расчет цикловой подачи топлива, плунжерных пар насосов высокого давления и сопловых отверстий распылителей форсунок для малооборотных судовых двухтактных дизелей семейства MAN B&W с цилиндровой мощностью от 1310 до 4880 кВт. Показано, что для данного диапазона мощности судовых дизелей цикловая подача на номинальном режиме изменяется от 31 до 188 см³, диаметр плунжера – от 44 до 80 мм, диаметр сопловых отверстий – от 0,58 до 1,1 мм. Установлено, что для дизеля MAN B&W 6S50MC при постоянной цикловой подаче топлива одной форсункой (18500 мм³) и продолжительности впрыска (0,039 с) повышение среднего давления перед сопловыми отверстиями с 30 до 100 МПа позволяет уменьшить диаметры сопловых отверстий с 0,75 до 0,55 мм, при этом снизить средний диаметр распыленного топлива с 49 до 36 мкм. Выполнен расчет топливного факела, длина которого зависит от диаметра соплового отверстия, скорости и времени истечения топлива, критериев плотности и Вебера. Определен период задержки самовоспламенения факела, зависящий от давления и температуры воздуха в камере сгорания, средней скорости поршня и коэффициента избытка воздуха. Предложено, чтобы время пройденного пути топливного факела от соплового отверстия до стенки камеры сгорания было скоррелировано и примерно равнялось времени задержки самовоспламенения топлива. Такая методика расчета подачи топлива, плунжерной пары насоса высокого давления, диаметра сопловых отверстий распылителя форсунок, мелкости распыливания топлива, длины топливного факела, периода задержки самовоспламенения может быть полезна при совершенствовании и разработке новых конструкций топливной аппаратуры судовых дизелей.

насос высокого давления, форсунка, циклическая подача, диаметр сопла и распыленного топлива, факел, самовоспламенение

The paper presents a method and calculation of the cyclic fuel delivery, plunger pairs of high-pressure pumps and nozzle holes of fuel oil atomizers for low-speed marine two-stroke diesel MAN B&W engines with a cylinder capacity from 1310 to 4880 kW. It is shown that for the given power range of marine diesel engines, cyclic delivery at the nominal mode varies from 31 to 188 cm³, a plunger diameter – from 44 to 80 mm, and holes diameter- from 0.58 to 1.1 mm. It has been found that for MAN B&W 6S50MC diesel engine, with a constant cyclic fuel supply by one nozzle

(18500 mm³) at injection duration (0.039 s), an increase in the average pressure in front of the nozzle holes from 30 to 100 MPa makes it possible to reduce the nozzle holes diameter from 0.75 to 0.55 mm, while reducing the average diameter of the sprayed fuel from 49 to 36 microns. Calculations have been performed of the fuel flame, the length of which depends on the nozzle hole diameter; of the speed and time of the fuel expiration, of the density and Weber criteria. Its self-ignition delay period has been found. It depends on the pressure and temperature of the air in the combustion chamber, the average speed of the piston and the excess air coefficient. It is proposed that the time the fuel flame travels from the nozzle opening to the wall of the combustion chamber should be coordinated and approximately equal to the delay time of the fuel self-ignition. The proposed method of calculating fuel delivery, a plunger pair of the high-pressure pump, nozzle holes diameter of the nozzle sprayer, fuel atomization fineness, a fuel flame length, and a delay period of self-ignition can be useful in improving and developing new designs of the fuel equipment of marine diesel engines

high-pressure pump, nozzle, cyclic delivery, diameter of nozzle and atomized fuel, torch, self-ignition

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время двухтактные дизельные двигатели внутреннего сгорания занимают лидирующие позиции в качестве главных силовых установок крупнотоннажных судов мирового флота.

Повышение эффективности перевозок грузов судами связано в первую очередь с технологическим развитием кораблестроения и применяемых технологий в энергосистемах судов. По этой причине формируются важнейшие задачи корабельного двигателестроения – повышение экономичности, экологичности, ремонтпригодности и эффективности главных судовых двигательных установок. Одним из направлений повышения технико-экономических показателей судовых дизелей является совершенствование топливоподающей аппаратуры.

Главные элементы в системе питания дизеля – это насос высокого давления и форсунки, от конструктивных особенностей и технического состояния которых зависят его экономичность, вредность отработавших газов, надежность и долговечность. Насос должен обеспечивать подачу порций топлива под высоким давлением с учетом нагрузочных и скоростных режимов дизеля.

Форсунки выполняют задачи распыливания топлива на мелкие капли определенного диаметра и движения факела с определенной скоростью, при которой дизель работает с минимальным расходом топлива.

Принцип работы топливных насосов высокого давления и форсунок судовых дизелей не отличается от работы дизелей автомобильных или тепловозных. Главное отличие заключается в том, что цилиндровая мощность малооборотного судового дизеля, например MAN B&W 6S50MC, при частоте вращения вала 127 мин⁻¹ равна 1580 кВт, а цилиндровая мощность тепловозного дизеля 8ЧН 26/26 при частоте вращения коленчатого вала 750 мин⁻¹ – 124 кВт. Цикловая подача топлива у данного судового дизеля в 28 раз больше, чем у тепловозного.

Наличие большой цикловой подачи топлива и цилиндровой мощности у малооборотных судовых двигателей обязывает по-новому подходить к конструи-

рованию топливной аппаратуры, например, размещать в головке цилиндра не одну, а две форсунки.

Технические данные судовых дизелей серии S-MC-C, выпускаемых Брянским машиностроительным заводом по лицензии фирмы MAN B&W, представлены в табл. 1 [1].

Целью данной работы является проведение расчетных исследований топливной аппаратуры судовых двухтактных дизелей с учетом конструктивных особенностей плунжерных пар, сопловых отверстий форсунок, распыливания и баллистики топливного факела.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На рис. 1 показан общий вид насоса высокого давления фирмы MAN с золотниковым регулированием подачи топлива и изменением угла опережения впрыска. Топливо под низким давлением от насоса поступает (указано стрелкой) по горизонтальному каналу, а затем поднимается к всасывающему клапану.

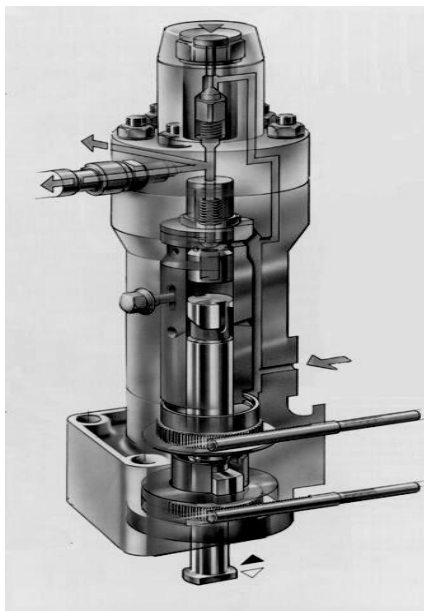


Рис. 1. Топливный насос высокого давления
Fig 1. A high-pressure pump with a VIT system

Величина цикловой подачи топлива регулируется поворотом плунжера, что изменяет его активный ход. Зубчатая рейка (нижняя) при поступательном движении вращает поворотную втулку, в пазы которой входит крестовина плунжера. Таким образом, вместе с вращением втулки плунжер поворачивается на определенный угол, изменяя подачу топлива (мазута).

