

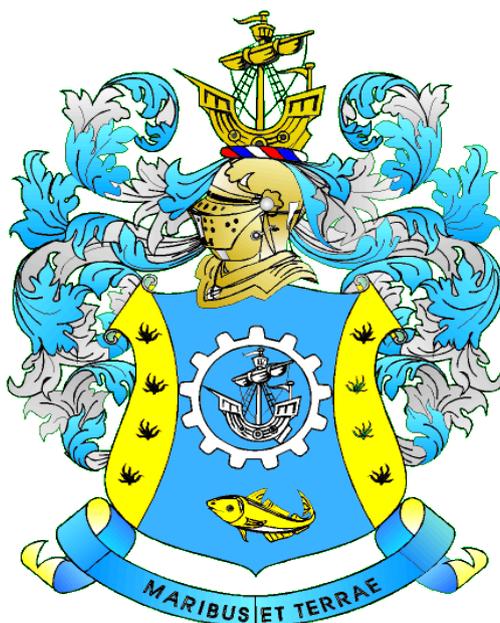
# ИЗВЕСТИЯ КГТУ

2025

№ 76

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**

«Известия КГТУ»  
Учредитель: ФГБОУ ВО  
«Калининградский государственный  
технический университет»

Научный журнал  
Основан в 2002 г.

**Редакционная коллегия:**

*Главный редактор:* Н. А. Кострикова, канд. физ.-мат. наук, доц., проректор по научной работе;

*Заместитель главного редактора:* В. А. Наумов, д-р техн. наук, проф. кафедры техносферной безопасности и природообустройства.

**Члены редакционной коллегии:**

*О. В. Агеев*, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры инжиниринга технологического оборудования, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*И. С. Александров*, д-р техн. наук, доц., директор Института морских технологий, энергетики и строительства, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

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

*О. А. Анциферова*, д-р с.-х. наук, доц., проф. кафедры агрономии и агроэкологии, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*А. Г. Архипов*, д-р биол. наук, доц., научный координатор, Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), г. Калининград, Россия;

*О. О. Бабич*, д-р техн. наук, доц., директор Института живых систем, Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

*А. С. Баркова*, д-р вет. наук, доц., заведующая кафедрой производства и экспертизы качества сельскохозяйственной продукции, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*О. М. Бедарева*, д-р биол. наук, проф., заведующая кафедрой агрономии и агроэкологии, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*В. Ф. Белей*, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой энергетики, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*В. В. Брюханов*, д-р физ.-мат. наук, проф., ведущий научный сотрудник НОЦ «Фундаментальная и прикладная фотоника. Нанопотоника», Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

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

*Н. Л. Великанов*, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой судостроения, судоремонта и морской техники, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*В. В. Верхотуров*, д-р биол. наук, проф., директор Института агроинженерии и пищевых систем, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*А. А. Герасимов*, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры строительства, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*В. И. Гнатюк*, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры энергетике, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*Е. М. Грамузов*, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры кораблестроения и авиационной техники, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Россия;

*В. В. Дорофеева*, д-р экон. наук, проф., заведующая кафедрой менеджмента, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*Л. С. Дышлок*, д-р техн. наук, доц., старший научный сотрудник, Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

*С. В. Дятченко*, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры судостроения, судоремонта и морской техники, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*А. В. Иванов*, д-р экон. наук, проф., проф. кафедры менеджмента, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*И. П. Корнева*, канд. техн. наук, доц., проф. кафедры физики, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*О. В. Кригер*, д-р техн. наук, доц., проф. Института живых систем, Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

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

*С. Н. Лябзина*, д-р биол. наук, доц., проф. кафедры зоологии и экологии, Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия;

*О. Я. Мезенова*, д-р техн. наук, проф., заведующая кафедрой пищевой биотехнологии, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*А. Г. Мнацаканян*, д-р экон. наук, проф., директор Института отраслевой экономики и управления, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*А. Б. Муромцев*, д-р вет. наук, проф., Калининградский институт переподготовки кадров агробизнеса, г. Калининград, Россия;

*Е. Н. Науменко*, д-р биол. наук, доц., проф. кафедры водных биоресурсов и аквакультуры, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*Никитас Никитакос*, проф., Морская академия, г. Шарджа, Объединенные Арабские Эмираты;

*В. А. Панфилов*, акад. РАН, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, г. Москва, Россия;

*А. И. Притыкин*, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры строительства, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*Л. И. Сергеев*, д-р экон. наук, проф., заведующий кафедрой экономической теории и инструментальных методов, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*Н. Я. Синявский*, д-р физ.-мат. наук, проф., заведующий кафедрой физики, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*В. А. Слежкин*, канд. хим. наук, доц., доц. кафедры химии, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*А. В. Снытников*, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры прикладной информатики, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*Т. Е. Степанова*, д-р экон. наук, проф., заведующая кафедрой экономической безопасности, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*С. В. Супрунова*, выпускающий редактор;

*В. И. Сутырин*, д-р техн. наук, доц., проф. образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий», Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия;

*О. Я. Тимофеев*, д-р техн. наук, проф., декан факультета кораблестроения и океанотехники, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, г. Санкт-Петербург, Россия;

*Е. В. Ульрих*, д-р техн. наук, доц., заместитель директора Института агроинженерии и пищевых систем по научной и международной деятельности, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*С. В. Федоров*, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой теории механизмов и машин и деталей машин, Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;

*А. В. Юров*, д-р физ.-мат. наук, проф., директор образовательно-научного кластера «Институт высоких технологий», Балтийский федеральный университет имени И. Канта, г. Калининград, Россия.

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](http://www.klgtu.ru); E-mail: [svetlana.suprunova@klgtu.ru](mailto:svetlana.suprunova@klgtu.ru)

© ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», 2025



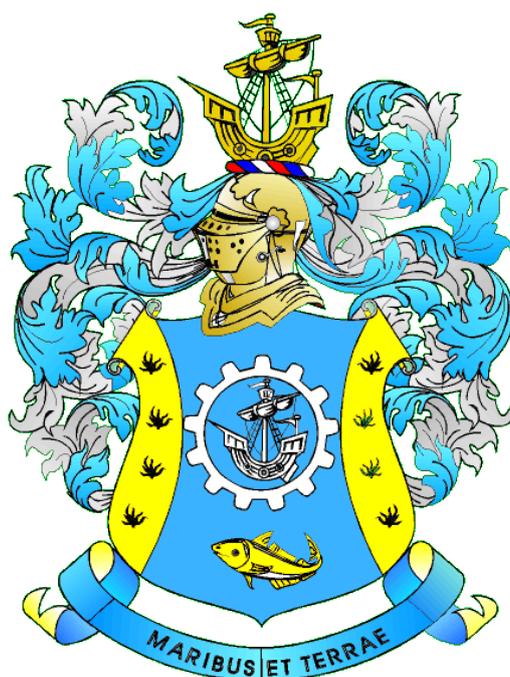
# KSTU NEWS

2025

№ 76

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>Овчарук А. С., Судник С. А.</i> Некоторые данные по биологии краба <i>Rhithropanopeus harrisi</i> (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) Азовского моря летом 2011 г. ....	11
<i>Полунина Ю. Ю., Шартон А. Ю.</i> Распределение летнего зоопланктона юго-восточной части Балтийского моря в 2018 и 2022 гг. в разных слоях воды .....	25
<i>Ромашова Ю. А., Дельмухаметов А. Б.</i> Совместное выращивание австралийского красноклешневого рака и микроводорослей в аквапонной установке .....	38

### **Техника и технология пищевых производств**

<i>Воробьев В. И., Нижникова Е. В.</i> Получение молочного желе с коллагенсодержащей добавкой из рыбьей чешуи .....	55
<i>Лемешко В. Д., Воротников Б. Ю.</i> «Янтарные» напитки в регуляции функционального состояния организма человека .....	64
<i>Федорова О. С., Ключко Н. Ю.</i> Исследования по совершенствованию рецептуры мягкого сыра повышенной биологической ценности остеотропной направленности .....	74

### **Судостроение, машиностроение и энергетика**

<i>Сынашенко О. В., Синявский Н. Я., Кострикова Н. А.</i> Исследование изменения физико-химических характеристик судовых моторных масел в процессе обработки .....	91
--	----

CONTENT

***Biology, ecology and fisheries***

- Ovcharuk A. S., Sudnik S. A.* Some data on the biology of the crab *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) of the Azov Sea in summer 2011 ..... 11
- Polunina Yu. Yu., Sharton A. Yu.* Distribution of summer zooplankton in the south-eastern Baltic Sea in 2018 and 2022 years in different water layers .... 25
- Romashova Yu. A., Delmukhametov A. B.* Joint cultivation of Australian red-clawed crayfish and microgreens in aquaponic installation ..... 38

***Processes and technology of food manufacturing***

- Vorobiev V. I., Nizhnikova E. V.* Preparation of milk jelly with collagen-containing additive from fish scales ..... 55
- Lemeshko V. D., Vorotnikov B. Yu.* «Amber» drinks in the regulation of the functional state of the human body ..... 64
- Fedorova O. S., Klyuchko N. Yu.* Study on the improvement of the recipe for soft cheese with increased biological value and osteotropic orientation ..... 74

***Shipbuilding, machine manufacturing and power engineering***

- Synashenko O. V., Sinyavsky N. Ya., Kostrikova N. A.* Study of changes in physical and chemical characteristics of marine engine oils in the process of used ..... 91

# **БИОЛОГИЯ, ЭКОЛОГИЯ И РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО**



Научная статья

УДК 595.384.2 : 574.2 : 574.5

DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-11-24

**Некоторые данные по биологии краба *Rhithropanopeus harrisii* (Gould, 1841)  
(Brachyura: Panopeidae) Азовского моря летом 2011 г.**

Анастасия Сергеевна Овчарук<sup>1</sup>, Светлана Александровна Судник<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>arveyzer@mail.ru

<sup>2</sup>svetlana.sudnik@kigtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3409-4634>

**Аннотация.** В работе приводятся данные по половому составу, размерам, массе тела и весовому росту особей краба Харриса (*Rhithropanopeus harrisii*). Применение оригинальной методики морфометрии, созданной для вида *R. harrisii*, позволило составить базу биометрического паспорта вида из Таманского залива. Оценка особенностей биологии показала доминирование в пробе самцов (в 3,4 раза, ювенильных особей не встречено), что может быть следствием особенностей сбора материала или свидетельствовать о нестабильности условий среды обитания крабов, в том числе недостаточной обеспеченности пищей; длина карапакса особей составила 6,2–15,1 мм, его ширина – 7,7–26,3 мм. Максимальные и средние размеры самок оказались меньше в 1,3 и 1,7 раз соответственно. Впервые описаны особенности полового диморфизма вида по размерам частей экзоскелета (карапакса, абдомена, клешней клешненосных и мерусов ходильных ног), у самцов они, как правило, были крупнее на 9–45 % (исключение – ширина четвертого сегмента абдомена у самок была больше на 28 %). Получены новые черты морфологии вида: у особей обоих полов правая клешня оказалась на 7–16 % крупнее левой. Индивидуальная масса тела крабов в целом составила 0,17–3,83 г, при этом у самцов она была больше, чем у самок в среднем на 63 %. Оценена размерно-весовая зависимость: весовой рост и самцов, и самок несколько опережал их линейный рост. Даны рекомендации по измерениям сегментов абдомена крабов при оценке его ширины.

**Ключевые слова:** *Rhithropanopeus harrisii*, Таманский залив, половой состав, морфометрия, размеры, масса тела, весовой рост, половой диморфизм.

**Благодарности:** авторы выражают благодарность специалистам Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН (г. Москва) за сбор материалов и передачу их для изучения.

**Для цитирования:** Овчарук А. С., Судник С. А. Некоторые данные по биологии краба *Rhithropanopeus harrisii* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) Азовского моря летом 2011 г. // Известия КГТУ. 2025. № 76. С. 11–24. DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-11-24.

Original article

**Some data on the biology of the crab *Rhithropanopeus harrisii* (Gould, 1841)  
(Brachyura: Panopeidae) of the Azov sea in summer 2011**

Anastasiya S. Ovcharuk<sup>1</sup>, Svetlana A. Sudnik<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>arveyzer@mail.ru

<sup>2</sup>e-mail: svetlana.sudnik@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3409-4634>

**Abstract.** This work provides data on sex ratio, body sizes and body weight, weight growth of individuals of the Harris crab (*Rhithropanopeus harrisii*). Using of an original method of morphometry, created for the species *R. harrisii*, made it possible to compile a biometric passport database for the species from the Taman Bay. The evaluation of biology features showed dominance of males in the sample (3.4 times, there were no juveniles), which may be a consequence of the specifics of material collection or indicate instability of habitat conditions, including insufficient food availability; the carapace length of individuals was 6.2–15.1 mm, carapace width – 7.7–26.3 mm. Maximum and average sizes of females were smaller by 1.3 and 1.7 times, respectively. The peculiarities of sexual dimorphism of the species were described for the first time in terms of the size of exoskeleton parts (carapax, abdomen, claws of clawed and merus walking legs); the sizes of most plastic characters in males exceeded those of females by 9–45% (exception - width of the fourth segment of abdomen - it was larger in females by 28%). New features of the morphology of the species have been obtained: the right chela of both sexes' individuals is 7–16% larger than the left one. The individual body weight of crabs in general is 0.17–3.83 g, with males being larger than females by an average of 63%. Size-weight relationship has been evaluated: weight growth of both males and females is slightly ahead of their linear growth. The paper presents recommendations on measurements of crab abdominal segments when estimating abdomen width.

**Key words:** *Rhithropanopeus harrisii*, Taman Bay, sex ratio, morphometry, size, body weight, weight growth, sexual dimorphism.

**Acknowledgements:** The authors are grateful to the specialists of the Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, for collecting the materials and transferring them for study.

**For citation:** Ovcharuk A. S., Sudnik S. A. Some data on the biology of the crab *Rhithropanopeus harrisii* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) of the Azov Sea in summer 2011. *Izvestiya KGTY = KSTU News*. 2025; (76):11–24. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-11-24.

## ВВЕДЕНИЕ

*Rhithropanopeus harrisii* (краб Харриса) – инвазивный вид, широко распространенный, обильный в водах Азовского, Черного, Каспийского, Средиземного, Северного и Балтийского морей, Тихого океана вдоль Центральной и Северной Америки, Японии [1–3]. Другое название краба – голландский – связано с истори-

ей его первого обнаружения в лагуне Зейдерзее в 1874 г., откуда предположительно в составе обрастаний судов вид распространился во многие водоемы [2, 3]. Успешному его расселению способствовали высокий уровень физиологической пластичности (выдерживает соленость 0–40 ‰ при температуре 0–35° С), планктонная, хорошо развитая личинка, широкий спектр питания, быстрое половое созревание, высокая плодовитость [2, 4, 5]. В Азовском море вид впервые был найден в 1948 г. В Азово-Черноморском бассейне *R. harrisii* – важный пищевой объект многих рыб-бентофагов, в том числе ценных промысловых пород (севрюги, судака, леща, рыбака, тарани, азовской хамсы, тюльки и др.) [1].

Эти крабы-вселенцы, будучи активными хищниками-полифагами, влияют на структуру местного бентосного сообщества, способны выселять нативные виды крабов [2]. Биология и экология краба Харриса в водоемах России изучалась крайне неравномерно, зачастую с использованием неполных методик анализа [1–4].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материал – 224 особи из пробы, собранной 13–14.07.2011 г. в Таманском заливе с глубины 0,3–0,7 м вручную специалистами Института океанологии имени П. П. Ширшова РАН (г. Москва). Материал обработан с помощью методики комплексного лабораторного биологического анализа [6].

Определение пола крабов проводилось по вторичным половым признакам (форма абдомена, строение плеоподов первых пар) [5, 7].

Масса тела определялась только для целых особей (со всеми конечностями, 180 экз.) с точностью до 0,01 г на электронных весах Pocket Scale MH-Series.

Расширенная морфометрия, в том числе измерение длины и ширины карапакса (ДК, ШК), выполненная с помощью оригинальной, созданной для вида *Rhithropanopeus harrisii*, методики [8], включала измерение элементов экзоскелета с помощью окуляр-микрометра бинокулярного микроскопа с точностью до 0,1 мм (всего 20 измерений).

Для уточнения деталей полового диморфизма вида по морфологии абдомена и определения у самцов и самок наиболее широкого сегмента брюшка (по методике должен измеряться в качестве показателя его ширины) в работе дополнительно дана оценка ширины трех визуально самых широких абдоминальных сегментов (первого, третьего и четвертого).

Работа выполнена в рамках научного сотрудничества ФГБОУ ВО «КГТУ» с Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН (г. Москва) и как часть темы ИП НИР «КГТУ» «Систематика, зоогеография и экология ракообразных Мирового океана» (Рег. № 13.13.029.2).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### 1. Половой состав

Краб Харриса – раздельнополый вид. Для особей нашего исследования описывается третичное соотношение полов среди уже половозрелых организмов, которое, в свою очередь, зависит от смертности самцов и самок в период постэм-

бриогенеза [9]. Все особи в пробе являлись половозрелыми, ювенильных крабов не встречено.

Соотношение самок (51 особь) к самцам (173 особи) в пробе составило 1 : 3,4 (рис. 1).

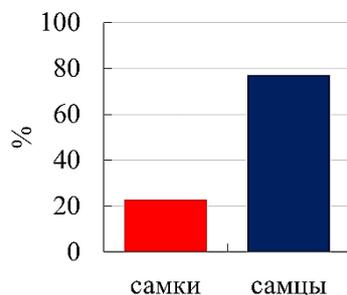


Рис. 1. Половой состав особей *R. harrisii*, Таманский залив, 2011 г.

Fig. 1. Sex ratio of *R. harrisii* individuals, Taman Bay, 2011

Другие авторы в своих исследованиях отмечают более высокую численность самцов (в 1,2–1,3 раза) (табл. 1). Так, в популяциях вида из реки Мертвой Вислы и Вислинской лагуны численность самцов превосходила таковую самок в 1,3 и 2,4 раза соответственно [10].

Отличающееся соотношение полов у крабов из разных водоемов обитания может отражать особенности применяемых исследователями методик сбора материала, разных сезонов и времени суток сбора, различия в поведении разнополых особей в эти периоды времени. В целом же везде заметно некоторое преобладание самцов над самками.

Таблица 1. Соотношение полов краба Харриса в разных частях ареала

Table 1. Sex ratio of Harris crab in different parts of areal

Водоем, время исследования	Количество особей, экз.	Соотношение полов, %			Источник
		ювенилы	самцы	самки	
Озеро Тексома, США, 2019–2021 гг.	1326	25,7	39,5	31,7	[10]
Панамский канал, 2007 г.	88	9,1	51,1	39,8	[11]
Река Вулан (впадает в Черное море), 2013 г.	63	–	54,0	46,0	[2]
Таманский залив Азовского моря, 2011 г.	224	–	77,2	22,8	наши данные

Известно, что отклонения от генетически predetermined (первичного), близкого 1:1, соотношения полов складываются в результате дифференцированной смертности разных полов в ходе онтогенеза. Мужской пол – подвижная часть популяции, отвечает за адаптацию, выживаемость популяции в изменившихся условиях. Вторичное соотношение полов в популяции связано с условиями существования и определяет эволюционную пластичность вида. Оно часто сдвинуто в сторону преобладания женского пола, самки составляют основную часть популяции, обеспечивающую сохранение генофонда при достаточно стабильных условиях [9, 12].

Существенное преобладание самцов в поселениях краба Харриса может указывать на нестабильность условий окружающей среды. Показано [12], что, например, худшие условия питания всегда смещают соотношение полов в сторону преобладания самок; многочисленность самцов усиливает пластичность популяции. Кроме того, для некоторых десятиногих раков отмечена очень высокая смертность самок после вылупления у них личинок из вынашиваемых яиц или в связи со вторым нерестом [13], что сдвигает соотношение полов в сторону преобладания самцов и могло стать причиной описанного выше преобладания самцов в поселении краба.

### 2.1 Размеры крабов

У 51 самки ДК варьировала в пределах 6,2–11,5 мм ( $8,4 \pm 1,2$  мм), ШК составляла 7,7–15,3 мм ( $10,9 \pm 1,6$  мм) (табл. 2, рис. 2). Размеры 173 самцов достигали больших как максимальных, так и средних значений: ДК – 6,7–15,1 мм ( $11,0 \pm 1,7$  мм), ШК – 8,5–26,3 мм ( $14,5 \pm 2,5$  мм). Максимальные размеры самцов как по ДК, так и по ШК превосходили таковые у самок в 1,3 и 1,7 раза соответственно. Достоверность отличий средних размеров тела крабов оценивалась с помощью критерия Стьюдента: средние ДК и ШК самок были меньше таковых у самцов в 1,3 раза (для ДК трасч. = 12,26; табл. = 1,98; для ШК трасч. = 11,91; табл. = 1,98).

Таблица 2. Размеры карапакса (ДК, ШК) краба Харриса из разных водоемов  
 Table 2. Sizes of carapace (CL, CW) of Harris crab from different reservoirs

Водоем	Количество особей, экз.		Диапазон ДК (m ± SD), мм		Диапазон ШК (m ± SD), мм		Источник
	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	
Чесапикский залив (Атлантический океан)	–	–	–	–	4,4-12,6 (7,2±1,3)	4,1-14,6 (8,0±2,3)	[14]
Озеро Тексома, США	420	524	3,2-11,3 (5,5±1,5)	3,0-12,6 (5,7±1,9)	4,0-15,6 (7,2±2,2)	4,0-17,9 (7,5±2,6)	[11]
Панамский канал	19	45	–	–	4,9-10,9	3,1-17,7	[12]
Гданьский залив	370	400	–	–	4,4-19,4 (10,2±3,2)	4,4-21,4 (9,9±4,0)	[15]
Эстуарий р. Одра	115	149	3,6-16,4 (12,5±3,3)	3,9-19,0 (13,8±3,5)	5,3-19,8 (15,1±3,3)	5,6-22,9 (16,8±4,0)	[16]
Таманский залив	–	–	–	–	8,1-16,7	10-23,9	[2]
	51	173	6,2-11,5 (8,4±1,2)	6,7-15,1 (11,0±1,7)	7,7-15,3 (10,9±1,6)	8,5-26,3 (14,5±2,5)	наши данные

Примечание: m – среднее значение; SD – стандартное отклонение.

Анализ графиков размерного состава крабов на рис. 2 показал следующее: среди самок преобладали особи с ДК 7–9 мм (доля – 80 %) и ШК 9–12 мм (доля – 81 %). Среди самцов доминировали более крупные особи с ДК 10–11 мм (47 %) и ШК 13–15 мм (50 %).

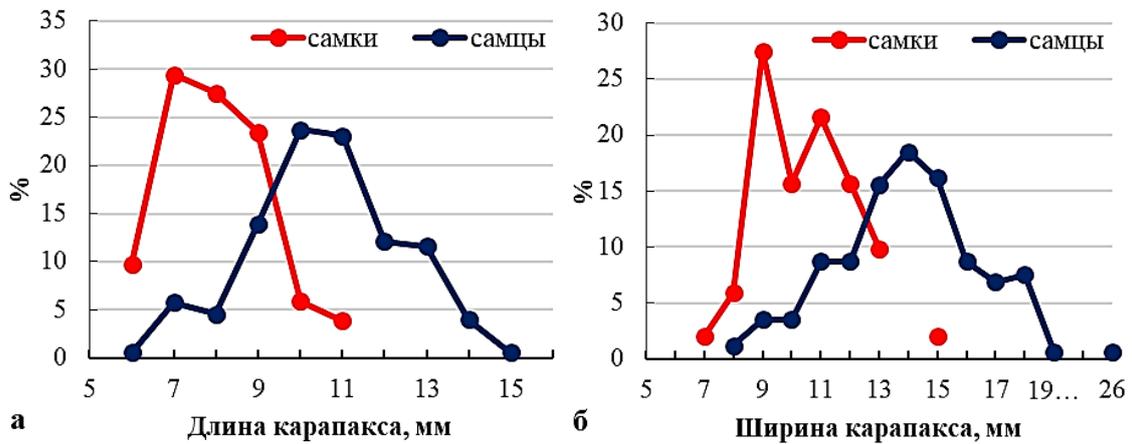


Рис. 2. Размеры карапакса (а – длина; б – ширина) краба Харриса, Таманский залив, июль 2011 г.

Fig. 2. Carapace sizes (a – length; b – width) of Harris crab, Taman Bay, July 2011

Исходя из показателей табл. 2 можно сделать вывод, что особых различий в размерах тел самцов и самок другими авторами не зафиксировано. Стоит отметить, что размеры крабов по ШК в нативном ареале оказались значительно меньше, чем размеры особей в водоемах, где он является инвазионным.

## 2.2 Результаты расширенной морфометрии крабов

Для 51 самки и 173 самцов краба Харриса Таманского залива выполнена расширенная морфометрия (для некоторых особей определены не все размеры из-за утраты или нецелостности элементов экзоскелета). Эти данные составляют базу биометрического паспорта вида залива. В работе представлена ее часть, выполненная для особей двух полов (табл. 3).

Сравнительный анализ полученных морфометрических данных с применением статистических методов показал наличие половой морфологической изменчивости у самцов и самок по 20 пластическим признакам. В 19 случаях размеры самцов были крупнее.

ДК и ШК самцов превосходили ДК и ШК самок на 24 % и 25 % соответственно, абдомен самцов был длиннее на 11 %.

Из литературных данных известно, что самцы крабов вырастают быстрее и более крупных размеров в связи с тем, что во время вынашивания яиц самки не линяют и, соответственно, не растут [1].

Сравнительный анализ средних значений ширины первого, третьего и четвертого абдоминальных сегментов у самцов и самок показал, что у самцов первый сегмент абдомена крупнее (на 9 %), у самок крупнее четвертый сегмент (на 28 %); третий сегмент также был крупнее у самок (на 5 %), однако различия на этом материале не достоверны. Отсюда можно сделать вывод, что абдомен взрослых самок краба Харриса шире в своей второй (нижней) половине, чем у самцов, т. е. расширяется книзу; у взрослых самцов, наоборот, абдомен книзу сужен.

В методике лабораторного анализа для оценки ширины абдомена у самцов рекомендуется измерять первый сегмент, у самок – четвертый.

Таблица 3. Сравнительная морфометрия элементов экзоскелета самцов и самок *R. harrisii*

Table 3. Comparative morphometry of exoskeleton elements of males and females of *R. harrisii*

Пластический признак		N, экз.		Диапазон размера (m ± SD), мм		t расч.*	t табл.*	
		♂♂	♀♀	♂♂	♀♀			
Общая длина тела		173	51	10,9-24,7 (18,3±2,7)	10,7-20,4 (14,9±2,2)	8,97	1,98	
Абдомен	l	173	51	4,2-9,6 (7,3±1,1)	4,5-8,9 (6,5±1,0)	4,42	1,99	
	w сег-мента	1	167	24	2,8-5,9 (4,3±0,6)	3,1-5,1 (3,9±0,5)	3,17	2,04
		3	150	28	2,7-5,6 (4,1±0,5)	2,7-5,4 (4,3±0,8)	1,28	2,04
		4	147	47	2,0-5,1 (3,1±0,5)	3,1-5,7 (4,3±0,7)	11,33	2,00
Карапакс	l	173	51	6,7-15,1 (11,0±1,7)	6,2-11,5 (8,4±1,2)	12,26	1,98	
	w			8,5-26,3 (14,5±2,5)	7,7-15,3(10,9±1,6)	11,91	1,98	
Правая клешня	l	164	49	5,7-19,8 (11,6±3,0)	4,7-11,3 (7,0±1,3)	15,37	1,97	
	ладонь	l		167	3,3-12,9 (7,1±2,0)	2,4-6,5 (3,9±0,9)	15,97	1,97
		w			2,7-9,8 (5,9±1,7)	2,1-5,8 (3,4±0,8)	15,00	1,97
		h			1,7-6,4 (3,8±1,1)	1,3-3,8 (2,1±0,5)	15,40	1,97
Левая клешня	l	166	50	5,3-17,8 (10,3±2,4)	4,5-9,9 (6,5±1,1)	15,68	1,97	
	ладонь	l		167	2,7-10,8 (5,9±1,5)	2,3-5,2 (3,5±0,7)	16,05	1,97
		w			2,5-8,8 (5,0±1,2)	1,9-4,6 (3,0±0,6)	15,43	1,97
		h			1,6-5,7 (3,2±0,8)	1,2-2,9 (1,8±0,4)	16,81	1,97
Мерус переоподов 2	l	171	51	3,9-9,1 (6,3±1,1)	3,2-6,9 (4,5±0,7)	14,09	1,98	
	w			1,1-2,3 (1,8±0,3)	1,0-2,0 (1,4±0,2)	11,20	1,98	
	h			0,7-1,9 (1,3±0,2)	0,6-1,3 (1,0±0,2)	10,44	1,98	
Мерус переоподов 3	l	170	51	4,0-9,3 (6,6±1,1)	3,6-7,1 (4,8±0,7)	13,98	1,98	
	w			1,2-2,4 (1,8±0,3)	1,0-2,0 (1,4±0,2)	11,06	1,98	
	h			0,7-1,9 (1,2±0,2)	0,6-1,3 (0,9±0,2)	10,92	1,98	

Примечание: l – длина, w – ширина, h – высота, N – количество особей, m – среднее значение; SD – стандартное отклонение; \* – значение критерия Стьюдента.

Мерусы ходильных ног (правых переоподов) второй и третьей пары были крупнее у самцов, чем у самок: длиннее на 27–28 %, шире на 22 и выше на 23 и 25 % соответственно.

Обнаружен значительный половой диморфизм по морфологии клешненосных торакоподов: клешни самцов были примерно на 40 % крупнее клешней самок, правая и левая клешни (целиком) – длиннее на 40 и 37 %, ладони клешней – длиннее на 45 и 41 %, шире – на 42 и 40 %, выше – на 45 и 44 % соответственно.

Другие авторы [10, 16] также указывают на более крупные размеры клешней и более узкий абдомен у самцов вида (для краба р. Одры различия были достоверными [16]).

Рис. 3 иллюстрирует различия средних значений размеров карапакса, абдомена, мерусов и клешней у самцов и самок.

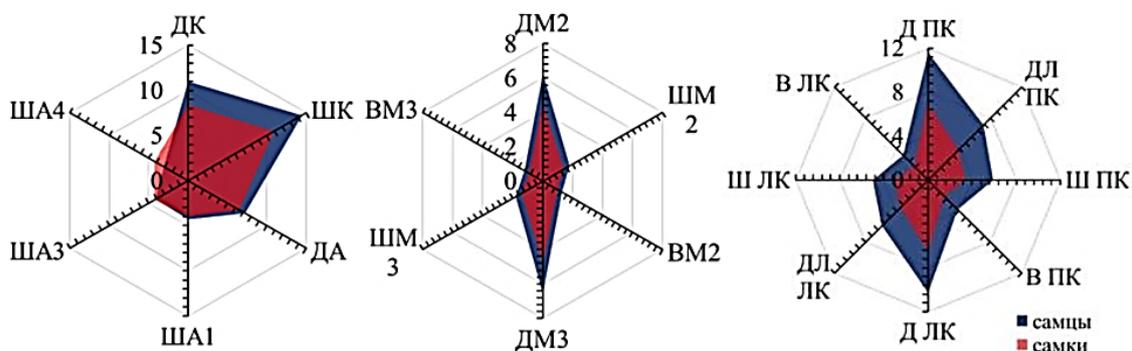


Рис. 3. Сравнительный анализ средних значений 20 пластических признаков (мм) у самцов и самок *R. harrisii*: ДК, ШК – длина, ширина карапакса; ДА – длина абдомена; ША1, ША3, ША4 – ширина сегментов абдомена 1, 3, 4; ДМ2, ШМ2, ВМ2; ДМ3, ШМ3, ВМ3 – длина, ширина, высота мерусов ходильных ног 2 и 3; ДПК, ДЛК – длина правой и левой клешней, ШПК, ШЛК – ширина правой и левой клешней, ВПК, ВЛК – высота правой и левой клешней, ДЛПК, ДЛЛК – длина ладони правой и левой клешней

Fig. 3. Comparative analysis of mean values of 20 plastic features (mm) in males and females of *R. harrisii*: CL, CW – length, width of carapace; AL – length of abdomen; AW1, AW3, AW4 – width of abdomen segments 1, 3, 4; ML2, MW2, MH2; ML3, MW3, MH3 – length, width, height of merus of walking legs 2 and 3; RCL, LCL – length of right and left claws, RCLW, LCLW – width of right and left claws, RCLH, LCLH – height of right and left claws, RCLP L, LCLP L – length of palm of right and left claws

В результате анализа половой морфологической изменчивости правой и левой клешней (табл. 4) впервые отмечено, что большинство (90 %) самцов и самок были «праворукими» (правая клешня больше левой; проверено с использованием критерия Стьюдента). Остальные немногочисленные особи (10 % самок и 14 % самцов) были «леворукими» (имели более крупные левые клешни), но из-за небольшого их материала статистически подтвердить это не удалось и требует проверки на большем материале. Для краба Харриса Гданьского залива также отмечено преобладание (около 90 %) самок и самцов с более крупными правыми клешнями [15].

Среди «праворуких» особей правая клешня самцов была длиннее левой на 15 %, ее ладонь – длиннее, шире и выше на 23 %; у самок правая клешня на 8 % была длиннее, чем левая, ладонь правой клешни – длиннее на 13 %, шире на 14 % и выше на 18 %. Рис. 4 иллюстрирует различия средних значений размеров левой и правой клешней у самок и самцов.

Известно, что у ракообразных клешни могут быть разного размера из-за их специализации. Для краба Харриса ранее отмечалось, что форма клешней и зубцов на них соответствует форме клешней у видов крабов, специализированных для раскалывания твердых покровов кормовых организмов, например, моллюсков. У таких видов меньшая клешня – маневренная – используется для быстрых

действий, а более мощная – большая – выполняет тяжелую механическую работу. Это на популяционном уровне обеспечивает преимущество при добывании пищи и межвидовых столкновениях, а значит, и выживаемость вида в целом [2].

Таблица 4. Сравнительный анализ морфометрии правой и левой клешней у самцов и самок краба Харриса

Table 4. Comparative analysis of morphometry of right and left claws in male and female Harris crabs

Пластический признак	Количество, шт.		Диапазон размера ( $m \pm SD$ ), мм		t расч.*	t табл.*
	правая	левая	правая	левая		
<i>Самцы</i>						
длина клешни	140	142	5,7-19,8(11,9±3,0)	5,3-17,8(10,1±2,2)	5,96	1,97
длина ладони	143	143	3,3-12,9 (7,4±2,0)	2,7-9,0 (5,7±1,4)	8,39	1,97
ширина ладони			3,0-9,8 (6,2±1,6)	2,5-7,4 (4,8±1,1)	8,52	1,97
высота ладони			1,9-6,4 (4,0±1,1)	1,6-5,0 (3,1±0,7)	8,54	1,97
<i>Самки</i>						
длина клешни	44	45	4,7-11,3 (7,1±1,4)	4,5-9,9 (6,5±1,2)	2,20	1,99
длина ладони			2,5-6,5 (4,0±0,8)	2,3-5,2 (3,5±0,7)	3,14	1,99
ширина ладони			2,1-5,8 (3,5±0,8)	1,9-4,6 (3,0±0,6)	3,40	1,99
высота ладони			1,4-3,8 (2,2±0,5)	1,2-2,9 (1,8±0,4)	4,17	1,99

Примечание: m – среднее значение; SD – стандартное отклонение; \* – значение критерия Стьюдента

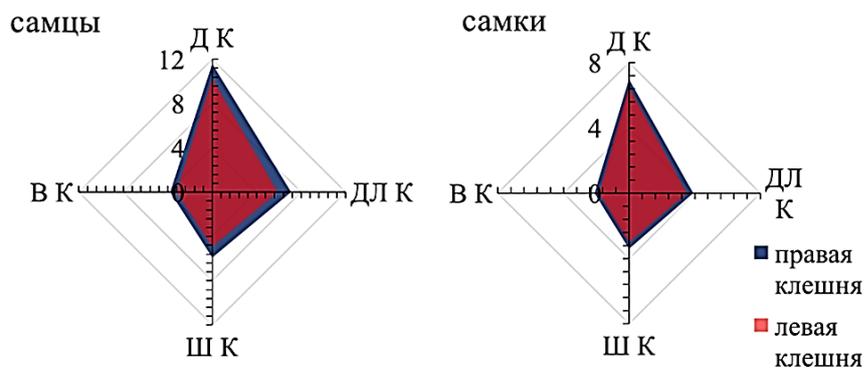


Рис. 4. Сравнительный анализ средних размеров правой и левой клешней у самцов и самок краба Харриса: Д К – длина клешни, ДЛ К – длина ладони клешни, Ш К – ширина ладони клешни, В К – высота ладони клешни

Fig. 4. Comparative analysis of the average sizes of the right and left claws in males and females of Harris crab: Cl L – length of the claw, Cl P L – length of the claw palm, Cl W – width of the claw palm, Cl H – height of the claw palm

Таким образом, у краба Харриса половой диморфизм наблюдался в отношении большинства размерных признаков элементов экзоскелета (карапакса, абдомена, клешней клешненоносных ног, мерусов переоподов); у самцов они были крупнее.

