

ISSN 2079-0333

**ВЕСТНИК
Камчатского
государственного
технического
университета**



Научный
журнал

Основан в 2002 г.

16+

ВЫПУСК

75

2026

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский

ISSN 2079-0333

**ВЕСТНИК
Камчатского
государственного
технического
университета**



**Научный
журнал**

Основан в 2002 г.

Bulletin of Kamchatka State Technical University

Журнал включен в Единый государственный перечень научных изданий – (Белый список)
Российского центра научной информации (<https://rcsi.science>),
в Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ)
(<https://vak.gisnauka.ru>)

Journal is included in the Unified State List of Scientific Publications (White List)
of the Russian Scientific Information Center (<https://rcsi.science>),
in List of peer-reviewed publications (State Commission
for Academic Degrees and Titles of the Russian Federation)
(<https://vak.gisnauka.ru>)

Журнал размещается
в Научной электронной библиотеке,
в международной информационной системе по водным наукам и рыболовству ASFIS

Journal is indexed in Scientific electronic library,
in Aquatic Sciences and Fisheries International Information System ASFIS

ВЫПУСК

75

2026

Петропавловск-Камчатский

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Клочкова Т.А.** (главный редактор, научный редактор, биологический раздел) доктор биологических наук, доктор философии биологии (Ph.D.), профессор кафедры экологии и природопользования Камчатского государственного технического университета
- Царенко С.Н.** (научный редактор, технический раздел) доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры технологических машин и оборудования Камчатского государственного технического университета
- Васильев М.В.** (научный редактор, технический раздел) кандидат технических наук, капитан 1 ранга, начальник военного учебного центра при Камчатском государственном техническом университете
- Благонравова М.В.** (научный редактор, технический раздел) кандидат технических наук, доцент, начальник отдела науки и инноваций Камчатского государственного технического университета
- Ольхина О.В.** (ответственный секретарь) заведующий издательством Камчатского государственного технического университета
- Белавина О.А.** (технический секретарь) кандидат химических наук, заведующий сектором патентования и научно-квалификационной деятельности отдела науки и инноваций Камчатского государственного технического университета
- Артемова Е.Н.** доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии продуктов питания и организации ресторанного дела Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева
- Водинчар Г.М.** кандидат физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Голохваст К.С.** доктор биологических наук, профессор Российской академии наук, член-корреспондент Российской академии образования, директор Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук
- Дуленин А.А.** доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Хабаровского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии
- Кадникова И.А.** доктор технических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории безопасности и качества морского растительного сырья Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра
- Клочкова Н.Г.** доктор биологических наук, главный научный сотрудник Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Кострикова Н.А.** кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по научной работе Калининградского государственного технического университета

- Лобков Е.Г.** доктор биологических наук, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
- Максимова С. Н.** доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии продуктов питания Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета
- Манаков Ю.А.** доктор биологических наук, заместитель директора по научной деятельности Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук
- Марапулец Ю.В.** доктор физико-математических наук, доцент, директор Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Приходько Ю.В.** доктор технических наук, профессор, профессор Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» Дальневосточного федерального университета
- Седова Н.А.** доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры Камчатского государственного технического университета
- Сенкевич Ю.И.** доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института космофизических исследований и распространения радиоволн Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Синявский Н.Я.** доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Калининградского государственного технического университета
- Токранов А.М.** доктор биологических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник Камчатского филиала Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Ульрих Е.В.** доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования, директор Химико-аналитического ресурсного центра Калининградского государственного технического университета
- Усов А.И.** доктор химических наук, главный научный сотрудник Института органической химии имени Н.Д. Зелинского Российской академии наук
- Цыганков В. Ю.** доктор биологических наук, доцент, заместитель директора по науке Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения Российской академии наук
- Чермошенцева А.А.** доктор технических наук, доцент, профессор кафедры физики и высшей математики Камчатского государственного технического университета
- Шулюпин А.Н.** доктор технических наук, член-корреспондент Российской академии наук, директор Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук

EDITORIAL BOARD

- Klochkova T.A.** Doctor of Biological Sciences, Doctor of Philosophy in Biology (Ph.D.), Professor of Ecology and Nature Management Chair, Kamchatka State Technical University
(Editor-in-Chief, Scientific Editor, biological sciences)
- Tzarenko S.N.** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor of Technical Machines and Equipment Chair, Kamchatka State Technical University
(Scientific Editor, technical sciences)
- Vasilev M.V.** Candidate of Technical Sciences, Captain 1st rank, Head of Military Training Center, Kamchatka State Technical University
(Scientific Editor, technical sciences)
- Blagonravova M.V.** Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Science and Innovation Department, Kamchatka State Technical University
(Scientific Editor, technical sciences)
- Olkhina O.V.** Head of Publishing House, Kamchatka State Technical University
(Executive Secretary)
- Belavina O.A.** Candidate of Chemical Sciences, Head of the Patenting and Scientific Qualification Activity Sector of Science and Innovation Department, Kamchatka State Technical University
(Technical Secretary)
- Artemova E.N.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Food Technology and Organization of Restaurant Business Chair, Orel State University named after I.S. Turgenev
- Vodinchar G.M.** Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Leading Scientific Researcher, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Golokhvast K.S.** Doctor of Biological Sciences, Professor of Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of Russian Academy of Education, Director of Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of Russian Academy of Sciences
- Dulenin A.A.** Doctor of Biological Sciences, Leading Scientific Researcher, Khabarovsk Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography
- Kadnikova I.A.** Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Chief Researcher, Laboratory of Safety and Quality of Marine Plant Materials, Pacific Research Fisheries Center
- Klochkova N.G.** Doctor of Biological Sciences, Chief Scientific Researcher, Kamchatka Branch of the Pacific of Geographical Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Kostrikova N.A.** Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Science, Kaliningrad State Technical University

- Lobkov E.G.** Doctor of Biological Sciences, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
- Maksimova S.N.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Food Technology Chair, Far Eastern State Technical Fisheries University
- Manakov Yu.A.** Doctor of Biological Sciences, Director Deputy for Scientific Work, Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies of Russian Academy of Sciences
- Marapulets Yu.V.** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Director of Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Prikhodko Yu.V.** Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, Far Eastern Federal University
- Sedova N.A.** Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair, Kamchatka State Technical University
- Senkevich Y.I.** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Scientific Researcher, Institute of Cosmophysical Research and Radio Waves Propagation of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Sinyavsky N.Ya.** Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Physics Chair, Kaliningrad State Technical University
- Tokranov A.M.** Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, Chief Scientific Researcher, Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Ulrikh E.N.** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Engineering of Technological Equipment Chair, Director of the Chemical-Analytical Resource Center, Kaliningrad State Technical University
- Usov A.I.** Doctor of Chemical Sciences, Chief Scientific Researcher, N.D. Zelinsky Institute of Organic Chemistry of Russian Academy of Sciences
- Tsygankov V. Yu.** Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Deputy Director for Science, Pacific of Geographical Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
- Chermoshentseva A.A.** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Physics and Higher Mathematics Chair, Kamchatka State Technical University
- Shulyupin A.N.** Doctor of Technical Sciences, Correspondent Member of Russian Academy of Sciences, Director of Mining Institute of the Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences

Содержание

РАЗДЕЛ I. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Тюрин А.Н., Ерашова Ю.Н.

Устройство диагностики и контроля наличия электрической дуги
в кабельных линиях низкого напряжения.....8

Лебедев А.Д., Колобов С.В.

Сравнительный анализ динамики автолитических процессов,
содержания гликогена и его метаболитов в мышечной ткани верблюда,
говядины, баранины и свинины в процессе автолиза и хранения.....18

РАЗДЕЛ II. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Санамян Н.П., Санамян К.Э., Антохина Т.И., Деарт Ю.В.,

Иванова Н.Ю., Савинкин О.В., Токранов А.М.

Фаунистическое сходство и различия верхней сублиторали острова Парамушир
с побережьем Камчатки и островом Матуа (Средние Курилы)34

Григорьев С.С., Седова Н.А.

Морфологическая характеристика и распространение девятииглых колюшек
рода *Pungitius* (Gasterosteidae) в водоемах Камчатки63

Овчарук А.С., Судник С.А.

Оценка роста элементов экзоскелета, определение размера половозрелости краба
Rhithropanopeus harrisi (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae)
Таманского залива Азовского моря, 2011 г.85

Пронина Г.И., Кандыбин А.А., Чан В.Д., Бубунец Э.В.

Гематологические показатели карповых рыб в период адаптации
после транспортировки в герметических емкостях102

Правила направления, рецензирования и опубликования рукописей статей.....116

Правила оформления рукописей статей.....120

Contents

SECTION I. TECHNICAL SCIENCES

Tyurin A.N., Erashova Yu.N. Device for diagnostics and control of the presence of electric arc in low-voltage cable lines.....	8
Lebedev A.D., Kolobov S.V. Comparative analysis of autolytic processes dynamics, glycogen content and its metabolites in a muscle tissue of camels, beef, lamb and pork during autolysis and storage.....	18

SECTION II. BIOLOGICAL SCIENCES

Sanamyan N.P., Sanamyan K.E., Antokhina T.I., Deart Yu.V., Ivanova N.Yu., Savinkin O.V., Tokranov A.M. Faunal similarities and differences of the upper sublittoral of Paramushir Island with the coast of Kamchatka and Matua Island (Middle Kuril Islands).....	34
Grigorev S.S., Sedova N.A. Morphological characteristics and distribution of ninespine sticklebacks of the genus <i>Pungitius</i> (Gasterosteidae) in the waters of Kamchatka	63
Ovcharuk A.S., Sudnik S.A. Assessment of exoskeleton elements growth and determination of the sexual maturity size of the crab <i>Rhithropanopeus harrisi</i> (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) from the Taman Bay of the Azov Sea in 2011	85
Pronina G.I., Kandybin A.A., Tran V.D., Bubunets E.V. Hematological parameters of cyprinid fish during the adaptation period after transportation in hermetic containers.....	102
Regulations for manuscript preparation, review and publication.....	116
Manuscripts guidelines.....	120

Научная статья

УДК 621.315:614.841.415

DOI: 10.17217/2079-0333-2026-75-8-17

УСТРОЙСТВО ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ НАЛИЧИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Тюрин А.Н.¹, Ерашова Ю.Н.²¹ АО «Татэлектромонтаж», г. Казань, ул. Адоратского, 50А.² Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, ул. Красносельская, 51.

Статья посвящена диагностике и предотвращению возникновения электрической дуги в низковольтных сетях, поскольку именно электрическая дуга часто становится причиной возгораний. Подробно рассмотрены факторы, провоцирующие возникновение дугового разряда, выявлены недостатки современных способов защиты, такие как автоматические выключатели и устройства защитного отключения (УЗО). Для повышения уровня пожарной безопасности предлагается внедрение инновационных мобильных приборов, позволяющих оперативно выявлять зоны потенциального риска. Данные устройства компактны, удобны в эксплуатации и позволяют проводить диагностику непосредственно во время пусконаладочных работ. Эффективность предложенного метода позволяет существенно сократить вероятность пожара и повысить надежность энергообеспечения объектов различного назначения.

Ключевые слова: дуговые пробои, кабельные линии, модуль обнаружения, электрическая дуга, электробезопасность.

Original article

DEVICE FOR DIAGNOSTICS AND CONTROL OF THE PRESENCE OF ELECTRIC ARC IN LOW-VOLTAGE CABLE LINES

Tyurin A.N.¹, Erashova Yu.N.²¹ JSC "Tatelektromontazh", Kazan, Adoratsky Str. 50A.² Kazan State Power Engineering University, Kazan, Krasnoselskaya Str. 51.

In this paper, we describe the diagnosis and prevention of electric arc faults in low-voltage networks, as it is a common cause of fires. The key factors initiating arc discharges were examined in details, and limitations of conventional protection devices, such as circuit breakers and residual current devices (RCD) are identified. To enhance fire safety, we propose the implementation of innovative mobile devices for the rapid identification of potential risk zones. These devices are compact, user-friendly, and enable on-site diagnostics during commissioning. The proposed method significantly improves fire prevention and increases the reliability of power supply across various facilities.

Key words: arc faults, cable lines, detection module, electric arc, electrical safety.

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая дуга представляет собой опасное явление, которое возникает в электрических сетях и может привести к серьезным повреждениям оборудования, пожару и даже человеческим жертвам [Маликов и др., 2021; Пожары..., 2024; Тюрин, Ерашова, 2024]. Особенно актуально выявление и предотвращение возникновения дуговых разрядов в кабельных линиях низкого напряжения, поскольку такие линии используются в жилых домах, общественных зданиях и на промышленных объектах [Козырев, 2010]. Кабельные линии низкого напряжения (до 1 000 В) являются кровеносной системой электроэнергетики, обеспечивая питание конечных потребителей – от бытовых розеток до мощных промышленных установок [Нейман, 2023].

Ошибочно полагать, что традиционные устройства защиты (автоматические выключатели – АВ, устройства защитного отключения – УЗО, дифференциальный автомат – ДА) гарантированно отключат цепь при дуговом пробое. Низкоомная дуга, особенно последовательная, может не создавать ток, достаточный для срабатывания автомата, но при этом выделяет колоссальную тепловую энергию для возгорания изоляции кабеля и окружающих материалов. Поэтому задачи диагностики и контроля наличия такой дуги выходят на первый план в обеспечении пожаробезопасности.

Электрическая дуга – это вид самостоятельного электрического разряда в газе, характеризующийся высокой плотностью тока и низким падением напряжения на электродах. Для ее возникновения необходимо: появление проводящего канала между проводниками (например, из-за повреждения изоляции, ослабления контактного соединения, перегрева); достаточное напряжение сети для поддержания ионизации газовой

среды (минимум около 12–20 В); сопротивление цепи, ограничивающее ток цепи, не предотвращая ее горение [Ерашова, Тюрин, 2022].

В кабельных линиях различают два типа дуговых пробоев – параллельный и последовательный. Параллельный дуговой пробой возникает между фазным и нулевым проводом или между фазным проводником и землей. Ток такой дуги, как правило, высок и может отключаться автоматическим выключателем. Последовательный дуговой пробой возникает в местах обрыва или высокого переходного сопротивления одного из проводников. Ток такой дуги равен току нагрузки и часто недостаточен для срабатывания токовой защиты, что делает ее крайне опасной [Ившин и др., 2020].

Причины возникновения дуговых замыканий: механическое повреждение изоляции кабеля; ослабление винтовых соединений в розетках, клеммниках, распределительных щитах; старение, разрушение изоляции под воздействием тепла, времени и ультрафиолетового излучения; перегибы и заземление кабеля. Потенциальные последствия от таких явлений включают: выброс расплавленного металла, способствующий возникновению пожара; разрушение токоведущих частей и изоляции; повреждение подключенного оборудования [Zhang et al., 2023].

Классические средства защиты имеют ограниченную эффективность против дуговых замыканий. Автоматические выключатели срабатывают при перегрузке и коротком замыкании. Последовательная дуга с током, равным току нагрузки, не является для них аномалией. Устройства защитного отключения реагируют на дифференциальный ток (утечку на землю). Дуга между фазой и нулем без утечки на землю для УЗО невидима. Таким образом,

традиционная защита не обеспечивает обнаружение всех типов дуговых замыканий [Вуколов и др., 2019].

В нашей работе рассмотрен вопрос диагностики и предотвращения возникновения электрической дуги в низковольтных сетях, рассмотрены факторы, провоцирующие возникновение дугового разряда, выявлены недостатки современных способов защиты, таких как автоматические выключатели и устройства защитного отключения (УЗО).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Наиболее эффективным методом диагностики и контроля кабельных линий низкого напряжения является использование устройства защиты от дугового пробоя (УЗДП). Эти интеллектуальные устройства сочетают в себе функции автоматического выключателя и сложного анализатора параметров цепи [Королев и др., 2018, Смелков и др., 2020; Никитин и др., 2024].

УЗДП непрерывно анализирует форму сигнала тока и напряжения в контролируемой цепи, используя комбинацию алгоритмов для отличия опасной дуги от нормальных коммутационных процессов. Электрическая дуга генерирует широкий спектр помех. УЗДП с помощью блока обнаружения дуговых пробоев выделяет этот спектр. Характерной особенностью дуги является ее нестабильность – она постоянно зажигается и гаснет. Это приводит к быстрым и хаотичным изменениям амплитуды тока, которые не свойственны нормальным нагрузкам. Наличие дуги приводит к специфическому искажению формы кривой напряжения. В памяти УЗДП заложены различные типы опасных дуг. Устройство постоянно сравнивает текущую форму сигнала с этими шаблонами. Решение об отключении принимается

только при одновременном выполнении нескольких критериев, что исключает ложные срабатывания.

Устройства защиты от дуговых пробоев чаще всего выполняют в виде модульного устройства, устанавливаемого в распределительный щиток. УЗДП могут быть совмещены с функциями автоматического выключателя и/или устройства защитного отключения [Устройство..., 2012]. Их установка рекомендуется в помещениях с повышенной пожарной опасностью [Об утверждении..., 2023].