Значение угла опережения впрыска топлива регулируется дополнительной (верхней) зубчатой рейкой. Применение зубчатого механизма с резьбой позволяет перемещать втулку плунжера вверх или вниз. Рейки управляются автоматически программой, заложенной в регулятор частоты вращения вала дизеля.

Таблица 1. Технические данные судовых дизелей серии S-МС-С
 Table 1. Technical specification of two-stroke ship engines of MC-C series

Показатели	Типы малооборотных судовых дизелей					
	S46 MC-C	S50 MC-C	S60 MC-C	S70 MC-C	S80 MC-C	S90 MC-C
Мощность одного цилиндра, кВт	1310	1580	2250	3100	3880	4880
Частота вращения вала, мин ⁻¹	129	127	105	91	76	76
Полный ход поршня, мм	1932	2000	2400	2800	3200	3198
Диаметр цилиндра дизеля, мм	460	500	600	700	800	900
Средняя скорость поршня, м/с	8,3	8,5	8,4	8,5	8,1	8,1
Удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	174	171	170	169	167	167

Расчетное определение диаметра и хода плунжера малооборотных судовых дизелей различной мощности

Расчетным путем определим диаметр плунжера и его ход для топливного насоса высокого давления судового двухтактного шестицилиндрового дизеля MAN B&W 6S50MC-C, с диаметром цилиндра 50 см и цилиндровой мощностью 1580 кВт.

Цикловую подачу топлива на режиме номинальной мощности находим по формуле

$$q_{ц} = \frac{N_{ц} \cdot q_e}{n_n \cdot \rho_T \cdot 60} = \frac{1580 \cdot 171}{127 \cdot 0,95 \cdot 60} = 37 \text{ см}^3, \quad (1)$$

где $N_{ц}$ – эффективная мощность для одного цилиндра дизеля, 1580 кВт; q_e – расход топлива, n_n – частота вращения вала насоса высокого давления; ρ_T – плотность топлива (мазута).

На режиме пуска двигателя подача топлива возрастает в 1,4–1,8 раза:

$$q_{пуск} = (1,4-1,8) q_{ц}. \quad (2)$$

Обозначим отношение геометрического (полного) хода плунжера h_n к диаметру плунжера d_n через величину x , которая может лежать в пределах 1,0–1,4 [2]:

$$x = h_n / d_n. \quad (3)$$

Диаметр плунжера насоса выбирается с учетом величины максимальной цикловой подачи топлива. Плунжерные пары должны обеспечивать необходимый объем топлива на всех режимах работы дизеля:

$$d_n = \sqrt[3]{4 \cdot q_{ц} \cdot \varphi_n / (\pi \cdot x \cdot \eta_n)}, \quad (4)$$

где φ_n – коэффициент увеличения цикловой подачи топлива на режиме пуска, 1,4–1,8; η_n – коэффициент подачи насоса.

Для $q_{ц} = 37 \text{ 000 мм}^3$; $\varphi_n = 1,7$; $\eta_n = 0,7$; $x = 1,1$ значение величины диаметра плунжера насоса $d_n = 47 \text{ мм}$. Диаметр плунжера соответствует данным насоса исполнения К [3]. Погрешность расчета не более 3–5 %.

Подача топлива за цикл зависит от площади поперечного сечения плунжера, его активного хода, коэффициента подачи и вычисляется из выражения

$$q_{ц} = \frac{\pi \cdot d_{п}^2}{4} \cdot h_{акт} \cdot \eta_n. \quad (5)$$

Для диаметра плунжера $d_n = 47 \text{ мм}$ активный ход плунжера равен

$$h_{акт} = \frac{4 \cdot 37000}{\pi \cdot 47 \cdot 47 \cdot 0,7} = 30,5 \text{ мм.} \quad (6)$$

С учетом процесса эксплуатации:

$$h_{макс} = 1,75 \cdot h_{акт} = 1,75 \cdot 30,5 = 53 \text{ мм.} \quad (7)$$

Полный ход плунжера принимаем равным 53 мм.

В табл. 2 сведены результаты расчета подачи топлива за цикл, размеры плунжера насосов высокого давления, распылителей форсунок дизелей типа MAN B&W 6МС.

Таблица 2. Расчетные данные насоса и форсунок судовых дизелей серии S-МС-C
Table 2. Calculations of a high-pressure pump and injectors for MC-C series engines

Основные показатели	Типы судовых дизелей					
	S46	S50	S60	S70	S80	S90
Общая подача топлива за впрыск двумя форсунками, см ³	31	37	64	101	150	188
Диаметр плунжера насоса, мм	44	47	57	67	75	80
Ход плунжера, мм	51	53	63	72	85	94
Число распыливающих (сопловых) отверстий	6	6	6	6	6	6
Число форсунок	2	2	2	2	2	2
Диаметр соплового отверстия распылителей форсунок, мм	0,58	0,64	0,76	0,88	0,98	1,10

Расчет распылителей форсунок

Для режима номинальной мощности общая подача топлива за цикл для дизеля MAN B&W 6S50MC-C равна 37 000 мм³/цикл. В головке цилиндров установлены две форсунки [4]. Рассмотрим одну из них. Цикловая подача топлива составит 18 500 мм³. Максимальное давление, создаваемое насосом, примем 100 МПа, а среднее – 60 МПа.

На рис. 2 показаны распылители форсунок дизелей MAN со сменными наконечниками и шестью сопловыми отверстиями, которые создают факел распыленного топлива, равномерно распределенный в КС. Отверстия первой форсунки располагают с одной стороны соплового наконечника (180°), смещая их по высоте на некоторый угол (рис. 2 а).

В распылителе главным параметром является диаметр соплового отверстия. Для оценки величины эффективного сечения распылителя μF найдем теоретическую скорость истечения мазута через сопловые отверстия [2]:

$$g_T = \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho_T}, \quad (8)$$

где ΔP – средний перепад давления топлива перед сопловыми отверстиями, Па.

$$g_T = \sqrt{2 \cdot 600 \cdot 10^5 / 950} = 355 \text{ м/с или } 355 \text{ 000 мм/с.}$$

Объемный расход топлива Q в мм³/с равен

$$Q = \mu F \cdot g_T, \quad (9)$$

где μF – эффективное проходное сечение распылителя форсунки, мм².