3. Масса тела, весовой рост

Максимальные и средние значения массы тела самцов краба Харриса были на 65 и 63 % больше (трасч. = 13,51; табл. = 1,97), чем у самок (табл. 5), что соотносится с вариациями их ширины карапакса. Меньшую массу тела самок отмечают и другие авторы.

Таблица 5. Масса тела краба Харриса в разных частях ареала  
 Table 5: Body weight of Harris crab in different parts of areal

Водоем	Количество особей, экз.		Диапазон массы особи (m ± SD), г		Диапазон ШК (m ± SD), мм		Источник
	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	♀♀	♂♂	
Таманский залив	51	173	0,17-1,36 (0,49±0,22)	0,26-3,83 (1,33±0,71)	7,7-15,3 (10,9±1,6)	8,5-26,3 (14,5±2,5)	наши данные
Эстуарий р. Одра	115	149	0,13-2,56 (1,47±0,60)	0,15-3,93 (2,15±0,94)	5,3-19,8 (15,1±3,3)	5,6-22,9 (16,8±4,0)	[16]
Гданьский залив	276	325	0,03-2,4 (0,47±0,44)	0,03-4,45 (0,53±0,71)	4,4-19,4 (10,2±3,2)	4,4-21,4 (9,9±4,0)	[15]

Примечание: m – среднее значение; SD – стандартное отклонение.

На рис. 5 проиллюстрирован уровень, особенности взаимосвязи размеров карапакса и массы тела для 177 особей краба Харриса Таманского залива (в анализе учтены данные только по целым особям самок (44 экз.) и самцов (133 экз.)).

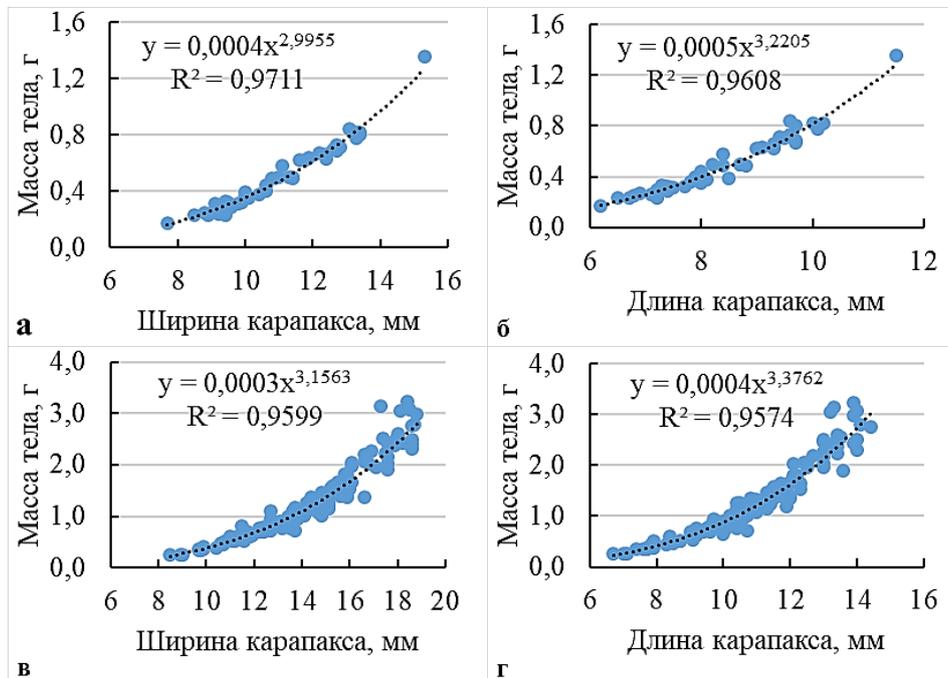


Рис. 5. Размерно-весовая зависимость у самок (а, б) и самцов (в, г) краба Харриса  
 Fig. 5. Size-weight relationship in females (a, б) and males (c, d) of Harris crab

Оценка размерно-весовой зависимости выявило высокую достоверность связи между параметрами масса тела и размерами (длиной и шириной) карапакса как для самцов, так и для вида *R. harrisii*, при этом отмечено, что весовой рост особей Таманского залива опережал линейный. При этом по коэффициентам уравнения можно предположить более медленный рост массы тела самок по сравнению с самцами, что отмечалось для вида и другими авторами [16].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ размерного и полового состава, весовой структуры, особенностей морфологии экзоскелета краба *Rhithropanopeus harrisii*, собранного в Таманском заливе Азовского моря, позволил получить ряд новых данных, особенно о половом диморфизме краба Харриса.

Выявлено существенное численное доминирование самцов, что отмечалось для вида других поселений. В целом ДК особей составила 6,2–15,1 мм, ШК – 7,7–26,3 мм. Отмечен половой диморфизм по размерам карапакса крабов: у самок как по длине, так и по ширине он достигал в 1,3 и 1,7 раза меньших, чем у самцов, значений (ДК 6,2–11,5 мм и ШК 7,7–15,3 мм по сравнению с ДК 6,7–15,1 мм и ШК 8,5–26,3 мм соответственно).

Применение оригинальной методики расширенной морфометрии, созданной специально для *R. harrisii*, позволила представить базу биометрического паспорта самок и самцов вида из Таманского залива. Впервые описаны особенности полового диморфизма вида залива: размеры карапакса, абдомена, клешней и мерусов ходильных ног самцов были больше на 9–45 %; у самок существенно больше (на 29 %) была только ширина четвертого сегмента абдомена, что в целом обычно для самок крабов. Получены новые черты морфологии клешней вида: у особей обоих полов правая клешня оказалась на 8–23 % крупнее левой, что объясняют для крабов с подобным диморфизмом клешней [1] их различным функционалом: меньшая клешня используется для быстрых действий (маневренная); большая – для выполнения более тяжелой механической работы.

Оценка полового изменчивости размеров трех сегментов абдомена позволила уточнить новые черты полового диморфизма у вида и дать методические рекомендации по измерению ширины брюшка у самцов и самок.

Половой диморфизм по размерам тела отразился на отличиях в массе разнополок особей: масса самцов в среднем была больше на 63 %, чем у самок. В целом масса крабов составила 0,17–3,83 г. Оценена размерно-весовая зависимость особей краба Харриса Таманского залива, весовой рост и самцов, и самок несколько опережал их линейный рост.

### Список источников

1. Резниченко О. Г. Трансокеаническая аутоакклиматизация ритропанопеуса (*Rhithropanopeus harrisii*: Crustacea, Brachyura) // Тр. Ин-та океанол. АН СССР, 1967. № 85. С. 136–177.
2. Залота А. К. Чужеродные виды десятиногих ракообразных (Crustacea Decapoda) в морях России и сопредельных водах: дисс. ... канд. биол. наук. Москва, 2017. 255 с.

3. Самые опасные инвазионные виды России (Топ-100) / под ред. Ю. Дгебуадзе, В. Г. Петросян, Л. А. Хляп. Москва: Т-во научных изданий КМК, 2018. 688 с.
4. Филипенко С. И., Мустя М. В. О первой находке голландского краба *Rhithropanopeus harrisi tridentata* (Maitland, 1874) в Приднестровье // Минск: БГУ, 2016. С. 397–398.
5. Hiebert T. C., Butler B. A., Shanks A. L. Oregon Estuarine Invertebrates: Rudys' Illustrated Guide to Common Species, 3rd ed. // University of Oregon Libraries and Oregon Institute of Marine Biology. 2016. P. 404–409.
6. Судник С. А., Поддueva Е. А. Биология крабов *Lyphira perplexa* Galil, 2009 (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) Южно-Китайского моря // Известия КГТУ. 2019. № 52. С. 43–59.
7. Атлас беспозвоночных Каспийского моря / Е. М. Майер, В. М. Колтун, Д. В. Наумов и др.; под ред. Я. А. Бирштейна [и др.]; Касп. науч.-исслед. ин-т рыбного хоз-ва "КаспНИРХ". Всесоюз. науч.-исслед. ин-т морского рыбного хоз-ва и океанографии "ВНИРО". Москва: Пищевая пром-сть, 1968. 415 с.
8. Овчарук А. С. Разработка методики морфометрического анализа для краба Харриса, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) и первые результаты морфометрии вида из Таманского залива Азовского моря // II Национальная научно-техническая конференция студентов и курсантов «Дни науки» «Калининградский государственный технический университет» 10-22 апреля 2023 года: материалы. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. С. 151–156.
9. Рассадина Е. В., Антонова Ж. А. Экология популяций и сообществ: учебно-методическое пособие. Ульяновск: УлГУ, 2015. 360 с.
10. Weaver Sh., Bass D. Morphometric Analysis of the Harris Mud Crab (*Rhithropanopeus harrisi*) in Lake Texoma // Proceedings of the Oklahoma Academy of Science. 2022. V. 102. P. 57–62.
11. Roche D. G., Torchin M. E. Established population of the North American Harris mud crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (Crustacea: Brachyura: Xanthidae) in the Panama Canal // Aquatic Invasions. 2007. V. 2. P. 155–161.
12. Кауфман З. С. Эволюция размножения пола. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 1994. Т. 2. 190 с.
13. Nilssen E. M. Demography, fecundity, growth and mortality of the deep-water prawn *P. borealis* from Isfjord, Spitsbergen (78°N) // ICES. Shellfish Committee, 1990. N 109. 36 p.
14. Payen G. Physiologie des invertébrés - Effets masculinisants des glandes androgènes implantées chez la femelle pubère pédonculectomisée de *Rhithropanopeus harrisi* (Gould) (Crustace, Décapode Brachyoure) // Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. 1975. V. 280. P. 1111–1114.
15. Population structure, morphometry and individual condition of the non-native crab *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841), a recent coloniser of the Gulf of Gdańsk (southern Baltic Sea) / J. Hegele-Drywa, M. Normant, B. Szwarc, A. Podlaska // Oceanologia. 2014. V. 56. N 4. P. 805–824.
16. Czerniejewski P. Some aspects of population biology of the mud crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) in the Odra estuary, Poland // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2009. V. 38. N 4. P. 49–62.

## References

1. Reznichenko O. G. *Transokeanicheskaya autoakklimatizatsiya ritropanopeusa (Rhithropanopeus harrisii: Crustacea, Brachyura)* [Transoceanic autoacclimatization of *Rhithropanopeus (Rhithropanopeus harrisii: Crustacea, Brachyura)*]. Tr. In-ta okeanol. AN SSSR, 1967, no. 85, pp. 136–177.
2. Zalota A. K. *Chuzherodnye vidy desyatinogikh rakoobraznykh (Crustacea Decapoda) v moryakh Rossii i sopredel'nykh vodakh. Diss. kand. biol. nauk* [Invasive species of decapod crustaceans (Crustacea Decapoda) in Russian seas and adjacent waters. Dis. kand. biol. sci.]. Moscow, 2017, 255 p.
3. *Samye opasnye invazionnye vidy Rossii (Top-100)* [The most dangerous invasive species in Russia (Top 100)]. Pod red. Yu. Dgebuadze, V. G. Petrosyan, L. A. Khlyap. Moscow, t-vo nauchnykh izdaniy KMK, 2018, 688 p.
4. Filipenko S. I., Mustya M. V. *O pervoy nakhodke gollandskogo kraba Rhithropanopeus harrisii tridentata (Maitland, 1874) v Pridnestrov'e* [About the first finding of the Dutch crab *Rhithropanopeus harrisii tridentata* (Maitland, 1874) in Pridnestrovie]. Minsk, BGU, 2016, pp. 397–398.
5. Hiebert T. C., Butler B. A., Shanks A. L. *Oregon Estuarine Invertebrates: Rudys' Illustrated Guide to Common Species, 3rd ed.* University of Oregon Libraries and Oregon Institute of Marine Biology. 2016. P. 404–409.
6. Sudnik S. A., Poddueva E. A. *Biologiya krabov Lyphira perplexa Galil, 2009 (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) Yuzhno-Kitayskogo moray* [Biology of the crab *Lyphira perplexa Galil, 2009* (Crustacea: Brachyura: Leucosiidae) of the South China Sea]. *Izvestiya KGTU*, 2019, no. 52, pp. 43–59.
7. Mayer E. M., Koltun V. M., Naumov D. V. et al. *Atlas bespozvonochnykh Kaspiyskogo morya* [Invertebrate Atlas of the Caspian Sea]. Pod red. Ya. A. Birshyteyna [et al.]. Kasp. nauch.-issled. in-t rybnogo khoz-va "KaspNIRKH". Vsesoyuz. nauch.-issled. in-t morskogo rybnogo khoz-va i okeanografii "VNIRO". Moscow, Pishchevaya prom-st', 1968, 415 p.
8. Ovcharuk A. S. *Sozdanie metodiki morfometrcheskogo analiza dlya kraba KHarrisa, Rhithropanopeus harrisii (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) i pervye rezul'taty morfometrii vida iz Tamanskogo zaliva Azovskogo moray* [Development of morphometric analysis methodology for the Harris crab, *Rhithropanopeus harrisii* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) and the first results of morphometry of the species from the Taman Bay of the Azov Sea]. II Natsional'naya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya studentov i kursantov «Dni nauki» «Kaliningradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet» 10-22 aprelya 2023 goda, materialy. Kaliningrad, BGARF FGBOU VO «KGTU» Publ., 2023, pp. 151–156.
9. Rassadina E. V., Antonova Zh. A. *Ekologiya populyatsiy i soobshchestv: uchebno-metodicheskoe posobie* [Ecology of populations and associations: educational manual]. Ulyanovsk, UIGU, 2015, 360 p.
10. Weaver Sh., Bass D. *Morphometric Analysis of the Harris Mud Crab (Rhithropanopeus harrisii) in Lake Texoma*. Proceedings of the Oklahoma Academy of Science, 2022. V. 102. P. 57–62.
11. Roche D. G., Torchin M. E. *Established population of the North American Harris mud crab, Rhithropanopeus harrisii (Gould, 1841) (Crustacea: Brachyura: Xanthidae) in the Panama Canal*. *Aquatic Invasions*, 2007. V. 2. P. 155–161.

12. Kaufman Z. S. *Evolyutsiya razmnozheniya pola* [Evolution of sex reproduction]. Petrozavodsk, Karel'skiy nauch. tsentr RAN, 1994, vol. 2, 190 p.

13. Nilssen E. M. *Demography, fecundity, growth and mortality of the deep-water prawn *P. borealis* from Isfjord, Spitsbergen (78°N)*. ICES. Shellfish Committee, 1990. N 109. 36 p.

14. Payen G. *Physiologie des invertébrés - Effets masculinisants des glandes androgènes implantées chez la femelle pubère pédonculectomisée de *Rhithropanopeus harrisi* (Gould) (Crustace, Decapode Brachyoure)*. Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Académie des Sciences, 1975. V. 280. P. 1111–1114.

15. Hegele-Drywa J., Normant M., Szwarc B., Podłuska. A. Population structure, morphometry and individual condition of the non-native crab *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841), a recent coloniser of the Gulf of Gdańsk (southern Baltic Sea). *Oceanologia*, 2014. V. 56. N 4. P. 805–824.

16. Czerniejewski P. Some aspects of population biology of the mud crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) in the Odra estuary, Poland. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 2009. V. 38. N 4. P. 49–62.

### Информация об авторах

**А. С. Овчарук** – магистрант

**С. А. Судник** – кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

### Information about the authors

**A. S. Ovcharuk** – Master degree student

**C. A. Sudnik** – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Water Biore-sources and Aquaculture

Статья поступила в редакцию 15.10.2024; одобрена после рецензирования 25.10.2024; принята к публикации 13.12.2024.

The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 25.10.2024; accepted for publication 13.12.2024.

Научная статья  
УДК 574.583(261.24)  
DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-25-37

## Распределение летнего зоопланктона юго-восточной части Балтийского моря в 2018 и 2022 гг. в разных слоях воды

Юлия Юрьевна Полунина<sup>1</sup>, Анна Юрьевна Шартон<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

<sup>1</sup> jul\_polunina@mail.ru

<sup>2</sup> annasharton@yandex.ru

**Аннотация.** Проанализированы данные по видовому составу, встречаемости и распределению летнего зоопланктона в юго-восточной части Балтийского моря по данным 2018 и 2022 гг. Зоопланктон в период исследований был представлен 29 видами и таксонами более высокого порядка: Rotifera – 5, Copepoda – 11, Diplostraca – 9, Scyphozoa – 2, Stenophora – 1, Appendicularia – 1. В меропланктоне отмечены личинки Polychaeta, Bivalvia, Gastropoda, Cirripedia и яйца рыб. Основу сообщества по биомассе составляли планктонные ракообразные, преимущественно каляниды. Выявлены межгодовые отличия показателей общей биомассы зоопланктона: диапазон значений в 2018 г. изменялся в пределах 324–3217 мг/м<sup>3</sup>, в 2022 г. – в пределах 91–1600 мг/м<sup>3</sup>, при этом пространственное распределение биомассы в эти годы имело значительное сходство. С помощью инструментов интерполяции приложения ArcMap программной среды ArcGIS были построены карты непрерывного распределения биомассы зоопланктона по данным тотального лова (2018 г. и 2022 г.) и по слоям (2022 г.): поверхностный (до глубин 30 м), промежуточный (от 30 до 50 м) и глубинный (от 50 м до дна) слои. Скопления биомассы отмечены в прибрежной зоне до глубин 50 м в районе окончания северного побережья Самбийского полуострова и вдоль Куршской косы, а также ближе к склону Готландской впадины в оба года. Анализ распределения общей биомассы зоопланктона в слоях воды выявил разные участки его скопления, и эти отличия во многом обусловлены составом доминирующих видов и термохалинными условиями в каждом конкретном слое.

**Ключевые слова:** зоопланктон, распределение биомассы, слои воды, Юго-Восточная Балтика.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках госзадания ИОРАН по теме FMWE-2024-0025.

**Для цитирования:** Полунина Ю. Ю., Шартон А. Ю. Распределение летнего зоопланктона юго-восточной части Балтийского моря в 2018 и 2022 гг. в разных слоях воды // Известия КГТУ. 2025. № 76. С. 25–37. DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-25-37.

Original article

## Distribution of summer zooplankton in the south-eastern Baltic Sea in 2018 and 2022 years in different water layers

Yuliya Yu. Polunina<sup>1</sup>, Anna Yu. Sharton<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>1</sup> jul\_polunina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8157-9522>

<sup>2</sup> annasharton@yandex.ru

**Abstract.** The data on the species composition, occurrence, and distribution of summer zooplankton in the south-eastern part of the Baltic Sea for 2018 and 2022 have been analyzed. During the research period, the zooplankton was represented by 29 species and taxa of higher order: Rotifera – 5, Copepoda – 11, Diplostraca – 9, Scyphozoa – 2, Ctenophora – 1, Appendicularia – 1. Among the meroplankton, larvae of Polychaeta, Bivalvia, Gastropoda, Cirripedia, and fish eggs have been noted. The community's biomass was mainly composed of planktonic crustaceans, predominantly calanids. Inter-annual differences in the overall biomass of zooplankton indicators have been identified: the value range in 2018 varied within 324-3217 mg/m<sup>3</sup>, and in 2022 – 91-1600 mg/m<sup>3</sup>. Despite this, the spatial distribution of biomass in both years showed significant similarity. Using interpolation tools in ArcMap software environment ArcGIS, maps of continuous biomass distribution of zooplankton have been constructed based on total catches (2018 and 2022) and by layers (2022): surface layer (up to depths of 30 m), intermediate layer (from 30 to 50 m), and deep layer (from 50 m to the bottom). Biomass concentrations were noted in the coastal zone down to the depths of 50 m near the end of the northern coast of the Sambian Peninsula and along the Curonian Spit, as well as closer to the slope of the Gotland Basin in both years. The analysis of the distribution of total zooplankton biomass in water layers revealed different accumulation areas, and these differences are largely due to the composition of dominant species and thermohaline conditions in each specific layer.

**Keywords:** zooplankton, biomass distribution, water layers, south-eastern Baltic Sea.

**Funding:** the work has been done within the state assignment of IORAS under topic FMWE-2024-0025.

**For citation:** Polunina Yu. Yu., Sharton A. Yu. Distribution of summer zooplankton in the south-eastern Baltic Sea in 2018 and 2022 years in different water layers. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2025;(76):25–37. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-25-37.

## ВВЕДЕНИЕ

Экосистема Балтийского моря подвержена значительным вариациям природных и антропогенных условий. Внутриконтинентальное расположение моря, слабый водообмен с Атлантическим океаном, большая водосборная площадь, пониженная соленость воды, высокая антропогенная нагрузка, в т. ч. регулируемое

рыболовство – это факторы, влияющие на состав, структуру и распределение биологических сообществ.

Зоопланктон Балтийского моря характеризуется значительной пространственной изменчивостью, во многом обусловленной вариациями термохалинных условий в разные сезоны года и в разных районах моря. Наличие перманентного пикноклина в Балтике препятствует перемешиванию поверхностного слоя вод с глубинными водами, что способствует вертикальной изменчивости абиотических факторов [1] и формирует специфические условия обитания для отдельных видов и групп зоопланктона в разных слоях воды. Горизонтальное и вертикальное распределение зоопланктона существенно варьирует в зависимости от района моря и сезона года [2, 3]. Помимо гидрологических условий, которые регулируются климатическими факторами и соотношением поступления пресных и морских вод, на межгодовую динамику зоопланктона существенно влияют пищевые сети – структурные показатели и распределение фитопланктона, пресс личинок рыб и рыб-планктофагов.

Распределение зоопланктона, его скопление в определенных горизонтах или районах моря могут оказывать влияние на развитие ихтиоценоза и особенно личиночных стадий рыб. В юго-восточной части Балтийского моря (ЮВБ) важнейшее промысловое значение имеют треска *Gadus morhua*, балтийская сельдь (салака) *Clupea harengus membras*, шпрот (балтийская килька) *Sprattus sprattus*, кумжа *Salmo trutta*, лосось (семга) *Salmo salar*, речная камбала *Platichthys flesus*, камбала тюрбо *Scophthalmus maximus* [4]. Мальки всех видов рыб потребляют зоопланктон, а салака и шпрот являются рыбами-планктофагами. В этом контексте важно построение карт непрерывного распределения зоопланктона с четкой привязкой к географическим координатам на исследуемой акватории, в т. ч. в разные годы и в разных гидрологических слоях. Некоторые сведения о распределении зоопланктона в юго-восточной части Балтийского моря представлены в работах [5, 6, 7, 8], однако для нас важно оценить распределение зоопланктона в разных слоях воды, отличающихся определенными термохалинными условиями, влияющими на состав и структуру зоопланктона. Полученные карты распределения также могут быть полезны для учета возможностей нагула молоди разных видов рыб, предпочитающих поверхностные или глубинные воды.

Цель работы – выявить особенности распределения летнего зоопланктона в юго-восточной части Балтийского моря в 2018 и 2022 гг. в разных слоях воды.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом послужили данные по зоопланктону, отобранные в экспедициях института океанологии им. П. П. Ширшова РАН на НИС «Академик Борис Петров» (43-й рейс, 27–30.07.2018 г., и 49-й рейс, 1–23.06.2022 г.) в исключительной экономической зоне (ИЭЗ) Российской Федерации ЮВБ (рис. 1).

Пробы зоопланктона отбирали сетью WP-2 (Ø = 56 см, ячея 100 мкм). Проводили тотальные ловы от дна до поверхности, облавливали разные слои с замыкателем – верхний квазиоднородный слой (ВКС), промежуточный слой (от верхней границы галоклина до верхней границы термоклина), слой ниже начала галоклина (от дна до верхней границы галоклина). Выбор горизонтов отбора проб зоопланктона проводили по результатам вертикального STD-зондирования (зонд

Idronaut OS316 Plus) различных гидрологических параметров и для оперативного получения положения термо- и галоклина на каждой станции.

Пробы фиксировали формалином до конечной концентрации 4 %. Камеральную и статистическую обработку проб проводили по общепринятым методикам [9], биомассу рассчитывали по зависимости массы от длины тела организмов [10, 11]. Систематика приведена в соответствии с таксономическими базами WoRMS [12] и ITIS [13].

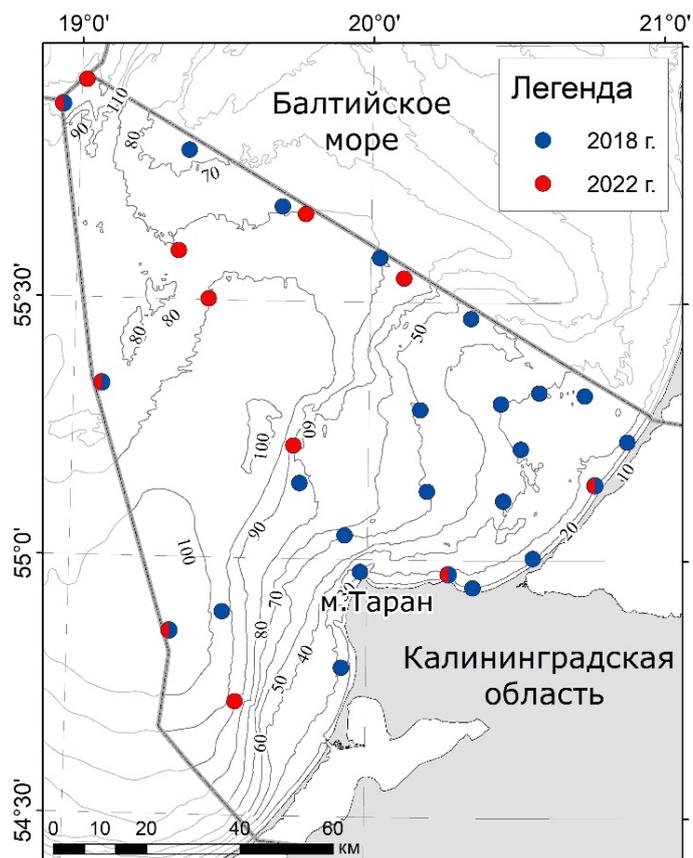


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб зоопланктона в юго-восточной части Балтийского моря  
Fig.1. Scheme of the location of zooplankton sampling stations in the south-eastern part of the Baltic Sea

Распределение зоопланктона было визуализировано с помощью приложения ArcMap программной среды ArcGIS, которое позволяет применить детерминированные и геостатистические методы интерполяции данных. Геостатистические методы подразумевают предварительную статистическую обработку данных, в то время как детерминированные используют математические функции и допускают меньшее количество точек выборки [14]. Ввиду небольшого числа станций были использованы детерминированные инструменты интерполяции, не требующие предварительной статистической обработки данных [15]. Полученные при помощи различных методов пространственные модели сравнивались между собой путем сопоставления интерполированных значений с реальными данными в элиминированной опорной точке. В качестве наиболее подходящего инструмента

был выбран «Сплайн с барьерами» модуля Spatial Analyst [16]. Карты распределения зоопланктона 2018 и 2022 гг. построены по данным тотальных ловов (от дна до поверхности), охватывающих весь столб воды на каждой станции. Карты распределения зоопланктона по данным 2022 г. построены по слоям: 1) поверхностный слой (до глубин 30 м, включая прибрежные районы); 2) промежуточный слой (термоклин), охватывающий толщу воды от 30 до 50 м; 3) глубинный – слой ниже начала галоклина (от 50 м до дна).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Летний зоопланктон (голопланктон) ЮВБ по данным двух лет был представлен 29 видами и таксонами более высокого порядка: Rotifera – 5, Copepoda – 11, Diplostraca – 9, Scyphozoa – 2, Ctenophora – 1, Appendicularia – 1. В меропланктоне отмечены личинки бентосных организмов Polychaeta, Bivalvia, Gastropoda, Cirripedia, а также яйца рыб (табл. 1). Большинство видов зоопланктона – широко распространенные в бореальных водах морские и пресноводные эвригалинные виды. Отмечены четыре вида-вселенца – две понто-каспийские кладоцеры *Cercorepaga pengoi*, *Evadne anonyx* и два вида из атлантического побережья Америки – калянида *Acartia tonsa*, гребневик *Mnemiopsis leidyi*.

Состав зоопланктона прибрежной и открытой частей моря отличался. В прибрежной зоне более разнообразны коловратки, встречались некоторые пресноводные кладоцеры и циклопы, которые попадают в море с выносом пресных вод из рек и/или заливов, наблюдалось большое разнообразие меропланктона. Среди коловраток преобладали виды рода *Synchaeta* spp., в прибрежной зоне – *Keratella quadrata*. В открытой части моря встречались планктонные оболочники *Fritillaria borealis* и сцифоидные медузы *Aurelia aurita* и *Cyanea* sp. В глубоководных районах массово развивался вид *Pseudocalanus acuspes* (который ранее определяли как *P. elongatus* (Voeck, 1865)), предпочитающий воды с пониженной температурой и повышенной соленостью.

Таблица 1. Список видов летнего зоопланктона в юго-восточной части Балтийского моря по данным двух лет

Table 1. List of summer zooplankton species in the south-eastern Baltic Sea based on two years of data

№ пп	Группы, виды / годы	2018	2022
	Тип Rotifera		
1	<i>Asplanchna priodonta</i> Gosse, 1850		+
2	<i>Synchaeta</i> spp.	+	+
3	<i>Synchaeta monopus</i> Plate, 1889	+	+
4	<i>Keratella quadrata</i> (O.F. Muller, 1786)	+	+
5	<i>Trichocerca elongata</i> (Gosse, 1886)		+
	Тип Arthropoda		
	Подтип Crustacea		
	Класс Branchiopoda		
	Подкласс Phyllopoda		
	Надотряд Diplostraca		

6	<i>Eubosmina maritima</i> (P.E. Müller, 1867)	+	+
7	<i>Evadne nordmanni</i> Lovén, 1836	+	+
8	<i>Evadne anonyx</i> G.O. Sars, 1897	+	
9	<i>Pleopsis polyphemoides</i> (Leuckart, 1859)	+	+
10	<i>Podon intermedius</i> Lilljeborg, 1853	+	+
11	<i>Cercopagis pengoi</i> (Ostroumov, 1989)	+	+
12	<i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Mueller, 1785)		+
13	<i>Daphnia galaeata</i> Sars, 1864		+
	класс Copepoda		
	Отряд Calanoida		
14	<i>Acartia longiremis</i> (Lilljeborg, 1853)	+	+
15	<i>Acartia tonsa</i> Dana, 1849	+	+
16	<i>Acartia bifilosa</i> (Giesbrecht, 1881)	+	+
17	<i>Centropages hamatus</i> (Lilljeborg, 1853)	+	+
18	<i>Temora longicornis</i> (Müller O.F., 1785)	+	+
19	<i>Pseudocalanus acuspes</i> (Giesbrecht, 1881)	+	+
20	<i>Eurytemora affinis</i> (Poppe, 1880)	+	+
	Отряд Cyclopoida		
21	<i>Oithona similis</i> Claus, 1866		+
22	<i>Mesocyclops leuckarti leuckarti</i> (Claus, 1857)		+
23	<i>Cryptocyclops bicolor</i> (Sars G.O., 1863)		+
24	Отряд Harpacticoidae	+	+
25	Отряд Mysida	+	+
	Тип Chordata		
	Класс Appendicularia		
26	<i>Fritillaria borealis</i> Lohmann, 1896	+	+
	Тип Cnidaria		
	Класс Scyphozoa		
27	<i>Aurelia aurita</i> (Linnaeus, 1758) эфиры		+
28	<i>Cyanea</i> sp. эфиры		+
	Тип Ctenophora		
	Класс Tentaculata		
29	<i>Mnemiopsis leidyi</i> A. Agassiz, 1865		+
	Меропланктон		
1	Polychaeta larvae	+	+
2	Bivalvia larvae	+	+
3	Gastropoda larvae	+	+
4	Cirripedia naupii	+	+
5	Pisces eggs	+	+
	<b>Всего</b> (голопланктона / весь зоопланктон)	<b>19/24</b>	<b>28/33</b>

В открытой части моря массово развивались копеподы *Acartia longiremis*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, *Pseudocalanus acuspes*, в прибрежной зоне – *Temora longicornis*, *Acartia bifilosa*, *Acartia tonsa*. Среди ветвистоусых ракообразных были многочисленны *Bosmina maritima*, *Evadne nordmanni*. В целом основу сообщества по биомассе составляли планктонные ракообразные, при этом в поверхностном слое на отдельных станциях была высока доля ветвистоусых ракообразных, но в основном в столбе воды доминировали веслоногие ракообразные (табл. 2).

Таблица 2. Доля планктонных ракообразных в общей биомассе зоопланктона (%) в юго-восточной части Балтийского моря

Table 2. Share of planktonic crustaceans in the total zooplankton biomass (%) in the south-eastern Baltic Sea

Год	2018		2022	
Слои воды, м	0–20	0–дно	0–30	0–дно
Copepoda	22–95	77–99	8–95	43–97
Cladocera	1–77	1–11	4–60	0,3–33

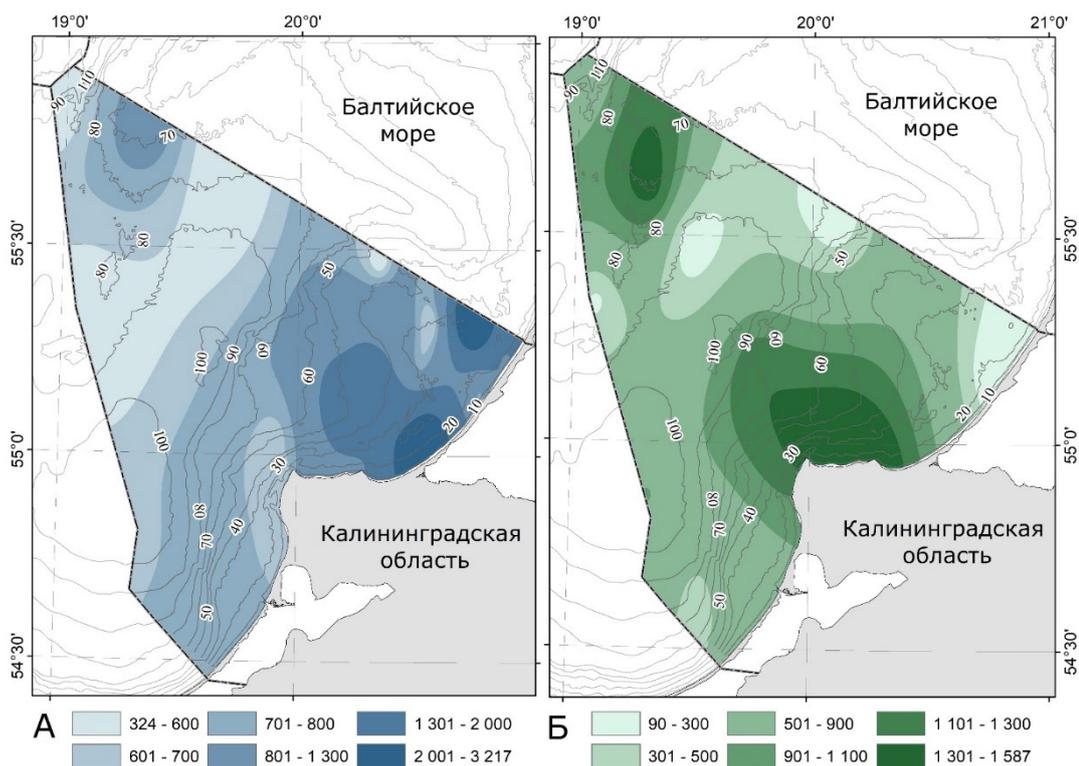


Рис. 2. Распределение летнего зоопланктона в столбе воды (биомасса,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) в Юго-Восточной Балтике в 2018 (А) и 2022 (Б) годах

Fig. 2. Distribution of summer zooplankton biomass in the water column ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in the south-eastern Baltic Sea in 2018 (A) and 2022 (B)

Поскольку более стабильным показателем является биомасса зоопланктона, были построены карты распределения биомассы. Выявлены существенные изменения диапазонов биомассы зоопланктона летом 2018 и 2022 гг. (рис. 2). Вариации биомассы зоопланктона в 2018 г. находились в пределах 324–3217 мг/м<sup>3</sup>. Наибольшее обилие зоопланктона отмечено в районе окончания северного побережья Самбийского полуострова и вдоль Куршской косы, а также ближе к Готландской впадине у российско-литовской границы, где показатели превышали 1000 мг/м<sup>3</sup> (рис. 2А). Летом 2022 г. биомасса зоопланктона была ниже, чем в 2018 г., и изменялась в пределах 91–1600 мг/м<sup>3</sup>. В этот период максимальная биомасса зоопланктона отмечена в прибрежной зоне северной части Самбийского полуострова и ближе к склону Готландской впадины (рис. 2Б)

Более высокие значения биомассы зоопланктона в 2018 г. можно объяснить разницей температур воды в исследуемый период: летом 2018 г. температура воды в поверхностном слое варьировала в пределах 20–23 °С, а в 2022 г. – в пределах 11–16 °С. Однако анализ пространственного распределения общей биомассы в толще воды выявил сходные районы скопления зоопланктона в эти годы, что могло быть обусловлено схожей гидродинамикой вод, а в прибрежном районе ЮВБ – скоплением фитопланктона, основного пищевого ресурса зоопланктона. Есть мнение, что особенности батиметрии вдоль Самбийского полуострова и кос, а именно бóльшая площадь малых глубин (до 40 м) северо-восточнее полуострова, способствуют формированию более благоприятных гидрологических и гидрохимических условий для массового развития фитопланктона (и хлорофилла *a*) относительно других районов [8, 17]. Более высокие показатели фитопланктона, наряду с гидрологическими особенностями, могут способствовать количественному развитию зоопланктона в этом районе. Для выявления типичного распределения зоопланктона в акватории ЮВБ необходим анализ многолетних данных.