Все перечисленные устройства характеризуются стационарностью – они лишены возможности перемещения и предназначены для установки на фиксированных объектах либо для обслуживания определенной группы пользователей. Настоящая статья посвящена принципиально иной категории приборов – высокочувствительным портативным устройствам, предназначенным для оперативного выявления мест локализации дуговых пробоев в электрических сетях. Данные приборы отличаются высокой степенью мобильности, возможностью быстрого развертывания в условиях реальной эксплуатации, обеспечивая надежную защиту объектов различного назначения от аварийных ситуаций, связанных с возникновением электрической дуги.

Портативный прибор для обнаружения опасной электрической дуги в низковольтных кабелях – это легкий переносной блок в корпусе из изолированного непроводящего материала, который безопасно держать в руках. Внутри блока находятся два основных элемента: датчик дуги, измеритель напряжения и тока.

Представленное устройство запатентовано в качестве полезной модели [Солюнов, Тюрин, 2024]. Принцип работы полезной модели иллюстрируется схемой, приведенной на рисунке 1. Конструкция

устройства реализована следующим образом. Устройство состоит из корпуса (1), изготовленного из диэлектрического материала (например, пластика). На корпусе установлены разъемы для подключения проводов $L1$, N , $L2$. Внутри корпуса размещены и соединены проводами: средство обнаружения электрической дуги (2), индикатор напряжения и силы тока (3). Через внешние разъемы $L1$, N , $L2$ приборы (2) и (3) подключаются соединительными проводами к тестируемой кабельной линии. Для надежности средство обнаружения дуги (2) и индикатор (3) жестко закреплены внутри корпуса (1). Корпус снабжен защитной крышкой, которая предохраняет внутренние компоненты от механических повреждений, пыли и влаги. Для удобства снятия показаний возможен вариант исполнения крышки из прозрачного материала, что не требует ее открывания. В качестве средства обнаружения дуги (2) может быть использован любой аппарат, определяющий дуговые пробои, например соответствующий ГОСТ IEC 62606-2016 [ГОСТ IEC 62606-2016, 2017].

На рисунке 2 показан пример реализации устройства: рис. 2, а демонстрирует устройство без крышки, рис. 2, б – с уста-

новленной прозрачной крышкой. В качестве средства обнаружения дуги выбран УЗДП УЗИс-С1-32 («ЭКОЛАЙТ», г. Москва). Важной характеристикой является зависимость времени срабатывания от силы тока ($t_{сраб} = f(I_{дуги})$), что учтено для работы с регулируемой нагрузкой. Задачу измерительного прибора (3) выполняет ампервольтметр ВАР-М02 («МЕАНДР», г. Санкт-Петербург). Корпус пластиковый Legrand тип 6019хх.

Работа устройства осуществляется в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3. Рисунок 3, а иллюстрирует схему в состоянии до начала диагностики. Рисунок 3, б показывает схему в режиме диагностики электрической дуги.

Основные элементы схемы:

- (4) – вводной аппарат защиты;
- (5) – групповые аппараты защиты кабельных линий;
- (6) – переносной блок обнаружения электрической дуги;
- (7) – переносная регулируемая нагрузка – прибор, предназначенный для имитации различных режимов работы нагрузки за счет изменения величины активного сопротивления. Для этого можно использовать любую активную электрическую нагрузку.



Рис. 1. Схема переносного блока обнаружения электрической дуги

Fig. 1. Scheme of a portable electric arc detection unit

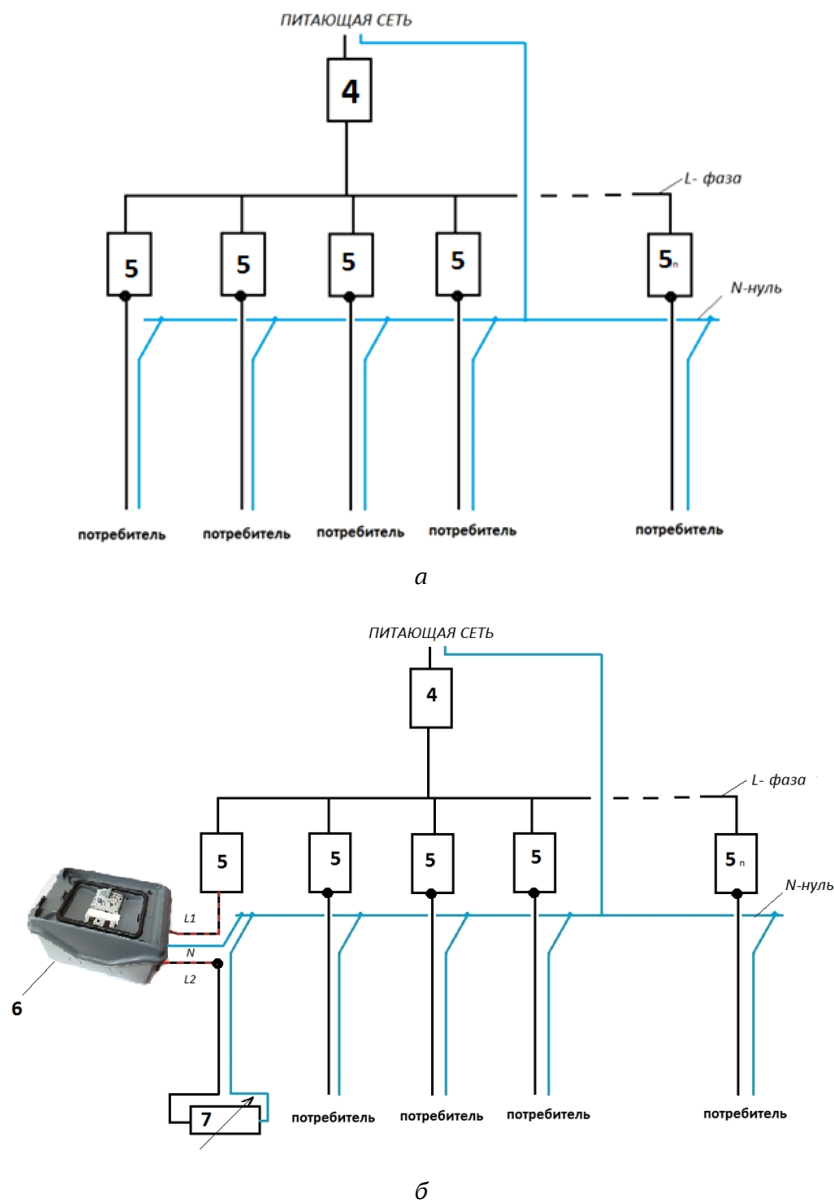


а

б

Рис. 2. Внешний вид переносных блоков обнаружения электрической дуги без крышки (а) и с прозрачной крышкой (б)

Fig. 2. External view of a portable electric arc detection unit without the cover (a) and with transparent cover (б)



а

б

Рис. 3. Схема работы устройства: а – до начала диагностики, б – в режиме диагностики электрической дуги

Fig. 3. Device operation diagram: а – before the start of diagnostics, б – in electric arc diagnostics mode

Метод диагностики основан на поэтапном анализе состояния отдельных кабельных линий с использованием специального мобильного комплекса. Рассмотрим подробнее последовательность операций и принцип работы.

Групповая кабельная линия сначала получает питание от общей электрической сети через специальный вводной защитный аппарат (4). Этот этап важен для обеспечения безопасной среды перед началом испытаний. Затем выбранная для тестирования отдельная линия подсоединяется к двум ключевым компонентам переносного диагностического комплекса: модулю обнаружения дуговых пробоев (6) и переменной регулируемой нагрузки (7). Подключение модуля (6) позволяет отслеживать состояние тестируемого кабеля, фиксируя любые отклонения от нормы, включая опасные дуговые процессы. Регулировка подаваемого тока достигается за счет подбора нагрузки (7), позволяя изменять условия эксперимента и выявлять потенциальные дефекты.

Следующим этапом является подача напряжения на испытуемый участок линии через группу защитных аппаратов (5). Важнейшей частью процесса становится визуализированный контроль параметров сети в реальном времени, осуществляемый через прозрачную крышку на переносном блоке (6). Здесь отображается значение тока и напряжения, что помогает оценить качество соединений. При возникновении опасного дугового разряда модуль (6) немедленно активирует механизм отключения защищаемой линии, сигнализируя о наличии проблемы. Такой сигнал служит основанием для немедленного начала ремонтных мероприятий по поиску и устранению возникшего повреждения. Если индикатор средства обнаружения дуги (2) остается неактивным, значит, линия функционирует правильно. В таком случае диагностику

рекомендуется принудительно завершить с помощью кнопки отключения. Только после завершения всех этапов можно считать проверку завершенной и принять решение о готовности линии к эксплуатации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Главным достоинством представленного метода является высокая эффективность и простота реализации. Весь процесс оценки работоспособности одной кабельной линии вместе с необходимыми действиями снятия показаний длится менее десяти минут. Благодаря простоте исполнения процедуру можно повторять многократно для анализа каждой последующей группы кабелей без значительных временных затрат. Кроме того, предлагаемый способ обладает следующими преимуществами: безопасностью, т. к. все операции проводятся под контролем специализированного оборудования, исключающего вероятность поражения персонала электричеством; универсальностью – подходит как для новых установок, так и для действующих объектов; точностью – возможность точного контроля текущих параметров сети позволяет своевременно выявлять критические нарушения целостности цепей; экономичностью – минимальные временные затраты позволяют сократить расходы на профилактику и обслуживание.

В итоге предложенное устройство демонстрирует свою эффективность и перспективность для широкого внедрения в практику электроизмерительной деятельности и обслуживания кабельных сетей различного назначения.

Предлагаемое устройство диагностики может эффективно использоваться совместно с процедурой измерения сопротивления изоляции, поскольку большая часть подготовительных действий совпадает. Ос-

новное отличие состоит лишь в дополнительном подключении переносной регулируемой нагрузки (7), необходимой исключительно для выявления дуговых пробоев.

Таким образом, данное диагностическое устройство представляет собой уникальное решение, сочетающее безопасность, мобильность и многофункциональность. Оно применимо как на стадии установки электрооборудования, так в ходе дальнейшей эксплуатации электросетей. Простота эксплуатации обеспечивает высокую скорость и надежность идентификации потенциально опасных дуговых явлений в низковольтных кабелях, существенно расширяя возможности современной электротехнической диагностики.

Использование представленного нами оборудования будет способствовать повышению уровня пожарной безопасности путем предотвращения возгораний, вызванных искрением и электрическими дугами у конечных потребителей. Это особенно актуально в условиях современных городов, где плотность размещения энергопотребляющих устройств постоянно возрастает [Кротенко и др., 2020; Белов, 2022]. Повышение надежности функционирования электросетей и электроприборов значительно снижает риск аварийных ситуаций и увеличивает общий уровень комфорта и безопасности жизнедеятельности населения. Помимо повышения эксплуатационной надежности, внедрение данного метода положительно скажется на экономии ресурсов благодаря своевременному выявлению дефектов и предупреждению крупных повреждений дорогостоящего оборудования и имущества.

ЛИТЕРАТУРА

Белов О.А. 2022. Анализ структуры генерирующей мощности и динамики

электропотребления в Алеутском изолированном энергоузле Камчатского края. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 62. С. 6–17.

Вуколов В.Ю., Петров А.А., Горшкова Д.М. и др. 2019. Особенности реализации микропроцессорной релейной защиты от дуговых замыканий ячеек секции напряжением 0,4–35 кВ. *Интеллектуальная электротехника*. № 4. С. 6–16.

ГОСТ IEC 62606–2016. 2017. Устройства защиты бытового и аналогичного назначения при дуговом пробое. Общие требования. Москва: Стандартинформ. 30 с.

Ерашова Ю.Н., Тюрин А.Н. 2022. Анализ дуговых процессов и искровых промежутков для эффективной работы УЗДП. *Материалы Национальной (с международным участием) научно-практической конференции «Современные цифровые технологии: проблемы, решения, перспективы»*. Казань. С. 90–94.

Ившин И.В., Ерашова Ю.Н., Тюрин А.Н. 2020. Особенности внедрения устройств защиты от дугового пробоя в электрических сетях до 1 кВ. *Материалы VI Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве»*. Казань. С. 370–374.

Козырев А.А. 2010. Постановка задачи идентификации электрической дуги в силовых электрических цепях. *Труды международного симпозиума «Надежность и качество»*. Т. 1. С. 469–470.

Королев И.В., Кондратьев О.Е., Валуев П.В. и др. 2018. Анализ целесообразности применения устройств обнаружения дугового пробоя для комплексной защиты от пожаров, вызванных неисправностями электрооборудования.

- Электроэнергия. Передача и распределение.* № 2. С. 128–131.
- Кротенко Д.С., Семчев В.А., Белов О.А. и др. 2020. Анализ перспективного развития энергообеспечения Камчатского края. *Вестник Камчатского государственного технического университета.* № 51. С. 6–11.
- Маликов М.Н., Артемьева А.С., Зюзина Н.В. 2021. Исследование пожаров, связанных с аварийным режимом большого переходного сопротивления в электропроводке. *Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности.* № 2. С. 17–23.
- Нейман Л.А. 2023. Электрические аппараты. Электрическая дуга. Учебное пособие для самостоятельной работы студентов. Новосибирск. 120 с.
- Никитин А.М., Бородулин Д.А., Рослый А.А. 2024. Устройство защиты от дугового пробоя. *Сборник материалов национальной научно-технической конференции «Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК».* Брянск. С. 200–204.
- Об утверждении Изменения № 6 к СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа». 2023. Приказ Минстроя России от 28 декабря 2023 г. № 1005/пр. URL: <http://publication.pravo.gov.ru> (дата обращения: 01.08.2025).
- Пожары и пожарная безопасность в 2023 году 2024. МЧС РФ. URL: <https://ptm01.ru/statistika-vniipo-2023-god-pozharyi-i-pozharnaya-bezopansost-statistika-ozharov-i-ix-posledstvij> (дата обращения: 01.08.2025).
- Смелков Г.И., Пехотиков В.А., Рябиков А.И. и др. 2020. Исследование эффективности применения устройств защиты от дугового пробоя. *Материалы научно-практической конференции «Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций».* С. 102–107.
- Солуянов Ю.И., Тюрин А.Н. 2024. Устройство диагностики и контроля наличия электрической дуги в кабельных линиях низкого напряжения. Патент на полезную модель RU 228793 U1. Заявка № 024106888 от 15.03.2024.
- Тюрин А.Н., Ерашова Ю.Н. 2024. Внедрение способа проверки аппаратов защиты от параллельного дугового пробоя и искровых промежутков на срабатывание. *Вестник Камчатского государственного технического университета.* Вып. 70. С. 18–27.
- Устройство определения дугового пробоя 5SM6: Технологическое руководство. 2012. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:8591ea1d52328862b34a9b9925defa4062aa3f2a/version:1629737579/afd-5sm6-ru.pdf> (дата обращения: 01.01.2025).
- Zhang J., Su G., Chen T. et al. 2023. Glowing contact in electrical fires: An experimental investigation and modeling of its thermal intensity and thermal hazards. *Case Studies in Thermal Engineering.* Vol. 45. Art. № 102880.

REFERENCES

- Belov O.A. 2022. Analysis of structure of generating capacity and electricity demand dynamics in the Aleutian isolated power plant unit of the Kamchatka Territory. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University).* № 62. P. 6–17 (in Russian).
- Vukolov V.Yu., Petrov A.A., Gorshkova D.M. et al. 2019. Implementation features of

- microprocessor relay protection against arc faults in 0.4-35 kV section switchgear cells. *Intellektualnaya elektrotehnika (Intelligent Electrical Engineering)*. № 4. P. 6–16 (in Russian).
- GOST IEC 62606–2016. 2017. General requirements for arc fault detection devices for household and similar uses. Moscow: Standartinform. 30 p. (in Russian).
- Erashova Yu.N., Tyurin A.N. 2022. Analysis of arc processes and spark gaps for the effective operation of arc fault detection devices. *National (with international participation) Scientific and Practical Conference “Modern digital technologies: problems, solutions, prospects”*. Kazan. P. 90–94 (in Russian).
- Ivshin I.V., Erashova Yu.N., Tyurin A.N. 2020. Features of implementing arc fault protection devices in electrical networks up to 1 kV. *Proceedings of the VI National Scientific and Practical Conference. “Instrument engineering and automated electric drive in the fuel and energy complex and housing and communal services”*. Kazan. P. 370–374 (in Russian).
- Kozyrev A.A. 2010. Problem statement for electric arc identification in power electric circuits. *Proceedings of the International Symposium “Reliability and Quality”*. Vol. 1. P. 469–470 (in Russian).
- Korolev I.V., Kondratieva O.E., Valuev P.V. et al. 2018. Analysis of the feasibility of using arc fault detection devices for comprehensive protection against fires caused by electrical equipment faults. *Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie (Electricity. Transmission and Distribution)*. № 2. P. 128–131 (in Russian).
- Krotenko D.S., Semchev V.A., Belov O.A. et al. 2020. Analysis of the prospective development of energy supply in the Kamchatka Territory. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 51. P. 6–11 (in Russian).
- Malikov M.N., Artemyeva A.S., Zyuzina N.V. 2021. Investigation of fires associated with the abnormal mode of high transient resistance in electrical wiring. *Nadzornaya deyatelnost i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti (Supervisory Activity and Forensic Examination in the Security System)*. № 2. P. 17–23 (in Russian).
- Neiman L.A. 2023. Electrical apparatus. Electric arc. Textbook for independent work of students. Novosibirsk. 120 p. (in Russian).
- Nikitin A.M., Borodulin D.A., Roslyi A.A. 2024. Arc fault protection device. *Collection of materials of the national scientific and technical conference “Problems of energy supply, automation, informatization and nature management in the agro-industrial complex”*. Bryansk. P. 200–204 (in Russian).
- On the approval of Amendment № 6 to SP 256.1325800.2016 “Electrical installations of residential and public buildings. Design and installation rules”. 2023. Order of the Ministry of Construction of Russia from 28.12.2023. № 1005/pr. URL: <http://publication.pravo.gov.ru> (accessed: 01.08.2025) 204 (in Russian).
- Fires and Fire Safety in 2023. 2024. Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation (EMERCOM). URL: <https://ptm01.ru/statistika-vniipo-2023-god-pozharyi-i-pozharnaya-bezopansost-statistika-pozharov-i-ix-posledstvij> (accessed: 01.08.2025) (in Russian).
- Smelkov G.I., Pekhotikov V.A., Ryabikov A.I. et al. 2020. Study of the effectiveness of using arc fault protection devices. *Materials of the national scientific and technical conference “Topical issues of fire safety and emergency protection”*. P. 102–107 (in Russian).