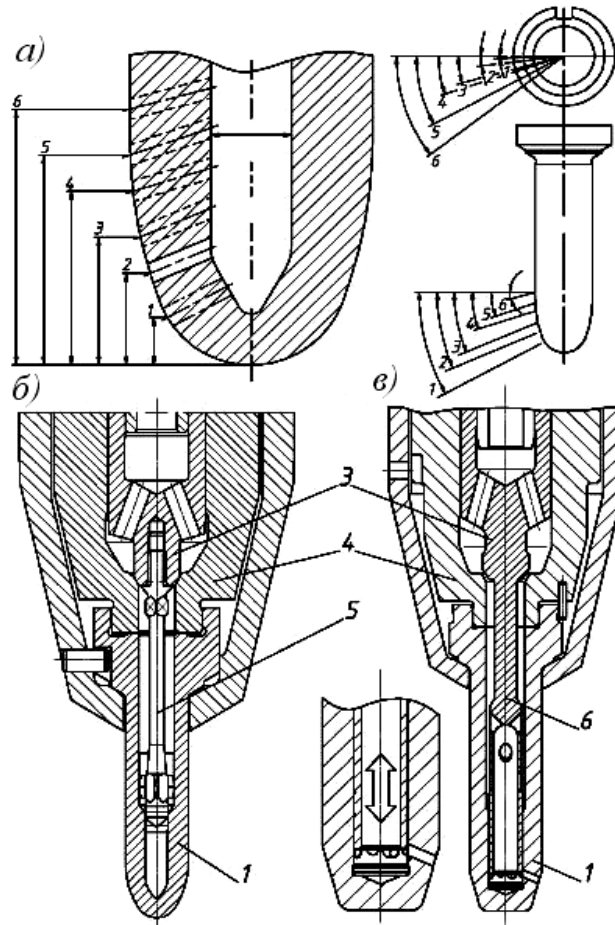


Рис. 2. Разрезы распылителей форсунок малооборотных дизелей:
a – положение сопловых отверстий в наконечнике распылителя;
б – с дополнительной иглой; *в* – с иглой золотникового типа; 1 – сменный сопловый наконечник; 3 – игла; 4 – корпус распылителя; 5 – подвесной клапан; 6 – клапан соплового наконечника

Fig. 2. Nozzles of slow speed engine injectors:
a – position of the nozzle holes in the sprayer tip; *b* – with an additional needle;
c – with a spool-type needle.; 1 – a replaceable nozzle tip; 3 – a needle; 4 – atomizer frame; 5 – a hanging valve; 6 – a nozzle valve

Расход топлива за цикл в мм³/с определим по другой формуле:

$$Q = q_u / \tau. \quad (10)$$

Если известна продолжительность впрыска φ_B в градусах поворота коленчатого вала (30°), частота вращения вала насоса n_n в мин⁻¹, то время впрыска топлива можно найти из выражения [2]:

$$\tau = \frac{\varphi_B}{6 \cdot n_n} = \frac{30}{6 \cdot 127} = 0,039 \text{ с.} \quad (11)$$

Объемный расход топлива через распылитель составит

$$Q = 18500 / 0,039 = 474358 \text{ мм}^3/\text{с}, \text{ откуда} \\ \mu F = Q / g_T = 474358 / 355000 = 1,336 \text{ мм}^2. \quad (12)$$

При коэффициенте расхода μ , равном 0,7 [5], суммарная площадь сопловых отверстий составит 1,908 мм². При числе сопловых отверстий 6 площадь сечения одного сопла F_c будет равна 0,318 мм². Зная площадь соплового отверстия, вычислим его диаметр d_c по формуле [2]:

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot F_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,318}{3,14}} = 0,64 \text{ мм.} \quad (13)$$

Для остальных дизелей MAN B&W S6MC-C расчетные значения d_c приведены в табл. 2.

Параметры насоса высокого давления и форсунок должны обеспечивать минимальный расход топлива [не более 173 г/ (кВт·ч)] и допустимую токсичность отработавших газов. Давление открытия иглы распылителя форсунки принимаем равным 32 ± 1 МПа.

Результаты расчета распылителя дизеля S50MC-C в зависимости от величины перепада давления топлива ΔP представлены в табл. 3. Постоянными по величине были приняты цикловая подача (18 500 мм³), время впрыска топлива (0,039 с), продолжительность впрыска (30⁰), число сопловых отверстий (6), плотность топлива (950 кг/м³), коэффициент расхода топлива (0,7).

Расчет мелкости распыления топлива

К сопловым отверстиям распылителя топливо поступает под высоким давлением (до 100 МПа и более), обеспечивая необходимую мелкость распыливания.

Средний диаметр капель топлива найдем из выражения [6, 7]:

$$d_{cp} = d_c \cdot 2,68 \cdot (\rho_k \cdot We)^{-0,3} \cdot L_p^{-0,073}, \quad (14)$$

где d_c – диаметр отверстия сопла, м; ρ_k – критерий плотности; We – критерий Вебера; L_p – критерий Лапласа.

Оценим диаметр капель топлива для соплового отверстия диаметром 0,64 мм при среднем давлении перед сопловыми отверстиями за впрыск 60 ± 1 МПа. В качестве тяжелого судового топлива принят мазут марки RMA –10 по ГОСТ 32510-2013 с кинематической вязкостью 10 мм²/с при температуре 50⁰С, плотностью 950 кг/м³ при температуре 15⁰С.

Вычислим критерий Вебера, который влияет на мелкость распыливания топлива:

$$We = \frac{g_D^2 \cdot d_c \cdot \rho_T}{\sigma}, \quad (15)$$

где g_D – скорость (действительная) истечения топлива из соплового отверстия, м/с; ρ_T – плотность топлива, кг/м³; σ – коэффициент поверхностного натяжения топлива, Дж/м².

Действительную скорость g_D определяем путем умножения значения теоретической скорости $g_T = 355$ м/с (табл. 3, давление 60 МПа) на коэффициент скорости, равный 0,8.

Подставляя известные значения g_D , d_c , ρ_T , σ в формулу (15), получим:

$$We = 284^2 \cdot 0,00064 \cdot 950 / 0,029 = 1690994.$$

Критерий плотности найдем из выражения

$$\rho_k = \rho_v / \rho_T, \quad (16)$$

где ρ_v – плотность воздуха в цилиндре. При температуре воздуха в процессе впрыска топлива 700 K и давлении в КС 7,0 МПа плотность воздуха с учетом уравнения состояния газа будет равна 34,8 кг/м³. Критерий плотности найдем из выражения

$$\rho_k = 34,8 / 950 = 0,036.$$

На мелкость распыливания топлива влияет критерий Лапласа:

$$L_p = (d_c \cdot \rho_T \cdot \sigma) / \mu_T^2 \quad (17)$$

где μ_T – коэффициент динамической вязкости топлива, Н·с/м². Зная кинематическую вязкость, равную $10 \cdot 10^{-6}$ м²/с, и плотность топлива 950 кг/м³, путем их умножения получим значение $\mu_T = 0,0095$ Н·с/м².