В предыдущих исследованиях зоопланктона ЮВБ показано, что летом вертикальное распределение зоопланктона характеризуется повышенными значениями биомассы в верхнем квазиоднородном слое [7]. Выявлены некоторые особенности горизонтального распределения отдельных групп и видов зоопланктона в разных слоях воды, что обусловлено преимущественным развитием отдельных видов или возрастных стадий в более прогретом поверхностном слое, в промежуточном холодном слое или в слое галоклина и ниже с повышенной соленостью вод [7, 8, 18].

По данным 2022 г. нами впервые построены карты распределения общей биомассы зоопланктона в разных слоях воды в ЮВБ и выявлены особенности распределения биомассы в каждом слое (рис. 3). В поверхностном слое диапазон температуры и солености воды составил 11–16 °С и 7,7–7,5 PSU соответственно, при этом биомасса зоопланктона варьировала от 91 до 2370 мг/м<sup>3</sup> и картина распределения была частично схожа с таковой в столбе воды (рис. 2Б, рис. 3А), где скопление зоопланктона отмечено в районе м. Таран. В поверхностном слое пре-

обладали относительно мелкогабаритные коловратки, кладоцеры и науплии морских желудей, а также каляниды *Acartia* spp., *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, представленные примерно в равных долях (табл. 3). В промежуточном слое (термоклин) термохалинные условия изменялись в пределах 4,5–9,8 °C и 7,5–7,8 PSU, при этом биомасса зоопланктона была распределена более равномерно, диапазон значений составил 300–1000 мг/м<sup>3</sup> с максимальным обилием от северного побережья Самбийского полуострова до российско-литовской границы (рис. 2Б). В промежуточном слое доля коловраток и особенно кладоцер резко сократилась, основными доминирующими видами стали *Temora longicornis* и *Pseudocalanus acuspes* (30 и 35 % от общей биомассы соответственно) (табл. 3). В слое ниже начала галоклина до дна вариации температуры и солености составили 5–7 °C и 7,8–12,1 PSU, биомасса зоопланктона варьировала существенно – от 121 до 3170 мг/м<sup>3</sup>. При этом максимум биомассы отмечен у склона Готландской впадины за счет развития там относительно крупной каляниды *Pseudocalanus acuspes*, которая составила до 50 % общей биомассы зоопланктона (табл. 3).

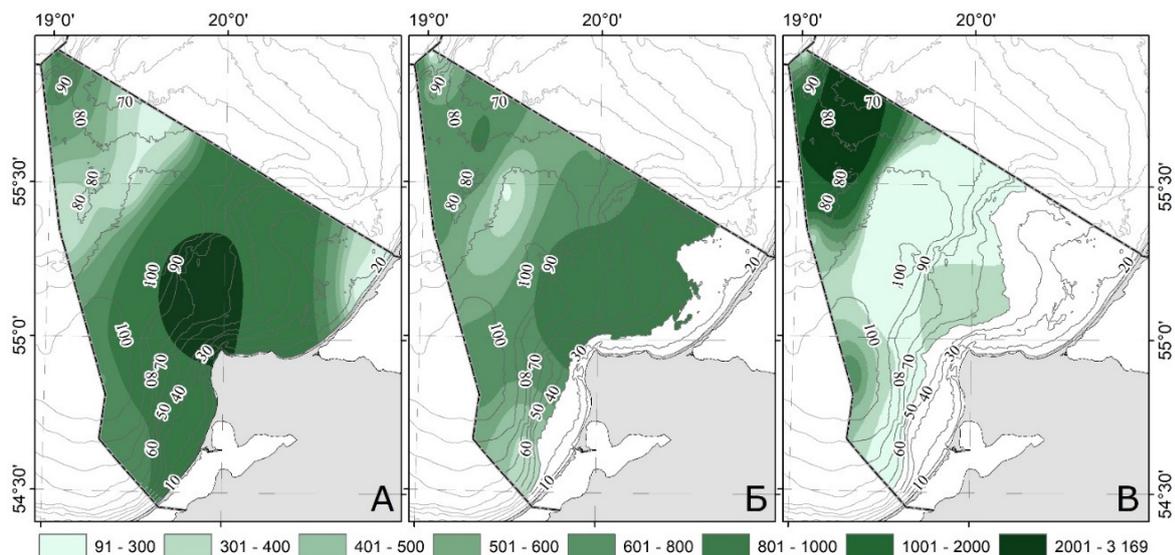


Рис. 3. Распределение зоопланктона (биомасса, мг/м<sup>3</sup>) в разных слоях воды Юго-Восточной Балтики летом 2022 г. (А – поверхностный слой, Б – промежуточный слой, В – слой ниже начала галоклина до дна)

Fig. 3. Distribution of zooplankton (biomass, mg/m<sup>3</sup>) in different layers of water in the south-eastern part of the Baltic Sea in summer 2022 (A – surface layer, B – intermediate layer, C – layer below the beginning of the halocline to the bottom)

Таблица 3. Массовые виды зоопланктона (доля % от общей биомассы) в разных гидрологических слоях ЮВБ, 2022 г.

Table 3. Mass species of zooplankton (share % of total biomass) in different hydrological layers SEB, 2022

Виды / Слои воды	ВКС	промежуточный	глубинный
<i>Synchaeta</i> sp.	14	5	1
<i>Evadne nordmanni</i>	14	2	0
<i>Podon intermedius</i>	6	0	0
<i>Pleopsis polyphemoides</i>	4	0	0
<i>Acartia</i> spp.	13	10	4
<i>Centropages hamatus</i>	13	14	8
<i>Temora longicornis</i>	15	30	17
<i>Pseudocalanus acuspes</i>	1	35	50
Cirripedia, nauplii	8	0	0

Отличия показателей биомассы и ее распределения в каждом слое воды могут зависеть от структуры зоопланктона, особенностей термохалинных условий, направления потока воды и количества пищевых ресурсов в каждом конкретном слое вод.

## ВЫВОДЫ

1. Летний зоопланктон в период исследования был представлен 29 видами и таксонами более высокого порядка, также временными компонентами зоопланктона были личинки Polychaeta, Bivalvia, Gastropoda, Cirripedia и яйца рыб. Основная доля в биомассе принадлежала планктонным ракообразным, преимущественно калянидам, однако в поверхностном слое на некоторых станциях была высока доля ветвистоусых ракообразных за счет развития двух видов – *Evadne nordmanni* и *Bosmina maritima*.

2. Выявлены межгодовые отличия показателей общей биомассы зоопланктона, при этом пространственное распределение биомассы в оба года имело значительное сходство. Скопления биомассы отмечены в прибрежной зоне до глубин 50 м от окончания северной части Самбийского полуострова вдоль Куршской косы и ближе к склону Готландской впадины в оба года. Для выявления типичного распределения летнего зоопланктона в районе исследования необходимы средне-многолетние значения.

3. Анализ распределения общей биомассы зоопланктона в слоях воды выявил разные участки его скопления в ЮВБ. Эти отличия во многом обусловлены составом доминирующих видов, сформированным в определенных термохалинных условиях в каждом конкретном слое.

## Список источников

1. Mohrholz V., Naumann M., Nausch G., Krüger S., Gräwe U. Fresh oxygen for the Baltic Sea – an exceptional saline inflow after a decade of stagnation // J. of Marine Systems. 2015. V. 148. P. 152–166.

2. Schulz J. et al. Spatial and temporal habitat partitioning by zooplankton in the Bornholm Basin (central Baltic Sea) // *Prog. Oceanogr.* 2012. N 107. P. 3–30.
3. Wasmund N., Dutz J., Pollehne F., Siegel H., Zettler M. Biological Assessment of the Baltic Sea 2015 // *Meereswiss. Ber., Warnemünde.* 2016. V. 102. P. 97.
4. Гущин А. В., Федоров В. Е. Современное состояние промысловой ихтиофауны южной части Балтийского моря как следствие антропогенного воздействия // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. Научно-теоретический журнал.* СПб, РГГМУ, 2017. № 49. С. 134–144.
5. Щука Т. А. Зоопланктон. Биологические сообщества // *Нефть и окружающая среда Калининградской области. Т. II: Море / Под ред. Сивкова В. В. и др.* Калининград: Terra Балтика, 2012. С. 389–407.
6. Полунина Ю. Ю., Родионова Н. В. Характеристика зоопланктонного сообщества // *Система Балтийского моря. М.: Научный мир, 2017. С. 258–291.*
7. Полунина Ю. Ю., Кречик В. А., Пака В. Т. Пространственная изменчивость зоопланктона и гидрологических показателей вод в южной и центральной части Балтийского моря в позднелетний сезон 2016 г. // *Океанология.* 2021. Т. 61. №. 6. С. 958–968, <https://doi.org/10.31857/S0030157421060113>.
8. Александров С. В., Гусев А. А., Семенова А. С. Планктонные и бентосные сообщества юго-восточной части Балтийского моря в летний период 2018–2019 гг. // *Океанологические исследования.* 2023. Т. 51. № 1. С. 91–113. DOI 10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).5.
9. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Под ред. Салазкина А. А., Ивановой М. Б., Огородниковой В. А. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 33 с.
10. Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Mesozooplankton biomass assessment // *The Baltic marine biologists. Publication. Working Group 14. Hernroth L. (ed.). 1985. N 10. 26 p.*
11. Виноградов М. Е., Шушкина Э. А. Функционирование планктонных сообществ пипелагиали океана. М: Наука, 1987. 240 с.
12. World Register of Marine Species. URL: <https://www.marinespecies.org/> (дата обращения: 20.10.2024).
13. Integrated Taxonomic Information System. URL: <https://itis.gov/> (дата обращения: 20.10.2024).
14. Eldrandaly K. A., Abu-Zaid M. S. Comparison of six GIS-based spatial interpolation methods for estimating air temperature in Western Saudi Arabia // *Journal of Environmental Informatics.* 2011. V. 18. N 1. P. 60–67.
15. Цифровые геоэкологические карты и некоторые приемы их построения в среде ГИС ArcGIS / С. В. Лебедев, Е. М. Нестеров, М. А. Кулькова, Л. М. Зарина // *ИнтерКарто. ИнтерГИС.* 2015. № 21. С. 540–547.
16. Справочная документация ArcMap. Сплайн с барьерами. URL: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/spline-with-barriers.htm> (дата обращения: 20.10.2024).
17. Influence of circulation processes on cyanobacteria bloom and phytoplankton succession in the Baltic Sea coastal area / E. A. Kudryavtseva et al. // *Ecologica Montenegrina.* 2023. V. 70. P. 164–182. DOI 10.37828/em.2023.70.1.

18. Полунина Ю. Ю., Ланге Е. К., Кречик В. А. Структура и распределение осеннего зоопланктона юго-восточной части Балтийского моря в 2015 г. // *Океанология*, 2019. Т. 59. № 1. С. 72–81.

### References

1. Mohrholz V., Naumann M., Nausch G., Krüger S., Gräwe U. Fresh oxygen for the Baltic Sea – an exceptional saline inflow after a decade of stagnation. *J. of Marine Systems*. 2015. V. 148. P. 152–166.

2. Schulz J. et al. Spatial and temporal habitat partitioning by zooplankton in the Bornholm Basin (central Baltic Sea). *Prog. Oceanogr.* 2012. N 107. P. 3–30.

3. Wasmund N., Dutz J., Pollehne F., Siegel H., Zettler M. Biological Assessment of the Baltic Sea 2015. *Meereswiss. Ber., Warnemünde*. 2016. V. 102. P. 97.

4. Gushchin A. V., Fedorov V. E. Sovremennoe sostoyanie promyshlennoy ikhtiofauny yuzhnoy chasti Baltiyskogo morya kak sledstvie antropogennoy vozdeystviya [Current state of commercial ichthyofauna of the southern part of the Baltic Sea as an anthropogenic impact of Greece]. *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. Nauchno-teoreticheskiy zhurnal*. SPb., RGGGMU, 2017, no. 49, pp. 134–144.

5. Shchuka T. A. Zooplankton. Biologicheskie soobshchestva [Zooplankton. Biological communities]. *Neft' i okruzhayushchaya sreda Kaliningradskoy oblasti* [Oil and the environment of the Kaliningrad region]. Vol. II: More / Pod red. Sivkov V. V. i dr. Kaliningrad, Terra Baltica Publ., 2012, pp. 389–407.

6. Polunina Yu. Yu., Rodionova N. V. Kharakteristika zooplanktonnogo soobshchestva [Characteristics of the zooplankton community]. *Sistema Baltiyskogo morya* [Baltic Sea System]. Moscow, Nauchnyy Mir Publ., 2017, pp. 258–291.

7. Polunina Yu. Yu., Krechik V. A., Paka V. T. Prostranstvennaya izmenchivost' zooplanktona i gidrologicheskikh pokazateley vod v yuzhnoy i tsentral'noy chasti Baltiyskogo morya v pozdneletniy sezon 2016 g. [Spatial variability of zooplankton and hydrological parameters of waters in the Southern and Central Baltic Sea in the late summer season of 2016]. *Okeanologiya*, 2021, vol. 61, no. 6, pp. 958–968, <https://doi.org/10.31857/S0030157421060113>.

8. Aleksandrov S. V., Gusev A. A., Semenova A. S. Planktonnye i bentosnye soobshchestva yugo-vostochnoy chasti Baltiyskogo morya v letniy period 2018–2019 gg. [Plankton and benthic communities of the south-eastern Baltic Sea in the summer period of 2018–2019]. *Okeanologicheskie issledovaniya*, 2023, vol. 51, no. 1, pp. 91–113. DOI 10.29006/1564-2291.JOR-2023.51(1).5.

9. Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologicheskikh issledovaniyakh na presnykh vodoemakh [Methodological recommendations for the collection and processing of materials during hydrobiological research in fresh water bodies]. *Zooplankton i ego produktsiya*. Pod red. Salazkina A. A., Ivanovoy M. B., Ogorodnikovoy V. A. GosNIORCH, 1984, 33 p.

10. Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. Mesozooplankton biomass assessment. *The Baltic marine biologists*. Publication. Working Group 14. Hernroth L. (ed.). 1985. N 10. 26 p.

11. Vinogradov M. E., Shushkina E. A. *Funktsionirovanie planktonnykh soobshchestv pipelagiali okeana* [Functioning of plankton communities in the ocean pipelagic zone]. Moscow, Nauka Publ., 1987, 240 p.
12. World Register of Marine Species. Available at: <https://www.marinespecies.org/> (accessed 20 October 2024).
13. Integrated Taxonomic Information System. Available at: <https://itis.gov/> (accessed 20 October 2024).
14. Eldrandaly K. A., Abu-Zaid M. S. Comparison of six GIS-based spatial interpolation methods for estimating air temperature in Western Saudi Arabia. *Journal of Environmental Informatics*. 2011. V. 18. N 1. P. 60–67.
15. Lebedev S. V., Nesterov E. M., Kul'kova M. A., Zarina L. M. Tsifrovye geoekologicheskie karty i nekotorye priemy ikh postroeniya v srede GIS ArcGIS. *InterKarto. InterGIS*, 2015, vol. 21, pp. 540–547.
16. Spravochnaya dokumentatsiya ArcMap. Splayn s bar'erami. Available at: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/spline-with-barriers.htm> (accessed 20 October 2024).
17. Kudryavtseva E. A. et al. Influence of circulation processes on cyanobacteria bloom and phytoplankton succession in the Baltic Sea coastal area. *Ecologica Montenegro*. 2023. V.70. P. 164–182. DOI 10.37828/em.2023.70.1.
18. Polunina Yu. Yu., Lange E. K., Krechik V. A. Struktura i raspredelenie osennego zooplanktona yugo-vostochnoy chasti Baltiyskogo morya v 2015 g. [Structure and distribution of autumn zooplankton in the south-eastern Baltic Sea in 2015]. *Okeanologiya*, 2019, no. 1, pp. 72–81.

#### Информация об авторах

**Ю. Ю. Полунина** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории морской экологии  
**А. Ю. Шартон** – младший научный сотрудник лаборатории морской экологии

#### Information about the authors

**Yu. Yu. Polunina** – PhD in Biology, Senior Researcher, Marine Ecology Laboratory  
**A. Yu. Sharton** – Scientific Researcher, Marine Ecology Laboratory

Статья поступила в редакцию 01.11.2024; одобрена после рецензирования 11.11.2024; принята к публикации 13.12.2024.  
The article was submitted 01.11.2024; approved after reviewing 11.11.2024; accepted for publication 13.12.2024.

Научная статья  
УДК 639.3.043.2  
DOI 10.46845/1997-3071-2025-76- 38-51

### Совместное выращивание австралийского красноклешневого рака и микрозелени в аквапонной установке

Юлия Алексеевна Ромашова<sup>1</sup>, Артем Борисович Дельмухаметов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>2</sup> Калининградский филиал Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, Полесск, Калининградская область, Россия

<sup>1</sup> yuliya.romashova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9067-4880>

<sup>2</sup> delmuchametov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1056-1680>

**Аннотация.** В настоящее время наиболее эффективным и перспективным способом ведения хозяйства является аквапоника. Она представляет собой соединение двух технологий – аквакультуры (разведение и выращивание водных организмов) и гидропоники (выращивание растений без использования грунта). Необходимость и актуальность разработки и применения различных вариантов подобной технологии обосновывается потребностью предприятий аквакультуры в повышении доходности производства. Аквакультура – отрасль, связанная с высокими производственными и экономическими рисками. Наличие дополнительных видов продукции – растительных культур – позволит предприятиям получить дополнительный доход и обеспечить большую стабильность на рынке. Целью данной работы являлось создание экспериментальной аквапонной установки и проведение исследования особенностей функционирования системы. В статье приведены данные по результатам экспериментального выращивания австралийского красноклешневого рака и микрозелени Редис микс (сорта Чайна Роуз + Рэд Корал) в условиях аквапонной системы на основе установки замкнутого цикла водоснабжения (УЗВ) в течение 8 дней, а также гороха зеленого сорта Мадрас в течение 12 дней. Также в статье показана схема установки и рассмотрена продуктивность данной системы по растениям, дана оценка биохимических процессов очистки воды от органических загрязнений. Проведенные исследования показали, что выращивание австралийского красноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868)) в данной аквапонной системе УЗВ достаточно эффективно, а выращивание микрозелени редиса и гороха по урожайности сопоставимо с классической гидропоникой (получены сходные показатели развития и урожайности растений в одинаковые нормативные сроки выращивания).

---

© Ромашова Ю. А., Дельмухаметов А. Б., 2025

**Ключевые слова:** аквапоника, австралийский красноклешневый рак, микрозелень редиса, микрозелень гороха зеленого, аквакультура, гидропоника, рациональное природопользование.

**Для цитирования:** Ромашова Ю. А., Дельмухаметов А. Б. Совместное выращивание австралийского красноклешневого рака и микрозелени в аквапонной установке // Известия КГТУ. 2025. № 76. С. 38–51. DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-38-51.

Original article

### Joint cultivation of Australian red-clawed crayfish and microgreens in an aquaponic system

Yuliya A. Romashova<sup>1</sup>, Artem B. Del'mukhametov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia,

<sup>2</sup> Kaliningrad branch of Saint-Petersburg State Agrarian University, Polessk, Kaliningrad region, Russia

<sup>1</sup> yuliya.romashova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9067-4880>

<sup>2</sup> delmuchametov@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1056-1680>

**Abstract.** Currently, one of the most promising and most high-tech ways of farming is aquaponics. It is a combination of two technologies: aquaculture (breeding and cultivation of aquatic organisms) and hydroponics (growing plants without soil). The necessity and urgency of developing and applying of different variants of such technology is justified by the need of aquaculture enterprises to increase profitability of production. Aquaculture is an industry associated with high production and economic risks. Availability of additional products, such as vegetable crops, will allow enterprises to gain additional income and provide greater stability in the market. The aim of this work was to create an experimental aquaponic plant and to investigate the peculiarities of the system functioning. The article presents data on the results of experimental cultivation of Australian red-clawed crayfish and microgreens of Radish mix (varieties China Rose + Red Coral) in aquaponic system based on recirculatory aquaculture system (RAS) for 8 days, as well as green peas Madras for 12 days. The paper also contains a schematic diagram of the RAS installation and considers productivity of this system in terms of plants, as well as an assessment of biochemical processes of water purification from organic contaminants. The studies have shown that cultivation of Australian red-clawed crayfish (*Cherax quadricarinatus* (Von Martens, 1868)) in this aquaponic system is quite effective, and the cultivation of radish and pea microgreens is comparable to classical hydroponics in terms of yields: similar indicators of plant development and yields have been obtained at the same normative terms of cultivation.

**Keywords:** aquaponics, Australian red-clawed crayfish, radish microgreens, green pea microgreens, aquaculture, hydroponics, environmental management.

**For citation:** Romashova Yu. A., Delmukhametov A. B. Joint cultivation of Australian red-clawed crayfish and microgreens in aquaponic installation. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2025;(76):38–51. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-38-51.

## ВВЕДЕНИЕ

Аквапоника (лат. *aqua* – вода, греч. *πόνοϛ* – работа) – современный и высокотехнологичный способ ведения хозяйства, результат интеграции аквакультуры (разведение и выращивание гидробионтов) и гидропоники (культивирование растений без использования грунта) [1]. Аквапонная система представляет собой комбинацию двух хорошо известных технологий – системы рециркуляционной аквакультуры (УЗВ) и системы гидропоники (выращивание растений на искусственных средах), работающие вместе в интегрированной среде [2]. В рамках такой системы удается добиться устойчивого роста как гидробионтов, так и растений за счет циркуляции воды, питательных веществ и биологических процессов. Аквапоннику можно рассматривать как один из способов интенсификации производства в рыбоводных (и растениеводческих) хозяйствах.

Современная аквапоника функционирует, направляя сточные воды, содержащие продукты метаболизма, из выростной емкости с гидробионтами в гидропонный модуль для выращивания растительных культур. Сточные воды используются в качестве источника питательных веществ для растений. Кроме того, добавление в схему промышленной установки для выращивания гидробионтов гидропонного модуля (модуля для выращивания растений) позволяет снизить нагрузку на систему со стороны продуктов азотистого обмена гидробионтов и способствует улучшению функционирования системы в целом [1, 3, 4].

Также аквапоника является одним из примеров рационального природопользования. Существует серьезная озабоченность общества по поводу того, как будущие поколения будут получать экологичные продукты питания. Интенсивное производство продуктов вынуждает сельское хозяйство чрезмерно эксплуатировать природные ресурсы, а также превращать естественные земли и леса в пахотные угодья. Загрязнение окружающей среды в результате массового использования удобрений и химикатов, снижение плодородия почвы и запасов углерода – неполный перечень основных проблем в сфере сельского хозяйства [5].

Система аквапоники отличается высокой экологической устойчивостью за счет минимизации расхода воды, отсутствия необходимости использования химических удобрений и возможности рециркуляции питательных веществ. Такой подход способствует уменьшению негативного воздействия на окружающую среду и позволяет обеспечить устойчивое производство пищевых продуктов. Кроме того, аквапонные установки характеризуются технической и эксплуатационной сложностью и могут быть частью как рыбоводных, так и растениеводческих хозяйств. Промышленные теплицы, использующие аквапонную технологию, относятся к самому высокотехнологичному на данный момент, шестому поколению теплиц [6, 7].

Отметим, что одним из интересных и относительно новых направлений в аквапонике является выращивание ракообразных. В литературных источниках (как в русскоязычных, так и в иностранных) есть только некоторые упоминания по данной тематике, что также определило актуальность данной работы.

Цель текущего исследования – создание экспериментальной аквапонной установки, исследование особенностей функционирования системы.

Задачи:

1. Изучить основные принципы создания и использования аквапонных систем;

2. Разработать и запустить действующую аквапонную установку на основе УЗВ со встроенным гидропонным модулем для совместного выращивания растений и раков;
3. Проанализировать динамику гидрохимических показателей в процессе эксплуатации опытной аквапонной установки;
4. Оценить эффективность выращивания раков и микрорзелени.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Существует ряд минимальных требований к основным техническим характеристикам аквапонных систем с гидропонным модулем.

Аквапонные установки изначально строятся на базе УЗВ для выращивания объектов аквакультуры. В дальнейшем в дополнение к УЗВ строится гидропонный модуль по технологии NFT (Nutrient Film Technique, в переводе – техника питательного слоя), представляющий систему для выращивания растительных культур, где происходит постоянная циркуляция тонкого слоя питательного раствора, что дает возможность корням растений регулярно получать все необходимые питательные вещества. УЗВ и гидропонный модуль соединены между собой системой труб и насосов, благодаря чему вода из выростных емкостей УЗВ попадает в емкости для выращивания растений. Емкости для растений, в свою очередь, оборудованы устройствами для слива воды, попадающей обратно в УЗВ, из-за чего образуется замкнутый цикл.

Сами УЗВ, используемые в аквапонике, как правило, снабжены типичным рыбоводным оборудованием: механическими фильтрами с префильтрами, воздушными компрессорами для поддержания определенного уровня растворенного кислорода в воде, терморегуляторной системой для обеспечения стабильной температуры воды, водными термометрами для точного и быстрого определения температуры.

Гидропонный модуль оснащен лотками с дренажными отверстиями, где и происходит рост самого растения на субстрате. Субстраты могут быть различными, они подбираются под растение, культивируемое в системе. Допустимо использование керамзита, вермикулита, минеральной ваты, перлита, кокосового волокна, почвенного грунта, также возможно совмещение нескольких субстратов. Помимо этого, для выращивания растений необходимы обдув, создаваемый вентиляторами во избежание распространения плесени на зеленой массе, и освещение фитолампами с подходящими для растений характеристиками.

Наряду с этим выделяют основные эксплуатационные требования для данных систем [8]:

1. Условия для выращивания растительных культур и гидробионтов, а именно гидрофизические (температура) и гидрохимические показатели водной среды (рН, соленость и т. д.), должны быть комфортными и соответствовать требованиям для их культивирования;
2. Важно учитывать скорость роста, плотность посадки, поведенческие особенности, отношение к выбранному типу содержания, выживаемость и скорость метаболизма гидробионтов для корректной работы системы. Поскольку метаболиты гидробионтов служат источником питательных веществ для растений, а растения, в свою очередь, способствуют очистке воды от органических загрязне-

ний, то значимость правильного выбора объемов разведения организмов нельзя недооценивать.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В соответствии с основными требованиями и принципами работы аквапонных систем с гидропонным модулем нами была создана схема (рис. 1) и собраны экспериментальные установки.

Установки включали в себя выростную емкость, изготовленную из контейнера типа «еврокуб» (емкость после удаления верхней части – 750 л), канистровый фильтр SunSun HW-404, терморегулятор Barbus HEATER 013 (500 Вт), компрессор воздушный Hailea ACO-318 с распылителями. Аквапонный модуль состоял из стойки с емкостями для размещения растений, насосов для обеспечения циркуляции воды, фитоламп «Эра FITO-14W-T5-RA90» и вентиляторов SHENGAN SG-002 для обдува растений. Параллельно был собран и запущен гидропонный модуль, устроенный аналогичным образом, но с той разницей, что питательный раствор для выращивания подавался к растениям из отдельных емкостей. В качестве питательного раствора для гидропонной установки использовали модифицированный раствор Кнопка, предназначенный для культивирования салатов, помидоров и зелени.

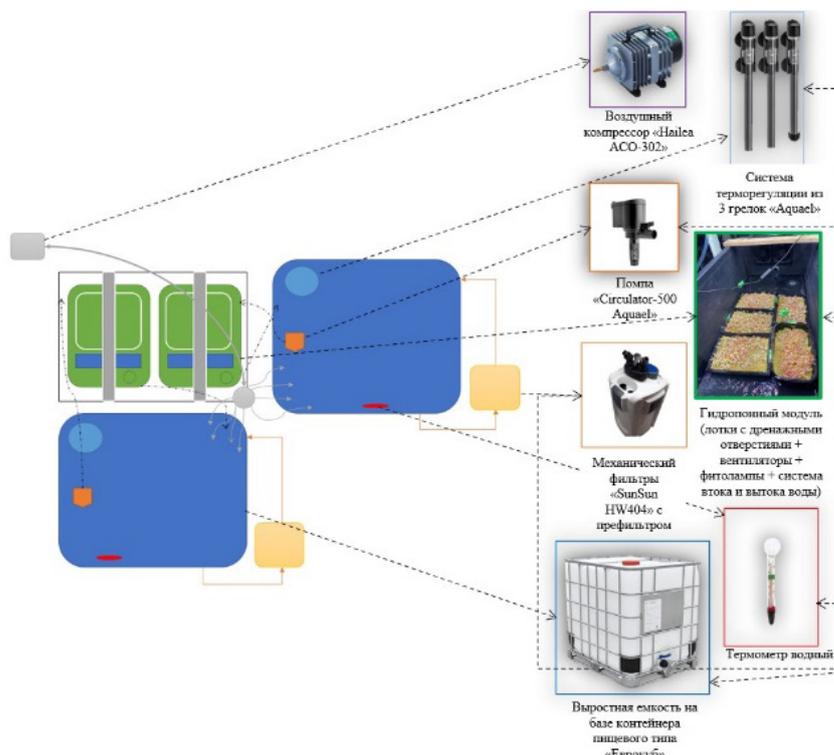


Рис. 1. Схема экспериментальной аквапонной установки с гидропонным модулем (составлена авторами)

Fig. 1. Schematic diagram of experimental aquaponic plant with hydroponic module (compiled by the authors)

Эксперимент проводили в двух повторностях. В качестве объектов аквакультуры были выбраны 36 особей красноклешневого австралийского рака (*Cherax quadricarinatus*, vonmartens, 1868), в качестве растительных объектов – микрозелень Редис микс (сорта Чайна Роуз + Рэд Корал) и зеленый горох Мадрас.

Эксперимент длился 21 сут без учета времени на проращивание посадочного материала. С 26.07.2024 по 02.08.2024 происходило культивирование семян микрозелени редиса, а с 02.08.2024 по 15.08.2024 – семян гороха. Предварительно раки содержались в установке в течение трех недель с целью наработки биофильтрационных кассет канистровых фильтров и стабилизации гидрохимических условий в установках.

Для оценки скорости роста раков использовали общий продукционный коэффициент скорости массонакопления и относительный среднесуточный прирост.

Общий продукционный коэффициент массонакопления рассчитывали по формуле (1) [9]:

$$K_m = \frac{\left( M_{\text{кон}}^{\frac{1}{3}} - M_{\text{нач}}^{\frac{1}{3}} \right) \times 3}{(T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}})}, \quad (1)$$

где  $M_{\text{нач}}$  и  $M_{\text{кон}}$  – начальная и конечная масса рыб, г;  $T_{\text{нач}}$  и  $T_{\text{кон}}$  – возраст рыб в начале и конце периода, сут

Относительный среднесуточный прирост определяли по формуле (2) [10]:

$$C = \frac{(M_{\text{кон}} - M_{\text{нач}}) \times 2 \times 100}{(M_{\text{кон}} + M_{\text{нач}}) \times (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}})}, \quad (2)$$

где обозначения те же, что в формуле (1).

Для оценки эффективности кормления раков и продуктивного действия корма использовали затраты корма. Этот показатель определяли как отношение количества корма, внесенного в емкость, где выращиваются раки, к единице прироста массы по формуле (3) [11]:

$$З = \frac{E_B}{R}, \quad (3)$$

где  $E_B$  – количество внесенного корма, кг;  $R$  – полученная продукция, кг.

Массовые промеры раков (рис. 2, а и б) проводили по методике Л. Ю. Лагуткиной и С. В. Пономарева [12], определение пола – по наличию или отсутствию аппендикса маскулина на эндоподите 2-х плеопод или первой пары плеопод по наличию бокового выступа у самцов или его отсутствию у самок.



Рис. 2. Процесс массовых промеров австралийского красноклешневого рака:  
а) самка австралийского красноклешневого рака перед промерами тела и клешней; б) взвешивание австралийского красноклешневого рака  
Fig. 2. Australian red-clawed crayfish mass measurement process: a) female Australian red-clawed crayfish before body and claw measurements; b) weighing of Australian red-clawed crayfish

Плотность посадки в обеих емкостях составила 18 шт. на 1 м<sup>2</sup>, биомасса была одинаковой.

Кормление осуществлялось 2 раза в сутки (утром и вечером). Суточная доза корма была равна 2,5 % от массы тела особи, в дальнейшем ее корректировали с учетом поедаемости корма.

Обслуживание УЗВ происходило ежедневно. Суточная замена воды в выростных емкостях осуществлялась из расчета 10–15 % от объема рыбоводной емкости. Это позволило рационально обновлять воду и в то же время поддерживать температуру в установке на оптимальном уровне.

За 3 суток до начала эксперимента (т. е. 24.07.2024) были пророщены семена микрозелени редиса. К растениям применена методика калибровки семян и визуального осмотра перед посадкой. Калибровка (рис. 3а) и сортировка позволяют предварительно отобрать пустые, слабые или поврежденные семена, так как более крупные и тяжелые семена содержат больше питательных веществ. Такой отбор является важным этапом в процессе обработки семян в агрономии.

Высаживали семена на влажную минеральную вату в предварительно подготовленные лотки размерами 17×11,5 см для выращивания микрозелени с дренажными отверстиями. Норма посева микрозелени редиса составила 7 г на 195,5 см<sup>2</sup> (около 103–126 семян на 1 лоток).

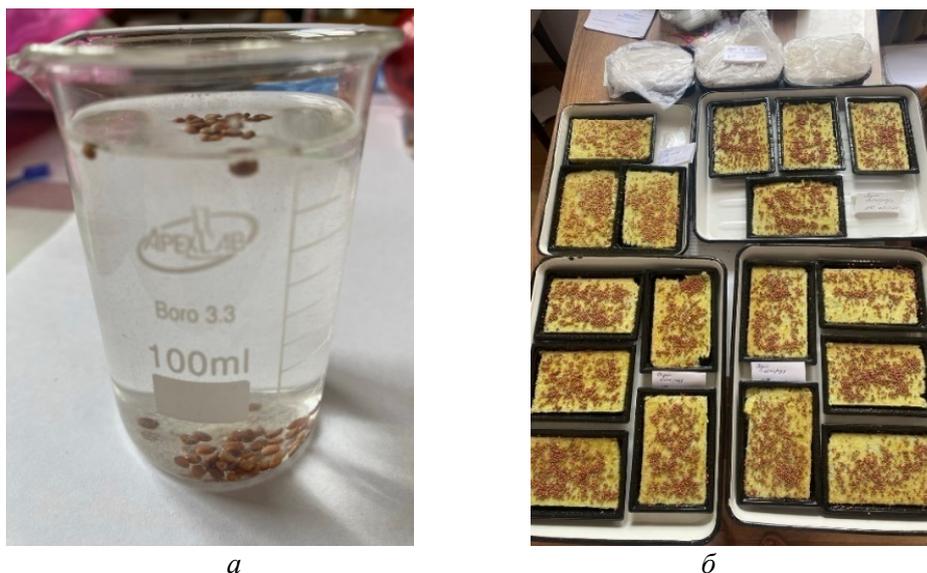


Рис. 3. Процессы калибровки и высадки семян в субстрат: а) калибровка семян микрозелени редиса в калибровочном растворе из поваренной соли; б) высадка семян микрозелени редиса в дренажные лотки

Fig. 3. Processes of seed calibration and planting into substrate: a) calibration of radish microgreen seeds in calibration solution of table salt; b) planting of radish microgreen seeds into drainage trays

После проращивания рассчитывали стандартные показатели роста для микрозелени: энергию прорастания, лабораторную всхожесть, густоту посева, высоту растений. В конце эксперимента определяли конечную высоту растений, их массу, урожайность, сырую фитомассу, время прорастания и уборки урожая.