- Soluyanov Yu.I., Tyurin A.N. 2024. Device for diagnostics and monitoring of electric arc presence in low-voltage cable lines. Patent for utility model RU 228793 U1. Application № 024106888 from 15.03.2024 (in Russian).
- Tyurin A.N., Erashova Yu.N. 2024. Implementation of a method for checking protection devices against parallel arc breakdown and spark gaps for operation. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 70. P. 18–27 (in Russian).
- Arc fault detection device 5SM6: Technological guide. 2012. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:8591ea1d52328862b34a9b9925defa4062aa3f2a/version:1629737579/afd-5sm6-ru.pdf> (accessed: 01.01.2025) (in Russian).
- Zhang J., Su G., Chen T. et al. 2023. Glowing contact in electrical fires: An experimental investigation and modeling of its thermal intensity and thermal hazards. *Case Studies in Thermal Engineering*. Vol. 45. Art. № 102880.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Тюрин Александр Николаевич – АО «Татэлектромонтаж»; 420132, Россия, Казань; кандидат технических наук, главный технолог; turinal@rambler.ru. SPIN-код: 3040-8819, Author ID: 1147705; Scopus ID: 58738873200.

Tyurin Alexander Nikolaevich – JSC “Tatelektromontazh”; 420132, Russia, Kazan; Candidate of Technical Sciences, Chief Technologist; turinal@rambler.ru. SPIN-code: 3040-8819, Author ID: 1147705; Scopus ID: 58738873200.

Ерашова Юлия Николаевна – Казанский государственный энергетический университет; 420066, Россия, Казань; старший преподаватель кафедры «Теоретические основы электротехники»; yuliya.kostina@mail.ru. SPIN-код: 8172-9020, Author ID: 688887.

Erashova Yulia Nikolaevna – Kazan State Power Engineering University; 420066, Russia, Kazan; Senior Lecturer of the Department “Theoretical Foundations of Electrical Engineering”; yuliya.kostina@mail.ru. SPIN-code: 8172-9020, Author ID: 688887.

Статья поступила в редакцию 05.11.2025; одобрена после рецензирования 11.03.2026; статья принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 05.11.2025; approved after reviewing 11.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.

Для цитирования: Тюрин А.Н., Ерашова Ю.Н. 2026. Устройство диагностики и контроля наличия электрической дуги в кабельных линиях низкого напряжения. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 75. С. 8–17. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-8-17>.

For citation: Tyurin A.N., Erashova Yu.N. 2026. Device for diagnostics and control of the presence of electric arc in low-voltage cable lines. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 75. P. 8–17 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-8-17>.

Научная статья

УДК 577.1:612.7

DOI: 10.17217/2079-0333-2026-75-18-33

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ АВТОЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ,
СОДЕРЖАНИЯ ГЛИКОГЕНА И ЕГО МЕТАБОЛИТОВ В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ
ВЕРБЛЮДА, ГОВЯДИНЫ, БАРАНИНЫ И СВИНИНЫ
В ПРОЦЕССЕ АВТОЛИЗА И ХРАНЕНИЯ**

Лебедев А.Д., Колобов С.В.

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва, Стремянный переулок, д. 36.

В работе приводится исследование биохимических, структурных и технологических показателей, формирующих качество мяса верблюда в сравнении с говядиной, свиной и бараниной. Рассматривались исходный уровень гликогена и гликогенный потенциал, динамика гликогенолиза и показателя кислотности, распад макроэргов с образованием инозинмонофосфата, протеолиз саркомерных белков, развитие нежности, водосвязывающая способность, потери массы и восприимчивость к «холодовому укорочению». Показано, что для верблюжатины характерны более низкий исходный запас гликогена, замедленный гликогенолиз и более высокий конечный показатель кислотности, что обуславливает замедленное развитие нежности, однако обеспечивает повышенную водосвязывающую способность, сниженную потерю массы и низкий риск «холодового укорочения». Полученные результаты показывают необходимость видоспецифической оптимизации режимов охлаждения и созревания мяса верблюда.

Ключевые слова: верблюжати́на, водосвязывающая способность, гликоген, гликогенный потенциал, инозинмонофосфат, показатель кислотности (рН), постмортальный гликолиз, протеолиз, потеря массы.

Original article

**COMPARATIVE ANALYSIS OF AUTOLYTIC PROCESSES DYNAMICS, GLYCOGEN
CONTENT AND ITS METABOLITES IN A MUSCLE TISSUE OF CAMELS, BEEF,
LAMB AND PORK DURING AUTOLYSIS AND STORAGE**

Lebedev A.D., Kolobov S.V.

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Stremyanny Lane, 36.

In this study, we investigated the biochemical, structural, and technological parameters that determine the quality of camel meat in comparison to beef, pork, and lamb. We examined the initial glycogen level and potential, glycogenolysis and acidity dynamics, the breakdown of macroergs to form inosine monophosphate, sarcomeric protein proteolysis, tenderness development, water-binding capacity, weight loss, and susceptibility to “cold shortening”. Camel meat had lower initial glycogen stores, slower glycogenolysis, and a higher final acidity, which resulted in slower tenderness development, however provided increased

water-binding capacity, reduced weight loss, and a low risk of “cold shortening”. Our results demonstrated the need for species-specific optimization of camel meat cooling and maturation regimes.

Key words: camel meat, water-binding capacity, glycogen, glycogen potential, inosine monophosphate, acidity index (pH), postmortem glycolysis, proteolysis, weight loss.

ВВЕДЕНИЕ

Мясо верблюда двугорбого (бактриана) и одногорбого (дромедара) представляет собой ценный источник животного белка, обладающий рядом уникальных биохимических и органолептических характеристик. В условиях растущего интереса к альтернативным источникам мясного сырья, а также развития животноводства в засушливых и полупустынных регионах, актуальность изучения свойств верблюжьего мяса и его технологического потенциала возрастает. Верблюды отличаются высокой адаптацией к экстремальным климатическим условиям, способны длительное время обходиться без воды и корма, что делает их разведение экономически целесообразным в регионах с ограниченными кормовыми ресурсами.

Несмотря на нутритивную ценность и потенциально высокое качество продукта, мясо верблюда до сих пор остается недостаточно изученным с точки зрения биохимических превращений, протекающих в мышечной ткани после убоя. Процессы автолиза, динамика изменения pH, содержание гликогена и его метаболитов, протеолитическая деградация мышечных белков, а также водоудерживающая способность мяса напрямую влияют на качество конечного продукта и его пригодность для переработки. Понимание механизмов формирования качества мяса верблюда в сравнении с традиционными видами мясного сырья – говядиной, бараниной и свининой – необходимо для разработки научно обоснованных

технологий хранения, транспортировки и переработки.

Особое значение приобретает изучение постмортальных метаболических процессов, таких как гликолиз и накопление молочной кислоты, которые определяют скорость снижения pH и формирование таких дефектов мяса, как PSE (бледное, мягкое, водянистое) и DFD (темное, жесткое, сухое). Содержание гликогена в мышцах на момент убоя, тип мышечных волокон, а также условия хранения туш критически влияют на развитие автолитических изменений, нежность, сочность и вкусовые характеристики продукта. Сравнительный анализ динамики этих процессов у разных видов животных позволяет выявить специфические особенности и разработать адаптированные подходы к обработке мяса верблюда.

Целью работы являлось исследование биохимических, структурных и технологических показателей, формирующих качество мяса верблюда в сравнении с говядиной, свининой и бараниной. Полученные данные позволят расширить научную базу для оптимизации технологических процессов и повысить конкурентоспособность верблюжьего мяса на рынке мясной продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служила мышца *Longissimus dorsi* (поясничная часть) здоровых животных: верблюда (*Camelus bactrianus* и *Camelus dromedarius*), крупного рогатого скота, свиней и овец, отобран-

ных по стандартизованным половозрастным характеристикам и предубойному режиму. Для каждой видовой группы применялась репрезентативная выборка, включавшая не менее 15 образцов на вид, с предубойной выдержкой 12 ч в условиях покоя и доступом к воде, что минимизировало влияние стресс-факторов на гликогенный потенциал. Биоматериал асептически вырезался через 45 мин после убоя, помещался в стерильные пакеты и охлаждался при температуре $(2 \pm 1)^\circ\text{C}$ до проведения серийных анализов.

Динамика раннего постмортального метаболизма оценивалась в точках 0, 3, 6, 12, 24, 48 и 72 ч для гликогена, глюкозы, лактата, рН, АТФ и ИМР, обеспечивая сопоставимость кинетических кривых между видами. Развитие протеолиза, нежности и водосвязывающей способности (ВСС) изучалось на интервалах 1, 7 и 14 сут созревания при температуре -4°C для увязки структурных изменений с функционально-технологическими показателями. Каждая временная точка включала не менее трех технических повторов на биологический образец с усреднением по трем зонам реза для нивелирования внутриобразцовой вариативности.

Образцы хранились в герметичных пакетах при контролируемой относительной влажности 85–90% и температуре $(2 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение первых 72 ч, далее при -4°C для созревания до 14 сут с мониторингом температуры и исключением колебаний, способных вызвать «холодовое укорочение». Охлаждение туш и полуфабрикатов осуществлялось по унифицированной схеме без ускоренного охлаждения до наступления *rigor mortis* для сопоставимости условий автолиза между видами. Все операции проводились в соответствии с санитарными регламентами для исключения микробиологического влияния на химико-биохимические показатели.

Были использованы следующие аналитические методы:

Определение гликогена: ферментативный амилоглюкозидазный метод с последующим фотометрическим детектированием и калибровкой по стандарту глюкозы, результаты выражались в мг/г сырой ткани.

Определение глюкозы и лактата: ферментативные наборы на биохимическом анализаторе с внутренним контролем качества и межсерийной воспроизводимостью.

Измерение рН: портативный рН-метр с проникающим электродом; измерения проводились в трех точках образца с получением среднего значения и температурной компенсацией.

Определение нуклеотидов: определение АТФ и ИМР методом ВЭЖХ с обращенно-фазовой колонкой и УФ-детектированием, количественная оценка по внешнему стандарту.

Определение водосвязывающей способности: по методу Грау – Хамма с нормировкой на массу образца и стандартизованным временем пресса, результаты выражались в процентах.

Определение потерь при хранении и термообработке: drip loss по гравиметрии после стандартизованной выдержки, кулинарные потери после доведения до целевой внутренней температуры, результаты выражались в процентах.

Определение нежности: усилие сдвига по Уорнеру – Братцлеру на стандартизованных цилиндрах мышечной ткани, выражение результатов в Н с отчетом медианы и межквартильного размаха при необходимости.

Определение протеолиза миофибриллярных белков: иммуноблоттинг десмина, тропонина Т и титина; нормировка сигналов на референтный белок, регистрация появления характерных деградационных полос 30–32 kDa для тропонина Т.

Определение ферментных систем: оценка активности кальпаиновой и катепсиновой систем по изменению специфичных белковых маркеров и динамике деградации при сопоставимых условиях pH и температуры.

Все измерения проводились в слепом режиме относительно видовой принадлежности для исключения систематических сдвигов. Межсерийный контроль осуществлялся через каждые 10 измерений с использованием калибровочных стандартов и контрольных образцов, отклонения >5% служили основанием для повторной калибровки. Для исключения влияния поверхностной дегидратации поверхностный слой ткани предварительно удалялся, а время от выемки из холодильника до измерения стандартизовалось.

Данные представлены как $M \pm m$ с проверкой нормальности распределения и однородности дисперсий перед межвидовыми сравнениями. Для множественных сравнений применялась однофакторная ANOVA с пост-хок тестами или *t*-критерий Стьюдента при парных сравнениях, порог значимости устанавливался на уровне $p < 0,05$ с унифицированной нотацией значимостей в таблицах. Временные ряды анализировались с учетом повторных измерений и агрегировались по согласованным временным окнам для сопоставимости метрик между видами и методами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ранний постмортальный период в мясе всех исследованных видов животных фиксировали снижение показателя кислотности как следствие анаэробного распада гликогена и накопления молочной кислоты. Отличительной особенностью верблюжатины стала замедленная скорость закисления при сохранении более высоких значе-

ний показателя кислотности на протяжении первых 24 ч, что согласуется с меньшим исходным запасом гликогена, более низкой скоростью гликогенолиза и, вероятно, повышенной буферной емкостью мышечной ткани. Говядина демонстрировала промежуточную кинетику, тогда как у свинины и баранины наблюдали более быстрые темпы снижения показателя кислотности с ранним достижением плато.

Стабилизация показателя кислотности у верблюжатины наступала позднее, а конечные значения оставались статистически выше по сравнению с другими видами. Этот сдвиг во времени и по уровню конечного показателя кислотности имеет выраженные последствия: повышенная водосвязывающая способность, сниженные потери массы при хранении и термообработке, а также пониженная чувствительность к явлению «холодового укорочения». Вместе с тем более высокое конечное значение показателя кислотности сопряжено с необходимостью удлиненных сроков созревания для достижения оптимальных показателей нежности (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительная характеристика динамики показателей pH в мышце Longissimus dorsi после убоя

Table 1. Comparative characteristics of pH dynamics in the Longissimus dorsi muscle after slaughter

Время после убоя	Верблюжатины	Говядина	Баранины	Свинины
1 ч	7,0–7,1	6,8–6,9	6,8–7,0	6,6–6,9
6 ч	6,6–6,8	6,2–6,4	6,1–6,3	6,0–6,2
12 ч	6,3–6,5	5,8–6,0	5,7–5,9	5,5–5,7
24 ч	6,0–6,2	5,5–5,7	5,5–5,8	5,4–5,6
Конечный pH (48–72 ч)	5,8–6,1	5,5–5,7	5,5–5,8	5,4–5,6

У верблюжатины замедленное падение показателя кислотности обусловлено совокупностью факторов: более низким исход-

ным содержанием гликогена и меньшей скоростью его распада, что ограничивает темп накопления молочной кислоты; а также большей буферной емкостью мышечной ткани, сдвигающей кривую снижения показателя кислотности вправо во времени. У свинины и баранины, напротив, высокий исходный запас гликогена и интенсивный гликогенолиз обеспечивают быстрое закисление и раннее достижение низких значений показателя кислотности. Промежуточное положение говядины отражает умеренную скорость посмертного гликолиза и близкие к типовым для крупного рогатого скота конечные значения показателя кислотности.

Повышенный конечный показатель кислотности у верблюжатины ассоциируется с высокой водосвязывающей способностью и низкими потерями массы при хранении и нагреве, сниженной чувствительностью к «холодовому укорочению» вследствие более медленного наступления окоченения, необходимостью удлиненных сроков созревания для достижения целевых показателей нежности из-за менее выраженного протеолиза в ранние сроки на фоне более высокого показателя кислотности. Данные результаты указывают на устойчивые межвидовые различия в кинетике посмертного гликолиза и профилях изменения показателя кислотности, определяющие дальнейшие различия в протеолизе, текстурных параметрах и технологических свойствах мяса.

В процессе созревания мяса важную роль в формировании структурно-механических свойств играет протеолитическая деградация структурных белков саркомера и цитоскелета. На ранних этапах созревания иницирующую роль играет кальпаиновая система, чувствительная к уровню ионов кальция и показателю кислотности, что определяет видоспецифические различия тем-

пов протеолиза. На последующих этапах усиливается вклад лизосомальных катепсинов, способствующих продолженной деградации белков при относительно более высоких значениях показателя кислотности [Severino et al., 2022]. Для верблюжатины характерен замедленный стартовый протеолиз на фоне более высокого уровня показателя кислотности, что смещает достижение целевых показателей нежности на поздние сроки созревания. У свинины и баранины более быстрое снижение показателя кислотности сопровождается ранним и выраженным протеолизом, обеспечивая скорое формирование нежности; говядина занимает промежуточное положение.