По формуле (17) для $d_c = 0,64$ мм определим критерий Лапласа:

$$L_p = 0,00064 \cdot 950 \cdot 0,029 / (0,0095)^2 = 195.$$

По формуле (14) вычислим средний диаметр капель (d_{cp}) распыленного топлива:

$$d_{cp} = 0,00064 \cdot 2,68 \cdot (0,036 \cdot 1690994)^{-0,3} \cdot 195^{-0,073} = 0,000042 \text{ м или } 42 \text{ мкм.}$$

Для дизеля S50MC-C мощностью для одного цилиндра 1580 кВт в табл. 3 приведены значения среднего диаметра капель распыленного топлива в зависимости от диаметра сопловых отверстий распылителей и давления перед сопловыми отверстиями.

Таблица 3. Результаты расчетного исследования параметров распылителя судового дизеля S50MC-C

Table 3. Calculations of nozzles parameters for S50MC-C series engine

Параметры	Среднее давление топлива перед сопловыми отверстиями ΔP , МПа							
	30	40	50	60	70	80	90	100
Теоретическая скорость истечения топлива v_T , м/с	251	290	324	355	384	410	435	460
Эффективное проходное сечение распылителя μF , мм ²	1,89	1,63	1,46	1,33	1,23	1,15	1,09	1,03
Суммарная площадь отверстий F_{Σ} , мм ²	2,7	2,33	2,08	1,90	1,76	1,64	1,55	1,47
Площадь F_c соплового отверстия, мм ²	0,45	0,39	0,35	0,31	0,29	0,27	0,26	0,24
Диаметр соплового отверстия d_c , мм	0,75	0,7	0,66	0,64	0,6	0,58	0,57	0,55
Средний диаметр распыленного топлива d_{cp} , мкм	49	47	45	42	39	38	37	36

Следует отметить, что данные в табл. 3 получены для постоянного значения цикловой подачи топлива 18500 мм³ и продолжительности впрыска 0,039 с. Для среднего давления топлива перед сопловыми отверстиями, например 30 МПа, определяли по формуле (8) теоретическую скорость истечения топлива через сопловые отверстия, затем по формуле (12) находили эффективное проходное сечение распылителя и далее, по формуле (13), – диаметр сопловых отверстий. По-

вышение давления с 30 до 100 МПа позволило уменьшить диаметры сопловых отверстий с 0,75 до 0,55 мм, при этом снизить средний диаметр распыленного топлива с 49 до 36 мкм. В каналах форсунки топливо нагревается, его вязкость снижается, и диаметр капель будет меньше расчетного значения.

Расчеты показывают, что время пребывания распыленного мазута в камере сгорания малооборотного судового дизеля за период впрыска больше в 5–7 раз, чем в камере сгорания тепловозного дизеля. Поэтому даже более крупные капли топлива у судового дизеля успеют прогреться, испариться, смешаться с кислородом воздуха (21 %), окислиться и самовоспламениться.

Определение периода задержки самовоспламенения топлива в камере сгорания и дальнобойности топливного факела

Факел распыленного топлива, поступившего в КС, воспламеняется с определенным периодом задержки, который представляет собой время τ_i от начала поступления распыленного топлива в КС до момента его самовоспламенения. Основными параметрами, влияющими на τ_i , являются давление P и температура T воздуха в КС. В работе [8] определено влияние температуры в конце такта сжатия на период задержки самовоспламенения топлива.

При расчете периода задержки воспламенения желательно учитывать коэффициент избытка воздуха α и среднюю скорость движения поршня в цилиндре ($\mathcal{G}_n = S \cdot n / 30$).

В работе [9] предложена формула для вычисления величины τ_i :

$$\tau_i = B \cdot \alpha \cdot \mathcal{G}_n^{-x} \cdot P^{-y} \cdot T^{-z}, \quad (18)$$

где $B = 1$; α – коэффициент избытка воздуха; \mathcal{G}_n – средняя скорость поршня (см. табл. 1), м/с; P – давление в цилиндре в момент начала подачи топлива, Н/м²; T – температура воздуха в момент подачи распыленного топлива в КС, К; коэффициенты степени в уравнении (18) $x = 0,75$; $y = 0,24$; $z = 0,27$.

Для $P = 7 \cdot 10^6$ Н/м², $T = 700$ К, $\alpha = 1,6$, $\mathcal{G}_n = 8,5$ м/с, $x = 0,75$, $y = 0,24$, $z = 0,27$ по формуле (18) была рассчитана величина $\tau_i = 0,0012$ с.

Формула (18) с достаточной для практики точностью определяет τ_i для заданных P и T . Более точные значения периода задержки воспламенения оцениваются экспериментальным путем.

Дальнобойность, или длина топливного факела от выхода из сопла распылителя до переднего фронта, вычисляется по формуле [6, 7]:

$$L_\phi = \frac{d_c}{1,2} \left(\frac{\mathcal{G}_D \cdot \tau}{d_c} \right)^{0,5} \cdot \frac{We^{0,105} \cdot M_x^{0,08}}{1,7 \cdot \rho_k^{0,5}}, \quad (19)$$

где d_c – диаметр соплового отверстия, м; \mathcal{G}_D – действительная скорость истечения топлива из сопла, м/с; τ – время пройденного пути факела от распылителя, с; We – критерий Вебера; M_x – Маха; ρ_k – плотности.

При $d_c = 0,64$ мм, $\mathcal{G}_D = 284$ м/с, $\tau = 0,0012$ с, критерии Вебера 1690994, Маха 0,63, плотности $\rho_k = 0,025$ путь, пройденный факелом от сопла распылителя, составит

$$L_\phi = \frac{0,00064}{1,2} \left(\frac{284 \cdot 0,0012}{0,00064} \right)^{0,5} \cdot \frac{1690994^{0,105} \cdot 0,63^{0,08}}{1,7 \cdot 0,025^{0,5}} = 0,20 \text{ м.} \quad (20)$$

Расчеты показывают, что за время 0,0012 с топливо, поданное в КС, прогреется, испарится, смешается с кислородом воздуха, окислится и самовоспламенится. За данное время факел распыленного топлива пройдет путь 0,20 м, см. (20). Путь топливного факела следует согласовывать с размерами КС, при необходимости он может быть изменен величиной диаметра сопловых отверстий или давления топлива [8]. Время пройденного пути топливным факелом от сопловых отверстий до стенок КС должно быть примерно равно времени задержки самовоспламенения топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Приведена методика и выполнен расчет цикловой подачи топлива, плунжерных пар насосов высокого давления и сопловых отверстий распылителей форсунок для малооборотных судовых двухтактных дизелей семейства MAN B&W с цилиндровой мощностью от 1310 до 4880 кВт. На режиме номинальной мощности цикловая подача достигает значения от 31 до 188 см³, диаметр плунжера – от 44 до 80 мм, диаметр сопловых отверстий – от 0,58 до 1,1 мм.