Данные показатели и методика проращивания растений была идентична и для гороха зеленого сорта Мадрас. Норма высева гороха составила 60 г на 195,5 см<sup>2</sup> (около 120–133 горошин на 1 лоток).

Гидрохимические показатели были отобраны с различных точек аквапонной и гидропонной установок – на втоках и вытоках из модулей, пробы обрабатывали по общепринятым методикам в гидрохимической лаборатории КГТУ [13, 14, 15], также определяли содержание нитритов NO<sub>2</sub>, нитратов NO<sub>3</sub>, фосфатов P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, аммонийного азота NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, свободного аммиака NH<sub>3</sub><sup>+</sup>.

За период исследования аквапонная установка работала стабильно, без перебоев, во время проведения эксперимента условия, созданные для растительных культур и гидробионтов, соответствовали оптимуму.

В табл. 1 представлены результаты массовых промеров раков на начало и конец эксперимента. Прирост массы раков за период наблюдений составил 6,11 г (с 23,85±7,35 г в начале работ до 25,96±8,87 г на момент завершения). Общая длина тела также увеличилась с 10,03±1,38 до 11,8±1,50 см. Общепродукционный коэффициент массонакопления за рассматриваемый период был равен 0,29, относительный среднесуточный прирост – 1,51 %. Выживаемость раков за период выращивания составила 88,9 %, затраты корма – 1,15. Некоторые гидрохимические параметры воды установок замкнутого цикла водоснабжения на втоке в аквапонный модуль и вытоке из него представлены в табл. 2.

Таблица 1. Морфометрические показатели и показатели скорости роста раков в аквапонных установках

Table 1. Morphometric and growth rate indices of crayfish in aquaponic plants

Период	Параметры							
	Масса тела, г	Общая длина, см	Длина цефалоторакса, см	Длина абдомена, см	Длина тельсона, см	Длина второго сегмента периподов, см		
						дактилоподит	проподит	карпоподит
Начало эксперимента	23,85 ±7,35	10,03 ±1,38	4,6±0,53	3,98±0,49	1,38 ±0,18	3,23 ±0,47	0,79±0,24	1,78±0,28
Завершение эксперимента	25,96 ±8,87	11,8 ±1,50	4,8±0,63	4,26±0,73	1,71 ±0,51	3,37 ±0,63	1,13±0,61	1,89±0,34
Коэффициент массонакопления	0,29							
Относительный среднесуточный прирост, %	1,51							

Таблица 2. Гидрохимические параметры воды установок замкнутого водоснабжения с аквапонным модулем

Table 2. Hydrochemical parameters of water of closed water supply installations with aquaponic module

Показатель	Среднее значение			
	Редис		Горох	
	Вток	Выток	Вток	Выток
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,022±0,006	0,009±0,001	0,011±0,001	0,005±0,001
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,27±0,04	0,11±0,03	0,35±0,03	0,32±0,05
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,24±0,04	0,23±0,05	0,24±0,03	0,19±0,03
NH <sub>3</sub>	0,010±0,002	0,009±0,001	0,071±0,025	0,068±0,037
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	32,89±2,57	28,11±1,42	29,59±2,69	27,9±0,31

Таблица 3. Некоторые показатели проращивания семян и выращивания микрозелени редиса и гороха на гидропонике и аквапонике

Table 3. Some indicators of seed germination and microgreen production of radish and pea on hydroponics and aquaponics

Параметр	Редис		Горох	
	Гидропоника	Аквапоника	Гидропоника	Аквапоника
Энергия прорастания семян, %	79,14±4,35		48,33±4,39	
Всхожесть семян, %	84,14±3,49		55,18±4,14	
Густота стояния, г/см <sup>2</sup>	3,29±0,15	3,57±0,20	67,90±5,59	70,80±5,25
Высота растения в конце цикла выращивания, см	11,20±1,17	11,64±0,91	15,72±0,28	17,97±0,14
Время прорастания, сут	3		3	
Продолжительность выращивания, сут	8		12	
Сырая фитомасса растений, г	124,64±8,82	132,25±8,01	33,95±4,31	27,16±6,63
Урожайность, г/м <sup>2</sup>	6375,45	6764,71	1736,57	1389,26

При сравнении средних значений содержания нитритов на втоке и вытоке из гидропонного модуля при выращивании редиса отмечено снижение концентрации с 0,022 до 0,009 мг/л, при этом в течение всего периода выращивания среднее содержание нитритов в воде установок постепенно снижалось. При сравнении средних значений содержания нитритов в воде установок до и после подключения гидропонного модуля к системе концентрация нитритов снизилась с 0,05 до 0,022 мг/л (при  $p < 0,01$ ). Отметим, что все значения не выходили за пределы предельно допустимой концентрации (ПДК), составляющей для нитритов 0,08 мг/л [1].

При выращивании гороха зафиксированы сходные закономерности. Средняя концентрация нитритов на втоке в гидропонный модуль составляла 0,011 мг/л, на вытоке ( $p < 0,01$ ) – 0,005 мг/л. Средняя концентрация нитритов в воде установок до подключения гидропонного модуля составляла 0,05 мг/л, после – 0,011 мг/л (достоверно ниже при  $p < 0,001$ ). В случае с горохом также отмечается определенное снижение содержания нитритов с 0,01 до 0,006 мг/л к завершению цикла выращивания.

При выращивании редиса также прослеживается снижение средней концентрации фосфатов – 0,11 мг/л на вытоке из гидропонного модуля против 0,27 мг/л на втоке (при  $p < 0,05$ ). Средняя концентрация фосфатов в воде с подключением гидропонного модуля также значительно снизилась (0,55 мг/л до подключения модуля и 0,27 мг/л после, при  $p < 0,001$ ). ПДК фосфатов в воде составила 2,25 мг/л, все значения, полученные в период исследования, не выходили за пределы ПДК и были значительно ниже.

В случае с горохом различий в концентрации фосфатов на входе и выходе из гидропонного модуля не отмечалось.

По остальным оцениваемым параметрам различий при сравнении концентраций на входе и выходе, а также до подключения гидропонного модуля и после не обнаружено.

В табл. 3 представлены некоторые показатели выращивания микрозелени редиса и гороха в аквапонной и гидропонной установках.

Из данных, приведенных в таблице, видно, что сырая фитомасса растений, полученная с 5 стандартных лотков в условиях аквапоники и гидропоники, была достаточно близкой. Отметим здесь невысокую всхожесть взятых нами семян гороха, что говорит об их изначально низком качестве. Достоверные различия среди приведенных показателей имеются только по высоте растений гороха – за 12 дней выращивания горох на аквапонике достиг большей высоты ( $p < 0,01$ ) – 17,97 против 15,72 см на гидропонике.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместное выращивание австралийского красноклешневого рака и микрозелени редиса и гороха в аквапонной установке является перспективным направлением в сельском хозяйстве, которое сочетает в себе производство белковой и растительной продукции. Метод аквапоники для выращивания микрозелени способствует обеспечению продуктивности, близкой к классической гидропонике, а также может быть эффективен с экономической точки зрения. Учитывая преимущества и потенциал такой системы, совместное выращивание раков и микрозелени в аквапонике заслуживает внимания сельскохозяйственных предприятий и фермеров.

Подводя итог, совместное выращивание австралийского красноклешневого рака и семян редиса и гороха в аквапонной установке представляет собой инновационное решение, объединяющее в себе высокую производительность, экологическую устойчивость и разнообразие продукции, что делает его привлекательным вариантом для сельскохозяйственных предприятий.

### Список источников

1. Ромашова Ю. А. Совместное выращивание гидробионтов и растений как перспективное направление развития индустриальной аквакультуры // Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся «Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК» (г. Санкт-Петербург, 24–26 марта 2021 г.). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2021. Ч. 1. С. 260–262.

2. Abbassi R., Martinez P., Ahmad R. An ontology model to support the automated design of aquaponic grow beds // China Agricultural University. 2021. V. 100. P. 55–60.

3. Баричева Н. И., Мозгова Е. К., Сорокина М. В. Сельское хозяйство будущего (обзорная статья) // Научный журнал молодых ученых. 2023. №5 (35). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/selskoe-hozyaystvo-buduschego-obzornaya-statya> (дата обращения: 07.10.2024).

4. Аквапоника как способ получения гидропонного корма / Н. А. Юрина, А. А. Данилова, Е. А. Максим, А. Н. Гнеуш, Д. В. Горобец, Н. Н. Трохимчук // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. 2020. № 1. С. 121–124.
5. Agricultural sustainability and intensive production practices / D. Tillman, K.G. Cassman, P.A. Matson, R. Naylor, S. Polasky // Nature. London. 2002. P. 55–60.
6. Щеглов Е. В., Никитенко С. В., Рабенко И. А. Революция тепличных комплексов: от пленки до аквапоники и led-освещения // АгроФорум. 2023. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/revolyutsiya-teplichnyh-kompleksov-ot-plyonki-do-akvaponiki-i-led-osvescheniya> (дата обращения: 07.10.2024).
7. Юрина Н. А. Использование аквапонного метода // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. №10 (112). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-akvaponnogo-metoda> (дата обращения: 07.10.2024).
8. Юшко Л. В., Курапова Т. М. Создание и эксплуатация аквапонной установки // Материалы Межвузовской научно-практической конференции студентов и курсантов «Дни науки» (г. Калининград, 12–25 апреля 2021 г.). Калининград: Обособленное структурное подразделение «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2021. С. 135–139.
9. Купинский С. Б. Продукционные возможности объектов аквакультуры. Астрахань: Дмитровский филиал Астраханского государственного технического университета, 2007. 142 с.
10. Первый этап разработки уравнений роста рыб на вегетативных стадиях развития / В. Ф. Резников, С. А. Баранов, Е. А. Стариков, Г. И. Толчинский // Труды Всероссийского научно-исследовательского института прудового рыбного хозяйства, 1978. С. 220–236.
11. Щербина М. А., Гамыгин Е. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре. Москва: ВНИРО, 2006. 360 с.
12. Лагуткина Л. Ю., Пономарев С. В. К морфометрическим показателям австралийских раков (*Cherax quadricarinatus*) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2010. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-morfometricheskim-pokazatelyam-avstraliyskih-rakov-cherax-quadricarinatus> (дата обращения: 08.08.2024).
13. ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. 2016-01-01. Москва, 2019. 19 с.
14. ГОСТ 18309-2014 Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ. 2016-01-01. Москва, 2019. 22 с.
15. ГОСТ 58797-2020 Вода питьевая, расфасованная в емкости. Определение массовой концентрации растворенного кислорода. 2020-06-01. Москва, 2020. 11 с.

## References

1. Romashova Yu. A. Sovmestnoe vyrashchivanie gidrobiontov i rasteniy kak perspektivnoe napravlenie razvitiya industrial'noy akvakul'tury [Co-cultivation of hy-

drobionts and plants as a promising area of industrial aquaculture development]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i obuchayushchikhsya "Intellectual'nyy potentsial molodykh uchenykh kak drayver razvitiya APK"* (g. Saint-Petersburg, 24–26 marta 2021 g.) [Proc. International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students "Intellectual Potential of young scientists as a driver of agro-industrial development" (Saint-Petersburg, March 24–26, 2021)]. Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2021, p. 1, pp. 260–262.

2. Abbassi R., Martinez P., Ahmad R. An ontology model to support the automated design of aquaponic grow beds. China Agricultural University. 2021. V. 100. P. 55–60.

3. Baricheva N. I., Mozgova E. K., Sorokina M. V. Cel'skoe khozyaystvo budushchego (obzornaya stat'ya) [Agriculture of the future (review article)]. *Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh*, 2023, no. 5 (35), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/selskoe-hozyaystvo-buduschego-obzornaya-statya> (accessed 07 October 2024).

4. Yurina N. A., Danilova A. A., Maksim E. A., Gneush A. N., Gorobets D. V., Trokhimchuk N. N. Akvaponika kak sposob polucheniya gidroponnogo korma [Aquaponics as a method of hydroponic feed production]. *Sbornik nauchnykh trudov Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva*, 2020, no. 1, pp. 121–124.

5. Tillman D., Cassman K. G., Matson P. A., Naylor R., Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*. 2002. P. 55–60.

6. Shcheglov E. V., Nikitenko S. V., Rabenko I. A. Revolyutsiya teplichnykh kompleksov: ot plenki do akvaponiki i led-osveshcheniya [The greenhouse revolution: from film to aquaponics and led lighting]. *AgroForum*, 2023, no. 2, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/revolyutsiya-teplichnyh-kompleksov-ot-plyonki-do-akvaponiki-i-led-osveshcheniya> (accessed 07 October 2024).

7. Yurina N. A. Ispol'zovanie akvaponnogo metoda [Using the aquaponic method]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*, 2021, no. 10 (112), available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-akvaponnogo-metoda> (accessed 07 October 2024).

8. Yushko L. V., Kurapova T. M. Sozdanie i ekspluatatsiya akvaponnoy ustanovki [Setting up and operating an aquaponic system]. *Materialy Mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov i kursantov "Dni nauki"* (g. Kaliningrad, 12–25 aprelya 2021 g.) [Proc. Interuniversity Scientific and Technical Conference of Students and Cadets "Science days" (Kaliningrad, April 12–25, 2021)]. Kaliningrad, Obosoblennoe strukturnoe podrazdelenie "Baltiyskaya gosudarstvennaya akademiya rybopromyslovogo flota" FGBOU VPO "Kaliningradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet", 2021, pp. 135–139.

9. Kupinskiy S. B. *Produksionnye vozmozhnosti ob"ektov akvakul'tury* [Productive capacity of aquaculture facilities]. Astrakhan', Dmitrovskiy filial Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2007, 142 p.

10. Reznikov V. F., Baranov S. A., Starikov E. A., Tolchinskiy G. I. Pervyy etap razrabotki uravneniy rosta ryb na vegetativnykh stadiyakh razvitiya [First stage in the development of fish growth equations at vegetative stages of development]. *Trudy*

*Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta prudovogo rybnogo khozyaystva*, Moscow, 1978, pp. 220-236.

11. Shcherbina M. A., Gamygin E. A. *Kormlenie ryb v presnovodnoy akvakul'ture* [Feeding fish in freshwater aquaculture]. Moscow, VNIRO Publ., 2006. 360 p.

12. Lagutkina L. Yu., Ponomaryov S. V. К морфометрическим показателям австралийских раков (*Cherax quadricarinatus*) [On morphometric indices of Australian crayfish (*Cherax quadricarinatus*)]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, seriya: Rybnoe khozyaystvo*, 2010, no. 2, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-morfometricheskim-pokazatelyam-avstraliyskih-rakov-cherax-quadricarinatus> (accessed 08 October 2024).

13. State Standard 33045-2014 Water. Methods for determination of nitrogen-containing matters. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 19 p. (In Russian).

14. State Standard 18309-2014 Water. Methods for determination of phosphorus-containing matters. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 22 p. (In Russian).

15. State Standard 58797-2020 Drinking bottled water. Determination of mass concentration of dissolved oxygen. Measurement procedure. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 11 p. (In Russian).

#### **Информация об авторах**

**Ю. А. Ромашова** – магистрант направления «Водные биоресурсы и аквакультура», ведущий инженер кафедры водных биоресурсов и аквакультуры

**А. Б. Дельмухаметов** – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой животноводства

#### **Information about the author**

**Y. A. Romashova** – master degree student of Aquatic bioresources and aquaculture, lead engineer of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture

**A. B. Del'muhametov** – PhD in Biology, Head of Animal husbandry department

Статья поступила в редакцию 18.10.2024; одобрена после рецензирования 28.10.2024; принята к публикации 13.12.2024.

The article was submitted 18.10.2024; approved after reviewing 28.10.2024; accepted for publication 13.12.2024.



# **ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**



Научная статья  
УДК 637.12.04(06)  
DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-55-63

### Получение молочного желе с коллагенсодержащей добавкой из рыбьей чешуи

Виктор Иванович Воробьев<sup>1</sup>, Елена Владимировна Нижникова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>viktor.vorobev@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

<sup>2</sup>elena.nizhnikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2209-7937>

**Аннотация.** Исследование связано с возможностью применения нативной коллагенсодержащей добавки, полученной из чешуи судака (*Sander lucioperca*), для замены ею более дорогого желатина животного происхождения в рецептуре молочного желе. Нарботана опытная партия коллагенсодержащей добавки из рыбьей чешуи и определен ее общий химический состав: влага – 7,2 %, белок – 71,4 %, жир – 1,4 %, зола – 20,0 %, в том числе кальций (Ca) – 6,5 %, фосфор (P) – 3,8 %. Согласно представленной рецептуре молочного желе получен ее контрольный образец (с животным желатином) следующего общего химического состава: влага – 82,35 %, белок – 4,10 %, жир – 2,75 %, углеводы – 9,9 %, общая зола – 0,9 %, а также опытный образец (с рыбной коллагенсодержащей добавкой и желатином) соответственно: влага – 82,77 %, белок – 4,74 %, жир – 2,49 %, углеводы – 8,9 %, общая зола – 1,1 %. Показано (расчетный метод), что опытный образец молочного желе имеет пониженную энергетическую ценность (76,97 ккал) по сравнению с контрольным (80,75 ккал). Определено, что добавление рыбной коллагенсодержащей добавки в рецептуру молочного желе способствует увеличению выхода готовой продукции в сравнении с контрольным образцом. Исследованы органолептические характеристики опытного и контрольного образцов молочного желе. Установлено, что опытный образец желе (по структуре напоминающей мягкое мороженое) отличался от контрольного более плотной и упругой консистенцией и менее сладким вкусом. Частичная замена животного желатина на коллагенсодержащую добавку в рецептуре молочного желе способствует его обогащению продуктами гидролиза рыбного коллагена и биогенного кальция, а также вовлечению в промышленное производство значительных количеств малоиспользуемой рыбьей чешуи.

**Ключевые слова:** рыбная коллагенсодержащая добавка, молочное желе, рыба чешуя, животный желатин, десерт.

**Для цитирования:** Воробьев В. И., Нижникова Е. В. Получение молочного желе с коллагенсодержащей добавкой из рыбьей чешуи // Известия КГТУ. 2025. № 76. С. 55–63. DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-55-63.

Original article

### Preparation of milk jelly with collagen-containing additive from fish scales

Viktor I. Vorob'ev<sup>1</sup>, Elena V. Nizhnikova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>viktor.vorobev @klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8209-7851>

<sup>2</sup>elena.nizhnikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2209-7937>

**Abstract:** The study is related to the possibility of using native collagen-containing additive obtained from pike-perch (*Sander lucioperca*) scales to replace more expensive gelatin of animal origin in the formulation of milk jelly. A pilot batch of collagen-containing additive from fish scales has been produced and its total chemical composition has been determined: moisture – 7.2%, protein – 71.4%, fat – 1.4%, ash – 20.0%, including calcium (Ca) – 6.5%, phosphorus (P) – 3.8%. According to the presented recipe of milk jelly its control sample (with animal gelatin) of the following general chemical composition has been obtained: moisture – 82.35%, protein – 4.10%, fat – 2.75%, carbohydrates – 9.9%, total ash – 0.9%, as well as the experimental sample (with fish collagen-containing additive and gelatin) respectively: moisture – 82.77%, protein – 4.74%, fat – 2.49%, carbohydrates – 8.9%, total ash – 1.1%. It has been shown (by calculation method) that the experimental sample of milk jelly has a reduced energy value (76.97 kcal) compared to the control (80.75 kcal). It has been found that fish collagen-containing additive in the formulation of milk jelly contributes to the increase in the yield of finished products, compared with the control. Organoleptic characteristics of experimental and control samples of milk jelly have been studied. It has been found that the experimental sample of milk jelly (in structure resembling soft ice cream) differs from the control by more dense and elastic consistency and less sweet flavour. Partial replacement of animal gelatin with collagen-containing additive in the formulation of milk jelly, contributes to its enrichment with products of hydrolysis of fish collagen and biogenic calcium, as well as involvement in industrial production of significant amounts of little-used fish scales.

**Keywords:** fish collagen-containing additive, milk jelly, fish scales, animal gelatin, dessert.

**For citation:** Vorobiev V. I., Nizhnikova E. V. Preparation of milk jelly with collagen-containing additive from fish scales. *Izvestiya KGTY = KSTU News*. 2025;(76):55–63. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-55-63.

#### ВВЕДЕНИЕ

Расширение ассортимента популярных десертов на основе молока (примерно 80 % людей вне зависимости от пола и возраста приобретают десерты на его основе), традиционно производимых в России в значительных количествах, является весьма актуальным направлением [1]. Важный экономический фактор молочных десертов – отсутствие колебаний их потребления в течение года, в отличие от сезонного спроса на фрукты, овощи и соки [1].

Желейные блюда (желе, муссы, кисели, самбуки, крема) относят к продуктам с низким содержанием жиров, что позволяет наряду с получением удовольст-

вия от их употребления корректировать калорийность ежедневного рациона, препятствуя риску возникновения ожирения, сердечно-сосудистых заболеваний, диабета и иных «болезней цивилизации» [2].

Желе является десертным изделием, приготовленным из различного сырья с применением гидроколлоидов (желатина, пектина, агар-агара и др.), способных в низких концентрациях образовывать стабильные гидрогели (студни) [3–7]. Желатин (продукт гидролиза коллагена животного происхождения, выпускаемый в виде порошка, гранул и листов) – одна из наиболее востребованных в пищевой промышленности добавок, применяемая как стабилизатор, текстуризатор, загуститель, студнеобразователь, влагоудерживающий агент [8].

Желатин также используется в продуктах с пониженным содержанием жира, чтобы имитировать ощущение жира во рту и создавать впечатление объема [8]. При концентрации желатина 2,7–3,0 % от общей массы продукта он образует прочные студни [8].

Существенными недостатками производства желатина являются значительные энергозатраты, длительность процесса получения традиционным способом (в связи с необходимостью перевода коллагенсодержащего сырья в растворимое состояние (гидролиз) с последующей нейтрализацией образовавшегося раствора, концентрированием и высушиванием) и как следствие – высокая стоимость конечного продукта.

Разработан способ получения коллагенсодержащей добавки из рыбьей чешуи (КД) без проведения процесса предварительного гидролиза сырья [9,10]. Полученная более дешевая КД из практически неиспользуемого сырья также содержит биогенный кальций (в основном гидроксиапатит), являющийся основой костей животных и человека [11,12].

Применение КД в составе молочного желе будет способствовать обогащению его продуктами гидролиза рыбного коллагена и биогенного кальция при снижении стоимости, а также вовлечению недостаточно используемых значительных количеств рыбьей чешуи в промышленное производство продукции функциональной направленности при снижении негативной экологической нагрузки на окружающую среду.

Цель работы – оценка возможности частичной замены желатина животного происхождения в рецептуре молочного желе на КД из рыбьей чешуи.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве компонентов для получения молочного желе использовались молоко «Нежинское» по ГОСТ 31450-2013 с массовой долей жира 2,5 %; сахар белый кристаллический по ГОСТ 33222-2015 «Сахар белый. Технические условия»; желатин пищевой П-160, тип Б, по ГОСТ 11293-2017, изготовитель ООО «Русская бакалейная компания»; пищевая добавка (фасованный ароматизатор «Ванилин», изготовитель ООО «Русская бакалейная компания»). Нарботку опытных партий КД осуществляли в лаборатории кафедры химии Калининградского государственного технического университета (КГТУ) согласно ранее разработанному способу из чешуи судака (*Sander lucioperca*), полученной при разделке рыбы на предприятиях Калининградской области.

Общий химический анализ КД, включающей *Ca* и *P*, проводили в сертифицированной испытательной лаборатории ООО «Калининградский испытательный центр» (ООО «КИЦ», г. Калининград), разными способами находили массовую долю белка (по Кьельдалю), жира (экстракционно-весовой), влаги (гравиметрический), общей золы (гравиметрический), кальция (атомно-абсорбционная спектрометрия), фосфора (спектрофотометрический с применением молибденово-кислого аммония в присутствии гидрохинона и сульфата натрия).

Химический состав КД был следующий: влага – 7,2 %, белок – 71,4 %, жир – 1,4 %, зола – 20,0 %, *Ca* – 6,5 %, *P* – 3,8 %.

Внешний вид КД представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид КД, полученной из чешуи судака  
Fig. 1. Appearance of collagen-containing additive obtained from pikeperch scales

При проведении исследований для получения опытного образца молочного желе использовали следующий рецепт, где 11 г желатина были заменены на 4 г желатина и 7 г КД: молоко коровье «Нежинское», жирность 2,5 % – 458 г; сахар белый – 20 г; желатин – 4 г; КД – 7 г; ванилин – 0,14 г.

В качестве контроля использовали аналогичный рецепт, но без добавления КД. Пищевую и энергетическую ценность опытного и контрольного образцов молочного желе определяли расчетным путем.

Процедуру получения молочного желе осуществляли следующим образом. Предварительно желатин и КД заливали по отдельности 100 мл холодного молока и оставляли на 30 мин с целью набухания. Далее в двух емкостях (для опыта и контроля) нагревали молоко (по 300 мл) на газовой плите, непрерывно помешивая в течение 10,5 мин, регулируя и контролируя температуру (при помощи термометра) до появления пены на поверхности смеси (при температуре 60–65 °С), затем смешивали с сахаром и ванилином до полного их растворения и добавляли по отдельности 100 мл молока с желатином и КД. Молочную смесь охлаждали до комнатной температуры с последующим разливом по формочкам, которые помещали в холодильник для образования желе (через 15–20 мин).

Органолептические показатели качества десерта (молочного желе) были оценены в соответствии с ГОСТ 31986-2012 «Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания». Определяли следующие показатели: внешний вид, цвет, консистенцию, вкус, состояние поверхности, вид на разрезе, способность сохранять форму. Для контроля

температуры при нагреве молочной смеси применяли электронный погружной термометр для пищевых жидкостей ТР-101 «Доляна» с погрешностью измерения  $\pm 1$  °С. Эксперименты проводились в лаборатории кафедры химии КГТУ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Важно отметить некоторую историческую аналогию представленного выше рецепта молочного желе (с добавлением КД) с популярным во всем мире холодным десертом панна коттой. Известно, что когда изобрели этот десерт (г. Пьемонте, Италия, 1900 г.), его желеобразующим компонентом был отвар рыбьих костей (ввиду отсутствия тогда желатина и агар-агара), который придавал готовому диетическому продукту из молока (без добавления дорогого в то время сахара и жирных сливок) очень нежную консистенцию [13]. Согласно рекомендациям итальянских кулинаров важно, чтобы панна котта была скорее нежной, чем упругой, иначе она не будет отличаться от обычного желе [14].

Животный желатин в опыте (4 г, или менее 1 % от общей массы молочной смеси) добавляли для получения более нежного (нерезиноподобного), при этом «не тающего» при комнатной температуре готового изделия, а также для снижения его себестоимости.

Известно, что прочность рыбного желатина (выражается в единицах Bloom) ниже, чем у его животного аналога, полученного из шкуры крупного рогатого скота или свиной кожи. С целью снижения упругости (прочности) молочного желе в его опытном образце часть животного желатина из общего его количества (11 г по начальной рецептуре) была заменена на 7 г КД и 4 г желатина, что значительно дешевле по сравнению с применяемым животным желатином, имеющим прочность 160 Bloom. Также важен тот факт, что данная КД, кроме коллагена, дополнительно содержит 20 % минеральных веществ (преимущественно гидроксипатит кальция, являющийся функциональным пищевым компонентом) [15]. Для оценки влияния добавленных 7 г КД на выход готового продукта и его органолептические показатели в качестве контроля использовали рецептуру с 4 г желатина. Внешний вид полученных образцов молочного желе (контроль и опыт) представлен на рис. 2.

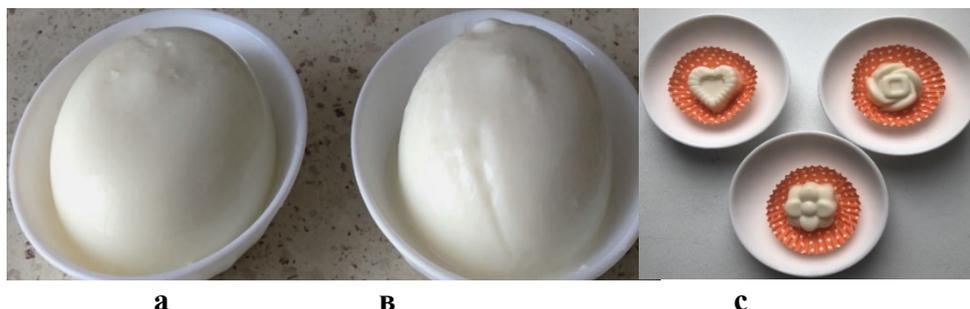


Рис. 2. Внешний вид образцов молочного желе: а – контроль (с желатином); в, с – опыт (с КД и желатином)

Fig. 2. Appearance of milk jelly samples: a – control (with gelatin); в, с – experiment (with a collagen-containing additive and gelatin)

Как видно из рис. 2, контрольный и опытный образцы молочного желе представляют собой однородную желеобразную массу, сохраняющую свою форму при комнатной температуре.

Необходимо отметить, что потери массы опытного образца (489,14 г (исходное сырье) – 468,0 г (желе) = 21,14 г (потери)) в процессе тепловой обработки по сравнению с контрольным образцом (482,14 г (исходное сырье) – 420 (желе) = 62,14 г (потери)) были меньше на 41 г. Согласно вышеприведенным эмпирическим данным можно сделать предварительный вывод о том, что добавление 1 г КД в рецептуре опытного образца молочного желе (с учетом добавленных 7 г КД) способствует дополнительному связыванию 4,86 г жидкости ((41 г – 7 г (КД)) : 7 г (КД) = 4,86 г (жидкости)) молочной смеси в процессе ее тепловой обработки.

Пищевая и энергетическая ценность опытного и контрольного образцов молочного желе представлена в табл. 1.

Таблица 1. Пищевая и энергетическая ценность опытного и контрольного образцов молочного желе

Table 1. Nutritional and energy value of experimental and control samples of milk jelly

Молочное желе	Массовая доля, %					Энергетическая ценность, ккал
	влага	белок	жир	углеводы	зола	
Опыт	82,77	4,74	2,49	8,9	1,1	76,97
Контроль	82,35	4,10	2,75	9,9	0,9	80,75

Из табл. 1. видно, что опытный образец молочного желе имеет повышенную массовую долю воды, белка и золы при пониженной – жира и углеводов, а также невысокой энергетической ценности по сравнению с контрольным образцом.

Органолептические характеристики опытного и контрольного образцов молочного желе следующие: внешний вид – однородная желеобразная масса, сохраняющая свою форму без трещин и значительных дефектов на поверхности; консистенция – достаточно плотная; цвет – белый; запах – молочный; вкус – молочный, сладкий.

Опытный образец молочного желе (по структуре напоминающий мягкое мороженое) отличался от контроля (структура близкая к кефиру, при комнатной температуре) более плотной и упругой консистенцией, имеющей тенденцию к увеличению при хранении. Кроме того, опытный образец желе на вкус был менее сладким по сравнению с контролем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали перспективность частичной замены желатина животного происхождения в рецептуре молочного желе на значительно более дешевую КД из рыбьей чешуи.

Добавление 1 г КД в рецептуре молочного желе способствует связыванию его 4,86 г жидкости молочной смеси и приводит к снижению потерь сырья при его

тепловой обработке при приемлемых органолептических характеристиках готового десертного изделия.

Положительным эффектом добавления КД в рецептуру молочного желе является также обогащение его биогенным гидроксипатитом кальция – функциональным пищевым компонентом.

#### Список источников

1. Габдукаева Л. З., Нигъмезьянова Г. Г. Разработка технологии и рецептур молочных десертов с ягодными наполнителями и исследование их органолептических показателей качества // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2018. № 3 (39). С. 141–147.
2. Левченко Е. В. Обоснование рецептуры и технологии молочного желе, обогащенного водорастворимыми компонентами кофе // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2018. Т. 4. № 2. С. 150–159.
3. Желе делают из чего? Вопросы о производстве. URL: <https://FB.ru/article/585493/2024-jele-delayut-iz-chego-> (дата обращения: 17.10.2024).
4. Разработка низкокалорийного желе для комплексной переработки молочного сырья / А. А. Короткова [и др.] // Аграрно-пищевые инновации. 2020. № 2. С. 91–99.
5. Молочное желе для профилактического питания / В. Н. Храмова, С. Е. Божкова, М. П. Журавлева, Д. Н. Пилипенко // Аграрно-пищевые инновации. 2019. № 3. С. 63–69.
6. Причко Т. Г., Казахмедов Р. Э., Дрофичева Н. В. Разработка рецептуры полифункционального желе из фруктового и овощного сырья // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 1. С. 52–56.
7. Толстогузова Т. Т., Парфенова А. Н. Десертные продукты на молочной основе: обзор патентных источников // Молодой ученый. 2020. № 12. С. 55–58.
8. Mikhailov O. V. Gelatin as it is: history and modernity // International Journal of Molecular Sciences. 2023. V. 24. N. 4. P. 3583.
9. Воробьев В. И., Нижникова Е. В. Получение фракций коллагена и гидроксипатита из рыбьей чешуи // Известия КГТУ. 2021. № 62. С. 80–91. DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-80-91.
10. Способ обработки рыбьей чешуи для получения коллагена и гидроксипатита: выложенная заявка. № 2021116247 / Воробьев В. И.; заявл. 03.06.21; опубл. 05.12. 22. Бюл. № 34. 2 с.
11. Influence of fish scale-based hydroxyapatite on forcespun polycaprolactone fiber scaffolds / D. Kodali [et al.] // ACS omega. 2022. V. 7. N. 10. P. 8323–8335, <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05593>.
12. Храмов А. Г., Диняков В. А., Лодыгин А. Д. Современные методы обогащения сыров солями кальция // Современная наука и инновации. 2022. № 1. С. 68–79, <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2022.1.7>.
13. Панна котта из молока: пошаговый рецепт. URL: <https://food.ru/recipes/32177-panna-kotta-iz-moloka> (дата обращения: 17.10.2024).
14. Панна котта – нежный итальянский пудинг с ароматом ванили. URL: <https://www.canape-bar.ru/blog/panna-kotta--nezhnyu-italyanskiy-puding-s-notkami-/?ysclid=m2ap0tqqa9932980215> (дата обращения: 17.10.2024).

15. Якубова О. С., Бекешева А. А. Научное обоснование физических свойств рыбного желатина // Вестник Астраханского государственного университета. Сер. «Рыбное хозяйство». 2018. № 3. С. 132–138. DOI 10.24143/2073-5529-2017-3-132-140.

### References

1. Gabdukaeva L. Z., Nigmetzyanova G. G. Razrabotka tekhnologii i retseptur molochnykh desertov s yagodnymi napolnitelyami i issledovanie ikh organolepticheskikh pokazateley kachestva [Development of technology and recipes of dairy desserts with berry fillings and study of their organoleptic quality indicator]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva*, 2018, no. 3 (39), pp. 141–147.

2. Levchenko E. V. Obosnovanie retseptury i tekhnologii molochnogo zhele, obogashchennogo vodorastvorimymi komponentami kofe [Justification of formulation and technology of milk jelly enriched with water-soluble components of coffee]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2018, vol. 4, no. 2, pp. 150–159.

3. Zhele delayut iz chego? Voprosy o proizvodstve [Jelly is made from what? Questions about production], available at: [https:// FB.ru/article/585493/2024-jele-delayut-iz-chego-](https://FB.ru/article/585493/2024-jele-delayut-iz-chego-) (accessed 17 September 2024).