Деградация десмина и тропонина Т является информативными маркерами ремоделирования миофибрилл [Чернуха, Ахремко, 2018]. В верблюжатины в первые 3 сут интенсивность деградации указанных белков была ниже, чем в свинине и баранине, тогда как на сроках 10–14 сут степень протеолиза выравнивалась. Деградация титина и небулина прослеживалась у всех видов, однако вклад кальпаинов на ранних сроках у верблюжатины ограничен более высоким уровнем показателя кислотности, вследствие чего развитие нежности происходило медленнее. На поведенческом уровне текстуры это выражается в более высоких значениях усилия сдвига на ранних сроках с последующим существенным снижением к завершению созревания (табл. 2).

На ранних этапах созревания у верблюжатины более высокий показатель кислотности ограничивает активность кальпаинов, что приводит к замедлению деградации десмина и формированию характерных деградационных фрагментов тропонина Т. По мере созревания возрастает относительный вклад катепсинов, менее чувствительных к величине показателя кислотности, что обеспечивает накопление

продуктов протеолиза и постепенное снижение усилия сдвига к поздним срокам. У свинины и баранины более низкий ранний уровень показателя кислотности способствует выраженной кальпаин-опосредованной деградации белков, ускоряя формирование нежности. Говядина демонстрирует умеренные темпы протеолиза и гибкую динамику достижения целевых текстурных характеристик в зависимости от исходных свойств туши и режима созревания.

Для верблюжатины рационально применение удлиненных сроков созревания порядка 10–14 сут в контролируемых условиях, что обеспечивает выравнивание степени протеолиза ключевых белков и достижение требуемых показателей нежности. Одновременно более высокий конечный показатель кислотности благоприятствует высокой водосвязывающей способности и снижению потерь массы при хранении и термообработке. Для свинины и баранины целесообразны более короткие сроки созревания вследствие быстрого развития протеолиза, тогда как для говядины оптимальные сроки определяются категорией туши и целевыми показателями текстуры [Лазарев, Кузнецова, 2019].

Водосвязывающая способность мяса определяет его способность удерживать

внутриклеточную воду при внешних воздействиях, отражая интегральное влияние постмортальных биохимических и структурных изменений на функционально-технологические свойства сырья. Падение показателя кислотности вблизи изоэлектрических значений миофибриллярных белков приводит к снижению ВСС вследствие уменьшения заряда белковых макромолекул, компрессии гидратной оболочки и уплотнения структурной матрицы. В противоположность этому более высокие значения показателя кислотности поддерживают отрицательную зарядовую плотность белков, увеличивают осмотико-коллоидное набухание и способствуют удержанию воды в межфиламентарных пространствах. Осмотико-коллоидное набухание – двойной механизм поглощения и удержания влаги белками мяса: осмотическая составляющая – движение воды и растворенных веществ через полупроницаемые мембраны клеток из области с меньшей концентрацией в область с большей; коллоидная составляющая – поглощение воды самими белковыми структурами (миофибриллами, соединительной тканью) за счет изменения их заряда и состояния. Вместе они приводят к увеличению массы, сочности и нежности готового продукта.

Таблица 2. Динамика протеолиза и изменение нежности (усилие сдвига, WB) при хранении мяса при температуре 4°C

Table 2. Proteolysis dynamics and tenderness changes (shear force, WB) during meat storage at 4°C

Показатель	Время	Верблюжатина	Говядина	Баранина	Свинина
Деградация десмина, % от исходного уровня	48 ч	20–30	40–55	35–50	50–65
	7 сут	45–55	55–65	50–60	60–70
	14 сут	60–70	65–75	60–70	65–75
Появление полос деградации тропонина Т (около 30–32 кДа)	72 ч	Слабая	Умеренная-интенсивная	Умеренная	Интенсивная
Усилие сдвига Уорнера – Братцлера, Н	Свежее	85–100	70–90	55–75	45–60
	7 сут	55–65	45–55	40–50	35–45
	14 сут	40–50	35–45	35–45	30–40
Срок достижения условно оптимальной нежности, сутки	–	10–14	7–14	7–10	3–5

В этом контексте верблюжати́на, характеризующаяся замедленным закислением и более высоким конечным уровнем показателя кислотности, демонстрирует стабильно повышенную водосвязывающую и пониженные потери влаги по сравнению с говядиной, бараниной и свининой.

Сопоставление величин ВСС и потерь массы при хранении (*drip loss*) и термообработке подтверждает видоспецифические различия, согласованные с кинетикой посмертного гликолиза и протеолиза. У верблюжати́ны более высокая водосвязывающая способность сопровождается низкими естественными потерями массы в процессе охлаждения и пониженными кулинарными потерями, тогда как у свинины и баранины более быстрое раннее закисление ассоциировано с меньшей ВСС и большими потерями сока. Говядина занимает промежуточное положение, при этом варибельность показателей зависит от категории туши и условий созревания (табл. 3).

У верблюжати́ны повышенная водосвязывающая способность обусловлена сочетанием более высокого конечного уровня показателя кислотности и структурных особенностей миофибриллярного каркаса, способствующих удержанию внутритканевой влаги. Поддержание отрицательного заряда белков увеличивает электростатическое отталкивание и межмиофибрилляр-

ные расстояния, что расширяет капиллярно-коллоидные пространства и уменьшает фильтрационно-диффузионные потери воды. У свинины и баранины более низкие значения показателя кислотности в ранние сроки создают условия для сближения белковых цепей и вытеснения воды, что проявляется в виде сниженной водосвязывающей способности и повышенного *drip loss*. Говядина демонстрирует промежуточные значения при выраженной зависимости от исходного состояния мышечной ткани и режима созревания.

Для верблюжати́ны целесообразно использовать технологические схемы, ориентированные на сохранение преимуществ высокой водосвязывающей способности: умеренные режимы механической обработки, ограничение длительных открытых экспозиций, применение упаковки с контролируемой газовой средой для минимизации потерь влаги. Умеренные скорости охлаждения, согласованные с динамикой окоченения, дополнительно снижают риск структурных нарушений и потерь влаги. Для свинины и баранины целесообразна корректировка ранних этапов охлаждения и посола с целью компенсации низкой водосвязывающей способности, а для говядины – адаптация сроков созревания и параметров обработки исходя из категории и целевых показателей сочности.

Таблица 3. Водосвязывающая способность и потери при хранении и термообработке мяса

Table 3. Water retention capacity and losses during storage and heat treatment of meat

Показатель	Верблюжати́на	Говядина	Барани́на	Свинина
Водосвязывающая способность, % по методу Грау – Хамма	69–73	60–66	58–63	56–65
Потери массы при хранении (<i>drip loss</i>), %	1,5–2,5	2,5–4,0	3,0–4,8	3,5–6,5
Потери массы при термообработке, %	25–30	30–35	32–38	31–40

В целом полученные данные подтверждают причинно-следственную связь между кинетикой посмертного закисления, состоянием белково-водной матрицы и функционально-технологическими характеристиками мяса. Повышенная водосвязывающая способность верблюжатины, сопровождающаяся низкими потерями массы, формирует устойчивые технологические преимущества и задает ориентиры для настройки режимов созревания, упаковки и термической обработки с целью максимизации выхода и стабильности качества готовой продукции.

Верблюжатина демонстрирует сниженную восприимчивость к «холодовому укорочению» относительно говядины и баранины и сопоставима либо менее чувствительна по сравнению со свиной. Ключевыми факторами, ограничивающими развитие данного явления у верблюда, являются: более медленное наступление окоченения, повышенная буферная емкость и замедленная динамика падения показателя кислотности, а также большая доля окислительных мышечных волокон, для которых характерна более стабильная работа саркоплазматического ретикула при охлаждении. У говядины и особенно у баранины риск «холодового укорочения» выше в условиях ускоренного охлаждения до наступления окоченения, в то время как у свинины риск чаще ограничивается иными дефектами качества, связанными с быстрым закислением и перегревом на ранних стадиях [Liu et al., 2025].

Быстрое снижение температуры до наступления окоченения сопровождается дисбалансом кальциевого гомеостаза, приводящим к активации сократительного аппарата при недостаточной регенерации аденозинтрифосфата. Также происходит механическое укорочение саркомеров, сокращение межмиофибриллярных расстоя-

ний и уменьшение пространства для гидратации, что вторично снижает водосвязывающую способность и увеличивает потери массы при хранении и нагреве.

Риск «холодового укорочения» возрастает при сочетании быстрого охлаждения до наступления окоченения и умеренно высоких значений показателя кислотности, когда энергетический статус ткани недостаточен для релаксации, а кальциевые потоки активируют сократительный аппарат [Таева, Узаков, 2015]. Для туш большого сечения и мышц с низкой начальной температурой повышенный градиент охлаждения дополнительно усиливает неоднородность процессов по толщине мышцы, формируя локальные зоны укорочения.

У верблюжатины замедленное снижение показателя кислотности и более поздняя стабилизация постмортального метаболизма сопряжены с низкой восприимчивостью к «холодовому укорочению». Это согласуется с наблюдаемыми преимуществами по водосвязывающей способности и пониженными потерями массы, а также с необходимостью удлиненных сроков созревания для достижения оптимальной нежности. Таким образом, температурно-временная организация раннего постмортального этапа является ключевым управляемым фактором профилактики «холодового укорочения» и обеспечения стабильности технологических показателей мяса различных видов.

Исходное содержание мышечного гликогена определяет гликогенный потенциал тканей, то есть запас субстрата для анаэробного гликолиза, который формирует постмортальную динамику закисления и конечные значения показателя кислотности. При прочих равных, более высокие исходные запасы гликогена обуславливают более выраженное накопление молочной кислоты и более низкий конечный

уровень показателя кислотности. Видоспецифические различия в гликогенолизе и исходном гликогенном фонде, а также предубойные факторы (стресс, кормление, выдержка) оказывают прямое влияние на качество мяса и его технологические характеристики [Baba et al., 2021].

У свинины, как правило, фиксируются наиболее высокие начальные концентрации гликогена в мышце *Longissimus dorsi*, что отражает более выраженную гликолитическую направленность мышечных волокон и особенности углеводного обмена. У говядины и баранины исходные уровни промежуточные и могут варьировать в зависимости от породы, возраста и условий содержания. У верблюжатины исходное содержание гликогена, как правило, ниже, что согласуется с физиологической адаптацией к периодическим ограничениям воды и корма и экономному использованию углеводных запасов [Suliman, 2019]. В совокупности эти различия определяют диапазон доступного гликогенного потенциала и последующую кинетику посмертного гликолиза.

Гликогенный потенциал удобно характеризовать как произведение исходной концентрации гликогена на долю, доступную для быстрого анаэробного распада в ранние часы *post mortem*. Более высокий потенциал у свинины предопределяет быстрое накопление молочной кислоты и низкий конечный показатель кислотности, что повышает риск дефектов типа «бледное, мягкое, экссудативное» в неблагоприятных условиях [Gu et al., 2013]. Более низкий потенциал у верблюжатины ограничивает скорость гликогенолиза, смещая кривую закисления вправо и формируя более высокий конечный показатель кислотности, благоприятный для водосвязывающей способности, но требующий удлиненных сроков созревания для достижения целевой нежности (табл. 4).

У верблюжатины ограниченный исходный запас гликогена и более низкая доля его быстрого использования ограничивают темп накопления молочной кислоты, что поддерживает более высокие значения показателя кислотности в ранние сроки и формирует повышенную водосвязывающую способность.

Верблюжатины из-за особенностей метаболизма менее склонна к резкому падению pH после убоя по сравнению с говядиной или свининой. Это приводит к тому, что ее конечный pH выше, а водосвязывающая способность изначально выше. Данная особенность обладает двойственным технологическим значением: с одной стороны, она детерминирует высокую влагоудерживающую способность, положительно коррелирующую с сочностью продукта; с другой стороны, она обуславливает нежелательные органолептические (темный цвет) и микробиологические (сниженная стабильность) характеристики мяса. В технологическом аспекте это означает, что при работе с верблюжатиной нужно учитывать ее склонность к образованию DFD-мяса и применять особые подходы к хранению, фасовке (вакуумирование) и, возможно, созреванию для улучшения нежности, которую высокий pH не всегда обеспечивает.

У свинины, напротив, высокий гликогенный потенциал при интенсивном раннем гликолизе обеспечивает быстрое снижение показателя кислотности и повышает риск ранних качественных дефектов при неблагоприятных тепломассообменных режимах [Манюхин и др., 2016]. Профиль говядины и баранины занимает промежуточное положение, при этом варьирование гликогенного потенциала определяется породой, возрастом, уровнем стресса и режимом предубойной выдержки.

Таблица 4. Исходное содержание гликогена и оцениваемый гликогенный потенциал мышц Longissimus dorsi

Table 4. Initial glycogen content and estimated glycogen potential of the Longissimus dorsi muscle

Показатель	Верблюжати́на	Говядина	Барани́на	Свинина
Исходный гликоген, мг/г сырой ткани	8,0–9,0	10,0–11,5	9,5–11,0	11,5–13,0
Доля быстро́доступного гликогена в первые 12 ч (%)	55–65	60–70	60–72	65–75
Оценивае́мый гликогенный потенциал, условные единицы	Низкий	Средний	Средний	Высокий
Ожидае́мый конечный показатель кислотности (48–72 ч), диапазон pH	5,8–6,1	5,5–5,7	5,5–5,8	5,4–5,6

Таким образом, для верблюжати́ны целесообразна стандартизация предубойной выдержки, исключая истощение гликогена, и контролируемые режимы охлаждения, согласованные с более поздним наступлением околочения, что позволяет реализовать преимущества высокой водосвязывающей способности без риска «холодового укорочения». Управление предубойным стрессом, который истощает гликоген, и условиями охлаждения туши – это, по сути, управление процессом распада гликогена для получения мяса с оптимальным pH, что и является залогом высоких потребительских качеств: нежности, сочности, стабильного цвета и длительного срока хранения. Корректная цель – не снизить истощение гликогена, как таковое, а обеспечить его достаточный исходный запас и оптимальную скорость распада для достижения нормального конечного pH. Ситуацию с недостаточным запасом или аномальным распадом гликогена необходимо предотвращать с целью недопущения отклонений в характере автолиза (мясо DFD и PSE), а также для обеспечения оптимальных технологических и потребительских свойств (цвета, водосвязывающей способности, нежности, вкуса и аромата).

Для свинины необходим жесткий контроль раннего тепломассообмена и предотвращение перегрева на убойной линии,

а также меры по снижению стресса, чтобы минимизировать риск чрезмерного раннего закисления. Для говядины и баранины оптимизационные решения включают выравнивание предубойных условий и адаптивный выбор сроков созревания, исходя из ожидаемого гликогенного потенциала и целевых показателей консистенции и сочности.

Исходный гликоген и гликогенный потенциал задают рамки для последующей динамики показателя кислотности, активности протеолитических систем и формирования функционально-технологических характеристик. Более высокий конечный показатель кислотности у верблюжати́ны согласуется с повышенной водосвязывающей способностью и пониженными потерями массы при хранении, тогда как смещение во времени развития нежности требует удлиненных сроков созревания. Эти связи обеспечивают концептуальную основу для интеграции данных о гликогенолизе, динамике показателя кислотности, протеолизе и структурных преобразованиях мышечной ткани в целостную модель формирования качества мяса разных видов.

После убоя прекращается поступление кислорода и ресинтез аденозинтрифосфата, что инициирует анаэробный распад мышечного гликогена по путям фосфороллиза и амилолиза с образованием глюкозы

и молочной кислоты. Накопление молочной кислоты является главным фактором сдвига показателя кислотности в кислую сторону, задавая скорость раннего закисления и конечные значения показателя кислотности в интервале стабилизации постмортального метаболизма. Интенсивность гликогенолиза определяется исходным запасом гликогена, активностью тканевых ферментов, типом мышечных волокон и предубойными факторами, формируя устойчивые межвидовые различия.

У свинины и баранины регистрируется наиболее быстрый спад содержания гликогена и ранний выход показателя кислотности на плато, что обусловлено более высокой долей гликолитических волокон и выраженной активностью гликолитических ферментов. У говядины динамика занимает промежуточное положение, варьируя в зависимости от категории туши и условий содержания. У верблюжатины гликогенолиз протекает достоверно медленнее, вследствие меньшего исходного запаса гликогена и, вероятно, большей доли окислительных волокон, что приводит к более медленному снижению показателя кислотности и более высокому конечному уровню.

Темп накопления молочной кислоты прямо коррелирует со скоростью гликогенолиза и обратно коррелирует с профилем показателя кислотности. У верблюжатины конечные концентрации молочной кислоты ниже, чем у других видов, что согласуется с менее глубоким закислением. Параллельно происходит распад аденозинтрифосфата с образованием инозиномонофосфата; у верблюжатины замедленная кинетика гликолиза сопровождается более медленным накоплением инозиномонофосфата на ранних сроках.

Представленные временные профили гликогена и показателя кислотности определяют рамочные условия для протеолиза саркомерных белков, водосвязывающей способности и восприимчивости к «холодовому укорочению» (табл. 5). Более высокие конечные значения показателя кислотности у верблюжатины согласуются с повышенной водосвязывающей способностью и пониженными потерями массы, тогда как более медленное развитие протеолиза требует удлиненных сроков созревания для достижения оптимальной нежности.