2. Для судового дизеля MAN B&W 6S50MC с постоянной цикловой подачей топлива 18500 мм³ и продолжительностью впрыска, равной 0,039 с, повышение среднего давления перед сопловыми отверстиями с 30 до 100 МПа позволит уменьшить диаметры сопловых отверстий с 0,75 до 0,55 мм, при этом снизить средний диаметр распыленного топлива с 49 до 36 мкм.

3. Расчетным путем определены дальнобойность факела при впрыске топлива и период задержки самовоспламенения факела. Время задержки самовоспламенения топливного факела должно быть примерно равно времени пройденного пути топливным факелом от соплового отверстия до стенки камеры сгорания.

4. Приведенная методика расчета подачи топлива, размеров плунжерной пары насоса высокого давления, диаметра сопловых отверстий распылителя форсунок, мелкости распыливания топлива, длины топливного факела, периода задержки самовоспламенения может быть полезна при совершенствовании и разработке новых конструкций топливной аппаратуры судовых дизелей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Конкс, Г. А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта: учеб. пособие / Г. А. Конкс, В. А. Лашко. – Москва: Машиностроение, 2005. – 512 с.

2. Макушев, Ю. П. Системы подачи топлива и воздуха дизелей: учеб. пособие / Ю. П. Макушев, А. П. Жигадло, Л. Ю. Волкова. – Омск: СибАДИ, 2017. – 208 с.

3. Балакин, В. И. Топливная аппаратура быстроходных дизелей / В. И. Балакин, А. Ф. Еремеев, Б. Н. Семенов. – Ленинград: Машиностроение, 1967. – 299 с.

4. Макушев, Ю. П. Расчет основных параметров судового двухтактного крейцкопфного дизеля MAN B&W 6S60MC-C / Ю. П. Макушев, Л. Ю. Волкова // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы,

перспективы, инновации. Сборник материалов IV Междунар. научно-практич. конф. (28–29 нояб. 2019 г.): тр. – Омск: СибАДИ, 2019. – С. 116–123.

5. Трусов, В. И. Форсунки автотракторных дизелей / В. И. Трусов, В. П. Дмитриенко, Г. Д. Масляный. – Москва: Машиностроение, 1977. – 167 с.

6. Макушев, Ю. П. Конструктивные особенности систем подачи топлива современных дизелей: учеб. пособие / Ю. П. Макушев, А. П. Жигadlo, Л. Ю. Волкова. – Омск: СибАДИ, 2020. – 202 с.

7. Лышевский, А. С. Распыливание топлива в судовых двигателях / А. С. Лышевский. – Ленинград: Судостроение, 1971. – 200 с.

8. Волкова, Л. Ю. Совершенствование диагностирования технического состояния форсунок тепловозных дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22. 07 / Волкова Лариса Юрьевна, Омск, 2014. – 19 с.

9. Гаврилов, А. А. Продолжительность задержки воспламенения топливовоздушной смеси в поршневых двигателях / А. А. Гаврилов, А. Н. Гоц // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 6, ч. 4. – С. 703–708.

REFERENCES

1. Konks G. A., Lashko V. A. *Mirovye sudovoe dizelestroenie. Kontseptsii konstruirovaniya, analiz mezhdunarodnogo opyta: uchebnoe posobie* [World marine diesel construction. Design concepts, analysis of international experience: textbook]. Moscow, Mashinostroenie, 2005, 512 p.

2. Makushev Yu. P., Zhigadlo A. P., Volkova L. Yu. *Sistemy podachi topliva i vozdukha dizeley: uchebnoe posobie* [Fuel and air supply systems for diesel engines: textbook]. Omsk, SibADI, 2017, 208 p.

3. Balakin V. I., Ereemeev A. F., Semenov B. N. *Toplivnaya apparatura bystrokhodnykh dizeley* [Fuel equipment of high-speed diesels]. Leningrad, Mashinostroenie, 1967, 299 p.

4. Makushev Yu. P., Volkova L. Yu. Raschet osnovnykh parametrov sudovogo dvukhtaktnogo krejtskopfnogo dizelya MAN B&W 6S60MC-C [Calculation of the main parameters of the ship two-stroke crosshead diesel engine MAN B&W 6S60MC-C]. *Trudy IV Mezhdunar. nauchno-praktich. konf. "Arkhitekturno-stroitel'nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii"* [Proceedings of the IV Intern. scientific and practical. conf. "Architectural and construction and road transport complexes: problems, prospects, innovations"]. Omsk, SibADI, 2019, pp. 116–123.

5. Trusov V. I., Dmitrienko V. P., Maslyanyy G. D. *Forsunki avtotraktornykh dizeley* [Injectors of automotive diesel engines]. Moscow, Mashinostroenie, 1977, 167 p.

6. Makushev Yu. P., Zhigadlo A. P., Volkova L. Yu. *Konstruktivnye osobennosti sistem podachi topliva sovremennykh dizeley: uchebnoe posobie* [Design features of fuel supply systems of modern diesel engines: textbook]. Omsk, SibADI, 2020, 202 p.

7. Lyshevskiy A. S. *Raspylivanie topliva v sudovykh dvigatelyakh* [Fuel atomization in ship engines]. Leningrad, Sudostroenie, 1971, 200 p.

8. Volkova L. Yu. *Sovershenstvovanie diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya forsunok teplovoznnykh dizeley. Avtoreferat. diss. kand. tekhn. nauk* [Improving

the diagnosis of the technical condition of diesel locomotives engines injectors. Abstract of dis. cand. sci.]. Omsk, 2014, 19 p.