4. Korotkova A. A. [i dr.]. Razrabotka nizkokaloriynogo zhele dlya kompleksnoy pererabotki molochnogo syr'ya [Development of low-calorie jelly for complex processing of dairy raw materials]. *Agrarno-pishchevye innovatsii*, 2020, no. 2, pp. 91–99.

5. Khramova V. N., Bozhkova S. E., Zhuravleva M. P., Pilipenko D. N. Molochnoe zhele dlya profilakticheskogo pitaniya [Milk jelly for preventive nutrition]. *Agrarno-pishchevye innovatsii*, 2019, no. 3, pp. 63–69.

6. Prichko T. G., Kazakhmedov R. E., Droficheva N. V. Razrabotka retseptury polifunktsional'nogo zhele iz fruktoivogo i ovoshchnogo syr'ya [Development of a formulation of polyfunctional jelly from fruit and vegetable raw materials]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishhevaya tekhnologiya*, 2020, no. 1, pp. 52–56.

7. Tolstoguzova T. T., Parfenova A. N. Desertnye produkty na molochnoy osnove: obzor patentnykh istochnikov [Dairy-based dessert products: a review of patent sources]. *Molodoy uchenyy*, 2020, no. 12 (302), pp. 55–58.

8. Mikhailov O. V. Gelatin as it is: history and modernity. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023. V. 24. N 4. P. 3583.

9. Vorobev V. I., Nizhnikova E. V. Poluchenie fraktsiy kollagena i gidroksiapatita iz ryb'ey cheshui [Obtaining collagen and hydroxyapatite fractions from fish scales]. *Izvestiya KGTU*. 2021, no. 62, pp. 80–91. DOI 10.46845/1997-3071-2021-62-80-91.

10. Vorob'ev V. I. Sposob obrabotki ryb'ey cheshui dlya polucheniya kollagena i gidroksiapatita [Method of processing fish scales to obtain collagen and hydroxyapatite]. Vylozh. zayavka RF no. 2021116247, 2022.

11. Kodali D., Hembrick-Holloman V., Gunturu D. R., Samuel T., Jeelani S., Rangari V. K. Influence of fish scalebased hydroxyapatite on forcespun polycaprolactone fiber scaffolds. *ACS omega*, 2022. V. 7. N 10. P. 8323-8335. DOI 10.1021/acsomega.1c05593.

12. Khramtsov A. G., Dinyakov V. A., Lodygin A. D. Sovremennye metody obogashcheniya syrov solyami kal'tsiya [Modern methods of cheese enrichment with calcium salts]. *Sovremennaya nauka i innovatsii*, 2022, no. 1, pp. 68–79, <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2022.1.7>.

13. Panna kotta iz moloka: poshagovuyu retsept [Milk panna cotta – a step by step recipe], available at: <https://food.ru/recipes/32177-panna-kotta-iz-moloka> (accessed 17 September 2024).

14. Panna kotta – nezhnuy ital'yanskiy puding s aromatom vanili [Panna cotta is a delicate Italian pudding flavoured with vanilla], available at: <https://www.canape-bar.ru/blog/panna-kotta-nezhnyy-italyanskiy-puding-s-notkami-/?ysclid=m2ap0tqqa9932980215> (Accessed 17 September 2024).

15. Yakubova O. S., Bekesheva A. A. Nauchnoe obosnovanie fizicheskikh svoystv rybnogo zhelatina [Scientific substantiation of physical properties of fish gelatin]. *Vestnik AGTU. Ser. "Rybnoe khozyaystvo"*, 2018, no. 3, pp. 132–138. DOI 10.24143/2073-5529-2017-3-132-140.

### Информация об авторах

**В. И. Воробьев** – кандидат технических наук, доцент кафедры химии

**Е. В. Нижникова** – кандидат биологических наук, доцент кафедры химии

### Information about the authors

**V. I. Vorobev** – PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Chemistry

**E. V. Nizhnikova** – PhD in Biology, Associate Professor of the Department of Chemistry

Статья поступила в редакцию 20.10.2024; одобрена после рецензирования 01.11.2024; принята к публикации 20.11.2024.

The article was submitted 20.10.2024; approved after reviewing 01.11.2024; accepted for publication 20.11.2024.

Научная статья  
УДК 615:665.994.581(06)  
DOI 10.46845/1997-3071-2025-76- 64-73

**«Янтарные» напитки в регуляции функционального состояния  
организма человека**

**Валерия Дмитриевна Лемешко<sup>1</sup>, Борис Юрьевич Воротников<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград,  
Россия

<sup>1</sup>lemeshkovaler@mail.ru

<sup>2</sup>vorotnikov@klgtu.ru

**Аннотация.** Балтийский янтарь является символом Калининградской области и всей России. Использование неликвидных (мелкодисперсных) фракций янтаря в настоящее время не предусмотрено в технологических схемах Калининградского янтарного комбината. В исследовании предполагается применение одного из компонентов янтарных отходов, а именно янтарной кислоты, составляющей порядка 10 % от веса отходов. В годовом выражении ее производство может достигать двух тонн. Наряду с известными свойствами янтарной кислоты как энергетического субстрата, антиоксиданта, вещества, участвующего в профилактике диабета, способствующего формированию радиорезистентности организма, нашедшего применение в лечении бронхолегочных заболеваний, миокардиопротекции, также обнаружена возможность ее трансформации в гамма-аминомасляную кислоту, относящуюся к группе адаптогенов и оказывающую нефармакологическое действие на организм человека. В соответствии с действующими санитарными правилами янтарная кислота может входить в состав напитков. В работе представлена схема и рассмотрен механизм возможной трансформации янтарной кислоты в гамма-аминомасляную в цикле Робертса (аминобутиратном шунте). Разработанную технологическую схему производства сухого продукта, обогащенного помимо янтарной кислоты эссенциальными микроэлементами (магнием, кальцием и калием), можно использовать для сокращения транспортных издержек, а сам напиток – разливать на линиях непосредственно в потребительскую тару в виде водных растворов, полученных из сухого вещества. Предполагается, что данный игристый напиток также станет атрибутом торжеств и будет использоваться для создания праздничной атмосферы. Исследование актуально на фоне растущего интереса к здоровому образу жизни и необходимости снижения негативных последствий, связанных с алкоголизмом, наркозависимостью и применением нейрореплетиков для улучшения общего состояния организма.

**Ключевые слова:** продукты для здорового образа жизни, гамма-аминомасляная кислота, балтийский янтарь, янтарная кислота, сукцинаты, нейрогуморальный ингибитор.

**Для цитирования:** Лемешко В. Д., Воротников Б. Ю. «Янтарные» напитки в регуляции функционального состояния организма человека // Известия КГТУ. 2025. № 76. С. 64–73. DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-64-73.

Original article

### "Amber" drinks in the regulation of the functional state of the human body

Valeriya D. Lemeshko<sup>1</sup>, Boris Yu. Vorotnikov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>lemeshkovaler@mail.ru

<sup>2</sup>vorotnikov@klgtu.ru

**Abstract.** Baltic amber is a symbol of the Kaliningrad region and the whole Russia. The use of non-liquid (fine-dispersed) fractions of amber is currently not included in the technological schemes of the Kaliningrad Amber Plant. This study proposes the application of one of the components of amber waste, namely, succinic acid, which constitutes about 10% of the weight of the waste. Its annual production can reach two tons. Along with the well-known properties of succinic acid as an energy substrate, antioxidant, a substance involved in diabetes prevention, and a contributor to the formation of the body's radioresistance; it has also been found to have the potential for transformation into gamma-aminobutyric acid, which belongs to the group of adaptogens and has non-pharmacological effects on the human body. According to current sanitary regulations, succinic acid can be included in beverages. This work presents a scheme and discusses the mechanism of possible transformation of succinic acid into gamma-aminobutyric acid in the Roberts cycle (aminobutyrate shunt). The developed technological scheme for producing a dry product, enriched not only with succinic acid but also with essential trace elements (magnesium, calcium, and potassium), can be used to reduce transportation costs, while the beverage itself can be bottled directly into consumer containers in the form of aqueous solutions obtained from the dry substance. It is assumed that this sparkling drink will also become an attribute of celebrations and will be used to create a festive atmosphere. This research is relevant against the backdrop of growing interest in a healthy lifestyle and the need to reduce the negative consequences associated with alcoholism, drug dependence, and the use of neuroleptics to improve the overall health of the body.

**Keywords:** products for a healthy lifestyle, gamma-aminobutyric acid, Baltic amber, succinic acid, succinates, neurohumoral inhibitor.

**For citation:** Lemeshko V. D., Vorotnikov B. Yu. "Amber" drinks in the regulation of the functional state of the human body. *Izvestiya KGTY = KSTU News*. 2025;(76):64–73. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-64-73.

### ВВЕДЕНИЕ

Функциональное состояние организма является ключевым показателем его здоровья и жизнеспособности. Оно включает в себя физическое, психическое и эмоциональное благополучие человека. Основные системы регуляции функцио-

нального состояния организма играют ключевую роль в обеспечении его гомеостаза, адаптации к изменениям окружающей среды и поддержании оптимального уровня функционирования. К таким системам относятся нервная, эндокринная и иммунная, каждая из которых выполняет свои специфические функции и взаимодействует с другими системами для достижения комплексного управления физиологическими процессами [1]. В современном мире увеличение числа стрессовых факторов, психических расстройств и ускорение темпа жизни привели к растущей популярности различных средств для регуляции состояния организма. Среди них особенно выделяются алкоголь, курение, наркотики, нейролептики, а также другие альтернативные средства, например, чай GABA, в основе которого лежит ГАМК (гамма-аминомасляная кислота, 4-Аминобутановая кислота) (*Acidum gammaaminobutyricum*) или БАДЫ на основе той же ГАМК. Интеграция алкоголя, наркотических веществ и табакокурения в данные системы регуляции приводит к значительным нарушениям в их функционировании и начинают их разрушать, что, в свою очередь, вызывает серьезные проблемы в современном обществе. А использование нейролептиков, несмотря на их эффективность, часто вызывает серьезные побочные последствия, которые могут значительно снижать качество жизни людей, начиная от экстрапирамидных симптомов (например, тремор) и заканчивая метаболическими нарушениями и эмоциональными расстройствами. Хочется отметить, что в последние годы возрос интерес к естественным и менее инвазивным методам регуляции функционального состояния организма. Одним из таких громких разработок стал синтетический спирт Alcarelle, созданный британским ученым Дэвидом Наттом [2]. Также один из методов – употребление продуктов, пищевых добавок, в которых содержится та же ГАМК, которая является основным атрибутом изменения состояния [3]. Многие ученые изучали и изучают разные типы действий гамма-аминомасляной кислоты на организм человека, и все сходятся в том, что данное вещество – главный медиатор, участвующий в процессах центрального торможения. ГАМК – ингибитор нейротрансмиссий в центральной нервной системе, а также в мозге человека, играет ключевую роль в снижении активности нервных клеток. За счет этого происходит расслабление, снижение тревожности и достижение успокаивающего эффекта. ГАМК может поступать в организм с продуктами питания (в основном она находится в овощах, фруктах и низкожирных кисломолочных продуктах), также существует возможность превращения янтарной кислоты в ГАМК на основе биохимических механизмов, благодаря чему и будет происходить изменение функционального состояния (рис. 1) Проанализировав данную информацию и многие источники, мы решили подробнее разобраться с потенциалом воздействия янтарной кислоты как на регуляцию организма, так и на общие показатели состояния для объяснения эффективности ее применения, обобщить известные механизмы регуляции состояния организма, изучить новые возможные в рамках пищевого направления, затем разработать напиток на основе янтарной кислоты «Янтарное шампанское», который сможет стать потенциальной заменой традиционным расслабляющим веществам и напиткам за счет своего состава и свойств.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Основным составляющим компонентом данной разработки выступает янтарная кислота, полученная из балтийского янтаря – местного ресурса, для Калининградской области это является немаловажным достоинством и дает свои преимущества, однако янтарная кислота зачастую не находит должного применения [4]. Янтарная кислота (сукциновая, бутандиовая кислота) (*Acidum succinicum*) – органическое соединение, двухосновная карбоновая кислота, которая обладает уникальным свойством трансформации в организме человека в ГАМК [5]. Стоит отметить, что сукциновая кислота находится во всех наших клетках, она вырабатывается в митохондриях и используется организмом в основном для энергетических целей (цикл Кребса, цикл трикарбоновых кислот). Ее воздействие на организм исключает нежелательные побочные реакции, так как она является естественным метаболитом в организме и не накапливается [6, 7]. По изученным данным человеческий организм вырабатывает янтарную кислоту в количестве примерно 200 мг в день и существовать без нее не может [8]. Дополнительное поступление янтарной кислоты (повышение концентраций) может способствовать ее участию не только в энергетических процессах [9, 10]. Так янтарная кислота может участвовать в аминобутиратном шунте (цикл Робертса), где будет прекурсором вышеупомянутой ГАМК.

ГАМК (GABA) – химическое вещество в центральной нервной системе человека, а также в мозге, в наибольших количествах содержится в черной субстанции, гипоталамусе и лимбической системе [11], это основной медиатор, участвующий в процессах центрального торможения. ГАМК ингибирует нейротрансмиссии или же снижает активность нервных клеток, развивая успокаивающий эффект [12, 13]. После многочисленных исследований было установлено, что ГАМК является наиболее активным тормозным нейромедиатором центральной нервной системы, а также мозга человека и млекопитающих [14], ее можно назвать «натуральным агентом, успокаивающим мозг». Препятствуя перевозбуждению мозга, ГАМК способствует расслаблению и снижению нервного напряжения [15, 16, 17]. Хочется отметить, что успокаивающий эффект ГАМК дает только в зрелом состоянии мозга, это связано с поляризацией нервных клеток, когда ГАМК-эргические нейроны нервной системы стимулируют клетки, вследствие чего изменяется проницаемость мембраны для хлорид-ионов. В незрелых же нервных клетках уровень хлорид-ионов выше, чем вне клетки, и стимуляция ГАМК-рецепторов приводит к выходу этих ионов, что вызывает деполяризацию мембраны, то есть происходит снижение потенциала покоя клетки, и только когда глутаматная система мозга полностью созревает, ГАМК берет на себя роль тормозного медиатора. Таким образом, можно предположить, что «Янтарное шампанское» для лиц, не достигших полной зрелости, станет возбудителем нервных клеток, а значит, улучшит настроение, мышление и повысит энергию. Для лиц же, достигших зрелого возраста, напиток замедлит процессы в мозге, за счет чего будет достигаться расслабляющий эффект.

Как было упомянуто, янтарная кислота превращается в ГАМК в процессе аминобутиратного шунта, где сукцинат (соль янтарной кислоты) проходит ряд превращений. В результате получается большое количество глутаминовой кисло-

ты, которая в свою очередь переходит в ГАМК, далее она окисляется в головном мозге бескислородным путем (рис. 1).

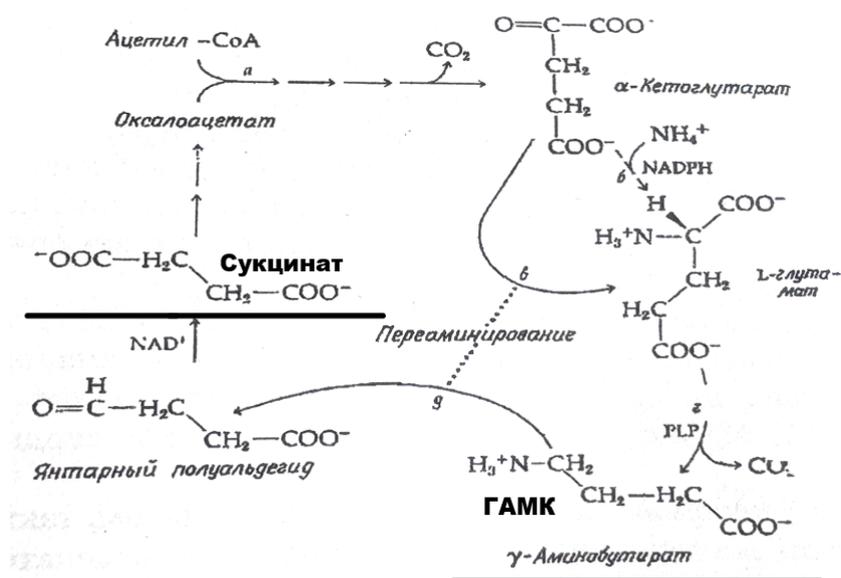


Рис. 1. Аминобутиратный шунт (цикл Робертса)  
 Fig. 1. Aminobutyrate shunt (Robert's cycle)

Данные теоретические наработки легли в основу создания напитка, технологическая схема которого представлена ниже (рис. 2). Были выбраны именно карбонаты металлов, потому что при взаимодействии их с янтарной кислотой образуются те самые нужные организму сукцинаты и выделяется углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), который дает еще больше схожести с обычными, привычными нам расслабляющими напитками и помогает тем самым сохранить некую атрибуцию праздника и веселья, отличая «Янтарное шампанское» (Яша), например, от обычного янтарного сока или сиропа [18].

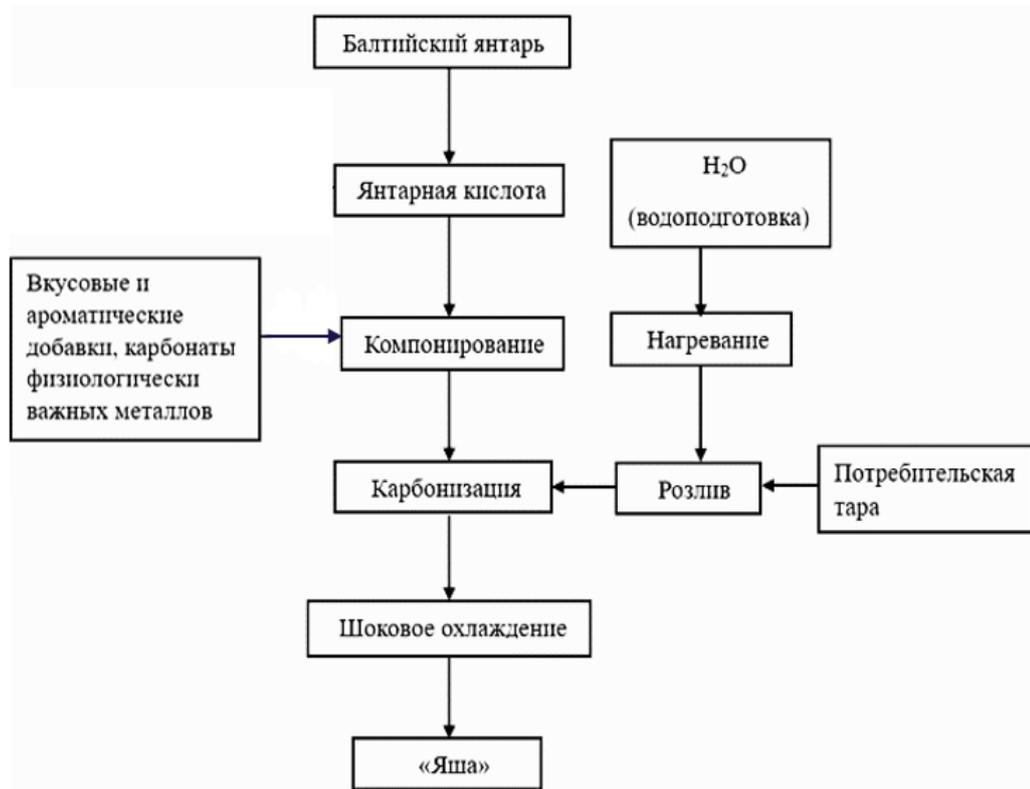


Рис. 2. Технологическая схема получения «Яши»  
Fig. 2. Flow chart for the production of "Yasha"

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Был раскрыт возможный механизм образования ГАМК, разработана инновационная схема получения многофункционального продукта. Подводя итоги, можно выделить следующие преимущества «Янтарного шампанского»: это безопасный заменитель традиционных расслабляющих напитков, дополнительный источник микроэлементов и витаминов, доступный по стоимости для потребителей, потенциально может использоваться в сухом виде (для упрощения транспортировки в отдаленные места и в экстремальных условиях), способен положительно влиять на физиологические и психоэмоциональные показатели людей разных возрастов, изменять вкусовые характеристики в зависимости от предпочтения потребителей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, полученные результаты подтверждают целесообразность создания «Янтарного шампанского», данный напиток является перспективным средством для регуляции функционального состояния организма человека. Он может быть использован как альтернатива традиционным расслабляющим напиткам и веществам, а также как вспомогательное средство в борьбе со стрессом, тревожностью и нарушением сна. Дальнейшие исследования будут направлены на

оптимизацию состава и технологий производства напитка. Считаем, что разработка может стать новым трендом в индустрии напитков, привлекая внимание потребителей своими уникальными свойствами, безопасностью и относительно низкой ценой.

#### Список источников

1. Кондрашова М. Н. Регуляция янтарной кислотой энергетического обеспечения и функционального состояния ткани. Пущино: Медицина, 1976. 150 с.
2. Nutt D., Tyacke Y., Robin Y. Functional Alternatives to Alcohol // *Nutrients*. 2022. N 1. P. 1–5.
3. Тургунов М. А. Препараты группы нейрорептиков в практике доказательной медицины // *Экономика и социум*. 2022. № 3. С. 3–4.
4. Янтарь: знания и технологии: сборник научных трудов / под ред. Б. Ю. Воротникова. Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2008. 153 с.
5. Семьянов А. В. ГАМК-эргическое торможение в ЦНС: типы ГАМК-рецепторов и механизмы тонического ГАМК-опосредованного тормозного действия // *Нейрофизиология*. 2002. № 1. С. 12–16.
6. Гаруст Ю. В. Янтарная кислота и возможности ее применения при хронических дерматозах // *Торсуевские чтения*. 2020. № 2. С. 36–39.
7. Зинкевич Д. Д., Лебедев А. Н., Дегтярёва Е. И., Петровская Т. А. Бактерицидные свойства янтарной кислоты в отношении золотистого стафилококка // *Международная научно-практическая конференция: материалы*. Курск, 2022. С. 73–75.
8. Евсенина М. В., Шиманова Е. К. Перспективы применения янтарной кислоты // *XV международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию заслуженного агронома БССР, профессора БГСХА А. М. Богомолова: материалы*. Горки, 2020. С. 93–95.
9. Хлебалина А. С., Лунегов А. М. Янтарная кислота как дополнительный элемент композиционных препаратов // *Международная научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения профессора В. В. Рудакова: материалы*. Санкт-Петербург, 2023. С. 278–279.
10. Смирнов А. В., Нестерова О. Б., Голубев Р. В. Янтарная кислота и ее применение в медицине. Часть I. Янтарная кислота: метаболит и регулятор метаболизма организма человека // *Нефрология*. 2014. № 2. С. 33–41.
11. Ben-Ari Y., Tseeb V., Ragozzino D. Gamma-aminobutyric acid (GABA): a fast excitatory transmitter which may regulate the development of hippocampal neurons in early postnatal life // *Progress in Brain Research*. 1994. N 3, P. 261–273.
12. Щербакова Т. Н., Озерова П. А. Изучение противоотечного действия фенибута и новых производных ГАМК // *Фармация и фармакология*. 2015. № 3. С. 72–74.
13. Коваленко А. Л., Белякова Н. А., Романцов М. Г. Фармакологическая активность янтарной кислоты и ее лекарственные формы // *Врач*. 2000. № 4. С. 26–27.
14. Девойно В. К., Ильюченко Р. Ю. Нейромедиаторные системы в психо-нейроиммунотензии: дофамин, серотонин, ГАМК, нейропептиды. Новосибирск: ЦЭРИС. 1993. 240 с.

15. The succinate receptor as a novel therapeutic target for oxidative and metabolic stress-related conditions / A. Ariza, P. Deen, J. Robben, M. Lausanne // *Front Endocrinol.* 2021. N 3. P. 1–8.

16. Савин Г. А., Ситникова А. А., Бирюкова Е. Г. Синтез ациламидных производных янтарной кислоты // *Грани познания.* 2022. № 3 (80). С. 64–67.

17. Кузнецова В. А., Науменко О. А. Положительное влияние янтарной кислоты на процессы биохимической адаптации растений // II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Молодые ученые – науке и практике XXI века». Оренбург, 2023. С. 226–229.

18. Воротников Б. Ю., Притыкина Н. А., Ткачев И. М. Использование янтарной кислоты для получения овощного соуса «Янтарный чили» // XI Международный Балтийский морской форум: материалы. Калининград, 2023. С. 34–36.

### References

1. Kondrashova M. N. *Regulyatsiya yantarnoy kislotoy energetitsheskogo obespecheniya i funktsional'nogo sostoyaniya tkani* [Regulation of the energy supply and functional state of the tissue by succinic acid]. Pushchino, Meditsina Publ., 1976, 150 p.

2. Nutt D., Tyacke Y., Robin Y. Functional Alternatives to Alcohol. *Nutrients.* 2022. N 1. P. 1–5.

3. Turgunov M. A. Preparaty gruppy neyroleptikov v praktike dokazatel'noy meditsiny [Drugs of the group of neuroleptics in the practice of evidence-based medicine]. *Ekonomika i sotsium*, 2022, no. 3, pp. 3–4.

4. *Yantar': znaniya i tekhnologii: sbornik nauchnykh trudov* [Amber: knowledge and technology: collection of scientific papers]. Pod red. B. Yu. Vorotnikova. Kaliningrad, 2008, 153 p.

5. Sem'yanov A. V. GAMK-ergitsheskoe tormozhenie v TSNS: tipy GAMK-retseptorov i mekhanizmy tonitsheskogo GAMK-oposredovannogo tormoznogo deystviya [GABA-ERGIC inhibition in the central nervous system: types of GABA receptors and mechanisms of tonic GABA-mediated inhibitory action]. *Neyrofiziologiya*, 2002, no. 1, pp. 2–9.

6. Garust Yu. V. Yantarnaya kislota i vozmozhnosti ee primeneniya pri khronicheskikh dermatozakh [Succinic acid and the possibilities of its use in chronic dermatoses]. *Torsuevskie chteniya*, 2020, no. 2, pp. 3–9.

7. Zinkevitsh D. D., Lebedev A. N., Degtyaryova E. I., Petrovskaya T. A. Bakteritsidnye svoystva yantarnoy kislotoy v otnoshenii zolotistogo stafilokokka [Bactericidal properties of succinic acid against *Staphylococcus aureus*]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Prospects of the International Scientific and Practical Conference]. Kursk, 2022, pp. 73–75.

8. Evsenina M. V., Shimanova E. K. Perspektivy primeneniya yantarnoy kislotoy [Prospects for the use of succinic acid]. *Materialy XV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu zaslužennogo agronoma BSSR, professora BGSHA A. M. Bogomolova* [Prospects of the XV International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the Honored agronomist of the BSSR, Professor of the BSSA A. M. Bogomolov]. Gorki, 2020, pp. 115–118.

9. Khlebalina A. S., Lunegov A. M. Yantarnaya kislota kak dopolnitel'nyy element kompozitsionnykh preparatov [Succinic acid as an additional element of composite preparations]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya professora V. V. Rudakova* [Prospects of the International scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the professor V. V. Rudakov]. Saint-Petersburg, 2023, pp. 278–279.
10. Smirnov A. V., Nesterova O. B., Golubev R. V. Yantarnaya kislota i ee primeneniye v meditsine. Chast' I. Yantarnaya kislota: metabolit i regulyator metabolizma organizma cheloveka [Succinic acid and its use in medicine. Part I. Succinic acid: a meta-pain and a regulator of the human body's metabolism]. *Nefrologiya*, 2014, no. 2, pp. 1–4.
11. Ben-Ari Y., Tseeb V., Raggozzino D. Gamma-aminobutyric acid (GABA): a fast excitatory transmitter which may regulate the development of hippocampal neurons in early postnatal life. *Progress in Brain Research*. 1994. N 3, P. 261–273.
12. Shcherbakova T. N., Ozerova P. A. Izuchenie protivoootechnogo deystviya fenibuta i novykh proizvodnykh GAMK [Study of the decongestant effect of phenibut and new GABA derivatives]. *Farmatsiya i farmakologiya*, 2015, no. 3, pp. 72–74.
13. Kovalenko A. L., Belyakova N. A., Romantsov M. G. Farmakologicheskaya aktivnost' yantarnoy kisloty i ee lekarstvennyye formy [Pharmacological activity of succinic acid and its dosage forms]. *Vrach*, 2000, no. 4, pp. 2–5.
14. Devoyno V. K., Il'yuchenok R. Yu. *Neyromediatornyye sistemy v psikhoneuroimmunomodulyatsii: dofamin, serotonin, GAMK, neuropeptidy* [Neurotransmitter systems in psychoneuroimmunomodulation: dopamine, serotonin, GABA, neuropeptides]. Novosibirsk, TSERIS Publ., 1993, 240 p.
15. Ariza A., Deen P., Robben J., Lausanne M. The succinate receptor as a novel therapeutic target for oxidative and metabolic stress-related conditions. *Front Endocrinol*. 2021. N 3, P. 1–8.
16. Savin G. A., Sitnikova A. A., Biryukova E. G. Sintez atsilamidnykh proizvodnykh yantarnoy kisloty [Synthesis of acylamide derivatives of succinic acid]. *Grani poznaniya*, 2022, no. 3 (80), pp. 64–67.
17. Kuznetsova V. A., Naumenko O. A. Polozhitel'noe vliyanie yantarnoy kisloty na protsessy biokhimicheskoy adaptatsii rasteniy [The positive effect of succinic acid on the processes of biochemical adaptation of plants]. *Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Molodye uchenye – nauke i praktike XXI veka"* [Prospects of the II All-Russian scientific and practical conference with international participation "Young scientists – science and practice of the XXI century"]. Orenburg, 2023, pp. 226–229.
18. Vorotnikov B. Yu., Pritykina N. A., Tkachev I. M. Ispol'zovanie yantarnoy kisloty dlya polucheniya ovoshchnogo sousa "Yantarnyy chili" [The use of succinic acid for the production of vegetable sauce "Amber chili"]. *Materialy XI Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma* [Prospects of the XI International Baltic Maritime Forum]. Kaliningrad, 2023, pp. 34–36.

### **Информация об авторах**

**В. Д. Лемешко** - студентка

**Б. Ю. Воротников** - кандидат технических наук, заведующий кафедрой химии

### **Information about the authors**

**V. D. Lemeshko** – student

**B. Yu. Vorotnikov** – Ph.D. in Engineering, Head of the Department of Chemistry

Статья поступила в редакцию 11.11.2024; одобрена после рецензирования 21.11.2024; принята к публикации 25.11.2024.

The article was submitted 11.11.2024; approved after reviewing 21.11.2024; accepted for publication 25.11.2024.

Научная статья  
УДК 637.3.04  
DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-74-87

**Исследования по совершенствованию рецептуры мягкого сыра  
повышенной биологической ценности остеотропной направленности**

Олеся Сергеевна Федорова<sup>1</sup>, Наталия Юрьевна Ключко<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград,  
Россия

<sup>1</sup>olesya.fedorova@klgtu.ru

<sup>2</sup>natalya.kluchko@klgtu.ru

**Аннотация.** Производство мягких сыров является перспективным и актуальным направлением, поскольку их технологию отличает эффективное использование сырья и короткие сроки созревания. Готовая продукция характеризуется повышенным содержанием кальция, витаминов А, В<sub>2</sub>, В<sub>12</sub>, РР и может быть рекомендована для профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата. Известно, что витамин С и кальций оказывают ключевое влияние на процессы биосинтеза коллагена и костного метаболизма. Сочетание этих компонентов в комплексе с полноценными белками и жирами способствует наилучшему усвоению всех питательных веществ, поэтому обогащение мягких сыров низкомолекулярными коллагеновыми пептидами и витамином С позволяет создать из него комплексный продукт, обладающий остеотропной направленностью.

В статье представлена рецептура мягкого сыра повышенной биологической ценности для профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата. Охарактеризовано состояние здоровья населения Российской Федерации, которое свидетельствует о распространенности остеопороза и остеопении среди жителей страны, а также о нарастающем дефиците потребления кальция и витамина С. Обосновано внесение в состав мягкого сыра обогащающих компонентов – гидролизованной кожи трески балтийской в качестве источника коллагена и плодов облепихи, которые богаты витамином С. Изучен процесс кислотного гидролиза коллагенсодержащего сырья на примере двух видов молочной сыворотки – творожной и подсырной. Проанализированы и определены параметры кислотного гидролиза кожи трески балтийской в творожной сыворотке. С применением метода математического планирования эксперимента подобрана рецептура обогащенного мягкого сыра и описаны рекомендации по его употреблению. Так, 70 г сыра в сутки удовлетворяет у человека суточную потребность (на основании теоретических расчетов) в кальции на 39,6 %, фосфоре – на 51,5 %, витамине А – на 24,5 %, витамине В<sub>2</sub> – на 15,5 %, коллагене – на 42 %.

**Ключевые слова:** мягкий сыр, обогащенные мягкие сыры, заболевания опорно-двигательного аппарата, коллаген, кислотный гидролиз.

**Для цитирования:** Федорова О. С., Ключко Н. Ю. Исследования по совершенствованию рецептуры мягкого сыра повышенной биологической ценности остеотропной направленности // Известия КГТУ. 2025. № 76. С. 74–87. DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-74-87.

Original article

### **Study on the improvement of the recipe for soft cheese with increased biological value and osteotropic orientation**

**Olesya S. Fedorova<sup>1</sup>, Nataliya Yu. Klyuchko<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup>olesya.fedorova@klgtu.ru

<sup>2</sup>natalya.kluchko@klgtu.ru

**Abstract.** Production of soft cheeses is a promising and relevant direction, since their technology is distinguished by the efficient use of raw materials and short maturation periods. Finished products are characterized by an increased content of calcium, vitamins A, B2, B12, PP and can be recommended for the prevention of diseases of the musculoskeletal system. It is known that vitamin C and calcium have a key influence on the processes of collagen bio-synthesis and bone metabolism. Combination of these components when paired with complete proteins and fats contributes to the best absorption of all nutrients. Therefore, enrichment of soft cheeses with low-molecular-weight collagen peptides and vitamin C makes it possible to create a complex product with an osteotropic orientation from it.

The article presents a formulation of soft cheese of increased biological value for the prevention of diseases of the musculoskeletal system. The state of health of the population of the Russian Federation is characterized, which indicates the prevalence of osteoporosis and osteopenia among the inhabitants of the country, as well as an increasing shortage of calcium and vitamin C intake. The introduction has been substantiated of enriching components into the composition of soft cheese – hydrolyzed Baltic cod skin as a source of collagen and sea buckthorn fruits, which are rich in vitamin C. The process of acid hydrolysis of collagen-containing raw materials has been studied using the example of two types of whey - curd and cheese. The parameters of acid hydrolysis of Baltic cod skin in curd serum have been analyzed and determined. Using the method of mathematical planning of the experiment, the formulation of enriched soft cheese has been selected and recommendations for its use have been described. Thus, 70 g of cheese per day satisfies a person's daily need (based on theoretical calculations) for calcium by 39.6%, phosphorus by 51.5%, vitamin A by 24.5% and vitamin B2 by 15.5%, collagen by 42%.

**Keywords:** soft cheese, enriched soft cheeses, diseases of the musculoskeletal system, collagen, acid hydrolysis.

**For citation:** Fedorova O. S., Klyuchko N. Yu. Study on the improvement of the recipe for soft cheese with increased biological value and osteotropic orientation. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2025;(76):74–87. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-74-87.

## ВВЕДЕНИЕ

Вследствие увеличения численности и старения населения быстро растет количество людей с нарушениями и болезнями опорно-двигательного аппарата. Главной причиной возникновения этих заболеваний является деградация коллагена – ключевого белка соединительной ткани человеческого организма, из-за чего развиваются остеопорозы, остеоартрозы и остеохондрозы. Общая заболеваемость остеопорозом среди жителей России составляет около 14 млн человек, одновременно с этим отмечается, что еще у 20 млн снижена минеральная плотность кости, что указывает на наличие остеопении. Установлено, что в России среди лиц в возрасте 50 лет и старше остеопороз выявлен у 34 % женщин и 27 % мужчин, а частота остеопении составляет 43 % и 44 % соответственно [1, 2].

С возрастом активность фибробластов (клеток, вырабатывающих коллаген) постепенно снижается и количество коллагена уменьшается. Так, уже после 25 лет производство собственного коллагена в нужном объеме сокращается, а после 40 лет синтез коллагена уменьшается на 1–3 % в год. Данный факт является основанием, позволяющим говорить об актуальности поступления коллагена в организм человека извне [3, 4, 5].