Таблица 5. Динамика изменения содержания гликогена и показателя кислотности в мышце Longissimus dorsi в ранний постмортальный период

Table 5. Dynamics of glycogen and acidity index changes in the Longissimus dorsi muscle in early postmortem period

Время после убоя	Показатель	Верблюжатина	Говядина	Баранина	Свинина
0 ч	Гликоген, мг/г	8,3–9,0	10,0–11,0	9,8–10,8	11,5–12,8
	Показатель кислотности	7,0–7,1	7,1–7,2	7,0–7,2	7,2–7,3
3 ч	Гликоген, мг/г	6,0–6,5	5,0–5,5	4,6–5,0	4,5–5,0
	Показатель кислотности	6,8–6,9	6,5–6,7	6,4–6,6	6,3–6,5
12 ч	Гликоген, мг/г	3,0–3,4	1,7–2,0	1,2–1,6	0,8–1,1
	Показатель кислотности	6,2–6,4	5,8–6,0	5,7–5,9	5,5–5,7
24 ч	Гликоген, мг/г	1,3–1,7	0,5–0,8	Следовые	Следовые
	Показатель кислотности	5,9–6,1	5,5–5,7	5,5–5,8	5,4–5,6
48–72 ч	Гликоген, мг/г	Следовые	Следовые	Следовые	Следовые
	Конечный показатель кислотности	5,8–6,1	5,5–5,7	5,5–5,8	5,4–5,6

После убоя прекращение окислительного фосфорилирования приводит к последовательному распаду аденозинтрифосфата по цепочке: аденозинтрифосфат → аденозиндифосфат → аденозинмонофосфат → инозинмонофосфат с последующим образованием инозина и гипоксантина. Инозинмонофосфат является ключевым нуклеотидом, вносящим вклад в формирование вкусового профиля мяса, тогда как дальнейшая деградация до гипоксантина ассоциируется с горькими привкусами. Кинетика распада макроэргических соединений зависит от исходного энергетического статуса клетки, скорости гликогенолиза, профиля показателя кислотности и активности катаболических ферментов, что формирует устойчивые межвидовые различия.

У свинины и баранины регистрируется ускоренное снижение уровня аденозинтрифосфата в ранние часы после убоя с быстрым накоплением инозинмонофосфата и более ранним достижением пиковых значений. У говядины динамика занимает промежуточное положение, варьируя в зависимости от исходных свойств туши. У верблюжатины распад аденозинтрифосфата протекает медленнее; накопление инозинмонофосфата на ранних сроках ниже, а пик достигается позже и имеет меньшую амплитуду. Эти различия согласуются с более медленным гликогенолизом и более высоким уровнем показателя кислотности у верблюжатины, замедляющими катаболические процессы.

Более высокая величина показателя кислотности у верблюжатины в ранний постмортальный период ассоциирована с задержкой истощения аденозинтрифосфата и замедленным накоплением инозинмонофосфата. Напротив, у свинины и баранины быстрое падение показателя кислотности и интенсивное накопление

молочной кислоты ускоряют распад аденозинтрифосфата и повышают содержание инозинмонофосфата к 12–24 ч (табл. 6).

У верблюжатины замедленная деградация аденозинтрифосфата и более умеренное раннее накопление инозинмонофосфата согласуются с более медленным гликолизом и повышенной величиной кислотности, что обуславливает менее выраженную раннюю интенсивность вкуса и обосновывает необходимость удлиненных сроков созревания для достижения сбалансированного вкусо-ароматического профиля при сохранении преимуществ высокой водосвязывающей способности и низких потерь массы при хранении. У свинины и баранины быстрое накопление инозинмонофосфата обеспечивает раннюю выраженность вкуса и сокращает минимально необходимый срок созревания, однако при длительной выдержке ускоренная деградация инозинмонофосфата с накоплением инозина и гипоксантина способна смещать вкусовой профиль, что требует контроля сроков. Говядина характеризуется промежуточной кинетикой и допускает гибкую настройку сроков созревания под целевые сенсорные характеристики, с учетом баланса накопления инозинмонофосфата и сохранения желательной текстуры.

Количественная оценка аденозинтрифосфата и инозинмонофосфата выполняется методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с внешними стандартами, что обеспечивает воспроизводимое разделение и чувствительность для диапазонов, характерных для ранних постмортальных сроков. Интерпретация временных профилей требует сопоставления с динамикой гликогена, молочной кислоты и показателя кислотности для корректного вывода о сенсорно-технологических следствиях.

Таблица 6. Динамика изменения аденозинтрифосфата и инозинмонофосфата в мышце *Longissimus dorsi* в ранний постмортальный период

Table 6. Dynamics of adenosine triphosphate and inosine monophosphate changes in *Longissimus dorsi* muscle in early postmortem period

Время после убоя	Органическое вещество (мкмоль/г)	Верблюжати́на	Говя́дина	Барани́на	Сви́нина
0 ч	Аденозинтрифосфат	6,8–7,4	7,0–7,6	6,9–7,5	7,0–7,6
	Инозинмонофосфат	0,18–0,28	0,25–0,35	0,22–0,32	0,25–0,35
12 ч	Аденозинтрифосфат	0,3–0,6	0,1–0,3	< 0,1–0,2	< 0,1–0,2
	Инозинмонофосфат	3,5–4,2	4,8–5,5	5,2–5,8	5,0–5,6
24 ч	Аденозинтрифосфат	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Инозинмонофосфат	5,6–6,2	6,8–7,4	6,9–7,6	7,0–7,4
48–72 ч	Инозинмонофосфат	6,0–6,6	7,2–7,8	7,0–7,6	7,1–7,7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование постмортальных биохимических и структурно-функциональных преобразований мышечной ткани мяса верблюда, крупного рогатого скота, свиней и овец выявило межвидовые закономерности, определяющие качество мяса и его технологические свойства на этапах охлаждения, созревания и тепловой обработки. Ключевым системообразующим фактором является исходный уровень гликогена и видоспецифическая кинетика гликогенолиза, задающие профиль закисления и конечные значения показателя кислотности, от которых далее зависят активность протеолиза, водосвязывающая способность, потери массы и восприимчивость к «холодовому укорочению».

У верблюжати́ны зафиксированы: более низкий исходный запас гликогена, замедленный гликогенолиз, менее выраженное накопление молочной кислоты и, как следствие, более медленное снижение показателя кислотности с формированием повышенного конечного уровня. Такая метаболическая конфигурация обуславливает два взаимосвязанных эффекта. Во-первых, повышенную водосвязывающую способность с пониженными потерями массы при хранении и термообработке, а также сни-

женную чувствительность к «холодовому укорочению» благодаря более позднему наступлению окоченения и стабильности кальциевого гомеостаза при охлаждении. Во-вторых, смещение во времени развития нежности: ранний кальпаин-опосредованный протеолиз ослаблен при более высоком уровне показателя кислотности, а основное снижение жесткости достигается к поздним срокам созревания за счет вкладов лизосомальных катепсинов; оптимум нежности проявляется на горизонте 10–14 сут.

Для свинины и баранины характерны высокий гликогенный потенциал, быстрый гликогенолиз и раннее достижение низких значений показателя кислотности. Это обеспечивает ускоренный протеолиз и раннее формирование нежности при сокращенных сроках созревания, но повышает риск ранних технологических дефектов качества при неблагоприятных режимах тепломассообмена. Говядина занимает промежуточное положение: конечные значения показателя кислотности и темпы протеолиза варьируют в зависимости от категории туши и режима предубойной выдержки, что требует адаптивного регулирования сроков созревания.

Анализ распада макроэргов показал, что у верблюжати́ны деградация аденозинтрифосфата в ранние сроки замедлена, а накопление инозинмонофосфата проис-

ходит плавнее, а пик достигается позже с меньшей амплитудой, чем у свинины и баранины. Это согласуется с более высокими значениями показателя кислотности и медленным гликолизом и объясняет менее выраженную раннюю интенсивность вкуса, компенсируемую при удлинённых сроках созревания. В противоположность этому у свинины и баранины быстрое накопление инозинмонофосфата обеспечивает раннюю вкусовую насыщенность, но требует контроля сроков, чтобы избежать последующей деградации до инозина и гипоксантина, смещающих вкусовой профиль.

Таким образом, для верблюжатины рациональны: контролируемое, но не ускоренное охлаждение в ранний постмортальный период; предотвращение дополнительного истощения гликогена предубойным стрессом; удлинённые сроки созревания порядка 10–14 сут для достижения целевых показателей нежности при сохранении преимуществ высокой водосвязывающей способности и низких потерь массы.

Для свинины и баранины приоритетны меры по снижению стресса и контроль ранних тепломассообменных режимов, позволяющие реализовать преимущество скорого созревания без индукции дефектов качества; оптимизация сроков созревания с учетом динамики инозинмонофосфата.

Для говядины оптимальные режимы определяются категорией туши и целевыми сенсорно-технологическими показателями: гибкое регулирование сроков созревания и условий охлаждения позволяет выровнять профиль нежности и сочности.

В целом интегрированная картина демонстрирует, что исходный гликогенный потенциал и кинетика гликолиза определяют траекторию изменения показателя кислотности, которая, в свою очередь, модулирует активность протеолиза, водосвязывающую способность, потери массы

и чувствительность к «холодовому укорочению», а также динамику распада макроэргов и накопления инозинмонофосфата. Комплекс метаболических особенностей определяет технологическую специфику верблюжатины: повышенные функционально-технологические показатели (водосвязывающая способность, выход) сопряжены с необходимостью пролонгированного автолиза для оптимизации структурно-механических и органолептических свойств.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности продолжения исследований и разработки видоспецифических режимов охлаждения, созревания, упаковки и термической обработки, обеспечивающих стабильное качество и предсказуемые потребительские свойства мясного сырья различных видов.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES

- Лазарев А.А., Кузнецова Т.Г. 2019. Отечественные и зарубежные подходы при описании и оценке консистенции и текстуры мясной продукции. *Все о мясе*. № 5. С. 19–22.
- Lazarev A.A., Kuznetsova T.G. 2019. Domestic and foreign approaches to describing and evaluating the consistency and texture of meat products. *Vse o myase (All About Meat)*. № 5. P. 19–22 (in Russian).
- Манюхин Я.С., Чернуха И.М., Вострикова Н.Л. 2016. Изучение белков мышечной ткани верблюда с использованием протеомных технологий. *Все о мясе*. № 6. С. 35–39.
- Manyukhin Ya.S., Chernuha I.M., Vostrikova N.L. 2016. Study of camel muscle tissue proteins using proteomic technologies. *Vse o myase (All About Meat)*. № 6. P. 35–39 (in Russian).

- Таева А.М., Узиков Я.М. 2015. Исследования аминокислотного и жирнокислотного составов верблюжатины. *Мясная индустрия*. № 12. С. 36–38.
- Taeva A.M., Uzakov Ya.M. 2015. *Studies of the amino acid and fatty acid composition of camel meat. Myasnaya industriya (Meat Industry)*. № 12. P. 36–38 (in Russian).
- Чернуха И.М., Ахремко А.Г. 2018. Сравнительное изучение автолитических изменений протеома мышечной ткани свинины и говядины. *Теория и практика переработки мяса*. № 3. С. 56–62.
- Chernuha I.M., Akhrremko A.G. 2018. *Comparative study of autolytic changes in the proteome of pork and beef muscle tissue. Teoriya i praktika pererabotki myasa (Theory and Practice of Meat Processing)*. № 3. P. 56–62 (in Russian).
- Baba W.N., Rasool N., Maqsood S. et al. 2021. A review on nutritional composition, health benefits, and technological interventions for improving consumer acceptability of camel meat: an ethnic food of Middle East. *Journal of Ethnic Foods*. Vol. 8. 18 p.
- Gu Y., Haug A., Nyquist N.F., Egelanddal B. 2013. Hydroperoxide formation in different lean meats. *Food Chemistry*. № 141. P. 2656–2665.
- Liu Q., Gao Y., Fei J. et al. 2025. Comprehensive analyses of meat quality and metabolome changes during storage and aging in beef. *Food Chemistry*. Vol. 472. Art. № 142936.
- Severino M., de Souza E., da Costa G. et al. 2022. Proteomics unveils post-mortem changes in beef muscle proteins and provides insight into variations in meat quality traits. *Food Research International*. Vol. 160. Art. № 111703.
- Suliman A. 2019. Sensory attributes of camel meat across age groups. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. № 8. P. 1332–1338.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лебедев Антон Дмитриевич – Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова; 115054, Россия, Москва; аспирант, базовая кафедра индустрии качества; a.d.lebedevv@gmail.com. SPIN-код: 8421-9211, Author ID: 1257983.

Lebedev Anton Dmitrievich – Plekhanov Russian University of Economics; 115054, Russia, Moscow; Postgraduate Student, Basic Chair of Quality Industry; a.d.lebedevv@gmail.com. SPIN-code: 8421-9211, Author ID: 1257983.

Колобов Станислав Викторович – Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова; 115054, Россия, Москва; кандидат технических наук, доцент, базовая кафедра индустрии качества; Kolobov.SV@rea.ru. SPIN-код: 9973-4048, Author ID: 347774.

Kolobov Stanislav Viktorovich – Plekhanov Russian University of Economics; 115054, Russia, Moscow; Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Basic Chair of Quality Industry; Kolobov.SV@rea.ru. SPIN-code: 9973-4048, Author ID: 347774.

Статья поступила в редакцию 27.11.2025; одобрена после рецензирования 11.03.2026; статья принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 27.11.2025; approved after reviewing 11.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.

Для цитирования: Лебедев А.Д., Колобов С.В. 2026. Сравнительный анализ динамики автолитических процессов, содержания гликогена и его метаболитов в мышечной ткани верблюда, говядины, баранины и свинины в процессе автолиза и хранения. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 75. С. 18–33. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-18-33>.

For citation: Lebedev A.D., Kolobov S.V. 2026. Comparative analysis of autolytic processes dynamics, glycogen content and its metabolites in a muscle tissue of camels, beef, lamb and pork during autolysis and storage. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 75. P. 18–33 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-18-33>.

Научная статья

УДК 591.524.11(571.645+265.52)

DOI: 10.17217/2079-0333-2026-75-34-62

**ФАУНИСТИЧЕСКОЕ СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЯ ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ
ОСТРОВА ПАРАМУШИР С ПРИБРЕЖЬЕМ КАМЧАТКИ
И ОСТРОВМ МАТУА (СРЕДНИЕ КУРИЛЫ)**

Санамян Н.П.¹, Санамян К.Э.¹, Антохина Т.И.², Деарт Ю.В.², Иванова Н.Ю.³, Савинкин О.В.², Токранов А.М.¹

¹ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6.

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, г. Москва, Ленинский пр-т, 33.

³ Зоологический институт РАН, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 1.

В 2025 году в рамках комплексной экспедиции «Восточный бастион – Курильская гряда» впервые проведено детальное водолазное обследование бентосных сообществ верхней сублиторали (глубины до 30 м) юго-западного побережья острова Парамушир (Северные Курилы). Это позволило оценить состояние фауны после массовой гибели гидробионтов у юго-восточного побережья Камчатки осенью 2020 года, вызванной вредоносным «цветением» водорослей. Многие виды, ставшие редкими или исчезнувшие у Камчатки после 2020 года, остаются обильными у Парамушира. Полученные данные позволяют рассматривать охотоморскую акваторию острова Парамушир как рефугиум (убежище) для камчатской фауны и потенциальный источник для ее восстановления на материке.

Ключевые слова: бентос, биоразнообразие, верхняя сублитораль, вредоносное цветение водорослей (ВЦВ), Камчатка, коэффициент перекрытия, Матуа, Парамушир, рефугиум.

Original article

**FAUNAL SIMILARITIES AND DIFFERENCES OF THE UPPER SUBLITTORAL
OF PARAMUSHIR ISLAND WITH THE COAST OF KAMCHATKA
AND MATUA ISLAND (MIDDLE KURIL ISLANDS)**

Sanamyan N.P.¹, Sanamyan K.E.¹, Antokhina T.I.², Deart Yu.V.², Ivanova N.Yu.³, Savinkin O.V.², Tokranov A.M.¹

¹ Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6.

² A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Moscow, Leninsky Pr. 33.

³ Zoological Institute of RAS, St. Petersburg, Universitetskaya Emb. 1.

In 2025, as part of the comprehensive expedition “Vostochny Bastion – Kurilskaya Gryada” (Eastern Bastion – Kuril Ridge), a detailed SCUBA survey of benthic communities in the upper sublittoral zone (up to 30 m) off the southwestern coast of Paramushir Island (Northern Kuril Islands) was conducted for the first time.

This enabled an assessment of the fauna's condition following the mass mortality of hydrobionts along the southeastern coast of Kamchatka in autumn 2020, which was caused by a harmful algal bloom (HAB). Many species that became rare or disappeared from Kamchatka after 2020 remain abundant at Paramushir Island. The obtained data suggest that the Sea of Okhotsk waters off Paramushir Island serve as a refugium (sanctuary) for the fauna of Kamchatka and a potential source for its recovery on the mainland.