9. Gavrilov A. A., Gots A. N. Prodolzhitel'nost' zaderzhki vosplamneniya top-livo-vozdushnoy smesi v porshnevnykh dvigatelyakh [Duration of the ignition delay of the fuel-air mixture in piston engines]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2014, no. 6, part 4, pp. 703–708.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Волкова Лариса Юрьевна – Калининградский государственный технический университет; кандидат технических наук, доцент кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики;
E-mail: volkova0969@mail.ru

Volkova Larisa Yurievna – Kaliningrad State Technical University; PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Ship power plants and heat power engineering; E-mail: volkova0969@mail.ru

Дорош Кирилл Сергеевич – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики; E-mail: kirill.dorosh@klgtu.ru

Dorosh Kirill Sergeevich – Kaliningrad State Technical University; post-graduate student; Department of Ship power plants and heat power engineering;
E-mail: kirill.dorosh@klgtu.ru

Закиров Сарвар Рифатович – Калининградский государственный технический университет; аспирант кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики; E-mail: kirill.dorosh@klgtu.ru

Zakirov Sarvar Rifatovich – Kaliningrad State Technical University; post-graduate student; Department of Ship power plants and heat power engineering;
E-mail: kirill.dorosh@klgtu.ru

Мишин Олег Дмитриевич – АО «Прибалтийский судостроительный завод “Янтарь”»; кандидат педагогических наук, доцент;
E-mail: odm61@yandex.ru

Mishin Oleg Dmitrievich – “YANTAR shipyard” joint-stock company; PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor; E-mail: odm61@yandex

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

Общие требования

Журнал публикует оригинальные неопубликованные ранее статьи, удовлетворяющие критериям высокого научного качества по научным направлениям: естественно-научные и математические, биологические и сельскохозяйственные, технические, экономические науки, промышленное рыболовство. Срок сдачи статей в редакцию – за два месяца до выхода журнала «в свет», график выхода: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября. Все присланные статьи проходят проверку системой «Антиплагиат».

В редакцию журнала авторы представляют:

– **распечатку рукописи**, подписанную всеми авторами, и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта;

– **внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** (на стандартном бланке), заверенную подписью и печатью ученого секретаря со словами: «Подпись рецензента такого-то заверяю, должность заверяющего, фамилия, роспись, число». Бланк рецензии можно скачать на сайте университета в разделе «Наука и инновации – Научный журнал». Рецензент должен являться признанным специалистом по тематике рецензируемого материала и иметь в течение последних трех лет публикации по тематике рецензируемой статьи;

– **экспертное заключение** с печатью о степени секретности сведений, содержащихся в статье (иностранцы могут выслать электронной почтой).

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

Объем статьи

Объем статьи составляет от восьми до четырнадцати страниц текста, включая рисунки, таблицы и список литературы.

Структура статьи

– **Введение** (состояние проблемы, задачи исследования) по центру, прописными буквами, кегль 12, шрифт не жирный;

– **Основная часть** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание;

– **Заключение** (выводы – прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

Составные части статьи и порядок их следования

1. **Индекс** по универсальной десятичной классификации (УДК) размещается в левом верхнем углу без отступа (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

2. Через один интервал по центру – **название статьи** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный).

3. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов)** (кегель 12, шрифт обычный).

4. Через один интервал по центру – **название статьи на английском языке** (прописными буквами, кегль 12, шрифт нежирный).

5. Через один интервал по центру – **инициалы и фамилия(и) автора(ов) на английском языке** (кегель 12, шрифт нежирный).

6. Через два интервала с отступом Tab. 1,27 – **аннотация** (кегель 12, шрифт обычный, не курсив слово «Аннотация» не указывается).

Рекомендуемый объем аннотации 200–250 слов. Запрещается использовать дословный текст из статьи во избежание повторов, название работы, а также таблицы, графики и внутритекстовые ссылки. В начале не повторяется название статьи, аннотация не разбивается на абзацы. Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. Следует избегать использования вводных слов и оборотов, лишних вводных фраз, например, «автор статьи рассматривает...», не нужно подчеркивать личный вклад автора. Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в аннотации не приводятся. В тексте аннотации следует применять значимые слова из текста статьи, избегать сложных грамматических конструкций. Вводная часть минимальна, место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит конкретные сведения (выводы, рекомендации и т.п.). Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2-3 слов заменяют на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в 1-й раз дается полностью, сокращение – в скобках, далее используется только сокращение). Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры (например, названий учреждений) без расшифровки и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Значения t° обозначать как «град. С», в английском варианте – как «deg С».

7. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова** со строчной, через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

8. Через два интервала с отступом 1,27 – **аннотация на английском языке** (кегель 12, обычный, слово «Аннотация» не указывается).

Недопустимо использование машинного перевода, вместо десятичной запятой используется точка. Все русские аббревиатуры передаются в расшифрованном виде, если у них нет устойчивых аналогов в английском языке (допускается: ВТО – WTO, ФАО – FAO и т.п.). Безличные конструкции переводятся с использованием пассива.

9. С новой строки с отступом Tab. 1,27 – **ключевые слова на английском языке** со строчной через запятую (кегель 12, шрифт обычный, курсив, фраза «Ключевые слова» не указывается, точка в конце не ставится).

10. Через два интервала с отступом – **текст статьи** (кегель 12), включающий в себя обязательные структурные элементы (см. Структура статьи). **Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы.**

11. Через два интервала после текста статьи по центру **список использованных литературных источников** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Список литературы в научных публикациях обязателен (оформляется по ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления», ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Правила составления»). Список литературы должен содержать все цитируемые и упоминаемые в тексте работы. В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в тексте. Источники в списке литературы нумеруются и располагаются в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования). Для размещения статьи в международной базе Agris (по рекомендации редактора рубрики) требуется не менее семи источников, среди них должны быть зарубежные авторы.

Образцы оформления списка использованных литературных источников:

Монография

1. Агеев, В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: моногр. / В. В. Агеев. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 106 с.

2. Бухановский, А. В. Моделирование нелинейных систем в сложных динамических средах: моногр. / А. В. Бухановский, С. В. Иванов, Ю. И. Нечаев. – Санкт-Петербург: Издательский центр НИУ ИТМО, 2013. – 263 с.

Книга

Книги одного-трех авторов

1. Розенштейн, М. М. Методы оптимизации проектных характеристик орудий рыболовства: моногр. / М. М. Розенштейн. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – 185 с.

2. Новикова, А. М. Универсальный экономический словарь / А. М. Новикова, Н. Е. Новиков, К. А. Погосов. – Москва: Экономика, 1995. – 135 с.

Книги более трех авторов

Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др]. – Санкт-Петербург: Питер, 1996. – 496 с.

Книги, не имеющие индивидуальных авторов (под редакцией)

Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. – 2-е изд., доп. – Москва: Высшая школа, 1995. – 347 с.

Статья в журнале

1. Толкачева, О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов / О. В. Толкачева, Б. Л. Нехамкин, В. И. Шендерюк // Рыбная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 14–16.

2. Байдалинова, Л. С. Перспективы использования растительных антиоксидантов для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот / Л. С. Байдалинова, С. В. Андропова // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2013. – № 29. – С. 74–80.

Статья в электронном журнале

1. Белоус, Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе / Н. А. Белоус // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. – 2006. – № 4 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm (дата обращения: 15.12.2007).