По источнику коллаген подразделяют на животный и получаемый из гидробионтов. В сравнении со свиным и говяжьим коллагеном рыбный коллаген более идентичен человеческому (на 96 %), чем животный, что позволяет ему эффективнее усваиваться в организме. При использовании данного вида коллагена отсутствует риск заражения прионами. Отличительной особенностью рыбного коллагена является более низкое содержание аминокислот и, как следствие, меньшее число поперечных связей, а также несколько иной аминокислотный состав одной из цепей [6, 7].

Установлено, что гидролизаты коллагена лучше усваиваются организмом человека [1, 8]. В связи с этим с целью обеспечения его аминокислотами для биосинтеза матрикса целесообразно применять коллаген, который предварительно подвергнулся гидролизу, то есть коллагеновые пептиды. Последние хорошо усваиваются организмом человека, поскольку они водорастворимы и в отличие от других белков имеют очень простую пептидную структуру.

Согласно результатам исследований ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии» у значительной части населения РФ отмечается недостаток потребления и нарастающий дефицит витаминов (А, группы В, С, Е), макро- (кальций, магний) и микроэлементов (железо, цинк, йод). Наиболее тяжелая ситуация наблюдается с витамином С, недостаток которого по обобщенным данным выявляется у 80–90 % обследуемых, а дефицит достигает 50–80 % [9, 10].

Базовые меры профилактики заболеваний опорно-двигательного аппарата включают обеспечение полноценного питания. В рационе здорового питания важное место занимают сыры, которые обладают уникальными пищевыми и биологическими свойствами и отличаются повышенным содержанием белка и кальция. В настоящей работе предлагается обогащать мягкий сыр гидролизованной коллагеновыми пептидами морского происхождения, на усвояемость которых влияет их соотношение с другими микро- и макронутриентами, прежде всего с кальцием и витамином С [11, 12, 13]. В связи с этим в качестве обогащающего компонента дополнительно выступили плоды облепихи *Hippophae rhamnoides*,

которые отличаются повышенным содержанием витамина С и позволяют сформировать приятные органолептические характеристики готового продукта. Также плоды облепихи положительно влияют на качество вырабатываемого сырного зерна за счет повышения кислотности творожной сыворотки, где происходит образование сырного сгустка. Поэтому актуальным направлением становится разработка рецептуры мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи.

Целью работы является совершенствование рецептуры мягкого сыра и повышение его биологической ценности за счет введения в состав обогащающих компонентов – гидролизованной кожи трески балтийской и плодов облепихи. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены основные задачи: изучить научную литературу для обоснования проблемы заболеваний опорно-двигательного аппарата; провести маркетинговые исследования для определения предпочтений потребителей при выборе мягких сыров; изучить процесс гидролиза кожи трески в творожной сыворотке и обосновать его параметры; разработать рецептуру мягкого сыра с применением методов математического планирования эксперимента; провести оценку качества разрабатываемого продукта по органолептическим и физико-химическим показателям, а также рассчитать его пищевую и биологическую ценность.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является мягкий сыр, который произведен из коровьего молока, сыворотки творожной, гидролизованной кожи трески балтийской, плодов облепихи и соли пищевой. В качестве обогащающего компонента – источника коллагена – выступила кожа трески балтийской *Gadus morhua callarias*. Также в качестве обогащающего компонента предлагается использовать быстрозамороженные плоды облепихи *Hippophae rhamnoides*, которые позволяют сформировать приятные органолептические характеристики готового продукта, способствуют повышению кислотности используемой сыворотки и являются источником витамина С.

Используемое сырье должно соответствовать показателям качества, которые приведены в действующей нормативной документации: ГОСТ 31449, ГОСТ 33823, ГОСТ 34352, ГОСТ Р 51574 и СТО 78924478-001-2021.

Предпочтения жителей Калининградской области при выборе сыров определялись методом опроса. В опросе приняли участие 150 человек, среди которых 119 женщин и 31 мужчина в возрасте от 18 до 60 лет и более.

Органолептическая оценка мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи, проводилась с применением метода балльных шкал. Для исследования была разработана 20-балльная шкала с учетом коэффициентов значимости отдельных показателей качества: 20,0–18,0 баллов – «отлично»; 17,9–16,0 – «хорошо»; 15,9–14,0 – «удовлетворительно»; ниже 14 баллов – «неудовлетворительно». Оцениваемыми показателями выступили внешний вид, цвет, запах, консистенция и вкус готового продукта.

Для определения показателя твердости мягкого сыра использовали анализатор текстуры Brookfield СТ3. Под твердостью подразумевается определение кинетики изменения усилия нагружения (в граммах) на инденторе «Цилиндр Ø6»

при внедрении его в пробу со скоростью 0,5 мм/с на глубину 15 мм после касания и установлении твердости и однородности структуры пробы.

Физико-химические показатели готового мягкого сыра – массовая доля влаги и сухого вещества, хлористого натрия, жира, общего белка и золы – определяли согласно ГОСТ 3626, ГОСТ 3627, ГОСТ 5867, ГОСТ 34454 и ГОСТ Р 51463. Определение массовой доли витамина С в мягком сыре проводили методом йодометрического титрования, содержание аминного азота в творожной сыворотке (для установления степени гидролиза рыбьей кожи) – методом формольного титрования. Моделирование и оптимизацию рецептуры мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи, осуществляли методом математического планирования эксперимента с применением ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов.

Обработка экспериментальных данных осуществлялась методами математической статистики с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Office (Microsoft Excel 2010) и Statistica 6.0 при 95 %-ном доверительном уровне. Повторность анализов при выполнении экспериментальных исследований была 3-кратная, количество параллельных определений – 3–5-кратное. Оптимизацию проводили с использованием методов математической статистики, применялись критерии Стьюдента и Кохрена.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Анализ рынка сыров в России за период 2019–2023 гг. показал, что производство данной категории продукции увеличилось на 40 %, а именно с 540 до 758 тыс. т в год. Нарастание темпов производства сыра связано с действующим с 2014 г. эмбарго на определенные категории сельскохозяйственной продукции и, как следствие, переориентацией экономики на выработку отечественных продуктов питания.

Выработка мягких сыров является перспективным направлением, поскольку технологию их производства отличает эффективное использование сырья, короткие сроки созревания и высокая биологическая ценность готового продукта. Однако состав мягких сыров не позволяет в полном объеме удовлетворить потребности современного общества в витаминах, макро- и микроэлементах, поэтому основной задачей является разработка новых рецептур мягких сыров, которые предусматривают введение в их состав дополнительных компонентов для обогащения.

Первоначальным в исследовании по совершенствованию рецептуры мягких сыров стало проведение социологического опроса [14]. Его целью было выявление потребности в данном продукте среди населения, а также установление отношения потребителей к мягким сырам и продукции, обладающей повышенной биологической ценностью. По результатам социологического опроса установлено, что мягкие сыры пользуются спросом у населения и являются востребованным и популярным продуктом [14]. Также потребители положительно относятся к введению в состав мягкого сыра дополнительных компонентов, способствующих его обогащению. Кроме того, респонденты выразили положительное отношение к применению компонентов морского происхождения в технологии мягкого сыра. Полученные данные обусловлены увеличением осведомленности населения о

принципах здорового рациона и повышением компетентности в вопросах культуры питания [14].

В настоящей работе рассматривается способ переработки коллагенсодержащего сырья – кожи трески балтийской с использованием методов кислотного гидролиза. Кожа трески балтийской предварительно подвергалась гидролизу в молочной сыворотке, при выборе последней ориентировались на показатели ее кислотности. Исследовали два вида молочной сыворотки – творожную и подсырную. В промышленности при получении подсырной сыворотки ее кислотность составляет до 20 °Т, а при получении творожной сыворотки она колеблется от 50 до 70°Т [15]. Использование творожной сыворотки дает возможность сократить время выдерживания, необходимое для нарастания кислотности, что позволяет существенно интенсифицировать процесс выработки продукции.

Для выбора сыворотки были поставлены на изучение органолептических характеристик два варианта гидролиза кожи – в подсырной сыворотке (образец № 1) и в творожной сыворотке (образец № 2). Для исследования образцы кожи предварительно нарезали на кусочки размером 1\*1 см.

Образцы выдерживались при температуре 4±2 °С в течение 72 ч и соотношении кожи рыбы и сыворотки 1:2. В табл. 1 представлены результаты органолептической оценки кожи трески после гидролиза в подсырной и творожной сыворотке.

Таблица 1. Результаты органолептической оценки кожи трески после гидролиза в подсырной и творожной сыворотке

Table 1. Results of organoleptic evaluation of cod skin after hydrolysis in subcutaneous and curd serum

Наименование показателя	Наименование образца	
	Образец № 1	Образец № 2
Внешний вид	Кожа рыбы сероватого цвета, ровная, отмечается обильное ослизнение поверхности	Кожа рыбы сероватого цвета, ровная, отмечается легкое ослизнение поверхности
Консистенция	Плотная, твердая	Мягкая, нежная
Запах	Неприятный, кислый, выраженный рыбный запах	Слегка кислый и рыбный, без посторонних запахов

Эксперименты показали, что подсырная сыворотка не приводит к желаемому уровню размягчения кожи и снижает органолептические характеристики сырья. Наилучшие показатели наблюдались при использовании творожной сыворотки. В качестве среды для выдерживания кожи трески выбрана творожная сыворотка кислотностью 80±2 °Т. В ходе ряда экспериментов были подобраны параметры выдерживания кожи в творожной сыворотке: продолжительность выдерживания 48 ч, температура 4–6 °С, соотношение рыбьей кожи и сыворотки 1:3.

Процесс гидролиза кожи трески изучали по накоплению аминного азота в творожной сыворотке, который определяли методом формольного титрования. На рисунке представлен график накопления аминного азота в творожной сыворотке.

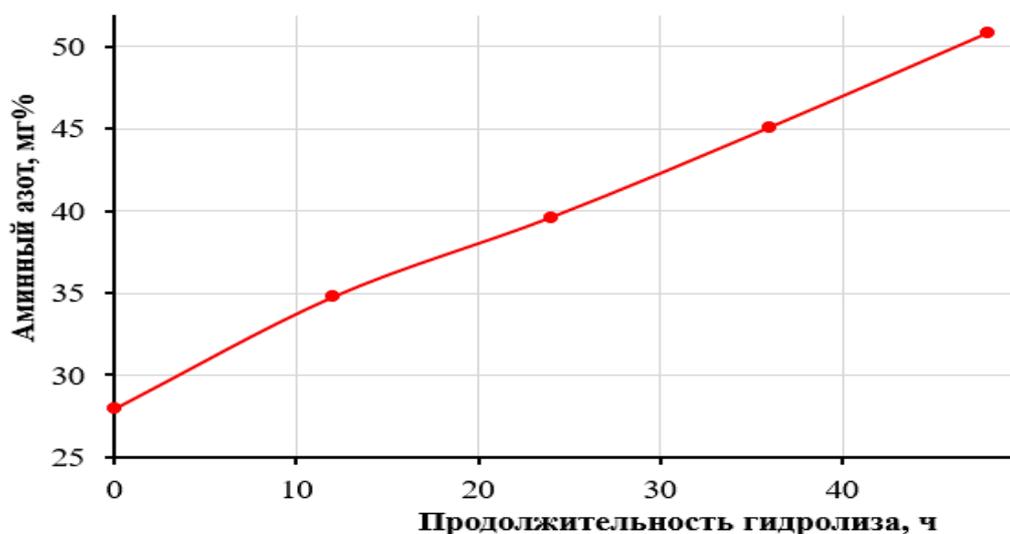


Рис. Динамика накопления аминного азота в творожной сыворотке  
 Fig. Dynamics of amine nitrogen accumulation in curd whey

Содержание коллагена в коже рыб достигает 85–90 % от общего содержания азотистых веществ [4]. Из графика видно, что в творожной сыворотке идет накопление аминного азота, это подтверждает протекание процесса гидролиза коллагена, входящего в состав кожи трески.

Моделирование и оптимизацию рецептуры мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи, осуществляли методом математического планирования эксперимента с применением ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для двух факторов. В табл. 2 представлен выбор основных изменяемых факторов и интервалы их варьирования. В качестве изменяемых факторов были выбраны содержание гидролизованной кожи и содержание облепихи в рецептуре на 100 г смеси, необходимой для изготовления сыра, так как именно данные факторы оказывают наибольшее влияние на органолептические и реологические характеристики готового продукта.

Таблица 2. Значения изменяемых факторов рецептуры мягкого сыра, их интервалы и пределы варьирования

Table 2. Values of the variable factors of the soft cheese formulation, their intervals and limits of variation

Фактор	-1	0	+1	Интервал варьирования
Содержание гидролизованной кожи трески, г/100 г смеси	16	24	32	8
Содержание облепихи, г/100 г смеси	40	60	80	20

В табл. 3 представлены частные отклики, в качестве которых выступили органолептическая оценка в баллах и твердость сыра в граммах, а также их идеальные значения. Для показателя твердости «идеальным» значением являлось

значение твердости для производственного образца мягкого сыра из коровьего молока торговой марки «Свежий ряд» жирностью 40 % – 360 грамм.

Таблица 3. Частные отклики и их «идеальные» значения рецептуры мягкого сыра  
 Table 3. Private responses and their "ideal" values of the soft cheese recipe

Наименование частного отклика	Размерность измерения	«Идеальные» значения частного отклика
Органолептическая оценка	баллы	20
Твердость сыра	граммы	360

Далее была получена математическая модель в кодированном (1) и натуральном виде (2). Математическая модель рецептуры мягкого сыра в кодированном виде:

$$Y = 0,0215 + 0,0037x_1 + 0,0027x_2 + 0,0037x_1x_2 - 0,0072(x_1^2 - 2/3) + 0,0176(x_2^2 - 2/3), \quad (1)$$

где  $X_1$  – содержание гидролизованной кожи трески, г/100 г смеси;  
 $X_2$  – содержание облепихи, г/100 г смеси;  
 $Y$  – обобщенный параметр оптимизации.

После приведения подобных членов представлен общий вид кодированной модели рецептуры мягкого сыра:

$$Y = 0,0145 + 0,0037x_1 + 0,0027x_2 + 0,0037x_1x_2 - 0,0072x_1^2 + 0,0176x_2^2 \quad (2)$$

Далее осуществляли переход кодированной модели к модели в натуральном виде. Для этого в полученное кодированное уравнение были подставлены натуральные значения факторов:

$$x_1 = (M_{2к} - 24) / 8 \quad (3)$$

$$x_2 = (M_{об} - 60) / 20, \quad (4)$$

где  $M_{2к}$  – масса гидролизованной кожи трески г/100 г смеси;  
 $M_{об}$  – масса облепихи г/100 г смеси.

После приведения подобной искомого математическая модель рецептуры мягкого сыра в натуральном выражении может быть записана в следующем виде:

$$Y = 0,1222 + 0,004475M_{2к} - 0,0057M_{об} + 0,00002312M_{2к}M_{об} - 0,0001125M_{2к}^2 + 0,0000447M_{об}^2. \quad (5)$$

После дифференцирования и решения системы уравнений были найдены значения варьируемых факторов: содержание гидролизованной кожи трески – 25,8 г/100 г смеси, содержание плодов облепихи – 57,9 г/100 г смеси.

Основываясь на результатах социологического опроса, органолептического анализа, реологических исследований и данных математического моделирования

ния была подобрана рецептура мягкого сыра, которая включает в себя следующие компоненты: молоко коровье сырое, кожу трески гидролизованную, плоды облепихи, сыворотку творожную, пищевую соль и воду питьевую для посола. Рецептура мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи, представлена в табл. 4.

Таблица 4. Рецептура мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи

Table 4. The recipe of soft cheese enriched with hydrolyzed fish skin and sea buckthorn fruits

Наименование сырья	Расход сырья, кг/100 кг готовой продукции
Молоко коровье сырое	750,0
Кожа трески замороженная	27,7
Плоды облепихи быстрозамороженные	65,62
Сыворотка творожная	198,0
Соль пищевая	91,05
Вода питьевая	364,0

Технология производства мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи, включает в себя следующие основные технологические этапы: прием сырья, его подготовку, составления смеси для свертывания молока, нормализацию, пастеризацию и свертывание молока, формование и самопрессование сыра, его посол, обсушивание и выдерживание, а также процессы упаковывания, маркирования и хранения готовой продукции.

Далее были определены органолептические показатели мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи, которые представлены в табл. 5.

Таблица 5. Органолептические показатели мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи

Table 5. Organoleptic characteristics of soft cheese enriched with hydrolyzed fish skin and sea buckthorn fruits

Наименование показателя	Характеристика показателя
Внешний вид	Сыр корки не имеет. Поверхность ровная или морщинистая, увлажненная, без ослизнения. Допускается наличие небольших включений облепихи и кожи рыбы на поверхности сыра
Вкус и запах	Чистый, с выраженным вкусом и запахом облепихи. Допускается слегка кисловатый со слабовыраженным вкусом и запахом рыбы
Консистенция	Нежная, однородная, в меру плотная, некрошливая
Рисунок	Рисунок отсутствует. Допускается наличие мелких глазков круглой, овальной или угловатой формы
Цвет	От светло-желтого до оранжевого. Допускается наличие мелких включений кожи рыбы и облепихи в массе сыра

В табл. 6 указаны физико-химические показатели идентификации мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи.

Таблица 6. Физико-химические показатели мягкого сыра, обогащенного гидролизованной рыбьей кожей и плодами облепихи

Table 6. Physico-chemical parameters of soft cheese enriched with hydrolyzed fish skin and sea buckthorn fruits

Наименование показателя	Норма
Массовая доля влаги, %, не более	60,0
Массовая доля жира в перерасчете на абсолютно сухое вещество, %, не менее	40,0
Массовая доля витамина С, мг%, не менее	8,0
Массовая доля хлористого натрия, %, не более	2,0

В табл. 7 представлен общий химический состав разработанного мягкого сыра.

Таблица 7. Общий химический состав мягкого сыра, обогащенного гидролизованной кожей трески и плодами облепихи

Table 7. General chemical composition of soft cheese enriched with hydrolyzed cod skin and sea buckthorn fruits

Наименование образца	Значение показателя, г			Энергетическая ценность, ккал
	белки	жиры	углеводы	
Мягкий сыр с добавлением гидролизованной кожи трески и плодов облепихи	17,4±0,6	16,1±0,6	1,5±0,4	220,5

В табл. 8 представлены показатели биологической ценности разработанного мягкого сыра, которые были определены расчетным методом.

Таблица 8. Показатели биологической ценности мягкого сыра из коровьего молока, обогащенного гидролизованной кожей трески и плодами облепихи [16]

Table 8. Indicators of the biological value of soft cow's milk cheese enriched with hydrolyzed cod skin and sea buckthorn fruits [16]

Наименование вещества	Суточная потребность согласно МР 2.3.1.0253-21	Содержание в 100 г сыра	% удовлетворения суточной потребности для мужчин старше 18 лет (~ 70 г сыра)	Функциональность продукта по данному компоненту
Кальций	1200 мг	680 мг	39,6	функциональный
Фосфор	700 мг	515 мг	51,5	функциональный
Калий	3500 мг	210 мг	4,2	не функциональный
Магний	420 мг	40 мг	6,6	не функциональный

Железо	18 мг	0,8 мг	3,1	не функциональный
Витамин А	900 мкг	315 мг	24,5	функциональный
Витамин В <sub>2</sub>	1,8 мг	0,40 мг	15,5	функциональный
Витамин С*	100 мг	8,07 мг	5,6	не функциональный

Примечание. \* – экспериментальные данные.

Суточная потребность организма в коллагене зависит от того, насколько активный образ жизни ведет человек. Для взрослого человека при умеренных физических нагрузках в сутки требуется 5–7 г коллагена [3, 7], поэтому разрабатываемый продукт следует рекомендовать к употреблению всем категориям взрослого населения в качестве источника коллагена, который содержит уникальные аминокислоты – гидроксипролин и гидроксизин. Также разрабатываемый продукт богат витаминами и минеральными веществами, которые совместно с коллагеном формируют комплексный продукт, направленный на профилактику заболеваний и укрепление опорно-двигательного аппарата. Гидроксипролин и гидроксизин, входящие в состав коллагена кожи трески, принимают участие в построении собственного коллагена человеческого организма, тем самым способствуя формированию костей, хрящей, суставов, сухожилий и связок. Рекомендуемое потребление сыра составляет 70 г в сутки. Употребив такое количество обогащенного мягкого сыра, можно удовлетворить суточную потребность организма в Са на 39,6 %, Р на 51,5 %, витамине А на 24,5 % и витамине В<sub>2</sub> на 15,5 %. На основании теоретических расчетов было установлено, что содержание коллагена в 70 г мягкого сыра составляет 2,5 г – 42 % от рекомендуемой суточной потребности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ научной литературы показал, что заболевания опорно-двигательного аппарата распространены во всем мире и являются главной причиной инвалидизации населения. По результатам социологического опроса было установлено, что мягкие сыры пользуются спросом у населения и являются востребованным и популярным продуктом. Также потребители положительно относятся к введению в состав мягкого сыра дополнительных компонентов, способствующих его обогащению.

В ходе исследований были определены параметры выдерживания кожи трески в творожной сыворотке: продолжительность выдерживания 48 ч, температура 4–6 °С, соотношение рыбьей кожи и сыворотки 1:3, кислотность творожной сыворотки 80±2 °Т. Результаты изучения процесса гидролиза кожи показали динамику роста аминного азота в творожной сыворотке, что подтверждает протекание процесса гидролиза коллагена, входящего в состав кожи трески.

С помощью методов математического моделирования была получена математическая модель рецептуры мягкого сыра, обогащенного гидролизованной кожей трески и плодами облепихи, и рассчитаны значения дозировок гидролизованной кожи трески – 25,8 г/100 г смеси и плодов облепихи – 57,9 г/100 г смеси, используемой при изготовлении сыра. Далее разработана рецептура мягкого сыра,

в готовом продукте определены органолептические и физико-химические показатели. Также расчетным методом была определена функциональность проектируемого сыра.

Описаны рекомендации по употреблению обогащенного мягкого сыра, направленные на профилактику заболеваний опорно-двигательного аппарата за счет содержания в своем составе уникальных аминокислот – гидроксипролина и гидроксизина, а также витаминов и минеральных веществ.

#### Список источников

1. Leon-Lopez A., Morales-Penalozza A., Martinez-Juarez V., Vargas-Torres A., Zeugolis D. Hydrolyzed Collagen-Sources and Applications // *Molecules*. 2019. N 24. P. 1–16.
2. Яременко О. Б., Анохина Г. А., Бурьянов А. А. Сустав. Хрящ. Коллаген // *Травма*. 2020. № 4. С. 6–12.
3. Paul C., Leser S., Oesser S. Significant Amounts of Functional Collagen Peptides Can Be Incorporated in the Diet While Maintaining Indispensable Amino Acid Balance // *Nutrients*. 2019. N 4. P. 1–9.
4. Болгова С. Б. Рыбные коллагены: получение, свойства и применение: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.18.07. Воронеж, 2015. 20 с.
5. Соколов А. Ю. Изучение свойств коллагенсодержащего сырья и научное обоснование возможности его использования в пищевых целях: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.15: утв. 04.09.02. Москва, 2002. 199 с.
6. Исследование по совершенствованию мягких сыров / Н. Ю. Ключко, А. Л. Фартышева, Д. В. Филиппова, Д. А. Позднякова // IX междунар. науч.-практ. конф. «Пищевая и морская биотехнология» (5 окт. 2020): материалы. Калининград, 2021. С. 58–63.
7. Song H., Li B. Beneficial Effects of Collagen Hydrolysate: A Review on Recent Developments // *Biomedical*. 2020. N 3. P. 458–461.
8. Канбеков С. Ш. Коллаген – основной белок, образующий соединительную ткань // *Травма*. 2021. № 2. С. 10–15.
9. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы / В. М. Коденцова, О. А. Вржесинская, Д. В. Рисник, Д. Б. Никитюк, В. А. Тутельян // *Вопросы питания*. 2017. № 4. С. 113–124.
10. Олейникова Т. А., Пожидаева Д. Н., Орешко А. Ю. Мониторинг заболеваемости патологиями костно-мышечной системы и соединительной ткани в Российской Федерации // *Фармакоэкономика*. 2019. № 12. С. 5–13.
11. Роль и место препаратов кальция и витамина D для профилактики и лечения остеопороза / А. С. Луценко, Л. Я. Рожинская, Н. В. Торопцова, Ж. Е. Белая // *Остеопороз и остеопатии*. 2019. № 2. С. 69–75.
12. Халимов Ю., Власенко А., Цепкова Г. Профессиональные заболевания, обусловленные функциональным перенапряжением опорно-двигательного аппарата // *Врач*. 2020. № 3. С. 3–9.
13. Витамины как основа иммунометаболической терапии / А. А. Савченко [и др]. Красноярск: Издательство КрасГМУ, 2011. 213 с.

14. Федорова О. С., Ключко Н. Ю. Анализ рынка мягких сыров Калининградской области и пути повышения их биологической ценности // Вестник молодежной науки. 2024. № 1 (43). 8 с.
15. Бережная Е. А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Вестник науки. 2021. № 1. С. 131–135.
16. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. Москва: ДеЛи принт, 2002. 237 с.

### References

1. Leon-Lopez A., Morales-Penalosa A., Martinez-Juarez V., Vargas-Torres A., Zeugolis D. Hydrolyzed Collagen-Sources and Applications. *Molecules*. 2019. N 24. P. 1–16.
2. Yaremenko O. B., Anokhina G. A., Bur'yanov A. A. Sustav. Khryashch. Kollagen [Joint. Cartilage. Kollagen]. *Travma*, 2020, no. 4, pp. 6–12.
3. Paul C., Leser S., Oesser S. Significant Amounts of Functional Collagen Peptides Can Be Incorporated in the Diet While Maintaining Indispensable Amino Acid Balance. *Nutrients*. 2019. N 4. P. 1–9.
4. Bolgova S. B. *Rybnye kollageny: poluchenie, svoystva i primeneniye. Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Fish collagens: Preparation, properties and application. Abstract of dis.ph.d. in engineering sci]. Voronezh, 2015, 20 p.
5. Sokolov A. Yu. *Izuchenie svoystv kollagensoderzhashchego syr'ya i nauchnoe obosnovanie vozmozhnosti ego ispol'zovaniya v pishchevykh tselyakh. Diss. kand. tekhn. nauk* [Study of the properties of collagen-containing raw materials and scientific justification of the possibility of its use for food purposes. Dis. Ph.D. in Engineering]. Moscow, 2002. 199 p.
6. Klyuchko N. Yu., Fartysheva A. L., Filippova D. V., Pozdnyakova D. A. Issledovanie po sovershenstvovaniyu myagkikh syrov [Research on the improvement of soft cheeses]. *Materialy IX mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Pishchevaya i morskaya biotekhnologiya» (5 okt. 2020)* [Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference "Food and Marine Biotechnology (October 5, 2020)]. Kaliningrad, 2021, pp. 58–63.
7. Song H., Li B. Beneficial Effects of Collagen Hydrolysate: A Review on Recent Developments. *Biomedical*. 2020. N 3. P. 458–461.
8. Kanbekov S. Sh. Kollagen – osnovnoy belok, obrazuyushchiy soedinitel'nyuyu tkan' [Collagen is the main protein that forms connective tissue]. *Travma*, 2021, no. 2, pp. 10–15.
9. Kodentsova V. M., Vrzhesinskaya O. A., Risnik D. V., Nikityuk D. B., Tutel'-yan V. A. Obespechennost' naseleniya Rossii mikronutrientami i vozmozhnosti ee korrektsii. Sostoyaniye problemy [Provision of micronutrients to the Russian population and the possibility of its correction. The state of the problem]. *Voprosy pitaniya*, 2017, no. 4, pp. 113–124.
10. Oleynikova T. A., Pozhidaeva D. N., Oreshko A. Yu. Monitoring zabolevaemosti patologiyami kostno-myshechnoy sistemy i soedinitel'noy tkani v Rossiyskoy Federatsii [Monitoring of the incidence of pathologies of the musculoskeletal system and connective tissue in the Russian Federation]. *Farmakoekonomika*, 2019, no. 12, pp. 5–13.

11. Lutsenko A. S., Rozhinskaya L. Ya., Toroptsova N. V., Belaya Zh. E. Rol' i mesto preparatov kal'tsiya i vitamina D dlya profilaktiki i lecheniya osteoporoza [The role and place of calcium and vitamin D preparations for the prevention and treatment of osteoporosis]. *Osteoporoz i osteopatii*, 2019, no. 2, pp. 69–75.
12. Khalimov Yu., Vlasenko A., Tsepko G. Professional'nye zabolevaniya, obuslovlennye funktsional'nym perenapryazheniem oporno-dvigatel'nogo apparata [Occupational diseases caused by functional overstrain of the musculoskeletal system]. *Vrach*, 2020, no. 3, pp. 3–9.
13. Savchenko A. A., Anisimova E. N., Borisov A. G., Kondakov A. E. *Vitaminy kak osnova immunometabolicheskoy terapii* [Vitamins as the basis of immunometabolic therapy]. Krasnoyarsk, KrasGMU Publ., 2011, 213 p.
14. Fedorova O. S., Klyuchko N. Yu. Analiz rynka myagkikh syrov Kalininskoy oblasti i puti povysheniya ikh biologicheskoy tsennosti. *Vestnik molodezhnoy nauki*, 2024, № 1 (43), 8 p.
15. Berezhnaya E. A. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy pererabotki molochnoy syvorotki [Current state and prospects of whey processing]. *Vestnik nauki*, 2021, no. 1, pp. 131–135.
16. Skurikhin I. M., Tutel'yan V. A. *Khimicheskiy sostav rossiyskikh pishchevykh produktov* [Chemical composition of Russian food products]. Moscow, DeLi print Publ., 2002, 237 p.

#### Информация об авторах

**О. С. Федорова** – магистрант кафедры пищевой биотехнологии

**Н. Ю. Ключко** – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой биотехнологии

#### Information about the authors

**O. S. Fedorova** – student at the Department of Food Biotechnology

**N. Yu. Klyuchko** – PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Food Biotechnology

Статья поступила в редакцию 21.11.2024; одобрена после рецензирования 04.12.2024; принята к публикации 13.12.2024.

The article was submitted 21.11.2024; approved after reviewing 04.12.2024; accepted for publication 13.12.2024.



**СУДОСТРОЕНИЕ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭНЕРГЕТИКА**



Научная статья

УДК 629.017

DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-91-109

### Исследование изменения физико-химических характеристик судовых моторных масел в процессе обработки

Оксана Владимировна Сынашенко<sup>1</sup>, Николай Яковлевич Синявский<sup>2</sup>, Наталья Анатольевна Кострикова<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

<sup>1</sup>oksanasynashenko@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-3149-0345>

<sup>2</sup>nikolaj.sinyavskij@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1285-206X>

<sup>3</sup>natalia.kostrikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2969-0346>

**Аннотация.** При эксплуатации судового моторного масла происходят процессы, связанные с его окислительной высокотемпературной деградацией, загрязнением сажей, металлами износа, топливом, водой и охлаждающей жидкостью. Качество отработанного судового моторного масла является индикатором для диагностики неисправности судовых дизелей, поэтому анализ свойств отработанных моторных масел имеет важное значение в вопросах определения надежности судовых дизелей, а также обеспечения оптимальных сроков их использования. Судовые моторные масла – диэлектрики, что позволяет рассматривать различные электрические характеристики в задачах диагностирования. В данной работе приводятся результаты исследования основных физико-химических характеристик свежих и отработанных моторных масел: относительной диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, удельной проводимости, процентного содержания воды, напряжения электрического пробоя, щелочного числа и вязкости. Авторами использован многопараметрический подход для анализа свойств свежих и отработанных моторных масел. Исследованы температурные зависимости основных физико-химических характеристик следующих моторных масел: Mobil 5W30, Mobil 5W40, Mobil 10W40, Shell Rimula 15W40, Total DISOLA, Navigo TPEO 12/40. Указанные характеристики измерялись в зависимости от температуры в диапазоне 20–55 °С (с шагом 1 °С) как для свежих масел, так и для отработанных. Показана возможность установления корреляции между этими характеристиками, в том числе при их изменении в отработанных моторных маслах, что позволяет использовать это в задачах диагностирования судовых дизелей.

**Ключевые слова:** судовые моторные масла, щелочное число, относительная диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь, напряжение электрического пробоя, вязкость.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках госзадания Федерального агентства по рыболовству, рег. № 122030900056-4.

**Для цитирования:** Сынашенко О. В., Синявский Н. Я., Кострикова Н. А. Исследование изменения физико-химических характеристик судовых моторных масел в процессе обработки // Известия КГТУ. 2025. № 76. С. 91–109. DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-91-109.

Original article

### Study of changes in physical and chemical characteristics of marine engine oils in the process of optimization

Oksana V. Synashenko<sup>1</sup>, Nikolay Ya. Sinyavskiy<sup>2</sup>, Natal'ya A. Kostrikova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

<sup>1</sup> oksanasynashenko@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-3149-0345>

<sup>2</sup> nikolaj.sinyavskij@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1285-206X>

<sup>3</sup> natalia.kostrikova@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2969-0346>

**Abstract.** During exploitation of marine motor oil, the processes related to the oxidative high-temperature degradation, contamination with soot, wear metals, fuel, water and coolant occur. The quality of used marine motor oil is an indicator for diagnosing the malfunction of marine diesel, so the analysis of the properties of used motor oils is important in determining the reliability of marine diesel engines, as well as ensuring the optimal time of their use. Marine motor oils are dielectrics, which allows considering various electrical characteristics in diagnostic tasks. This paper presents the results of a study of the main physical and chemical characteristics of fresh and used motor oils: relative permittivity, dielectric loss tangent, specific conductivity, water percentage, electrical breakdown voltage, total base number, and viscosity. The authors use a multiparameter approach to analyze the properties of fresh and used motor oils. The temperature dependences of the main physical and chemical characteristics of the following motor oils have been studied: Mobil 5W30, Mobil 5W40, Mobil 10W40, Shell Rimula 15W40, Total DISOLA, Navigo TPEO 12/40. The specified characteristics have been measured depending on the temperature in the range of 20–55 °C (in 1 °C increments), both for fresh and used oils. The paper shows the possibility of establishing a correlation between these characteristics, including when they change in used motor oils. The presence of a correlation between these parameters allows this to be used in the tasks of diagnosing marine diesel engines.

**Keywords:** marine engine oils, total base number, relative permittivity, dielectric loss angle tangent, electrical breakdown voltage, viscosity.

**Funding:** The work was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Fisheries Agency, reg. N 122030900056-4.

**For citation:** Synashenko O. V., Sinyavsky N. Ya., Kostrikova N. A. Study of changes in physical and chemical characteristics of marine engine oils in the process of used. *Izvestiya KGTY = KSTU News*. 2025;(76):91–109. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2025-76-91-109.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции ресурсосбережения, в частности экономии топливно-энергетических ресурсов, обуславливают необходимость текущего контроля состояния моторного масла в картере двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в процессе его эксплуатации. С этой целью, а также с целью обеспечить надежность работы ДВС и долговечность деталей двигателей, необходимо знать оптимальный срок замены моторного масла [1, 2]. Старение масла в процессе его эксплуатации и ухудшение его физико-химических характеристик может вызвать преждевременный износ деталей и последующий отказ двигателя.

Анализируя пробы масла, технические специалисты могут обнаружить предельно допустимые или аварийные (браковочные) показатели его состояния. Это позволяет им предпринимать корректирующие действия, такие как замена масла, фильтров или выявление основных проблем, прежде чем они перерастут в катастрофические неисправности. Кроме того, анализ масла помогает оптимизировать срок службы смазочных материалов, сокращая частоту замены масла и минимизируя затраты на техническое обслуживание.

Анализ отработанного масла быстро и легко показывает состояние двигателя. Взяв образец отработанного масла, можно определить ранние признаки загрязнения, окисления и степень износа, наличие металлов, разбавление масла топливом и другими загрязняющими веществами. Анализ отработанного масла позволяет обнаружить частицы и загрязняющие вещества размером менее 10 мкм.

Поскольку моторное масло движется по всему двигателю, собирая по пути частицы и загрязняющие вещества, анализ этого масла может указать на потенциальные проблемные места, предотвратить отказ подшипника, обнаружив его преждевременный износ, подсчитав миллионные доли материалов подшипников (меди, олова и свинца) в отработанном масле.