Key words: benthos, biodiversity, upper sublittoral, harmful algal bloom (HAB), Kamchatka, overlap coefficient, Matua, Paramushir, refugium.

ВВЕДЕНИЕ

Осенью 2020 г. прибрежные экосистемы Юго-Восточной Камчатки подверглись масштабному воздействию в результате вредоносного «цветения» водорослей (ВЦВ), вызванного бурным развитием динофлагеллят рода *Karenia*, что привело к массовой гибели донных беспозвоночных, сокращению видового состава бентосных сообществ примерно наполовину, а их биомассы – на 80–90% [Токранов и др., 2021; Санамян и др., 2023; Морозов и др., 2024; Orlova et al., 2022]. Исчезновение большого количества обрастателей (губок, гидроидов, мшанок, колониальных асцидий), игравших ценообразующую роль, оголило поверхности валунов и скал, лишив таким образом целый ряд беспозвоночных и рыб (а также их молоди) кормовой базы и укрытий. Обрастатели-сестонофаги служили пищевыми объектами для одних организмов и формировали условия для концентрации кормовых объектов для других, а также позволяли некоторым донным рыбам, являющимся хищниками-засадчиками и бентоихтиофагами, достаточно эффективно маскироваться на дне, поджидая добычу. Восстановление биоразнообразия в этом регионе происходит медленно [Данилин и др., 2023; Коростелев и др., 2023; Токранов и др., 2024а, б], что ставит вопрос о потенциальных рефугиумах – участках, где могли сохраниться виды, исчезнувшие или ставшие редкими у побережья Камчатки.

Северные Курильские острова могли бы быть таким возможным убежищем благодаря их близкому расположению от п-ова Камчатка, если бы губительные последствия ВЦВ не затронули их прибрежную биоту. Предварительные наблюдения с использованием подводного дрона в июне 2023 г. уже указывали на сокращение численности и биомассы некоторых гидробионтов (морских ежей и крупных двустворчатых моллюсков) на тихоокеанской стороне о-вов Шумшу и Парамушир [Токранов и др., 2024б]. Однако оставалось неясным, затронуло ли ВЦВ бентосные сообщества охотоморского склона Парамушира, где влияние холодных вод Охотского моря могло смягчить последствия ВЦВ, ключевым фактором развития которого у берегов Камчатки стали сильные положительные температурные аномалии воды в июле – сентябре 2020 г. [Бондур и др., 2021].

В 2025 г. в рамках комплексной экспедиции Русского географического общества и Министерства обороны России «Восточный бастион – Курильская гряда» были проведены детальные водолазные исследования верхней сублиторали (до глубин 8–30 м) юго-западного, охотоморского, побережья острова Парамушир. Целью данной работы стала оценка современного состояния бентосных сообществ этого района. Мы провели сравнение его видового состава с фауной Камчатки (как до, так и после экологической катастрофы 2020 г.) и о. Матуа (Средние Курилы), а также рассмот-

рели роль Парамушира как потенциально-го рефугиума для камчатской мелководной фауны.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспедиция на о. Парамушир длилась с 24 июля по 16 августа 2025 г. За этот пе-

риод у юго-западной части о. Парамушир сделано 14 водолазных станций. Трое водолазов-исследователей (Т.И. Антохина, Ю.В. Деарт и О.В. Савинкин) с использованием легководолазной техники работали в районе бух. Крашенинникова и на ближайших к ней мысах на глубинах до 30 м (рис. 1, табл. 1).

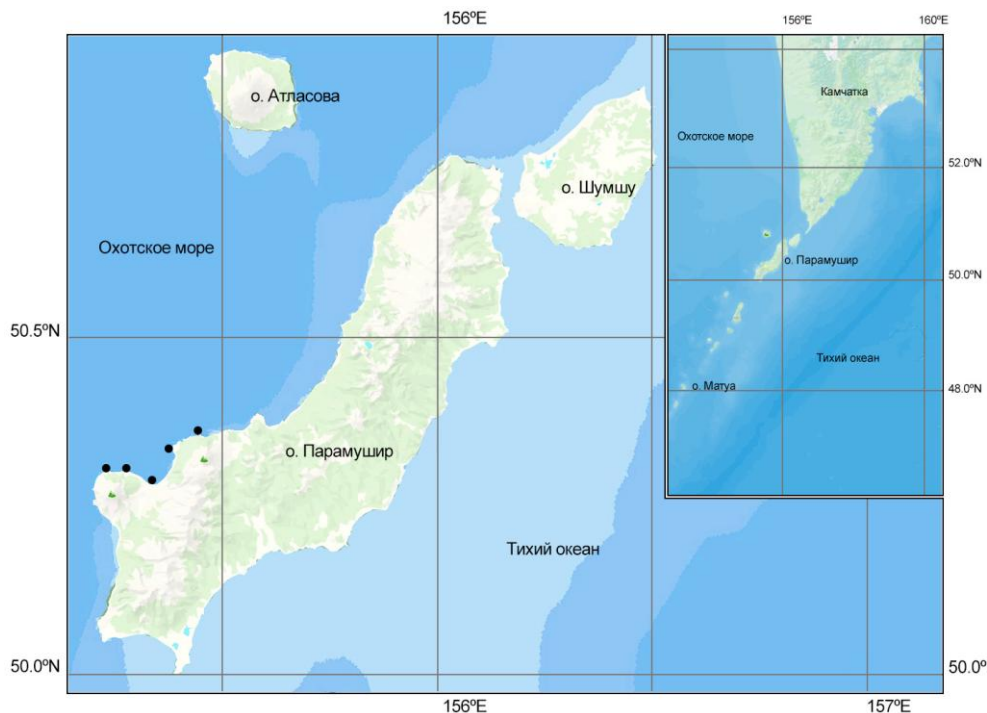


Рис. 1. Карта исследованного района; черными точками обозначены места погружений

Fig. 1. Map of the study area; the black dots indicate dive sites

Таблица 1. Список водолажных станций у о. Парамушир

Table 1. List of dive stations off Paramushir Island

№	Дата	Место погружения	Координаты	Глубина, м	t воды °С	Прозрачность, м
1	26.07.2025	бух. Крашенинникова	N 50°16.996' E 155°20.645'	8	3	5-8
2	27.07.2025	м. Скальный	N 50°20.355' E 155°23.201'	21	5	10
3	28.07.2025	м. Скальный	N 50°20.355' E 155°23.201'	20	5	7-8
4	29.07.2025	м. Скальный	N 50°20.356' E 155°23.200'	20	5	7-8
5	31.07.2025	м. Чикурачки	N 50°20.744' E 155°23.912'	25	5	10
6	01.08.2025	м. Амнат	N 50°18.280' E 155°14.376'	16	9-10	10
7	04.08.2025	м. Скальный	N 50°20.352' E 155°23.209'	20	7	7-10
8	05.08.2025	бух. Крашенинникова	N 50°19.759' E 155°23.258'	30	4	7-10
9	06.08.2025	бух. Крашенинникова	N 50°19.745' E 155°23.280'	20	5	7-10
10	07.08.2025	м. Скальный	N 50°20.355' E 155°23.201'	30	7	7-10
11	10.08.2025	м. Свирепый	N 50°21.485' E 155°27.001'	15	7	7-10
12	11.08.2025	бух. Крашенинникова	N 50°19.722' E 155°23.358'	17	7	7-10
13	12.08.2025	м. Крашенинникова	N 50°18.071' E 155°17.618'	10	7	10
14	14.08.2025	м. Скальный	N 50°20.349' E 155°23.203'	20	5-7	10

С помощью подводной аппаратуры проведены фото- и видеосъемки, а также сбор донных гидробионтов.

Использованное оборудование: фотоаппарат Nikon D850 с макрообъективом Micro Nikkor 60 mm в подводном боксе Sealux, две вспышки SB-900 и камера Gopro 7 в боксах, а также два фонаря Light Motion 2000; фотоаппараты Olympus TG-7 и Olympus OM-D EM-5 Mark II в боксах Sony NEX-5N с подводными вспышками Sea&Sea YS-110a и YS-D1 и камера GoPro HERO 11.

Отснято и проанализировано более 4 тыс. фото- и видеоматериалов. Виды, которые удалось определить по отснятому и собранному у о. Парамушир материалу, внесли в таблицу 2, в которой также представлены виды, найденные на водолазных глубинах у юго-восточного побережья Камчатки, отдельно до и после массовой гибели гидробионтов в 2020 г., а также виды, найденные у о. Матуа (Средние Курилы) в 2016 и 2017 гг.

Для изучения видового состава и относительной численности рыб в прибрежной зоне Авачинского залива (Юго-Восточная Камчатка) проведено 25 контрольных учебных обловов, выполненных на глубинах 4–40 м в мае – августе 2021–2025 гг. Это позволило провести сравнение с имеющейся информацией за прошлые годы [То-

кранов, Шейко, 2009] для оценки воздействия на прибрежную ихтиофауну неблагоприятной экологической обстановки осенью 2020 г.

Для сравнения списков видов, имеющих разный объем из-за неодинаковой изученности районов, использован коэффициент перекрытия Шимкевича – Симпсона (Shimkevich – Simpson overlap coefficient), который показывает, какая доля видов меньшего списка входит в больший список, и менее чувствителен к разнице в размерах сравниваемых множеств. Коэффициент перекрытия I_{Szs} рассчитывается отношением числа общих видов для двух списков к числу общих видов в меньшем списке:

$$I_{Szs} = a / (a+c), b \geq c,$$

где a – число общих видов для двух списков,

b – число видов, имеющих только во втором списке,

c – число видов, имеющих только в первом списке [Лебедева, Криволицкий, 2002].

Для наглядного представления перекрытия видовых списков построены площадно-пропорциональные диаграммы Вена с помощью веб-приложения BioVenn [Hulsen et al., 2008].

Таблица 2. Список видов (или групп видов, обозначенных «spp.»), отмеченных нами в верхней сублиторали у Юго-Восточной Камчатки до и после 2020 г. и у островов Парамушир и Матуа Курильской гряды

Table 2. List of species (or species groups, denoted as “spp.”) recorded by us in the upper sublittoral zone off southeastern Kamchatka before and after 2020, and off the Paramushir and Matua islands of the Kuril Ridge

Вид	Тип: Класс: Отряд: Семейство	K1	K2	П	М
<i>Clathrina</i> sp.	Porifera: Calcarea: Clathrinida: Clathrinidae	+	+		-
<i>Brattgardia</i> sp.	Porifera: Calcarea: Clathrinida: Clathrinidae	-	-		+
<i>Leucopsila pacifica</i>	Porifera: Calcarea: Baeriida: Leuconiidae	-	-		+
<i>Grantia uchidai</i>	Porifera: Calcarea: Leucosolenida: Grantiidae	-	-		+++
<i>Grantia</i> sp.	Porifera: Calcarea: Leucosolenida: Grantiidae	-	-		+
<i>Leucandra</i> sp.	Porifera: Calcarea: Leucosolenida: Grantiidae	+	-		-
<i>Sycandra utriculus</i>	Porifera: Calcarea: Leucosolenida: Grantiidae	+	-		-
<i>Sycetussa nemurensis</i>	Porifera: Calcarea: Leucosolenida: Heteropiidae	+	+		-

Продолжение табл. 2

Continuation of the Table 2

Вид	Тип: Класс: Отряд: Семейство	K1	K2	П	М
<i>Leucosolenia</i> sp.	Porifera: Calcarea: Leucosolenida: Leucosoleniidae	+	+		-
<i>Sycon</i> sp.	Porifera: Calcarea: Leucosolenida: Syconidae	+	-	+	++
<i>Calcarea</i> spp.	Porifera: Calcarea	+	-	+	-
<i>Oscarella kamchatkensis</i>	Porifera: Homoscleromorpha: Homosclerophorida: Oscarellidae	+++	+	-	++
<i>Halisarca</i> sp.	Porifera: Demospongiae: Chondrillida: Halisarcidae	+++	+++		-
<i>Aplysilla</i> aff. <i>rosea</i>	Porifera: Demospongiae: Dendroceratida: Darwinellidae	-	-		++
<i>Aplysilla</i> cf. <i>sulfurea</i>	Porifera: Demospongiae: Dendroceratida: Darwinellidae	++	+		-
<i>Haliclona cinerea</i>	Porifera: Demospongiae: Haplosclerida: Chalinidae	+++	-	++	++
<i>Haliclona gracilis</i>	Porifera: Demospongiae: Haplosclerida: Chalinidae	++	-		-
<i>Haliclona porosa</i>	Porifera: Demospongiae: Haplosclerida: Chalinidae	-	-		++
<i>Tedania gurjanovae</i>	Porifera: Demospongiae: Haplosclerida: Tedaniidae	-	-		++
<i>Megaciella fragilis</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Acarnidae	-	-		+++
<i>Lissodendoryx amaknakensis</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Coelosphaeridae	+++	++		+++
<i>Lissodendoryx</i> sp.	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Coelosphaeridae	-	-		++
<i>Monanchora alaskensis</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Crambeidae	-	-		+
<i>Amphilectus digitatus</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Esperipsidae	+++	-		-
<i>Amphilectus ovulum</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Esperipsidae	-	-		++
<i>Hymedesmia</i> aff. <i>dermata</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Hymedesmiidae	-	-		++
<i>Hymedesmia</i> aff. <i>procumbens</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Hymedesmiidae	++	+		++
<i>Hymedesmia</i> sp.	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Hymedesmiidae	-	-		+
<i>Mycale lindbergi</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Mycalidae	-	-		+++
<i>Hymenancora orientalis</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Myxillidae	+++	+	++	+++
<i>Myxilla incrustans</i>	Porifera: Demospongiae: Poecilosclerida: Myxillidae	++	-		+++
<i>Polymastia laganoides</i>	Porifera: Demospongiae: Polymastiida: Polymastiidae	+	-	+	-
<i>Halichondria panicea</i>	Porifera: Demospongiae: Suberitida: Halichondriidae	+++	++	++	++
<i>Halichondria sitiens</i>	Porifera: Demospongiae: Suberitida: Halichondriidae	+	+	+	-
<i>Hymeniacidon assimilis</i>	Porifera: Demospongiae: Suberitida: Halichondriidae	+	+		-
<i>Suberites japonicus</i>	Porifera: Demospongiae: Suberitida: Suberitidae	-	-		++
<i>Suberites montiniger</i>	Porifera: Demospongiae: Suberitida: Suberitidae	+	-		+
<i>Suberites</i> sp. (желтая)	Porifera: Demospongiae: Suberitida: Suberitidae	-	+		-
<i>Paraedwardsia malakhovi</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Edwardsiidae	+	-	+	++
<i>Edwardsiidae</i> gen. sp.	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Edwardsiidae	-	-	+	-
<i>Actinostola</i> sp.	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Actinostolidae	++	-		+++
<i>Stomphia coccinea</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Actinostolidae	+++	-		+++
<i>Anthopleura orientalis</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Actiniidae	+++	+++	+	-
<i>Aulactinia stella</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Actiniidae	++	+	++	+++
<i>Aulactinia</i> sp.	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Actiniidae	-	-		+
<i>Cnidopus japonicus</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Actiniidae	+++	+	+	+++
<i>Aulactinia vladimiri</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Actiniidae/Tealidae	+	-		++
<i>Cribrinopsis albopunctata</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Tealidae	++	+	+	++
<i>Cribrinopsis olegi</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Tealidae	++	+	+++	+
<i>Cribrinopsis</i> sp.	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Tealidae	-	-	+	+
<i>Urticina grebelnyi</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Tealidae	++	+	+++	-
<i>Urticina timuri</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Tealidae	++	-	+	++
<i>Charisea saxicola</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Condylanthidae?	++	+	+++	+
<i>Condylanthidae</i> gen. sp.	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Condylanthidae?	-	-		++
<i>Paraisanthus tamarae</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Isanthidae	-	-	+++	+++
<i>Sagartiidae</i> gen. sp. 1	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Sagartiidae	-	-	+++	+++
<i>Sagartiidae</i> gen. sp. 2	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Sagartiidae	-	-		+
<i>Acricoactis brachyacontis</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Acricoactinidae	-	-	+++	+++
<i>Metridium farcimen</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Metridiidae	+++	++	+++	-
<i>Metridium senile fimbriatum</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Metridiidae	+++	+++	+++	-