2. Орехов, С. И. Гипертекстовый способ организации виртуальной реальности / С.И. Орехов // Вестник Омского государственного педагогического университета: электронный научный журнал. – 2006 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgpu-21.pdf> (дата обращения: 10.01.2007).

Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева, Е. В. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) / Е. В. Авдеева, Е. Б. Евдокимова, С. К. Заостровцева // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. – Казань, 2013. – С. 52–56.

2. Александров, Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов / Ю. П. Александров // Инновации в науке, образовании и бизнесе – 2013: XI Междунар. научн. конф. (25-27 сент.): тр.: к 100-летию высш. рыбохоз. образования в России: в 2 ч. / Федер. Агентство по рыболовству; ФГБОУ ВПО «КГТУ». – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. – Ч. 2. – С. 29–32.

Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов, Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Данилов Геннадий Петрович; МАИ. – Москва, 1999. – 138 с.

2. Манилов А. В. Кто виноват?: автореф. дис. ... канд. юрид. наук: 05.13.10 / Манилов Алексей Владимирович; МЮИ. – Москва, 1999. – 16 с.

Переводная книга

1. Себехей, В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / В. Себехей: пер. с англ. / под ред. Г. Н. Дубошина. – Москва: Наука, 1982. – 656 с. [Victor G. Szebehely. Theory of Orbits: the Restricted Problem of Three Bodies. New York: Academic Press, 1967].

2. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт: пер. с англ. – Москва: Вильямс, 2006. – 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. – 1024 p.].

Патентные документы

Трехфазный асинхронный электрический двигатель: пат. Рос. Федерация / Беляев Е. Ф., Ташкинов А. А., Цылев П. Н. – № 2011138279/07; заявл. 16.09.11; опубл. 27.03.13. Бюл. № 9. – 10 с.

Стандарты

ГОСТ Р 57618.1–2017. Инфраструктура маломерного флота. Общие положения : нац. стандарт Российской Федерации : изд. офиц. : утв. и введен в действие Приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 17 авг. 2017 г. № 914-ст : введ. впервые : дата введ. 2018-01-01 / разраб. ООО «Техречсервис». – М.: Стандартиформ, 2017. – IV, 7 с.

Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7], [1, 18, 25]. Если в тексте есть прямая цитата, заключенная в кавычки, то обязательно должна быть указана страница, на которой эта цитата находится в цитируемом источнике. Например: [7, с. 28]. **Ссылки на неопубликованные работы и работы, находящиеся в печати, не допускаются.**

12. Через строку по центру – список литературы на латинице (должен быть озаглавлен – **references**, прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Транслитерировать список литературы можно автоматически, зайдя на сайт <http://translit-online.ru/> и настроив перевод: *ë* → *yo*; *й* → *y*; *х* → *всегда kh*; *ц* → *ts*; *ш* → *shch*; *э* → *e* (транслитерируют только после оформления списка по образцу).

Образцы оформления ссылок:

Монография, книга

1. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Diet and food relations of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Pishchepromizdat Publ., 1952, 268 p.

2. Latyshev V. N. *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friksionnye protsessy pri rezanii metallov* [Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting]. Ivanovo, Ivanovskiy Gos. Univ., 2009.

Статья в журнале

1. Zagurenko A. G., Korotovskikh V. A., Kolesnikov A. A., Timonov A. V., Kardymon D.V. Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizayna gidrorazryva plasta [Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

2. Sokolov L. I. Pitaniye sibirskogo osetra *Acipenser baerii* Brandt r. Leny [Diet of the Siberian sturgeon of the river Lena]. *Voprosy ikhtiologii*, 1966, vol. 6, iss. 3 (40), pp. 550–560.

Статья в электронном журнале

Ivanova A. E. Problemy smernosti v regionakh Tsentral'nogo federal'nogo okruga [Problems of mortality in regions of the Central Federal Okrug]. *Sotsial'nye aspekty zdorov'ya naseleniya*, 2008, no. 2, available at: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/54/30/> (Accessed 19 September 2008).

Статья, опубликованная в материалах конференций

Usmanov T. S., Gusmanov A. A., Mullagalin I. Z., Muhametshina R. Ju., Chervyakova A. N., Sveshnikov A. V. Osobennosti proektirovaniya razrabotki

mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta [Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma "Novye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi"* [Proc. 6th Int. Technol. Symp. "New Energy Saving Subsoil Technologies and the Increasing of the Oil and Gas Impact"]. Moscow, 2007, pp. 267–272.

Диссертация и автореферат

1. Turkovskaia O. V. *Biologicheskie i tekhnologicheskie aspekty mikrobnoy ochistki stochnykh vod i prirodnykh ob"ektov ot poverkhnostno-aktivnykh veshchestv i nefteproduktov. Diss. dokt. biol. nauk* [Biological and technical aspects of microbial purification of sewage and nature objects from surface-active substances and oil products. Dis. dr. biol. sci.]. Saint-Petersburg, 2000, 360 p.

2. Dolganova N. V. *Razrabotka ekologicheskoi chistykh tekhnologiy belkovykh kormovykh produktov na osnove vtorichnykh resursov. Avtoreferat diss. dokt. tekhn. nauk* [Development of ecological pure technologies of protein feeding products on the basis of water resources. Abstract of dis. dr. sci.]. Saratov, 1997, 54 p.

Переводная книга

Timoshenko S. P., Yound D. H., Weaver W. *Vibration problems in engineering*. 4th ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

Патентные документы

Belyaev E. F., Tashkinov A. A., Tsylev P. N. *Trekhfaznyy asinkhronnyy elektricheskiy dvigatel'* [Three-phase asynchronous electric motor]. Patent RF, no. 2011138279/07, 2013.

Стандарты

State Standard 8.586.5–2005. Method of measurement. Measurement of flow rate and volume of liquids and gases by means of orifice devices. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 10 p. (In Russian).

13. Через два интервала по центру – **информация об авторе(ах)** (прописными буквами, кегль 12, шрифт обычный). Через интервал по центру дается следующая информация: *Фамилия, имя, отчество автора (курсивом)*, далее прямой шрифт – место работы (аббревиатуру расшифровать) и город; научная степень, ученое звание; должность; E-mail (для всех данных кегль 12, точка в конце не ставится); телефон (лучше мобильный, остаётся в редакции, нужен на случай, если у редактора возникнут вопросы по тексту). Через интервал по центру информация дублируется на английском языке.