Анализ масла может показать наличие воды в масле, которая появилась из крошечной трещины в одном из впускных каналов. Помимо обнаружения утечки охлаждающей жидкости, анализ отработанного масла обнаруживает начальные стадии задира цилиндров, когда ни один другой тест не выявляет эту проблему. Если вовремя обнаружить задиры, их можно устранить до того, как двигатель выйдет из строя. Увеличение содержания железа, алюминия и хрома в отработанном масле указывает на ненормальный износ поршня и гильзы.

Известно, что моторные масла являются жидкими диэлектриками, и такие параметры, как относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$ , удельная проводимость  $\sigma$ , напряжение пробоя  $U_{пр}$ , можно применить в качестве показателей, характеризующих их диэлектрические свойства.

Электропроводность жидкой среды – это мера способности жидкости проводить электрический ток, обычно она выражается в пикосименсах на метр (пСм/м). Кроме типа жидкости, проводимость зависит от концентрации подвижных носителей заряда. Смазочные материалы могут работать как изоляторы в трансформаторах или переключателях по причине того, что они характеризуются слабой проводимостью. Проводимость масел зависит от нескольких факторов, включая тип базового масла, состав присадок и полярность. Чем большую поляр-

ность имеет смазка, тем она менее очищена и более проводящая. Повреждение компонентов смазочных материалов может быть вызвано электростатическими разрядами. Проводимость смазочного материала является важным фактором в накоплении заряда, а проводимость зависит от типа используемого базового масла.

Исследования Григорова А. Б. и др. [2, 3] показали, что одним из браковочных параметров масла может быть его диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ . На примере масел 10W-40 и 15W-40 наблюдался рост величины  $\epsilon$  пропорционально времени эксплуатации моторных масел, что свидетельствует об утрате ими свойств диэлектрика [3]. В работе [4] исследования диэлектрических характеристик автомобильных моторных масел в частотном диапазоне 100 Гц – 3 МГц выявили максимум на частотной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  отработанного масла, что, по всей видимости, вызвано окислением углеводородов, входящих в состав масла. Авторами [4] предлагается использовать частотную зависимость  $tg\delta$  в качестве браковочного показателя.

Исследованные в нашей работе [5] температурные зависимости проводимости  $\sigma$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  для свежего и отработанного масла Shell Rimula15W40 позволили рассчитать энергию активации образцов по каждому из параметров, а также установить связь удельной проводимости  $\sigma$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  и ее зависимость от частоты тока.

Определение качества моторного масла обычно требует сложного лабораторного оборудования для измерения вязкости, показателя преломления, плотности, щелочного числа, кислотного числа, содержания воды, металлов (присадок и металлов износа), цвета и температуры вспышки.

Каждый браковочный параметр моторного масла имеет максимально допустимые пределы, в которых он может изменяться в ходе работы масла: вязкость  $\pm 20\%$ , содержание воды – до 0,3 %, щелочное число – до 50 % от значения TBN свежего масла. Исходя из этого, при анализе масла необходим комплексный подход, учитывающий одновременно несколько параметров. В работе [3] наряду с исследованиями изменения относительной диэлектрической проницаемости была проанализирована динамика уменьшения величины TBN и температуры вспышки.

Остриков В. В. и др. [6] в подобном комплексном исследовании изменения свойств моторных масел в ДВС зерноуборочных комбайнов в сезон работ и в период вынужденного простоя заметили корреляцию между уменьшением вязкости масла и спадом температуры вспышки. Уменьшение щелочного числа TBN с 8 до 6 мг КОН/г во время интенсивной работы машин находилось в пределах нормы. В период же простоя отмечается незаметное уменьшение TBN с 6 до 5,7 мг КОН/г (за счет осаждения присадок вместе с загрязнениями), в то время как кислотное число выросло заметно – в 1,5 раза, что является следствием процесса окисления.

Малютин А. И. и др. [7] предложили диагностику состояния моторного масла по степени его загрязненности нерастворимыми механическими примесями – частицами железа и кремния. Методы электронной рентгеноспектральной микроскопии и лазерной дифракции позволили оценить размер частиц и их распределение в зависимости от режима работы ДВС.

Дыров П. А. и Малышко А. А. в работе [8] помимо отслеживания динамики изменения щелочного числа акцентируют внимание на изучении степени окисления и количества химических элементов в составе отработанного масла. В част-

ности, важным элементом, входящим в состав диспергирующих и противоизносных присадок, является бор. Оценка количественного содержания бора проводилась с помощью эмиссионного спектрометра ICP-OES, для определения степени окисления использовалась ИК-спектроскопия на ИК-Фурье спектрометре. Для образцов масла 10W-30 с разным временем отработки определены предельные значения параметров, превышение которых будет приводить к снижению надежности ДВС: содержание бора – 200 мг/кг, что соответствует полной выработке присадки, степень окисления – 25 А/см.

При изучении процессов деградации пяти моторных масел 5W30, относящихся к одному классу вязкости SAE, но выпускаемых разными производителями, А. Волаком были проанализированы характер и интенсивность изменения щелочного числа [9]. Уменьшение величины TBN в процессе отработки масел объясняется снижением содержания в маслах противозадирных и противоизносных присадок. Большой объем статистических данных об изменении щелочного числа моторных масел в зависимости от часов наработки двигателя позволил автору работы [9] создать статистическую модель на основе линейной функции, которая помогла бы прогнозировать поведение моторного масла в процессе использования.

В работах Лаушкина А. В. и др. [10, 11, 12], а также Острикова В. В. [13] установлено, что изменение свойств моторных масел в том числе связано с качеством используемого дизельного топлива. По оценке авторов [10], топливо, имеющее отклонения от требований стандартов, снижает срок службы масла до замены более чем на 20 %. Об этом свидетельствовало содержание загрязнений в масле и его щелочное число, которые имели значения, близкие к браковочным.

Еще одной важной характеристикой диэлектрических свойств моторного масла является напряжение пробоя  $U_{пр}$ . Как показывают исследования, для технически чистых жидких диэлектриков, в частности для трансформаторного масла, зависимость напряжения пробоя от температуры незначительная. На пробой жидких диэлектриков заметное влияние оказывают факторы, которые могут как повышать  $U_{пр}$  (очистка, давление), так и понижать его: загрязнение и увлажнение (ничтожное количество влаги ( $< 0,03\%$ ) резко снижает  $U_{пр}$ ), вязкость, температура (с увеличением температуры  $U_{пр}$  уменьшается) [14].

В работе [15] авторы предлагают повышать напряжение пробоя трансформаторного масла, легируя его наночастицами  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  и  $\text{ZrO}_2$ . Это приводит к искажению электрического поля внутри масла в результате накопления заряда на поверхности наночастиц. Исследование влияния концентрации нанонаполнителя на значение  $U_{пр}$  показали, что оптимальным значением концентрации является 0,2 г/л, при этом максимальное процентное увеличение напряжения пробоя составляет 170 % в случае добавления  $\text{TiO}_2$ , 136 % и 62% при добавлении в трансформаторное масло наночастиц  $\text{SiO}_2$  и  $\text{ZrO}_2$  соответственно.

Анализ литературы свидетельствует об актуальности вышеперечисленных исследований как для определения качества моторных масел, так и для диагностики двигателя по отработанному маслу. Целью данной работы явилось исследование старения судовых моторных масел путем регистрации основных физико-химических характеристик и установление корреляции между этими характеристиками.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Анализ физико-химических характеристик моторных масел проводился с использованием анализатора качества нефтепродуктов SHATOX SX-300 [16], в состав которого входят два датчика, позволяющих в различных режимах измерять такие характеристики, как относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ , тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$ , удельная проводимость  $\sigma$ , процентное содержание воды  $K_w$ , напряжение пробоя  $U_{пр}$ , и щелочное число TBN. На рис. 1 представлен внешний вид анализатора.

Указанные выше параметры масел измерялись в зависимости от температуры в диапазоне 20–55 °С (с шагом 1 °С) как для свежих масел, так и для отработанных.

Температуру вспышки определяли с помощью судовой комплексной лаборатории «СКЛАМТ-1» в специальном приборе закрытого типа методом визуального наблюдения воспламенения паров масла от нагретой спирали воспламенителя.

Всего было исследовано 6 всепогодных моторных масел, различных по своим характеристикам, согласно классификации масел по SAE: 5W30, 5W40, 10W40, 15W40, а также ТПЕО 12/40 и судовое масло Total DISOLA M4015.



Рис. 1. Анализатор качества нефтепродуктов SHATOX SX-300 [16]

Fig. 1. Petroleum product quality analyzer SHATOX SX-300 [16]

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Температура вспышки масла  $t_{всп}$  – это самая низкая температура, при которой образец масла в определенных условиях выделяет достаточно паров для того, чтобы паровоздушная смесь над образцом воспламенилась в первый раз и не продолжила гореть впоследствии. Температуру вспышки определяют при нагревании моторного масла в открытом или закрытом тигле.

Измеренная температура вспышки в закрытом тигле для свежих и отработанных моторных масел приведена в табл. 1. Для сравнения указана температура вспышки, заявленная производителями масел, полученная методом открытого тигля Кливленда. Известно, что в открытом приборе температура вспышки минеральных масел на 20–25 °С выше, чем в закрытом [17], что подтверждается нашими исследованиями.

Таблица 1. Температура вспышки  $t_{всп}$  в закрытом тигле для свежих и отработанных моторных масел

Table. 1. Flash point in a closed cup for fresh and used motor oils

Масло		$t_{всп}, ^\circ\text{C}$ (в закрытом тигле)	$t_{всп}, ^\circ\text{C}$ (в открытом тигле Кливленда)
1	Mobil 5W30	свежее	212
		отработанное 170 ч	152
2	Mobil 5W40	свежее	218
		отработанное 160 ч	140
3	Mobil 10W40	свежее	210
		отработанное 300 ч	174
4	Shell Rimula 15W40	свежее	202
		отработанное 250 ч	192
		отработанное 500 ч	178
5	ТПЕО 12/40	свежее	235
		отработанное 300 ч	220
6	Total DISOLA M4015	свежее	221
		отработанное 300 ч	205

Поскольку температура вспышки является важной константой для смазочных материалов всех видов, каждое масло испытывается на предмет температуры вспышки, которая вносит значительный вклад в область применения смазочного материала. Это показатель наличия в масле легкокипящих фракций, что определяет способность состава образовывать нагар и сгорать при соприкосновении с горячими деталями двигателя. У качественного масла значение  $t_{всп}$  должно быть как можно выше. У современных моторных масел температура вспышки превышает +200 °С, обычно она равна +210–230 °С.

Каждое масло имеет свою температуру вспышки. В зависимости от области применения может также потребоваться определенная температура вспышки. В принципе, температура вспышки парафиновых масел с плотностью от 860 до 890 кг/м<sup>3</sup> составляет от 200 до 280 °С. Для нефтяных масел с плотностью от 890 до 960 кг/м<sup>3</sup> достигаются температуры вспышки 235 °С и ниже.

Температура вспышки масел может снижаться в процессе использования. В частности, в двигателях внутреннего сгорания масло способно смешиваться с топливом после длительных периодов использования, что приводит к разбавлению масла, ухудшению его смазочных и антинагарных свойств. Попадание посторонних веществ, топлива или воды также является причиной того, что температура вспышки других масел может упасть. Если температура вспышки образца масла падает ниже 150 °С, масло следует заменить, чтобы снизить риск возгорания.

Зависимости щелочного числа TBN от температуры для свежих и отработанных моторных масел Mobil 5W40, Mobil 10W40 и Shell Rimula 15W40 показаны на рис. 2.

Общее щелочное число, или Total Base Number (TBN), характеризует способность масла нейтрализовать вредные кислоты, попадающие в него в процессе работы ДВС. Щелочное число указывает на количество щелочных присадок, присутствующих в моторном масле. В этом контексте специалисты также говорят о щелочном резерве моторного масла. Щелочной резерв описывает, сколько кислоты может быть нейтрализовано. Смазочное масло не должно увеличивать в процессе работы кислотность, т. е. значение pH, чтобы оставаться функциональным в течение длительного времени. Если масло становится слишком кислым из-за попадания посторонних веществ, старение масла и разложение смазки ускоряются. В этом случае моторное масло требует замены.

Добавляя присадки, можно обеспечить маслу щелочной резерв. Это нейтрализует кислоты в масле, и оно дольше остается пригодным к использованию. Таким образом, нейтрализуются кислотные продукты сгорания в моторном масле. Щелочное число дает важную информацию об оставшемся сроке службы масла, оно определяется титрованием и выражается в мг КОН/г, то есть указывает на количество гидроксидов калия в одном грамме моторного масла. Свежие моторные масла для бензиновых двигателей имеют TBN = 6–13 мг КОН/г. Щелочное число является важным параметром для моторных масел, поскольку они подвергаются особенно сильному воздействию кислот из-за остатков продуктов сгорания, содержащихся в топливе соединений серы [10].

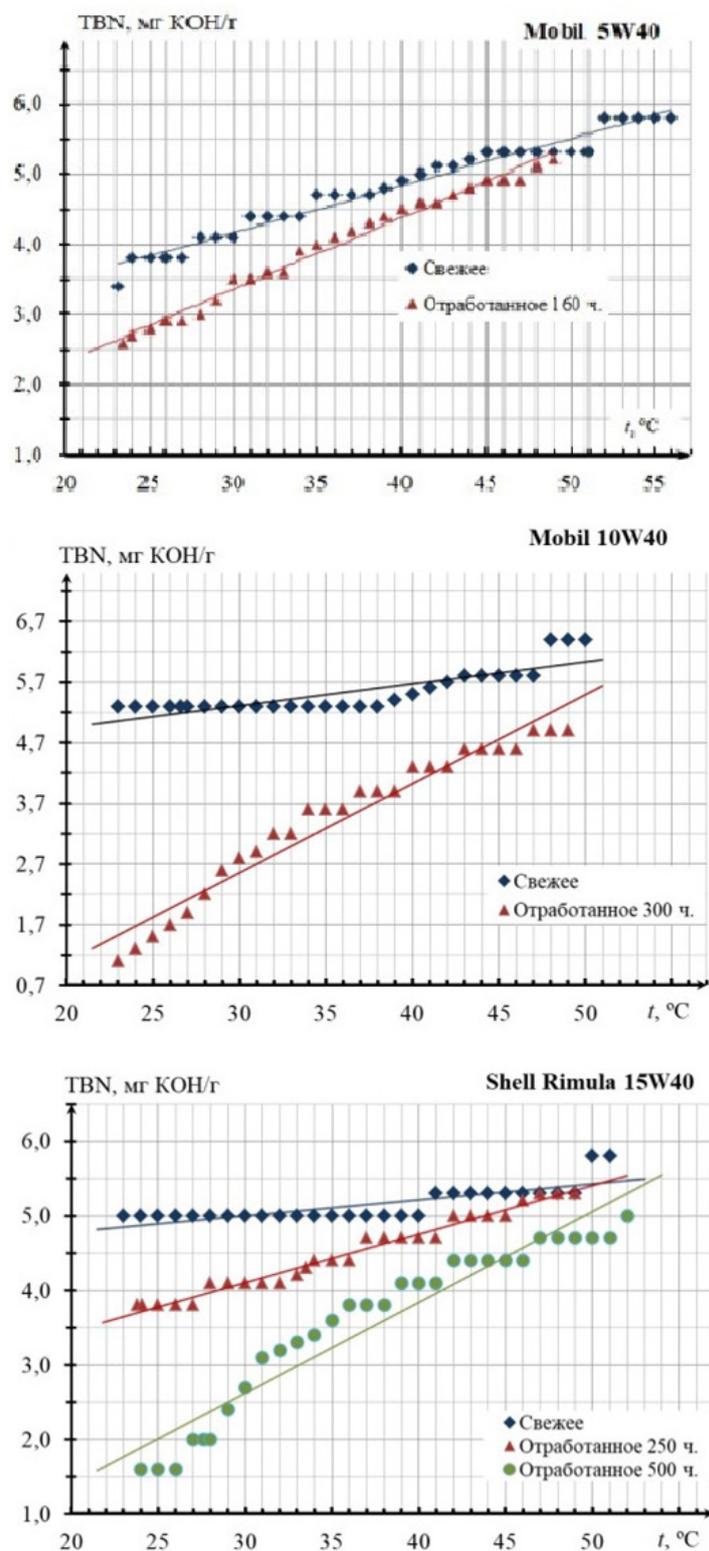


Рис. 2. Температурные зависимости щелочного числа TBN для свежих и отработанных моторных масел Mobil 5W40, Mobil 10W40 и Shell Rimula 15W40

Fig. 2. Temperature dependences of the TBN for fresh and used engine oils Mobil 5W40, Mobil 10W40 and Shell Rimula 15W40

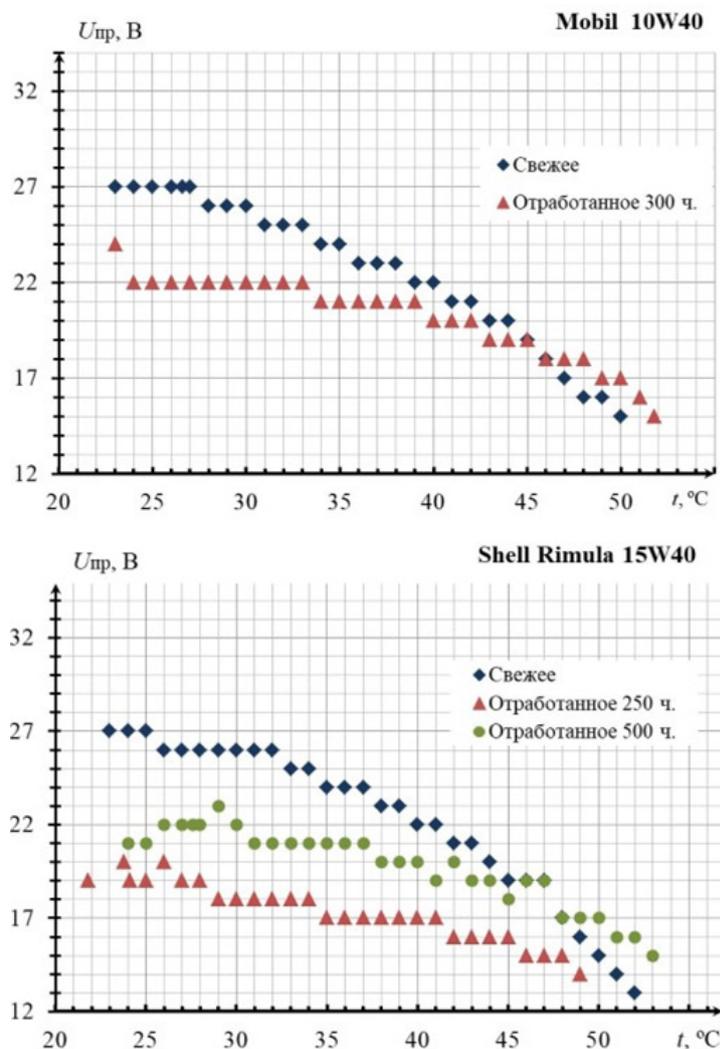


Рис. 3. Температурные зависимости напряжения пробоя  $U_{пр}$  для свежих и отработанных моторных масел Mobil 10W40 и Shell Rimula 15W40

Fig. 3. Temperature dependences of the breakdown voltage  $U_{пр}$  for fresh and used Mobil 10W40 and Shell Rimula 15W40 engine oils

Отличительной особенностью температурной зависимости щелочного числа для масла Mobil 10W40 является резкое уменьшение (в 4,8 раза) величины TBN при комнатной температуре в масле, отработанном в течение 300 ч.

Для всех исследуемых образцов свежих масел наблюдается слабое изменение значения щелочного числа с ростом температуры и заметен резкий рост величины TBN для всех образцов отработанных масел. Это можно объяснить тем, что рост кислот больше не нейтрализуется, т. к. щелочной потенциал масла израсходован.

Моторные масла являются диэлектриками, представляющими собой базовое масло и многокомпонентную дисперсную систему присадок для улучшения эксплуатационных характеристик масла. Молекулы базовых масел состоят их связанных атомов с равномерным распределением зарядов и являются неполярными.

Как видно из температурных зависимостей удельной проводимости  $\sigma$  для свежих и отработанных моторных масел, базовое масло, не содержащее пакета присадок, не имеет диполей, которые могли бы релаксировать. Диполи, вызывающие поляризацию и последующую релаксацию, в основном, молекулы присадок, которые в процессе работы двигателя срабатываются. Это иллюстрируют и зависимости тангенса угла потерь для этих масел, показанные на рис. 5.

Вышесказанное означает, что проводимость масла снижается, а риск статического заряда увеличивается. Проводимость смазочного материала зависит не только от базового масла и пакета присадок, но и от температуры: чем выше температура, тем выше проводимость масла. К сожалению, линейной корреляции между этими двумя параметрами нет, поскольку каждый тип масла имеет свою собственную зависимость проводимости от температуры. Кроме того, при постоянной температуре проводимость все равно изменяется в процессе эксплуатации из-за реакций присадок, износа металлов, реакций с металлическими поверхностями, водой и образования продуктов старения и окисления.

Как следует из эксперимента и литературных данных, при использовании моторного масла величина его диэлектрической проницаемости увеличивается. Это вызвано окислением масла и появлением в нем частиц износа металлов и иных загрязнений, имеющих большую электропроводность.

Все характеристики исследованных свежих и отработанных моторных масел сведены в табл. 2, что позволяет наблюдать корреляцию между ними.

Одним из браковочных показателей является процентное содержание воды в масле, источники которой – нарушение правил транспортировки и хранения масла, повышенная влажность воздуха, течь из системы охлаждения дизеля, конденсация паров при остановке и охлаждении дизеля. Обводнение масла сопровождается следующими явлениями: усиливается коррозионный эффект благодаря действию содержащихся в масле кислот и солей; понижается щелочное число, присадки теряют диспергирующие свойства; ухудшаются смазывающие свойства масла; появляется пенообразование в картере двигателя. Во многих случаях во время использования большинство смазочных материалов образуют коррозионные вещества, которые вредно взаимодействуют с металлическими деталями двигателя. Необходимо учитывать деградацию масел, особенно в результате процессов окисления [24, 25]. Коррозионный износ может быть уменьшен или предотвращен щелочными добавками, которые способны нейтрализовать кислоты. Антикоррозионные добавки, адсорбируясь на металлических поверхностях, препятствуют доступу воды и оксидов.

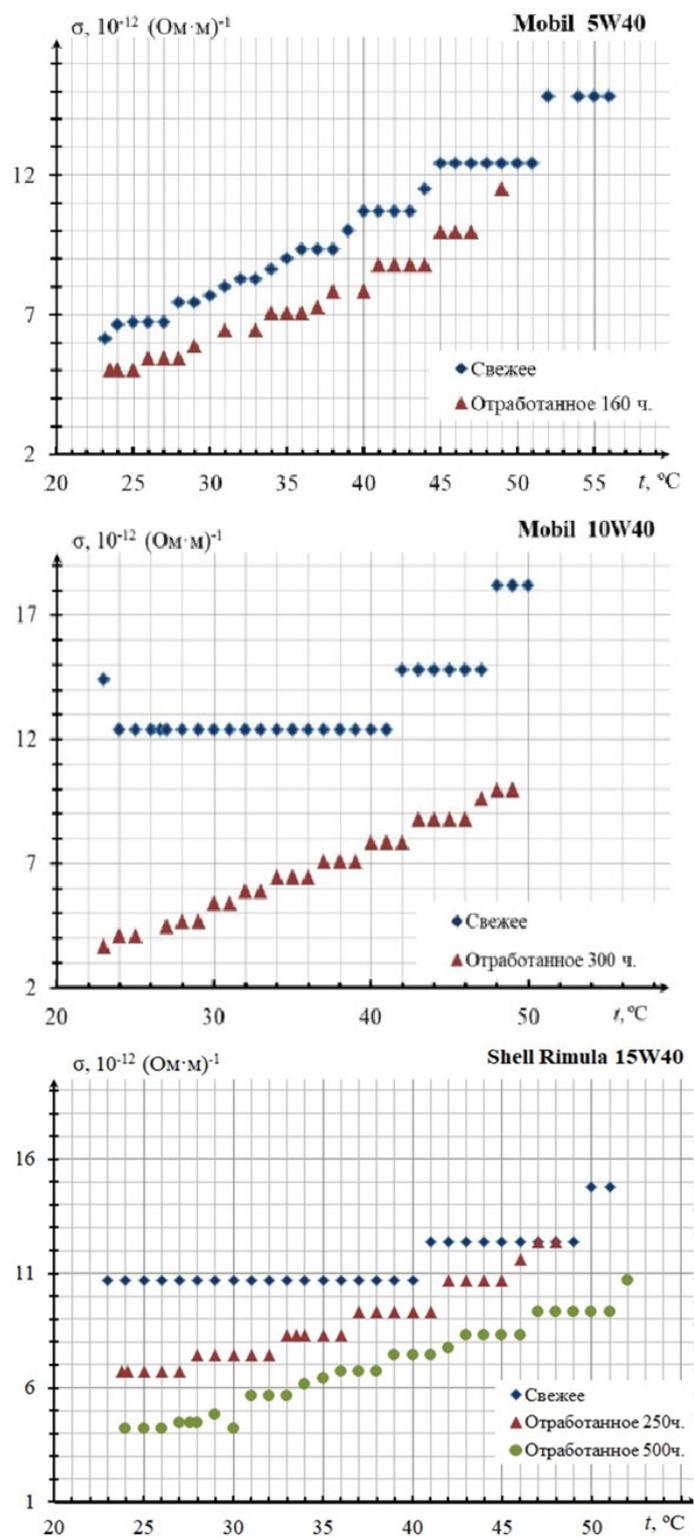


Рис. 4. Температурные зависимости удельной проводимости  $\sigma$  для свежих и отработанных моторных масел Mobil 5W40, Mobil 10W40 и Shell Rimula 15W40  
Fig. 4. Temperature dependences of specific conductivity  $\sigma$  for fresh and used engine oils Mobil 5W40, Mobil 10W40 and Shell Rimula 15W40

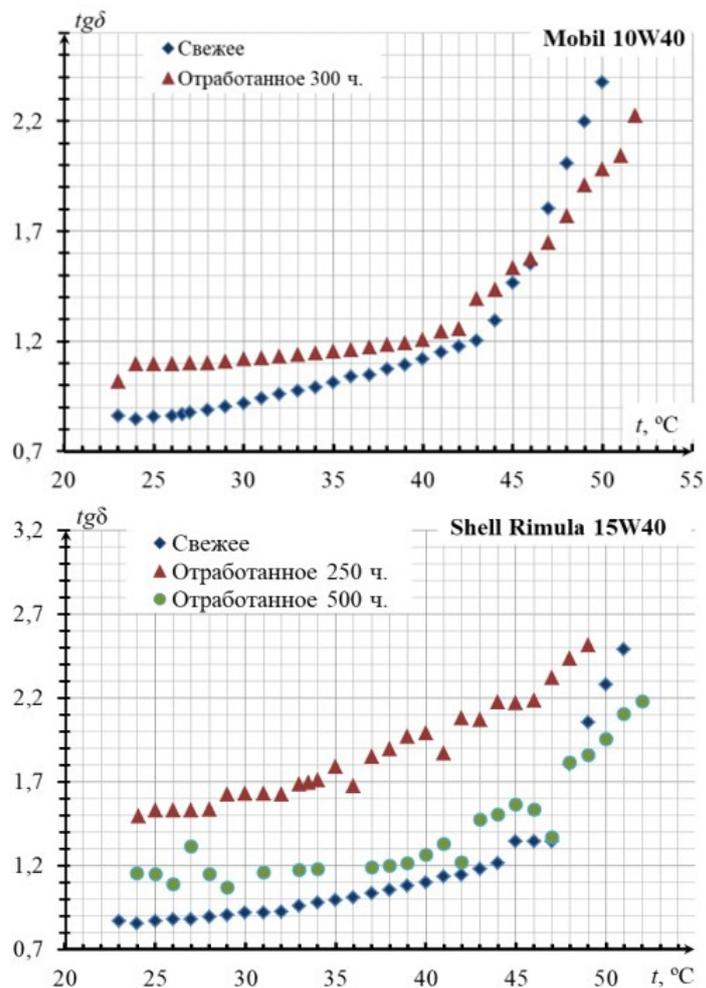


Рис. 5. Температурные зависимости тангенса угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  для свежих и отработанных моторных масел Mobil 10W40 и Shell Rimula 15W40  
Fig. 5. Temperature dependences of the dielectric loss tangent  $tg\delta$  for fresh and used engine oils Mobil 10W40 and Shell Rimula 15W40

Таблица 2. Изменение физико-химических характеристик моторных масел в процессе обработки: щелочного числа TBN, содержания воды  $K_w$ , кинематической вязкости  $\nu$ , температуры вспышки  $t_{всп}$ , удельной проводимости  $\sigma$ , напряжения пробоя  $U_{пр}$ , относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , тангенса угла диэлектрических потерь  $tg\delta$ .

Table 2. Changes in the physical and chemical characteristics of engine oils during processing: Total Base Number TBN, water content  $K_w$ , kinematic viscosity  $\nu$ , flash point  $t_{всп}$ , specific conductivity  $\sigma$ , breakdown voltage  $U_{пр}$ , relative dielectric constant  $\epsilon$ , dielectric tangent losses  $tg\delta$

Масло	Характеристика масла при $t = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ее изменение с обработкой							
	$TBN$ , мг KOH/г	$K_w$ , %	$\nu$ , мм <sup>2</sup> /с	$t_{всп}$ , °C	$\sigma$ , $10^{-12}$ (Ом·м) <sup>-1</sup>	$U_{пр}$ , кВ	$\epsilon$	$tg\delta$
<b>Mobil 5W40</b> свеж.	3,6	0,050	171,8	218	6,13	63	2,1786	0,1073
отраб. 160 ч.	2,6	0,337	140,2	140	5,0	–	2,4754	–
	↓ 1,0 (28 %)	↑ 0,287 (в 6,7 раз)	↓ 31,6 (18 %)	↓ 78 (36 %)	↓ 1,13 (18 %)	–	↑ 0,2968 (14 %)	–
<b>Mobil 10W40</b> свеж.	5,3	0,129	318,8	210	14,4	27	2,3306	0,8451
отраб. 300 ч.	1,1	0,166	270,2	174	3,65	23	2,3528	1,0961
	↓ 4,2 (в 4,8 раз)	↑ 0,037 (29 %)	↓ 48,6 (15 %)	↓ 36 (17 %)	↓ 10,75 (в 3,9 раз)	↓ 4 (15 %)	↑ 0,0222 (1,0 %)	↑ 0,251 (30%)
<b>Shell Rimula</b> <b>15W40</b> свеж.	5,0	0,138	285,9	202	10,7	27	2,3317	0,8571
отраб. 250 ч.	3,8	0,191	109,2	192	6,73	20	2,3721	1,4948
	↓ 1,2 (24 %)	↑ 0,053 (38 %)	↓ 176,7 (62 %)	↓ 10 (5 %)	↓ 3,97 (37 %)	↓ 7 (26 %)	↑ 0,0404 (1,7 %)	↑ 0,6377 (74 %)
отраб. 500 ч.	1,6	0,174	253,3	178	4,19	23	2,3604	1,1556
	↓ 3,4 (в 3 раза)	↑ 0,036 (26 %)	↓ 32,6 (11 %)	↓ 24 (12 %)	↓ 6,51 (в 2,6 раз)	↓ 4 (15 %)	↑ 0,0287 (1,2 %)	↑ 0,2985 (35%)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе исследована деградация моторных масел путем регистрации основных физико-химических характеристик. Изучены температурные зависимости восьми параметров, что позволяет установить корреляции между ними. При исследовании выполнен большой объем экспериментальных измерений, результаты которых представлены в виде таблиц и графиков. Итоги работы могут использоваться специалистами для обнаружения предельно допустимого или аварийного состояния моторного масла, для диагностики двигателя по отработанному маслу.

## Список источников

1. Верещагин В. И., Рунда М. М., Ковальский Б. И., Безбородов Ю. Н. Методы контроля и результаты исследования состояния моторных масел двигателей внутреннего сгорания в условиях длительного хранения и эксплуатации: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. 188 с.
2. Григоров А. Б., Наглюк И. С. Рациональное использование моторных масел: монография. Харьков: Точка, 2013. 178 с.
3. Григоров А. Б., Карножицкий П. В., Наглюк И. С. Изменение диэлектрической проницаемости дизельных моторных масел в эксплуатации // Автомобильный транспорт. 2007. № 20. 3 с.
4. Study of the dielectric response in mineral oil using frequency-domain measurement / Yuan Zhou, Miao Hao, George Chen, Gordon Wilson, Paul Jarman // J. Appl. Phys. 2014. V. 115. P. 124105.
5. Correlation of dielectric constant and conductivity of marine motor oils / O. V. Synashenko, E. V. Rabenok, M. V. Gapanovich, N. Ya. Sinyavsky // Journal of ETA Maritime Science. 2024. N 12 (3). P. 287–294.
6. Анализ изменения свойств моторных масел в период уборочных работ и вынужденного простоя зерноуборочных комбайнов / В. В. Остриков, Д. Н. Жерновников, В. С. Вязинкин, А. В. Кошелев, В. К. Нагдаев, А. В. Забродская, В. В. Сафонов // Материалы XXXV Междунар. науч.-техн. конф. им. В. В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники». Саратов, 2022. Вып. 35. С. 186–192.
7. Мониторинг качества моторного масла по накоплению нерастворимых механических примесей / А. И. Малютин, Е. А. Татаренков, С. Ю. Панов, З. С. Гасанов // Наука в Центральной России. 2023. Т. 63. № 3. С. 153–163.
8. Дыров П. А., Малышко А. А. Изменение содержания бора, степени окисления и щелочного числа в моторном масле при эксплуатации в ДВС // Материалы VIII Всеросс. (национ.) науч. конф. с международным участием «Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий». Новосибирск, 2023. С. 280–285.
9. Wolak A. TBN performance study on a test fleet in real-world driving conditions using present-day engine oils // Measurement. 2017. V. 114. P. 322–331.
10. Лаушкин А. В., Хазиев А. А. Теоретические аспекты изменения щелочного числа моторного масла при работе силовой установки // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2014. Т. 1. С. 140–144.

11. Хазиев А. А. Требования к автомобильному топливу и его влияние на отказы современных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. 2013. № 6 (36). С. 27–32.
12. Хазиев А. А. Лаушкин А. В., Горина Е. Б. Причины изменения свойств моторного масла // Грузовик. 2013. Вып. 6. С. 15–16.
13. Оценка влияния качества дизельного топлива и характеристик моторного масла на изменение его свойств в ДВС и срок службы / В. В. Остриков, В. К. Нагдаев, А. В. Забродская, А. В. Кошелев // Наука в центральной России. 2020. № 2 (44). С. 99–104.
14. Важов В. Ф., Лавринович В. А. Техника высоких напряжений: курс лекций. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 150 с.
15. On electric field distortion for breakdown mechanism of nanofilled transformer oil / A. M. Samya, M. E. Ibrahim, A. M. Abd-Elhadyb, M. A. Izzularab // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2020. V. 117. P. 105632.
16. Анализатор качества нефтепродуктов SHATOX SX-300. Руководство по эксплуатации. URL: <https://shatox.ru/upload/files/Oktanometr-SX-300.pdf> (дата обращения: 31.08.2024).
17. Шагин В. В., Кузькин В. Г. Смазочные масла для судовых дизелей. Калининград: Калининградское книжное издательство, 1967. 127 с.
18. Mobil 1™ ESP 5W-30. URL: <https://www.mobil.com/en/ru-ua/passenger-vehicle-lube/pds/eu-xx-mobil-1-esp-5w-30> (дата обращения: 31.08.2024).
19. Mobil Super™ 3000 X1 5W-40. URL: <https://www.mobil.com/en/ru-mda/passenger-vehicle-lube/pds/eu-xx-mobil-super-3000-x1-5w-40> (дата обращения: 31.08.2024).
20. Mobil Ultra™ 10W-40. URL: <https://www.mobil.com/ru-ru/passenger-vehicle-lube/pds/eu-xx-mobil-ultra-10w40> (дата обращения: 31.08.2024).
21. Моторное масло Shell вязкостью 15W-40. URL: [https://www.shell-moscow.ru/catalog/viscosity\\_15w-40](https://www.shell-moscow.ru/catalog/viscosity_15w-40) (дата обращения: 31.08.2024).
22. Масла серии «Лукойл НАВИГО ТПЕО». URL: <https://blackgoldoil.ru/catalog/lukoil-navigo-tpeo-1240-1540-2040-3040-4040-5040-5540/> (дата обращения: 31.08.2024).
23. TOTAL DISOLA M 4015. URL: <https://interoil-spb.ru/product/motornoe-maslo-total-disola-m-4015/> (дата обращения: 31.08.2024).
24. Wilson R. W., Lyon S. B. Corrosion in Lubricants/Fuels // Materials Science and Materials Engineering. 2010. V. 2. P. 1299–1307.
25. Jan C. J. Bart, Gucciardi E., Cavallaro S. Biolubricant product groups and technological applications // Biolubricants. Science and Technology. 2013. P. 565–711.