Продолжение табл. 2

Continuation of the Table 2

Вид	Тип: Класс: Отряд: Семейство	K1	K2	П	М
<i>Halcampoides</i> sp.	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Halcampoididae	++	+	+	++
Halcampidae gen. sp. 1	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Halcampidae	+	-		-
Halcampidae gen. sp. 2	Cnidaria: Hexacorallia: Actiniaria: Halcampidae	-	-	+	+
<i>Sideractis</i> sp.	Cnidaria: Hexacorallia: Corallimorpharia: Sideractinidae	++	-	-	-
<i>Synarachnactis roulei</i>	Cnidaria: Hexacorallia: Ceriantharia: Synarachnactidae	+	?		
<i>Alcyonium pacificum</i>	Cnidaria: Octocorallia: Malacalcyonacea: Alcyoniidae	-	-	++	++
<i>Alcyonium</i> spp.	Cnidaria: Octocorallia: Malacalcyonacea: Alcyoniidae	-	-	+	++
<i>Gersemia rubiformis</i>	Cnidaria: Octocorallia: Malacalcyonacea: Alcyoniidae	++	+	++	-
<i>Clavularia anisimovi</i>	Cnidaria: Octocorallia: Malacalcyonacea: Clavulariidae	-	-	++	+++
<i>Elenanthus violaceus</i>	Cnidaria: Octocorallia: Malacalcyonacea: <i>incertae sedis</i>	-	-	++	+++
Octocorallia gen. sp.	Cnidaria: Octocorallia	-	-	+	-
Hydrozoa spp.	Cnidaria: Hydrozoa	+++	+	+++	+++
<i>Candelabrum phrygium</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Candelabridae	+			+
<i>Monocoryne bracteata</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Candelabridae	+		+	
<i>Monocoryne</i> sp.	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Candelabridae	-	-	+	++
<i>Corymorpha groenlandica</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Corymorphidae	-	-		+++
<i>Corymorpha</i> sp.	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Corymorphidae	-	-	++	++
<i>Sarsia</i> sp.	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Corynidae	+		+	++
<i>Eudendrium</i> cf. <i>annulatum</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Eudendriidae	+			
<i>Eudendrium capillare</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Eudendriidae	-	-		+++
<i>Eudendrium vaginatum</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Eudendriidae	+			
<i>Hydractinia</i> sp.	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Hydractiniidae	-	-		+++
<i>Catablema multicirratum</i> медуза	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Pandeidae	+	+	+	
<i>Similiclava nivea</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Similiclavidae	-	-		+++
Stylasteridae sp.	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Stylasteridae	-	-	+	-
Tubulariidae gen. sp.	Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Tubulariidae	+	+	+	+
<i>Campanularia volubilis</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Campanulariidae	+			
Campanulariidae gen. spp.	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Campanulariidae	+			
<i>Obelia longissima</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Campanulariidae	+			
<i>Orthopyxis integra</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Campanulariidae	+			
<i>Rhizocaulus verticillatus</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Campanulariidae	+			
<i>Tulpa crenata</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Campanulariidae	+			
<i>Calycella syringa</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Campanulinidae	+			
<i>Abietinaria abietina</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+	++		
<i>Abietinaria annulata</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+++	+	+++	+++
<i>Abietinaria flicula</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Abietinaria gigantea</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Abietinaria inconstans</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Abietinaria</i> cf. <i>thuiarioides</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Abietinaria turgida</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Abietinaria</i> cf. <i>variabilis</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Sertularella albida</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Sertularella gigantea</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Sertularia dalli</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Symplectoscyphus</i> <i>tricuspidatus</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Symplectoscyphus</i> sp.	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Sertulariidae	+			
<i>Halecium scutum</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Haleciidae	+			
<i>Halecium speciosum</i>	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Haleciidae	+			
<i>Halecium</i> sp.	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Haleciidae	+			
<i>Aequorea victoria</i> медуза	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Aequoreidae	+	+	+	+
<i>Eutonina indicans</i> медуза	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Eirenidae	++	+	+	
<i>Staurostoma mertensii</i> медуза	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Laodiceidae	+	+	+	

Продолжение табл. 2

Continuation of the Table 2

Вид	Тип: Класс: Отряд: Семейство	K1	K2	П	М
<i>Tiaropsis multicirrata</i> медуза	Cnidaria: Hydrozoa: Leptothecata: Tiaropsidae	+++	+++	+	
<i>Haliclystus stejnegeri</i>	Cnidaria: Staurozoa: Stauromedusae: Haliclystidae	++	+++		
<i>Haliclystus</i> sp.	Cnidaria: Staurozoa: Stauromedusae: Haliclystidae	-	-		+
<i>Manania distincta</i>	Cnidaria: Staurozoa: Stauromedusae: Haliclystidae	-	-		+
<i>Cyanea capillata</i>	Cnidaria: Scyphozoa: Semaestomeae: Cyaneidae	+	-	+	
<i>Chrysaora melanaster</i>	Cnidaria: Scyphozoa: Semaestomeae: Pelagiidae		+	+++	+++
<i>Phacellophora camtschatica</i>	Cnidaria: Scyphozoa: Semaestomeae: Phacellophoridae	-	-	++	-
<i>Aurelia labiata</i>	Cnidaria: Scyphozoa: Semaestomeae: Ulmaridae	+++	++	++	
<i>Bolinopsis infundibulum</i>	Ctenophora: Tentaculata: Lobata: Bolinopsidae	++	+	+	
<i>Mertensia ovum</i>	Ctenophora: Tentaculata: Cydippida: Mertensiidae		+		
<i>Beroe cucumis</i>	Ctenophora: Nuda: Beroidea: Beroidea	++			
<i>Hiatella arctica</i>	Mollusca: Bivalvia: Adapedonta: Hiatellidae	+++	++	++	++
<i>Modiolus modiolus</i>	Mollusca: Bivalvia: Mytilida: Mytilidae	++	+		+
<i>Mytilus trossulus</i>	Mollusca: Bivalvia: Mytilida: Mytilidae	+++	++	+++	+
<i>Vilasina seminuda</i>	Mollusca: Bivalvia: Mytilida: Mytilidae				+
<i>Vilasina vernicosa</i>	Mollusca: Bivalvia: Mytilida: Mytilidae				+
<i>Pododesmus macrochisma</i>	Mollusca: Bivalvia: Pectinida: Anomiidae	+	-	++	+
<i>Cryptochiton stelleri</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida: Acanthochitonidae	++	+	++	++
<i>Amicula amiculata</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida: Mopaliidae	+	-		-
<i>Placiphorella borealis</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida: Mopaliidae	+	-		+
<i>Schizoplax brandtii</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida: Schizoplacidae			++	
<i>Boreochiton beringensis</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida: Tonicellidae	+++	+	+	+
<i>Boreochiton</i> sp.	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida: Tonicellidae	-	-		+
<i>Micichiton grandispina</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida: Tonicellidae			++	
<i>Nanichiton deplanatus</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida: Tonicellidae			++	
<i>Tonicella submarmorea</i>	Mollusca: Polyplacophora: Chitonida: Tonicellidae	+	+	++	++
<i>Lepeta concentrica</i>	Mollusca: Gastropoda: Nacellida: Lepetidae			++	
<i>Lottia scutum</i>	Mollusca: Gastropoda: Nacellida: Lottiidae	+++	+	++	-
<i>Testudinalia</i> sp.	Mollusca: Gastropoda: Nacellida: Lottiidae			++	
<i>Margarites helycinus</i>	Mollusca: Gastropoda: Trochida: Margaritidae	+++	-	+++	+++
<i>Ariadnaria</i> sp.	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha: Capulidae			+	
<i>Fusitriton oregonensis</i>	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha: Cymatiidae	+++	+	++	-
<i>Falsicingula</i> sp.	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha: Falsicingulidae			+	
<i>Littorina sitkana</i>	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha: Littorinidae	+++	+		+++
<i>Cryptonatica janthostoma</i>	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha: Naticidae	++	+	+	-
<i>Marsenina uchidai</i>	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha: Velutinidae				+
<i>Onchidiopsis</i> sp.	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha: Velutinidae				+
<i>Velutina velutina</i>	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha: Velutinidae				+
<i>Velutinidae</i> spp.	Mollusca: Gastropoda: Littorinimorpha: Velutinidae	++	+	+	
<i>Corneobuccinum lepidum</i>	Mollusca: Gastropoda: Neogastropoda: Buccinidae			+	+
<i>Volutharpa ampullacea</i>	Mollusca: Gastropoda: Neogastropoda: Buccinidae			+	+
<i>Volutopsius stejnegeri</i>	Mollusca: Gastropoda: Neogastropoda: Buccinidae				+
<i>Astyris amiantis</i>	Mollusca: Gastropoda: Neogastropoda: Columbelloidea			++	
<i>Astyris kobai</i>	Mollusca: Gastropoda: Neogastropoda: Columbelloidea				+
<i>Boreotrophon truncatus</i>	Mollusca: Gastropoda: Neogastropoda: Muricidae			+	+
<i>Nucella freycineti</i>	Mollusca: Gastropoda: Neogastropoda: Muricidae				+
<i>Nucella lima</i>	Mollusca: Gastropoda: Neogastropoda: Muricidae	+++	++	+++	
<i>Neogastropoda</i> spp.	Mollusca: Gastropoda	+++	-		
<i>Boreoberthella californica</i>	Mollusca: Gastropoda: Pleurobranchida: Pleurobranchidae	++	-		-
<i>Aeolidia papillosa</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Aeolidiidae	++	++	+	+
<i>Apata pricei komandorica</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Apataidae	++	++	+	++
<i>Borealea sanamyanae</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Coryphellidae	-	-		+
<i>Himatina trophina</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Coryphellidae	++	++	++	++

Продолжение табл. 2

Continuation of the Table 2

Вид	Тип: Класс: Отряд: Семейство	K1	K2	П	М
<i>Occidenthella athadona</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Coryphellidae	++	++	+	++
<i>Cuthonella ainu</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Cuthonellidae	-	-		++
<i>Cuthonella denbei</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Cuthonellidae	-	-		+
<i>Cuthonella georgstelleri</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Cuthonellidae	-	-		+
<i>Cuthonella sandrae</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Cuthonellidae	-	-		+
<i>Cuthonella vasentsovichi</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Cuthonellidae	-	-		+
cf. Cuthonellidae spp.	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia			+	
<i>Dendronotus dalli</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Dendronotidae	++	+	+	-
<i>Dendronotus kalikal</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Dendronotidae	+	-	+	+
<i>Dendronotus kamchaticus</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Dendronotidae	+	-	+	-
<i>Dendronotus robilliardi</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Dendronotidae	++	+++	+	-
<i>Dendronotus zakuro</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Dendronotidae	+	+		-
<i>Dirona pellucida</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Dironidae	++	+		-
<i>Eubranchus rupium</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Eubranchidae	+	-		-
<i>Tritonia tetraquetra</i>	Mollusca: Gastropoda: Nudibranchia: Tritoniidae	++	+	++	-
<i>Acanthodoris pilosa</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Acanthodorididae	++	-	+	-
<i>Akiodoris lutescens</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Akiodorididae	+	-		-
<i>Akiodoris romani</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Akiodorididae	-	-		+
<i>Cadlina kamchatica</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Cadlinidae	++	-	+	-
<i>Cadlina paninae</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Cadlinidae	-	-		+
<i>Diaulula boreopacifica</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Discodorididae	++	-	+	-
<i>Adalaria olgae</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Onchidorididae	+	-		-
<i>Arctadalaria slavi</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Onchidorididae	++	+	+	-
<i>Onchidoris bilamellata</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Onchidorididae	++	+	+	-
<i>Onchidoris expectata</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Onchidorididae	+			+
<i>Onchidoris macropompa</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Onchidorididae	++	+	+	-
<i>Onchidoris muricata</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Onchidorididae	+	+		-
<i>Onchimiria cavifera</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Onchidorididae	++	-		+
<i>Colga minichevi</i>	Mollusca: Gastropoda: Doridida: Polyceridae	+++	-	++	+
<i>Enteroctopus dofleini</i>	Mollusca: Cephalopoda: Octopoda: Enteroctopodidae	+	+	++	+
<i>Amphiporus angulatus</i>	Nemertea: Hoplonemertea: Monostilifera: Amphiporidae	++			-
<i>Cerebratulus signatus</i>	Nemertea: Pilidiophora: Heteronemertea: Lineidae	+			-
Nemertea spp.	Nemertea	+			++
<i>Schizobranhia insignis</i>	Annelida: Polychaeta: Sabellida: Sabellidae	++	++	++	++
<i>Potamilla</i> sp.	Annelida: Polychaeta: Sabellida: Sabellidae	+	+	+	++
<i>Myxicola infundibulum</i>	Annelida: Polychaeta: Sabellida: Sabellidae	++	+	++	++
<i>Crucigera zygophora</i>	Annelida: Polychaeta: Sabellida: Serpulidae	++	+++	++	-
Spirorbinae genes.	Annelida: Polychaeta: Sabellida: Serpulidae	+++	+++	+++	+
<i>Arctonoe vittata</i>	Annelida: Polychaeta: Phyllodocida: Polynoidae	++	+	+++	
<i>Harmothoe imbricata</i>	Annelida: Polychaeta: Phyllodocida: Polynoidae	+		+	
<i>Hermilepidonotus robustus</i>	Annelida: Polychaeta: Phyllodocida: Polynoidae	+	-	+	
Phyllodocidae spp.	Annelida: Polychaeta: Phyllodocida	+++	+	+	+++
<i>Bonelliopsis alaskana</i>	Annelida: Polychaeta: Echiuroidea: Bonelliidae	-	-		+++
Piscicolidae sp.	Annelida: Clitellata: Piscicolidae	+++		+	-
<i>Phascolosoma agassizii</i>	Annelida: Sipuncula: Phascolosomatidae	+++			-
<i>Phoronis ijimai</i>	Phoronida: Phoronidae	++	+++	++	-
Terebratulida spp.	Brachiopoda: Rhynchonellata: Terebratulida	++	+	+	+
<i>Tricellaria ternata</i>	Bryozoa: Gymnolaemata: Cheilostomatida: Candidae				++
<i>Cheilopora praelucida</i>	Bryozoa: Gymnolaemata: Cheilostomatida: Cheiloporinidae	++	-		++
<i>Carbarea carbarea</i>	Bryozoa: Gymnolaemata: Cheilostomatida: Flustridae	++	+		+
<i>Microporina articulata</i>	Bryozoa: Gymnolaemata: Cheilostomatida: Microporidae	-	-	+	+++
<i>Myriapora orientalis</i>	Bryozoa: Gymnolaemata: Cheilostomatida: Myriaporidae	++	+	+	-
<i>Alcyonidioides mytili</i>	Bryozoa: Gymnolaemata: Ctenostomatida: Alcyonidiidae				++
<i>Alcyonidium</i> sp.	Bryozoa: Gymnolaemata: Ctenostomatida: Alcyonidiidae				++

Продолжение табл. 2

Continuation of the Table 2

Вид	Тип: Класс: Отряд: Семейство	K1	K2	П	М
<i>Flustrellidra sp.</i>	Bryozoa: Gymnolaemata: Ctenostomatida: Flustrellidridae	-	-		+
Bryozoa spp.	Bryozoa	+++	++	++	+++
<i>Nymphon spp.</i>	Arthropoda: Ручногониды: Пантопода: Nymphonidae	++		++	+++
<i>Balanus crenatus</i>	Arthropoda: Thecostraca: Balanomorpha: Balanidae	++	+++	+	
<i>Balanus rostratus</i>	Arthropoda: Thecostraca: Balanomorpha: Balanidae	++	+	+	
<i>Balanus sp.</i>	Arthropoda: Thecostraca: Balanomorpha: Balanidae			+++	+
<i>Solidobalanus hesperius</i>	Arthropoda: Thecostraca: Balanomorpha: Balanidae	+	+		
<i>Lepas beringiana</i>	Arthropoda: Thecostraca: Scalpellomorpha: Lepadidae	-	-		+
<i>Caprella sp.</i>	Arthropoda: Malacostraca: Amphipoda: Caprellidae	+++	+++	+++	++
Amphipoda spp.	Arthropoda: Malacostraca	+++	+++	+++	++
Isopoda spp.	Arthropoda: Malacostraca	+++	+++	++	+
<i>Pandalus goniurus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Pandalidae	++	-	+	-
<i>Eualus fabricii</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Thoridae	++	-	++	-
<i>Heptacarpus camtschaticus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Thoridae	+	-		-
<i>Lebbeus grandimanus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Thoridae	++	-	++	++
<i>Lebbeus groenlandicus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Thoridae	++	?	+	-
<i>Lebbeus polaris</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Thoridae	++	-		-
<i>Spirontocaris ochotensis</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Thoridae	+++	-		+
<i>Telmessus cheiragonus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Cheiragonidae	++	+		-
<i>Chionoecetes opilio</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Oregoniida	++	++		-
<i>Oregonia gracilis</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Oregoniida	+++	++	++	-
<i>Dermaturus mandtii</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Lithodidae	++	++	++	-
<i>Hapalogaster grebnitzkii</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Lithodidae	++	++	+	-
<i>Paralitodes brevipes</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Lithodidae	++	+	+	-
<i>Paralitodes camtschatica</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Lithodidae	++	+		-
<i>Elassochirus gilli</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Paguridae	+++	+++	+++	-
<i>Pagurus middendorffi</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Paguridae	+++	+++	++	-
<i>Pagurus trigonoherus</i>	Arthropoda: Malacostraca: Decapoda: Paguridae	+++	+++	+	-
<i>Asterias rathbuni</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	+++	++		-
<i>Evasterias echinosoma</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	++	+	+	-
<i>Evasterias retifera</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	+++	+	+	-
<i>Evasterias sp.</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	-	-	+	-
<i>Leptasterias alaskensis asiatica</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	+++	+		++
<i>Leptasterias arctica</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	+++	-	+	-
<i>Leptasterias camtschatica</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	+	+	+	++
<i>Leptasterias leptodoma</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	-	-	+	+
<i>Leptasterias spp.</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	-	-	+	+++
<i>Lethasterias nanimensis chelifera</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	++	+	+	-
<i>Stephanasterias albula</i>	Echinodermata: Asteroidea: Forcipulatida: Asteriidae	++	-		-
<i>Henricia lineata</i>	Echinodermata: Asteroidea: Spinulosida: Echinasteridae	++	-	+	++
<i>Henricia tumida</i>	Echinodermata: Asteroidea: Spinulosida: Echinasteridae	++	+	+	++
<i>Ceramaster arcticus</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida: Goniasteridae	+		+	+
<i>Pteraster octaster</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida: Pterasteridae	++	-		++
<i>Pteraster tessellatus</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida: Pterasteridae	++	-		-
<i>Crossaster papposus</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida: Solasteridae	++	-	+	-
<i>Solaster endeca</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida: Solasteridae	++	+	+	-
<i>Solaster sp.</i>	Echinodermata: Asteroidea: Velatida: Solasteridae	+	-	+	-
<i>Ophiopholis aculeata</i>	Echinodermata: Ophiuroidea: Amphilepidida: Ophiopholidae	+++	+	+++	+++
<i>Gorgonocephalus eucnemis</i>	Echinodermata: Ophiuroidea: Euryalida: Gorgonocephalidae	+	-		-