Образец:

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Петров Иван Иванович – Калининградский государственный технический университет; доктор технических наук, профессор; зав. кафедрой пищевых и холодильных машин; E-mail: petrov@mail.ru; тел. 8(905)31-33-456

Petrov Ivan Ivanovich – Kaliningrad State Technical University; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Food and Refrigeration Machines;
E-mail: petrov@mail.ru

Кужлева Елизавета Петровна – Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (г. Калининград); аспирант кафедры машиноведения и технических систем; E-mail: roza@bk.ru; тел. 8(952)31-39-654

Kuzhleva Elizaveta Petrovna – Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad); Post-graduate student; Department of Engineering Science and Technical Systems;
E-mail: roza@bk.ru

Правила оформления рукописей

- формат бумаги: А4;
- ориентация: книжная;
- поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см;
- гарнитура шрифта: Times New Roman;
- кегль – 12;
- абзац с отступом Tab. 1,27;
- межстрочный интервал – одинарный;
- при наборе текста:

- не допускается: применять стили при формировании текста; вносить изменения в шаблон или создавать свой для формирования текста; ставить пробелы перед знаками препинания; применять любые разрядки слов;

- необходимо: слова внутри абзаца разделять одним пробелом; набирать текст без принудительных переносов; установить автоматическую расстановку переносов (путь: меню СЕРВИС → подменю ЯЗЫК → пункт РАССТАНОВКА ПЕРЕНОСОВ → поставить галочку в открывшемся окне «автоматическая расстановка переносов»).

Таблицы, в зависимости от ее размера, помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа, при этом нумеруют арабскими цифрами графы и строки первой части таблицы. Слово «Таблица» указывают один раз слева (без отступа) над первой частью таблицы, после номера ставят точку, следом с прописной идет название таблицы, точку в конце не ставят; над другими частями пишут: «Продолжение таблицы» (оформить как положено), с указанием номера таблицы. Таблица должна быть вставлена автоматически (через «Таблица: Добавить таблицу»). Название таблицы дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Таблица 1. Table 1.).

Рисунки. Допускаются только черно-белые четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные (сканированные необходимо распечатывать на лазерном или струйном принтере). Рисунки могут быть введены в текст статьи или выполнены в виде отдельных графических файлов. В последнем случае необходимо указать место расположения рисунка, написав на полях рукописи после абзаца, в котором он впервые упоминается: Рис. 1. и т. д. Все рисунки должны быть пронумерованы (Рис. 1. и т. д.) и иметь подрисуночные

подписи. Номер рисунка и подрисовочная подпись располагаются под рисунком. Название рисунка дублируют на английском языке под русским названием, и наоборот, если статья на английском языке (Рис. 1. Fig. 1.). Точка в конце подрисовочной подписи не ставится.

Все обозначения на рисунке должны соответствовать обозначениям в тексте. Фотографии должны быть сделаны с хорошего негатива контрастной печатью. Ссылки на все рисунки в тексте обязательны. Ширина рисунка не должна быть больше ширины полосы набора текста.

Если в статье один рисунок или одна таблица, они не нумеруются.

Не допускается заканчивать статью рисунком или таблицей.

Все рисунки и таблицы должны быть расположены по центру полосы набора.

Формулы. Все формулы набираются в формульном редакторе, нумеруются, на них должны быть ссылки в тексте в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой после ссылки с отступом два Тав. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается вправо. При наборе формул рекомендуется использовать следующие кегли шрифтов: основной – 11; крупный индекс – 7; мелкий индекс – 5; крупный символ – 14; мелкий символ – 10. Гарнитура шрифта Times New Roman. Для набора математических формул используют буквы латинского алфавита (светлый курсив), греческого алфавита (светлый прямой шрифт) и готический шрифт (светлый прямой). Индексы формул, обозначенные буквами латинского алфавита, набирают курсивом (m_i – масса i -го элемента), а обозначенные буквами русского алфавита – прямым шрифтом (l_p – длина разбега; $V_{\text{пос}}$ посадочная скорость). Сокращенные обозначения физических величин и единиц измерения (кВт, Ф/м, W/m) – светлым прямым без точек. Числа и дроби в формулах должны быть набраны светлым прямым шрифтом. Прямым шрифтом набирают также некоторые математические обозначения (sin, tg; max, min; const; log, det, exp и т. д.). Векторные величины следует обозначать жирным курсивом, а не надсимвольной чертой: e не \bar{e} . Перенос в формулах допускается делать в первую очередь на знаках (=, », <, > и др.), во вторую очередь – на отточии (...), на знаках сложения и вычитания (+, –), в последнюю – на знаке умножения в виде крестика (\times). Перенос на знаке деления не допускается. Математический знак, на котором разрывается формула при переносе, обязательно должен быть повторен в начале второй строки. При переносе формул нельзя отделять выражения, содержащиеся под знаком интеграла, логарифма, суммы, произведения, от самих знаков. Небольшие формулы, не имеющие самостоятельного значения, набираются внутри строк текста. Наиболее важные формулы, все нумерованные формулы, а также длинные и громоздкие формулы, содержащие знаки суммирования, произведения и т. п., набирают отдельными строками. Отбивка до и после строки с формулой в этом случае – 6 пунктов. Вместо выражения вида $\frac{a}{b}$ рекомендуется писать a/b. Отдельные элементы математических формул, вынесенные в текст, набираются по приведенным выше правилам (прямой шрифт в формуле – прямой шрифт в тексте, курсив в формуле – курсив в тексте).

Химические символы (Ag, Cu) набирают прямым шрифтом. Для набора рекомендуется использовать редактор Chem Window.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ по ГОСТ 8.417-2002. ГСИ. Единицы величин.

Все аббревиатуры в тексте должны быть расшифрованы. Разрешаются лишь общепринятые сокращения названий мер, физических, химических и математических величин.

Электронный вариант материалов

Текст статьи, рефераты, ключевые слова и сведения об авторе(ах) размещаются в одном файле. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла *.doc). Для передачи информации подойдут любые электронные носители.

Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи.

Статьи, не соответствующие вышеперечисленным требованиям, могут быть возвращены автору(ам) для доработки.

Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются.

Публикации статей бесплатные. Рукописи статей сотрудников ФГБОУ ВПО «КГТУ» направляются в редакционную коллегию журнала по рекомендациям научно-методических семинаров кафедр. Все статьи проходят обязательное внешнее или внутреннее рецензирование. Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи. Статьи публикуются на русском или английском языке. Страницы не нумеровать.

Адрес редакции:

236022, г. Калининград, Советский проспект, 1,
Калининградский государственный технический университет

Тел. (4012) 99-59-74

E-mail: svetlana.suprunova@klgtu.ru

<http://klgtu.ru/science/magazine/index.php>

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-47915 от 22.12.2011 г.

Подписной индекс 83871 в Объединенном каталоге «Пресса России»,
цена свободная

Редакторы: Г. А. Смирнова, С. В. Супрунова

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Лицензия № 05609 от 14.08.2001
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «КГТУ»
236022, г. Калининград, Советский проспект, 1
Подписано в печать 27.01.2022. Выход в свет 01.02.2022. Формат 60 x 88 (1/8)
Печ. л. 19,5. Уч.-изд. л. 12,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 1