## References

1. Vereshchagin V. I., Runda M. M., Koval'skiy B. I., Bezborodov Yu. N. *Metody kontrolya i rezul'taty issledovaniya sostoyaniya motornykh masel dvigateley vnutrennego sgoraniya v usloviyakh dlitel'nogo khraneniya i ekspluatatsii: monografiya* [Methods of control and results of studying the condition of motor oils of internal combustion engines under conditions of long-term storage and operation: monography]. Krasnoyarsk, Sib. feder. un-t, 2016. 188 p.

2. Grigorov A. B., Naglyuk I. S. *Ratsional'noe ispol'zovanie motornykh masel: monografiya* [Rational use of motor oils: monography]. Khar'kov, Tochka, 2013. 178 p.
3. Grigorov A. B., Karnozhitskiy P. V., Naglyuk I. S. *Izmenenie dielektricheskoy pronitsaemosti dizel'nykh motornykh masel v ekspluatatsii* [Change of dielectric permittivity of diesel engine oils in operation]. *Avtomobil'nyy transport*. 2007, no. 20, p. 3.
4. Yuan Zhou, Miao Hao, George Chen, Gordon Wilson, Paul Jarman. Study of the dielectric response in mineral oil using frequency-domain measurement. *J. Appl. Phys.* 2014, vol. 115, p. 124105.
5. Synashenko O. V., Rabenok E. V., Gapanovich M. V., Sinyavskyy N. Ya. Correlation of dielectric constant and conductivity of marine motor oils. *Journal of ETA Maritime Science*. 2024. N 12 (3). P. 287–294.
6. Ostrikov V. V., Zhernovnikov D. N., Vyazinkin V. S., Koshelev A. V., Nagdaev V. K., Zabrodskaya A. V., Safonov V. V. *Analiz izmeneniya svoystv motornykh masel v period uborochnykh rabot i vynuzhdenogo prostoya zernouбороchnykh kombaynov* [Analysis of changes in the properties of motor oils during harvesting and forced downtime of grain harvesters]. *Materialy XXXV Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. im. V. V. Mikhaylova "Problemy ekonomichnosti i ekspluatatsii avtotraktornoy tekhniki"* [Materials of the XXXV Intern. scient. and tech. conf. named after V. V. Mikhailov "Problems of efficiency and operation of automotive and tractor equipment"]. Saratov. 2022, is. 35, pp. 186–192.
7. Malyutin A. I., Tatarenkov E. A., Panov S. Yu., Gasanov Z. S. Monitoring kachestva motornogo masla po nakopleniyu nerastvorimyykh mekhanicheskikh primesey [Monitoring the quality of motor oil based on the accumulation of insoluble mechanical impurities]. *Nauka v Tsentral'noy Rossii*. 2023, vol. 63, no. 3, pp. 153–163.
8. Dyrov P. A., Malyshko A. A. *Izmeneniye sodержaniya bora, stepeni okisleniya i shchelochnogo chisla v motornom masle pri ekspluatatsii v DVS* [Changes in boron content, oxidation state and base number in motor oil during operation in internal combustion engines]. *Materialy VIII Vseross. (natsion.) nauch. konf. s mezhdunarodnym uchastiem "Rol' agrarnoy nauki v ustoychivom razvitii sel'skikh territoriy"* [Proceedings of the VIII All-Russian (nation.) scient. conf. with international participation "The role of agricultural science in the sustainable development of rural areas"]. Novosibirsk. 2023, pp. 280–285.
9. Wolak A. TBN performance study on a test fleet in real-world driving conditions using present-day engine oils. *Measurement*. 2017. V. 114. P. 322–331.
10. Laushkin A. V., Khaziev A. A. *Teoreticheskie aspekty izmeneniya shchelochnogo chisla motornogo masla pri rabote silovoy ustanovki* [Theoretical aspects of changing the alkaline number of motor oil during operation of the power plant]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse*. 2014, vol. 1, pp. 140–144.
11. Khaziev A. A. *Trebovaniya k avtomobil'nomu toplivu i ego vliyanie na otkazy sovremennykh dvigateley* [Requirements for automobile fuel and its impact on

failures of modern engines]. *Transport na al'ternativnom toplive*. 2013, no. 6 (36), pp. 27–32.

12. Khaziev A. A., Laushkin A. V., Gorina E. B. Prichiny izmeneniya svoystv motornogo masla [Reasons for changes in the properties of motor oil]. *Gruzovik*. 2013, is. 6, pp. 15–16.

13. Ostrikov V. V., Nagdaev V. K., Zabrodsкая A. V., Koshelev A. V. Otsenka vliyaniya kachestva dizel'nogo topliva i kharakteristik motornogo masla na izmeneniye ego svoystv v DVS i srok sluzhby [Assessing the influence of the quality of diesel fuel and the characteristics of motor oil on the change in its properties in the internal combustion engine and service life]. *Nauka v Tsentralnoy Rossii*. 2020, no. 2 (44), pp. 99–104.

14. Vazhov V. F., Lavrinovich V. A. *Tekhnika vysokikh napryazheniy: kurs lekt-siy* [High voltage technology: a course of lectures]. Tomsk. TPU Publ., 2008, 150 p.

15. Samya A. M., Ibrahim M. E., Abd-Elhadyb A. M., Izzularab M. A. On electric field distortion for breakdown mechanism of nanofilled transformer oil. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2020. V. 117. P.105632.

16. Oil product quality analyzer SHATOX SX-300. Operation manual. Available at: <https://shatox.ru/upload/files/Oktanometr-SX-300.pdf> (accessed 31 August 2024).

17. Shchagin V. V., Kuz'kin V. G. *Smazochnyye masla dlya sudovykh dizeley* [Lubricating oils for marine diesel engines]. Kaliningrad, Kaliningrad Publishing House, 1967. 127 p.

18. Mobil 1™ ESP 5W-30. Available at: <https://www.mobil.com/en/ru-ua/passenger-vehicle-lube/pds/eu-xx-mobil-1-esp-5w-30> (accessed 31 August 2024).

19. Mobil Super™ 3000 X1 5W-40. Available at: <https://www.mobil.com/en/ru-rmda/passenger-vehicle-lube/pds/eu-xx-mobil-super-3000-x1-5w-40> (accessed 31 August 2024).

20. Mobil Ultra™ 10W-40. Available at: <https://www.mobil.com/ru-ru/passenger-vehicle-lube/pds/eu-xx-mobil-ultra-10w40> (accessed 31 August 2024).

21. Motornoe maslo Shell vyazkost'yu 15W-40. Available at: [https://www.shell-moscow.ru/catalog/viscosity\\_15w-40](https://www.shell-moscow.ru/catalog/viscosity_15w-40) (accessed 31 August 2024).

22. Masla serii "Lukoil NAVIGO TPEO". Available at: <https://blackgoldoil.ru/catalog/lukoil-navigo-tpeo-1240-1540-2040-3040-4040-5040-5540/> (accessed 31 August 2024).

23. TOTAL DISOLA M 4015. Available at: <https://interoil-spb.ru/product/motornoe-maslo-total-disola-m-4015/> (accessed 31 August 2024).

24. Wilson R. W., Lyon S. B. Corrosion in Lubricants/Fuels. *Materials Science and Materials Engineering*. 2010. V. 2. P. 1299–1307.

25. Jan C. J. Bart, Gucciardi E., Cavallaro S. Biolubricant product groups and technological applications. *Biolubricants. Science and Technology*. 2013. P. 565–711.

### Информация об авторах

**О. В. Сынашенко** – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики

**Н. Я. Синявский** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики

**Н. А. Кострикова** – кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе

### Information about the author

**O. V. Synashenko** – PhD in Physics and Mathematics, associate professor of the Department of physics

**N. Ya. Sinyavsky** – DSc in Physics and Mathematics, professor, head of the Department of physics

**N. A. Kostrikova** – PhD in Physics and Mathematics, associate professor, vice-rector for research

Статья поступила в редакцию 11.11.2024; одобрена после рецензирования 21.11.2024; принята к публикации 25.11.2024.

The article was submitted 11.11.2024; approved after reviewing 21.11.2024; accepted for publication 25.11.2024.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ КГТУ»

### Общие требования

Журнал бесплатно 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. Автор (авторы) несет ответственность за достоверность результатов исследования и гарантирует, что им не нарушены авторские права третьих лиц, что в тексте статьи нет некорректных или незаконных заимствований.

Заимствованные фрагменты или утверждения должны быть оформлены с обязательным указанием автора и первоисточника. Чрезмерные заимствования, а также плагиат в любых формах, включая неоформленные цитаты, перефразирование или присвоение прав на результаты чужих исследований, неприемлемы. Наличие заимствования без ссылки будет рассматриваться редакционным советом как плагиат.

Не разрешается дублирование публикаций. Направляя статью в журнал, автор подтверждает, что работа публикуется впервые. Если отдельные элементы рукописи были ранее опубликованы, автор обязан сослаться на более раннюю работу и указать отличия новой работы от предыдущей.

Нельзя присылать в журнал рукопись, которая была отправлена в другой журнал и находится на рассмотрении, а также статью, уже опубликованную в другом журнале.

Соавторами статьи должны быть указаны все лица, внесшие существенный вклад в проведение исследования. Среди соавторов недопустимо указывать лиц, не участвовавших в исследовании, максимальное количество авторов, как правило, не более четырех.

Автор самостоятельно или в соавторстве может представить в номер не более одной статьи с соответствующей коммуникативной ценностью, научным стилем, языковыми и стилистическими нормами.

Научные статьи принимаются в редакцию в течение всего года, публикуются в порядке живой очереди по мере наполнения портфеля редакции. Редакция журнала оставляет за собой право производить сокращения и редакционные изменения рукописи. Рукописи статей, принятых к публикации, авторам не возвращаются. Периодичность выхода журнала: 1 февраля, 1 мая, 1 августа, 1 ноября.

### В редакцию журнала авторы представляют:

- **распечатку рукописи** и ее электронную версию. Текст рукописи должен полностью соответствовать тексту электронного варианта, страницы не нумеруют;
- **экспертное заключение** о возможности открытого опубликования статьи (иногородние могут выслать электронной почтой).

В дальнейшем с автором заключается **Лицензионный договор** и оформляется **Акт передачи – приемки рукописи**.

**Внешнюю или внутреннюю рецензию доктора наук** представлять не обязательно, так как каждая статья проходит двойное слепое рецензирование, рукопись рассматривается двумя независимыми экспертами. В случае отрицательной рецензии рукопись либо отклоняется, либо направляется автору для доработки и внесения изменений. После доработки статья снова отправляется на научное рецензирование тем же рецензентам. При наличии отрицательных рецензий на рукопись статьи от двух разных рецензентов или одной отрицательной рецензии на ее доработанный вариант автору направляется мотивированный отказ в публикации статьи. В случае положительной рецензии и рекомендации статьи к публикации она попадает в портфель принятых к публикации текстов.

**Датой принятия статьи к публикации** считается дата получения редакцией положительного заключения рецензента о целесообразности и возможности опубликования статьи. Статьи членов редсовета журнала проходят рецензирование в обычном порядке.

### **Объем статьи**

Составляет от восьми до четырнадцати страниц текста, включая рисунки, таблицы, список литературы и информацию об авторах.

### **Компьютерный набор статьи**

Должен удовлетворять следующим требованиям: формат бумаги – А4, гарнитура шрифта – Times New Roman, кегль 12, ориентация – книжная, поля сверху, слева, справа – 3 см, снизу – 3,5 см; абзац с отступом Tab. 1,27; межстрочный интервал – одинарный. Материалы должны быть оформлены с применением средств Microsoft Office 2003 (расширение текстового файла \*.doc).

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.

**Таблицу**, 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. 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 черно-белые и цветные четкие рисунки, выполненные средствами компьютерной графики или сканированные. 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 подрисуночная 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 подрисуночной 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 читаемы и 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 Таб. 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 косоугольного креста  $\otimes$ . 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. Все нумерованные формулы набирают отдельными строками. Отбивка до  $\frac{a}{b}$  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.

### Структура статьи

**ВВЕДЕНИЕ** (по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст). Приводятся актуальность темы исследования, его цели и задачи, на их основе дается анализ полученных материалов, доказывающаяся целесообразность методологического подхода к рассматриваемым в статье проблемам.

Через один интервал **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ** (постановка задачи, методы и результаты исследования, их обсуждение – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, через один интервал текст). Основную часть рекомендуется разбивать на разделы с названиями, отражающими их содержание.

Материалы и методы исследования описываются кратко и конкретным образом. В разделе должны быть представлены объект исследования и все методы, использованные при его проведении, показаны их суть и обоснованный выбор. При необходимости приводить примеры ключевых исследований.

Результаты и их обсуждение: в разделе должны быть представлены основные результаты исследования, объективные, систематизированные и лаконичные данные с использованием текста, дополненного иллюстрациями. Автор(ы) показывает значимость или новизну исследования, акцентирует внимание на выявленных закономерностях, дает конкретные рекомендации.

Через один интервал **ЗАКЛЮЧЕНИЕ** (выводы – по центру, прописными буквами, шрифт прямой, светлый, далее через один интервал текст): представить кратко и информативно. В этом разделе формулируются полученные результаты и их новизна. Предложения и рекомендации должны подтвердить достижение целей и задач исследования. Следует указать возможность использования полученных результатов на практике и предложить направления дальнейших научных исследований.

### Текст статьи

Должен соответствовать стилистическим, орфографическим и синтаксическим нормам русского языка. Содержание направляемой в журнал статьи, все цифровые данные и материалы должны быть тщательно выверены авторами. Низкое качество текста может быть основанием для отклонения статьи от публикации.

### Составные части статьи и порядок их следования

1. Научная статья (слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

2. С новой строки индекс по универсальной десятичной классификации (УДК) слева без отступа (прописными буквами, шрифт прямой, светлый, без двоеточия после букв, точка в конце не ставится).

3. С новой строки DOI (слева без отступа, прописными буквами, шрифт прямой, светлый точка в конце не ставится).

4. Через один интервал по центру **Название статьи** на русском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится, выравнивание по центру), должно быть кратким, но информативным.

*При публикации статьи частями в нескольких выпусках издания части должны быть пронумерованы, у всех частей следует указывать общее заглавие статьи. Если части имеют, помимо общего, частное заглавие, то его приводят после обозначения и номера части. Пример:*

#### **Изучение закономерностей кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия из солянокислых растворов. Часть 2. Параметры кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия**

5. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, ПАО, АО и т. п. (слева без отступа, см. в образце оформления статьи ниже).

6. Через один интервал с отступом приводят слово **Аннотация** (полужирный курсив, в конце ставят точку). Текст аннотации дается в подбор, рекомендуемый объем 200–220 слов.

Представляет собой краткую характеристику текста с точки зрения его назначения, содержания, вида, формы и других особенностей. Она передает главную, ключевую идею текста до ознакомления с его полным содержанием. Научная аннотация условно делится на три части: 1. Презентация вопроса или проблемы, которым посвящена статья. 2. Описание хода исследования. 3. Выводы: итоги, которых удалось достичь в результате проведенного исследования.

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  $t^{\circ}$  в английском варианте обозначают как «deg C».

7. С новой строки с отступом приводят **Ключевые слова** (полужирный курсив, в конце двоеточие), они должны максимально точно отражать предметную область статьи (даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, светлый, в конце ставят точку).

8. С новой строки с отступом **Благодарности** (если есть) организациям (учреждениям), научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи, сведения о грантах, финансировании подготовки и публикации статьи, проектах, научно-исследовательских работах, в рамках или по результатам которых опубликована статья (см. в образце оформления статьи ниже).

9. С новой строки с отступом могут быть приведены сведения о финансировании исследования, подготовки и публикации статьи с предшествующим словом **Финансирование:** (после слова ставят двоеточие).

10. С новой строки с отступом приводят библиографическую запись на статью **Для цитирования:** (см. в образце оформления статьи ниже).

Далее все сведения должны быть представлены на английском языке:

11. Original article (через один интервал, слева без отступа, с прописной буквы, шрифт прямой, светлый, точка в конце не ставится).

12. Через один интервал по центру **Название статьи** на английском языке (с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится, выравнивание по центру).

13. Через один интервал основные сведения об авторе (авторах) – имя и фамилию приводят в транслитерированной форме на латинице полностью, отчество сокращают до одной буквы (в отдельных случаях, обусловленных особенностями транслитерации, до двух букв), см. в образце оформления статьи ниже.

14. Через один интервал с отступом **Abstract**. 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.

15. С новой строки с отступом **Keywords:** (полужирный курсив, в конце двоеточие), ключевые слова даются в подбор, разделяются запятой, буквы строчные, шрифт прямой, в конце ставят точку).

16. С новой строки с отступом **Acknowledgments** (если есть), после слова ставят двоеточие.

17. С новой строки с отступом **Funding** (если есть), после слова ставят двоеточие.

18. С новой строки с отступом **For citation:** см. в образце оформления статьи ниже.

19. Через один интервал с отступом текст статьи, включающий в себя обязательные структурные элементы (см. структуру статьи).

Нельзя использовать в текстах формулы-картинки и прочие искусственно вставленные символы. Ссылки на все приведенные в списке литературы источники в тексте заключаются в квадратные скобки, например: [2], [4–7] (здесь тире), [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.

20. Через один интервал после текста статьи **Список источников** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Оформляется по ГОСТ Р 7.0.5-2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». В список включаются только те работы, на которые автор ссылается в статье. Источники в списке литературы нумеруют и располагают в порядке их упоминания в тексте (в порядке цитирования).

*Требования к источникам:*

- Не менее 15 источников, из них половина давностью менее 5 лет
- Процент самоцитирования не выше 10–20 %
- Зарубежные публикации, изданные в течение последних 5 лет

**Рекомендуется** включать ссылки на научные статьи, монографии, сборники статей, сборники конференций, электронные ресурсы с указанием даты обращения, патенты.

**Не рекомендуется** включать ссылки на учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, ГОСТы и др. нормативные документы, на законы и постановления, а также на архивные документы (если все же необходимо указать такие источники, то они оформляются в виде сносок).

**Нежелательны** ссылки на диссертации и авторефераты диссертаций (такие ссылки допускаются, если результаты исследований еще не опубликованы, или не представлены достаточно подробно).

21. Через один интервал после списка источников **References** (по центру с прописной, шрифт полужирный, прямой, точка в конце не ставится). Нумерация записей должна совпадать с нумерацией в основном перечне затекстовых библиографических ссылок.

References представляет собой транслитерированный список литературы. Транслитерируются только источники, написанные кириллицей; французские, немецкие, итальянские, польские и прочие источники не переводятся, а остаются в References неизменными.

Для выполнения транслитерации необходимо зайти на сайт <http://translit-online.ru/> и настроить перевод: *e* → *e*; *э* → *e*; *й* → *y*; *ы* → *y*; *ю* → *yu*; *я* → *ya*; *х* → *kh*; *ц* → *ts*; *ч* → *ch*; *ш* → *sh*; *щ* → *shch*; *ж* → *zh*; *ь* → *'*; *ъ* → *"*. Транслитерированный текст в списке References необходимо отредактировать и добавить переводы на английский язык; заменить знаки «:», «/» и «//» на точку или запятую, тире в описании не используется, кавычки не треугольные ("); после транслитерации названия издательства добавить Publ.; город издания перевести на английский язык (например, вместо *Москва* указать *Moscow*, вместо *Санкт-Петербург* – *Saint-Petersburg*); исправить обозначение страниц с *s.* на *p.* (диапазон страниц «от–до»: pp. 54–57; общее количество страниц: 127 p.); курсивом выделить название источника или название журнала (образец оформления см. ниже).

22. Через один интервал дополнительные сведения об авторе (авторах), инициалы разделяют пробелом (слева без отступа, дублируют на английском языке: ученая степень, звание, должность и др. (см. в образце оформления статьи ниже).

23. Сведения о дате поступления рукописи в редакцию, дате одобрения после рецензирования и дате принятия статьи к опубликованию.

24. Знак охраны авторского права приводят по ГОСТ Р 7.0.1 внизу первой полосы статьи с указанием фамилии и инициалов автора (авторов) или других правообладателей и года публикации статьи.

## Образцы оформления списка источников

### Монография

1. Агеев В. В. Грузопассажирские суда в военных конфликтах: монография. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2013. 106 с.

2. Ториков В. Е., Мельникова О. В., Ториков В. В. Выращивание ярового ячменя на крупяные, пивоваренные и кормовые цели на юго-западе Центрального региона России: монография. Брянск: Изд-во БГСХА, 2014. 90 с.

## Книга

### *Книга одного – трех авторов*

1. Новикова А. М. Универсальный экономический словарь. Москва: Экономика, 1995. 135 с.
2. Сидоркина А. Н., Сидоркин В. Г. Биохимические аспекты травматической болезни и ее осложнений. Москва: ЭкоТрендз, 2010. 315 с.
3. Тарасевич Л. С., Гребенников П. И., Леуский А. И. Макроэкономика: учебник. Москва: Высш. образование, 2011. 658 с.
4. Максименко В. Н., Афанасьев В. В., Волков Н. В. Защита информации в сетях сотовой подвижной связи / под ред. О. Б. Макаревича. Москва: Горячая линия-Телеком, 2009. 360 с.

### *Книга четырех и более авторов*

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.].

1. Религии мира: пособие для преподавателей / Я. Н. Шапов [и др.]. Санкт-Петербург: Эксмо, 1996. 496 с.
2. История России в новейшее время: учебник / А. Б. Безбородов, Н. В. Елисеева, Т. Ю. Красовицкая, О. В. Павленко. Москва: Проспект, 2014. 440 с.

### *Книги, не имеющие индивидуальных авторов*

1. Сборник задач по физике: учеб. пособие для вузов / под ред. С. М. Павлова. 2-е изд., доп. Москва: Высшая школа, 1995. 347 с.
2. Правильное питание: справочник. Москва: Эксмо, 2008. 704 с.
3. Кормопроизводство в России: всероссийский сб. науч. ст. Вып. 3. Казань; Санкт-Петербург, 2007. 268 с.

### *Отдельный том многотомного издания под общим заголовком*

1. Пальцев М. А., Аничков М. Н. Патологическая анатомия: в 2 т. Москва: Медицина, 2001. Т. 2, ч. 1. 736 с.

### *Глава из книги (сборника)*

1. Макушин В. Д., Волокитина Е. А. Причины неудач и осложнений при выполнении опорных остеотомий с применением аппарата Илизарова // Лечение врожденного вывиха бедра у взрослых / под ред. В. И. Шевцова, В. Д. Макушина. Курган, 2004. Гл. 8. С. 372–402.

2. Белоус Н. М. Храня теплую память о прошлом // Великая Отечественная война 1941–1945 гг. в истории моей семьи: сборник статей / под общей редакцией Р. В. Новожеева. Брянск: Изд-во БГАУ, 2015. С. 4–5.

### **Книги в интернете**

#### ***Книги одного – трех авторов***

1. Карпенков С. Х. Экология: учебник. Электрон. текстовые данные. Москва: Логос, 2014. 400 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/21892>. ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 15.12.2007).

#### ***Книги четырех и более авторов***

1. Сборник задач по аналитической геометрии и линейной алгебре: учеб. пособие / Л. А. Беклемишева [и др.]; под ред. Д. В. Беклемишева. Электрон. текстовые данные. Изд. 3-е, испр. Санкт-Петербург: Лань, 2008. URL: <http://e.lanbook.com/view/book/76/> (дата обращения: 15.12.2007).

### **Статья в журнале**

#### ***Статья одного – трех авторов***

1. Толкачева О. В. Влияние барьерных факторов на стойкость пресервов // Рыбная промышленность. 2006. № 2. С. 14–16.

2. Байдалинова Л. С., Андропова С. В. Перспективы использования растительных антиокислителей для стабилизации гидролитических и окислительных процессов в препаратах полиненасыщенных жирных кислот // Известия Калининградского государственного технического университета. 2013. № 29. С. 74–80.

#### ***Статья четырех и более авторов***

Описание начинается с основного заглавия. В сведениях об ответственности указываются либо все авторы, либо первый автор с добавлением в квадратных скобках сокращения [и др.]

1. Сверхширокополосные сигналы для беспроводной связи / Ю. В. Андреев, А. С. Дмитриев, Л. В. Кузьмин, Т. И. Мохсени // Радиотехника. 2011. № 8. С. 83–90.

2. Клинико-физиологические составляющие врожденной косолапости / Ю. И. Клычкова [и др.] // Травматология и ортопедия России. 2008. № 3. С. 35–38.

### Статья в электронном журнале

1. Белоус Н. А. Прагматическая реализация коммуникативных стратегий в конфликтном дискурсе // Мир лингвистики и коммуникации: электронный научный журнал. 2006. № 4. URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2024).

### Статья, опубликованная в сборниках научных трудов вузов, материалах конференций и семинаров

1. Авдеева Е. В., Евдокимова Е. Б., Заостровцева С. К. Биоразнообразие паразитов рыб и ее особенности в бассейне Вислинского залива (Балтийское море) // I Всерос. науч. интернет-конф. (12 февр. 2013): материалы. Казань, 2013. С. 52–56.

2. Александров Ю. П. Измерение динамической твердости титановых сплавов // 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.

### Статья на английском или немецком языке

Для иностранных журналов том обозначается *V.* (англ.) или *Bd.* (нем.), страницы – *P.* или *S.*

1. Neurology control of locomotion in *C.Elegans* in modified by a dominant mutation in the GLR-1 Ionotropic glutamate receptor / Yi Zheng et al. // Neuron. 1999. V. 24. N 2. P. 347–361.

2. Mank R., Kala H., Strube M. Darstellung und Testung von Polymerpharmaka // Die Pharmazie. Bd. 43. N 10. S. 692–693.

### Диссертация или автореферат диссертации

1. Данилов Г. В. Как же быть?: дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10: утв. 15.07.02. Москва, 1999. 138 с.

2. Назаров И. Г. Развитие коммуникативной компетентности социальных педагогов села в процессе дополнительного профессионального образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.08 . Москва, 2002. 24 с.

### Переводная книга

1. Себехей В. Теория орбит: ограниченная задача трех тел / пер. с англ. под ред. Г. Н. Дубошина. М.: 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 / пер. с англ. М.: Вильямс, 2006. 1328 с. [Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Addison-Wesley, 2003. 1024 p.].

### Интернет-ресурс

Конвенция о рыболовстве в северо-восточной части Атлантического океана. URL: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (дата обращения: 15.12.2024).

### Электронный ресурс локального доступа

1. Смирнов А. И. Информационная глобализация и Россия [Электронный ресурс]: вызовы и возможности. Москва, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Техника спинальной анестезии [Электронный ресурс] / под ред. Е. М. Шифмана. Москва: ИнтелТек, 2005. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

### Патентные документы

1. Трехфазный асинхронный электрический двигатель: пат. 2128021 Рос. Федерация. № 2011138279/07 / Беляев Е. Ф., Ташкинов А. А., Цылев П. Н.; заявл. 16.09.11; опубл. 27.03.13. Бюл. № 9. 10 с.
2. Clem P. G., Rodriguez M., Voigt J. A., Ashley C. S. Patent U. S. 6, 231, 666. 2001.

### Нормативные документы

1. ГОСТ 7.80-2000. Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления. Введ. 2001-07-01. Москва, 2000. 7 с.
2. Типовая инструкция по охране труда для пользователей персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) в электроэнергетике: РД 153-34.0-03.298-2001. Введ. с 01.05.2001. Москва, 2002. 91 с.

### Официальные документы

1. О лицензировании отдельных видов деятельности: Федер. закон [принят Гос. Думой 13. 07.2001] // Собрание законодательств РФ. 2001. № 33 (ч. 1). Ст. 3430. С. 127–143.
2. О программе государственных гарантий оказания гражданам Российской Федерации бесплатной медицинской помощи на 2009 год: постановление

Правительства Рос. Федерации от 31.12.2008 № 10407-ТГ // Заместитель гл. врача. 2009. № 2. С. 98–105.

3. Инструкция о санитарно-противоэпидемическом режиме больниц: утв. Минздравом СССР от 23.03.76 № 288 // Справочник старшей (главной) медицинской сестры. Изд. 6-е, Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. С. 378–387.

4. Вопросы системы и структуры федеральных органов исполнительной власти (извлечения): указ Президента РФ от 12.05.2008 № 724 // Здравоохранение. 2008. № 7. С. 135–137.

### Образцы оформления References

#### Монография, книга

1. Shorygin A. A., Kolesnikov 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

1. Ivanova A. E. Problemy smertnosti 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://sotsial'nye.aspekty.ru/content/view/27/50/> (accessed 19 September 2008).

2. 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), available at: <http://vestnik.voronezh.ru/content/view/54/30/> (accessed 19 September 2008).

### Статья, опубликованная в материалах конференций

1. 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 resursoberegayushchie 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.

### Статья на английском или немецком языке

Для иностранных журналов том обозначается *V.* (англ.) или *Bd.* (нем.), страницы – *P.* или *S.*

1. Zheng Yi et al. Neurology control of locomotion in *C. Elegans* in modified by a dominant mutation in the GLR-1 ionotropic glutamate receptor. *Neuron*. 1999. V. 24. N 2. P. 347–361.

2. Mank R., Kala H., Strube M. Dastellung und Testung von Polymerpharmaka. *Die Pharmazie*. Bd. 43. N 10. S. 692–693.

### 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 ekologicheskii 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*. 4<sup>th</sup> ed. New York, Wiley, 1974. 521 p. (Russ. Ed.: Timoshenko S. P., Iang D. Kh., Uiver U. *Kolebaniya v inzhernom dele*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985, 472 p.).

### Интернет-ресурс

Pravila tsitirovaniya istochnikov [Rules for the citing of sources]. Available at: [http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5\\_3\\_1.htm](http://www.tverlingua.by.ru/archive/005/5_3_1.htm) (accessed 15 February 2024).

### Патентные документы

1. Belyaev E. F., Tashkinov A. A., Tsylev P. N. Trekhfaznyy asinkhronnyy elektricheskiy dvigatel' [Three-phase asynchronous electric motor]. Patent RF, no. 2011138279/07, 2013.
2. Clem P. G., Rodriguez M., Voigt J. A., Ashley C. S. Patent U. S. 6, 231, 666 (2001).

### Нормативные документы

1. 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).

### ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С ОДНИМ АВТОРОМ

Научная статья  
УДК  
DOI (далее вписывает редакция)

### Экология и региональная политика энергосбережения

**Сергей Юрьевич Глазьев**

Аграрный научный центр «Донской», Ростовская область, Зерноград, Россия, serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

*В случае, когда автор работает (учится) в нескольких организациях (учреждениях), сведения о каждом месте работы (учебы) указывают после имени автора на разных строках и связывают с именем с помощью цифр:*

**Александр Васильевич Попов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н. Ф. Гамалеи, Москва, Россия, popov@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0003-1288-7561>

<sup>2</sup>Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова, Москва, Россия

**Аннотация.** В статье представлена динамика урожайности зерна кукурузы в России и Ростовской области. Определено, что наибольшее количество гибридов кукурузы возделывалось...

**Ключевые слова:** кукуруза, урожайность, сортовая структура, сортосемена  
**Благодарности (если есть):** автор выражает благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

**Финансирование** (если есть):

**Для цитирования:** Глазьев С. Ю. Экология и региональная политика энергосбережения // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

### **Ecology and regional energy conservation policy**

**Sergey Yu. Glaz'ev** (транслитерация, см. п. 18 выше)

Agricultural Research Center "Donskoy", Rostov region, Zernograd, Russia (на английском языке), serg1784@mail.ru, ORCID (при наличии)

**Abstract.**

**Keywords:**

**Acknowledgments:** the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

**Funding** (если есть):

**For citation:** Glaz'ev S. Yu. Ecology and regional energy conservation policy. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

### ТЕКСТ СТАТЬИ

### Список источников

### References

### Информация об авторе

**С. Ю. Глазьев** – доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии наук

### Information about the author

**S. Yu. Glaz'ev** – Doctor of Science (Economy), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

*В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.*

## ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ С НЕСКОЛЬКИМИ АВТОРАМИ

Научная статья

УДК

DOI (далее вписывает редакция)

### **Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек**

**Владимир Викторович Вольчик<sup>1</sup>, Игорь Михайлович Ширяев<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Южный Федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

<sup>1</sup>volchik@sfedu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

<sup>2</sup>shiryaev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

*Возможно приведение электронного адреса только одного автора, с которым планируется переписка. В этом случае электронные адреса других авторов приводят в дополнительных сведениях об авторах в конце статьи.*

**Аннотация.** В целях определения основных закономерностей возникновения и усиления институциональных ловушек, возникающих в условиях режима самоизоляции в системе высшего образования, авторами были проанализированы нарративы и глубинные интервью основных акторов. Дистанционное образование не является полноценной заменой образования в традиционной форме, затрудняет передачу неявного знания, контроль и обратную связь при обучении, неоднозначно влияет на издержки образовательной деятельности, не позволяет полагаться на надежность информационно-коммуникационных технологий...

**Ключевые слова:** экономика, управление народным хозяйством, институциональная экономика, дистанционное образование, цифровизация образования, высшее образование, самоизоляция, институциональные ловушки

**Благодарности (если есть):** авторы выражают благодарность Алексею Вадимовичу Зимину за предоставление данных о донной топографии в Белом море (или: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 17-77-3019).

**Финансирование (если есть):**

**Для цитирования:** Вольчик В. В., Ширяев И. М. Дистанционное высшее образование в условиях самоизоляции и проблема институциональных ловушек // Известия КГТУ (далее вписывает редакция)

Original article

### **Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps**

**Vladimir V. Volchik<sup>1</sup>, Igor' M. Shiryaev<sup>2</sup>** (транслитерация, см. п. 18 выше)

<sup>1,2</sup>Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

<sup>1</sup>volchik@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0027-3442> (если есть)

<sup>2</sup>shiryaev@sfedu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1820-8710> (если есть)

**Abstract.** To determine the main patterns of emergence and strengthening of institutional traps that arise under self-isolation in the higher education system, the authors analyzed the narratives and in-depth interviews of the main actors. Distance education is not a full-fledged substitute for the traditional education, as it impedes the transfer of implicit knowledge, control and feedback during training, ambiguously influences the costs of educational activities, and does not allow relying on the reliability of information and communication technologies. Transition to distant education can be interpreted as a new stage of evolution of the institutional trap of electronization and digitalization.

**Keywords:** economics, national economy management, institutional economics, distance education, digitalization of education, higher education, self-isolation, institutional traps

**For citation:** Volchik V. V., Shiryaev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Current Problems of Economics and Law.* 2020;14(2):236-248. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.235-248>.

**Acknowledgments:** the author is grateful to Aleksey V. Zimin for providing the bottom topography data of the White Sea (or: the work was carried out within the framework of project Nr 17-77-30019 supported by Russian Science Foundation).

**Funding** (если есть):

**For citation:** Volchik V. V., Shiryaev I. M. Distant higher education under self-isolation and the problem of institutional traps. *Izvestiya KGTU = KSTU News* (далее вписывает редакция).

## ТЕКСТ СТАТЬИ

### Список источников

### References

### Информация об авторах

**В. В. Вольчик** – доктор социологических наук, профессор, заведующий кафедрой «Политология»

**И. М. Ширяев** – доктор социологических наук, профессор

### Information about the authors

**V. V. Volchik** – Doctor of Science (Sociology), Professor, Head of the Department of Politology

**I. M. Shiryayev** – Doctor of Science (Sociology), Professor

Статья поступила в редакцию; одобрена после рецензирования; принята к публикации (дату вписывает редакция)

The article was submitted; approved after reviewing; accepted for publication

*В конце указывают номер телефона автора, с которым можно снять вопросы по тексту. Телефон не будет опубликован.*

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

*Редактор 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 30.01.2025. Выход в свет 01.02.2025. Формат 60 x 88 (1/8).  
Печ. л. 16. Уч.-изд. л. 10,5. Тираж 1000 экз. Заказ № 1.