Продолжение табл. 2

Continuation of the Table 2

Вид	Тип: Класс: Отряд: Семейство	K1	K2	П	М
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	Echinodermata: Echinoidea: Camarodonta: Strongylocentrotidae	++	++		-
<i>Strongylocentrotus pallidus</i>	Echinodermata: Echinoidea: Camarodonta: Strongylocentrotidae	++	+	+	++
<i>Strongylocentrotus polyacanthus</i>	Echinodermata: Echinoidea: Camarodonta: Strongylocentrotidae	+++	+++	+++	++
<i>Echinarachnius parma</i>	Echinodermata: Echinoidea: Echinolampadacea: Echinarachniidae	+++	+		-
<i>Cucumaria djakonovi</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida: Cucumariidae	+++	+	+	-
<i>Cucumaria pusilla</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida: Cucumariidae	-	-		++
<i>Cucumaria vegae</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida: Cucumariidae	+++	+	+	+++
<i>Echinopsolus</i> sp.	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida: Cucumariidae	-	-		+
<i>Eupentacta fraudatrix</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida: Sclerodactylidae	+++	+	+	-
<i>Psolidium</i> sp.	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida: Psolidiae	-	-		+
<i>Psolus phantapus</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida: Psolidiae	++	++		-
<i>Psolus</i> sp.	Echinodermata: Holothuroidea: Dendrochirotida: Psolidiae	++	+	+	-
<i>Chiridota</i> sp.	Echinodermata: Holothuroidea: Apodida: Chiridotidae	+	-		-
<i>Taeniogyrus inexpectatus</i>	Echinodermata: Holothuroidea: Apodida: Chiridotidae	-	-		+
<i>Molgula griffithsii</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia: Molgulidae	+	-		-
<i>Molgula retortiformis</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia: Molgulidae	++	-		-
<i>Halocynthia aurantium</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia: Pyuridae	++	-	+	-
<i>Botryllus flavus</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia: Styelidae	+++	-	++	++
<i>Cnemidocarpa joannae</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia: Styelidae	+	-	+	-
<i>Dendrodoa aggregata</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia: Styelidae	+++	+	+++	++
<i>Styela clavata</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia: Styelidae	++	+	+	++
<i>Styela coriacea</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia: Styelidae	++	-		-
<i>Styela rustica</i>	Tunicata: Ascidiacea: Stolidobranchia: Styelidae	+	-		-
<i>Ascidia callosa</i>	Tunicata: Ascidiacea: Phlebobranchia: Ascidiidae	+	-		+
<i>Placentella crystallina</i>	Tunicata: Ascidiacea: Phlebobranchia: Placentelidae	++	++	+	+
Placentelidae gen. sp.	Tunicata: Ascidiacea: Phlebobranchia: Placentelidae	-	-	+	-
<i>Aplidiopsis pannosum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	++	++		++
<i>Aplidium dissectum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	+++	++	+	-
<i>Aplidium eborinum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	+++	+		+
<i>Aplidium macreron</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	++	-		+++
<i>Aplidium matua</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	-	-		++
<i>Aplidium oculatum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	++	+	+	-
<i>Aplidium spitzbergense</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	+++	+	+	++
<i>Aplidium</i> sp.	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	-	-	+	+
<i>Synoicum jordani</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	++	+		-
<i>Synoicum polyzoinum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	-	-	+	++
<i>Synoicum turgens</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae	++	+		-
Polyclinidae gen. sp.	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Polyclinidae			+	
<i>Holozoa alaidi</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Holozoidae	-	-		++
<i>Holozoa matua</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Holozoidae	-	-	+	++
<i>Holozoa okhotensis</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Holozoidae	+	+		-
<i>Holozoa</i> sp.	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Holozoidae	-	-	+	+
<i>Didemnum caudiculatum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Didemnidae	-	-		++
<i>Didemnum gemmiparum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Didemnidae	+++	+	++	-
<i>Didemnum papillatum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Didemnidae	+	-		-
<i>Didemnum pseudobiglans</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Didemnidae	++	-		-

Продолжение табл. 2

Continuation of the Table 2

Вид	Тип: Класс: Отряд: Семейство	K1	K2	П	М
<i>Didemnum trispirale</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Didemnidae	-	-		+
<i>Didemnum sp.</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Didemnidae	++	+		-
<i>Diplosoma sp.</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Didemnidae	++	-		-
<i>Polysyncraton asperum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Didemnidae	-	-	+	+++
<i>Polysyncraton crassum</i>	Tunicata: Ascidiacea: Aplousobranchia: Didemnidae	-	-		++
<i>Gadus chalcogrammus</i>	Chordata: Teleostei: Gadiformes: Gadidae	+	+	+++	-
<i>Gadus macrocephalus</i>	Chordata: Teleostei: Gadiformes: Gadidae	+	+	-	-
<i>Sebastes glaucus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Sebastidae	++	++	++	-
<i>Hexagrammos lagocephalus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Hexagrammidae	++	++	++	++
<i>Hexagrammos stelleri</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Hexagrammidae	++	++	-	-
<i>Pleurogrammus monopterygius</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Hexagrammidae	++	+	-	-
<i>Enophrys diceraus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	++	+	+	-
<i>Hemilepidotus gilberti</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	++	+	++	-
<i>Hemilepidotus jordani</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	+	-	-	-
<i>Hemilepidotus papilio</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	-	-	-	+
<i>Icelus sp.</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	-	-	+	-
<i>Microcottus matuaensis</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	-	-	-	+
<i>Microcottus sellaris</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	++	++	+	-
<i>Myoxocephalus brandtii</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	+*	-	+	-
<i>Myoxocephalus niger</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	+	-	-	++
<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	++	+	++	-
<i>Myoxocephalus stelleri</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	++	+	-	++
<i>Porocottus camtschaticus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	++	-	-	++
<i>Porocottus mednius</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	+*	-	-	+
<i>Triglops jordani</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cottidae	+*	-	+	-
<i>Blepsias bilobus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Hemitripterae	+	-	-	-
<i>Blepsias cirrhosus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Hemitripterae	+	-	-	-
<i>Hemitripterus villosus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Hemitripterae	++	++	++	-
<i>Eurymen gyrinus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Psychrolutidae	++*	-	+	-
<i>Aptocyclus ventricosus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cyclopteridae	++	++	++	-
<i>Eumicrotremus asperimus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cyclopteridae	+	-	-	-
<i>Eumicrotremus sp. (juv)</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Cyclopteridae	+	-	+	-
<i>Liparis callyodon</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Liparidae	++	++	-	-
<i>Liparis sp.</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Liparidae	+	+	+	+
<i>Bathymaster signatus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Bathymasteridae	+	+	+	-
<i>Bathymaster caeruleofasciatus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Bathymasteridae	-	+	-	-
<i>Commandorella popovi</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Zoarcidae	+*	-	-	+
<i>Alectrias alectrolophus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Stichaeidae	+++	+++	-	-
<i>Alectridium aurantiacum</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Stichaeidae	-	-	-	+
<i>Askoldia variegata</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Stichaeidae	++	-	+	-
<i>Gymnoclinus cristulatus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Stichaeidae	+*	+	-	-
<i>Opisthocentrus ocellatus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Stichaeidae	+*	+	-	-
<i>Lumpenus sagitta</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Lumpenidae	++	++	-	-
<i>Pholis fasciata</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Pholidae	+	-	++	-
<i>Pholis picta</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Pholidae	-	-	-	+
<i>Rhodymenichthys dolichogaster</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Pholidae	++	++	-	++
<i>Anarhichas orientalis</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Anarhichadidae	+*	-	+	-
<i>Ammodytes hexapterus</i>	Chordata: Teleostei: Perciformes: Ammodytidae	++	-	-	-
<i>Hippoglossus stenolepis</i>	Chordata: Teleostei: Pleuronectiformes: Pleuronectidae	++	++	-	-
<i>Lepidopsetta polyxystra</i>	Chordata: Teleostei: Pleuronectiformes: Pleuronectidae	++	++	++	-

Окончание табл. 2

The End of the Table 2

Вид	Тип: Класс: Отряд: Семейство	K1	K2	П	М
<i>Limanda aspera</i>	Chordata: Teleostei: Pleuronectiformes: Pleuronectidae	++	++	-	-
<i>Platichthys stellatus</i>	Chordata: Teleostei: Pleuronectiformes: Pleuronectidae	++	+	-	-
Всего: 366 видов	13 типов: 31 класс: 67 отрядов: 160 семейств	262	149	181	172

Обозначения: K1 – Юго-Восточная Камчатка до 2020 г.; K2 – Юго-Восточная Камчатка 2021–2025 гг.; П – Парамушир 2025 г.; М – Матуа 2016–2017 гг. Обилие (встречаемость на глубинах от 0 до 30 м): «+» – редок; «++» – обычен; «+++» – многочислен; «?» – места, в которых ранее был зарегистрирован данный вид, после 2020 г. не обследовались; “-” – вид не обнаружен; ячейка без обозначений – нет достоверных данных; звездочкой * обозначены данные, известные по литературе; серым отмечены строки с видами, найденными в водах о. Парамушир в 2025 г.

Designations: K1 – Southeastern Kamchatka until 2020; K2 – Southeastern Kamchatka 2021–2025; П – Paramushir 2025; М – Matua 2016–2017. Abundance (occurrence at depths from 0 to 30 m): “+” – rare; “++” – common; “+++” – numerous; “?” – the places where this species was previously registered, were not surveyed after 2020; “-” – no species found; cell without designation – no reliable data; asterisk * indicates data known from the literature; lines with species found in the waters of Paramushira Island in 2025 are marked in gray.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количественная оценка сходства видовых списков

Основой для сравнения послужил общий аннотированный список из 366 видов донных беспозвоночных и рыб для трех исследованных районов (табл. 2), составленный с учетом литературных данных [Кусакин, 1989; Федоров, 2000; Шейко, Федоров, 2000; Мартынов и др., 2009, 2015а, 2015б; Санамян К., Санамян Н., 2009, 2020; Санамян Н., Санамян К., 2009; Токранов, Шейко, 2009, 2015; Шейко, 2009; Мартынов, Коршунова, 2011; Парин и др., 2014; Панина и др., 2017; Санамян и др., 2017, 2023; Токранов, Мурашева, 2018, 2020; Токранов, 2019, 2022, 2024а; Железняк, 2023; Korshunova et al., 2020] и дополненный результатами настоящей работы. Следует отметить, что список для о. Парамушир является неполным, т. к. остается еще много несобранных и неопределенных видов губок, гидроидов, мшанок и других животных, видовую принадлежность которых трудно определить по фотографиям.

Для сравнения видового состава районов с разной степенью изученности был

применен коэффициент перекрытия Шимкевича – Симпсона. Матрица попарных значений этого коэффициента, общего числа видов и числа общих видов представлена в таблице 3.

Анализ сходства фаун

Близкое к максимальному сходство в 98% видового состава донной фауны у юго-восточного побережья Камчатки до и после ВЦВ 2020 г. свидетельствует о хорошей изученности этого района. Высокое сходство в 78% фауны Камчатки до 2020 г. и Парамушира говорит о том, что фауна о. Парамушир в значительной степени являлась частью фауны Камчатки, что объясняется близостью острова к матерiku и возможностями для миграции видов (рис. 2, а). Сравнивая фауну Парамушира с камчатской после ВЦВ 2020 г., скорее можно сказать, что теперь фауна Камчатки на 68% является частью фауны о. Парамушир (рис. 2, б, в). Многие виды, ставшие редкими или практически исчезнувшие у побережья Камчатки после ВЦВ 2020 г., обильны в водах Парамушира: например, многие губки, актинии *Paraedwardsia malakhovi* и представители семейства Tealidae

(рис. 3, в), крупные моллюски *Cryptochiton stelleri* и *Tritonia tetraquetra*, ряд морских звезд и крупные голотурии. Это позволяет рассматривать охотоморскую акваторию Парамушира в качестве убежища (рефугиума) для камчатской фауны и потенциального источника для ее восстановления на материке. В то же время восстановительные сукцессионные процессы, ведущие

к формированию зрелых сообществ фильтраторов и седиментаторов (губок, книдарий, асцидий, двустворчатых моллюсков), наблюдавшихся нами у побережья Юго-Восточной Камчатки до замора 2020 г., протекают крайне медленно, десятилетиями [Ошурков, 2000], что определяет долгосрочный характер потенциального восстановления прикамчатской донной фауны.

Таблица 3. Матрица сходства видового состава макрофауны. По диагонали – общее число видов (выделено жирным шрифтом), ниже диагонали – число общих видов, выше диагонали – коэффициент перекрытия Шимкевича – Симпсона (%)

Table 3. Similarity matrix of macrofauna species composition. Diagonal – total number of species (bold); below diagonal – number of shared species; above diagonal – Shimkevich – Simpson overlap coefficient (%)

	K1	K2	П	М
K1	262	98%	78%	51%
K2	146	149	68%	38%
П	140	102	181	48%
М	88	56	82	172

Коэффициент перекрытия для трех территорий: K1, П и М (58 общих видов) – 34%; K2, П и М (45 общих видов) – 30%; K1, K2 и П (100 общих видов) – 67%; K1, K2 и М (55 общих видов) – 37%.

Обозначения: K1 – Юго-Восточная Камчатка до 2020 г.; K2 – Юго-Восточная Камчатка 2021–2025 гг.; П – Парамушир 2025 г.; М – Матуа 2016–2017 гг.

The overlap coefficient for three territories: K1, П and М (58 common species) – 34%; K2, П and М (45 common species) – 30%; K1, K2 and П (100 common species) – 67%; K1, K2 and М (55 common species) – 37%.

Designations: K1 – Southeastern Kamchatka until 2020; K2 – Southeastern Kamchatka 2021-2025; П – Paramushir 2025; М – Matua 2016-2017.

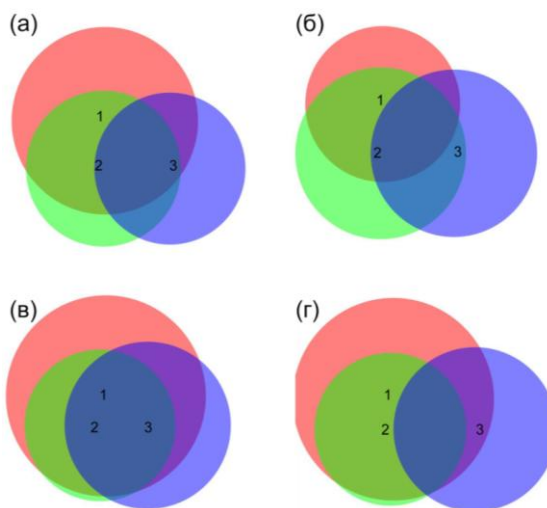


Рис. 2. Диаграммы Венна, показывающие перекрытия видовых списков: а – Камчатка до 2020 г. (1 – красный), Парамушир (2 – зеленый), Матуа (3 – синий); б – Камчатка 2021–2025 гг. (1 – красный), Парамушир (2 – зеленый), Матуа (3 – синий); в – Камчатка до 2020 г. (1 – красный), Камчатка 2021–2025 гг. (2 – зеленый), Парамушир (3 – синий); г – Камчатка до 2020 г. (1 – красный), Камчатка 2021–2025 гг. (2 – зеленый), Матуа (3 – синий)

Fig. 2. Venn diagrams showing overlaps in species lists: а – Kamchatka before 2020 (1 – red), Paramushir Island (2 – green), Matua Island (3 – blue); б – Kamchatka 2021–2025 (1 – red), Paramushir Island (2 – green), Matua Island (3 – blue); в – Kamchatka before 2020 (1 – red), Kamchatka 2021–2025 (2 – green), Paramushir Island (3 – blue); г – Kamchatka before 2020 (1 – red), Kamchatka 2021–2025 (2 – green), Matua Island (3 – blue)

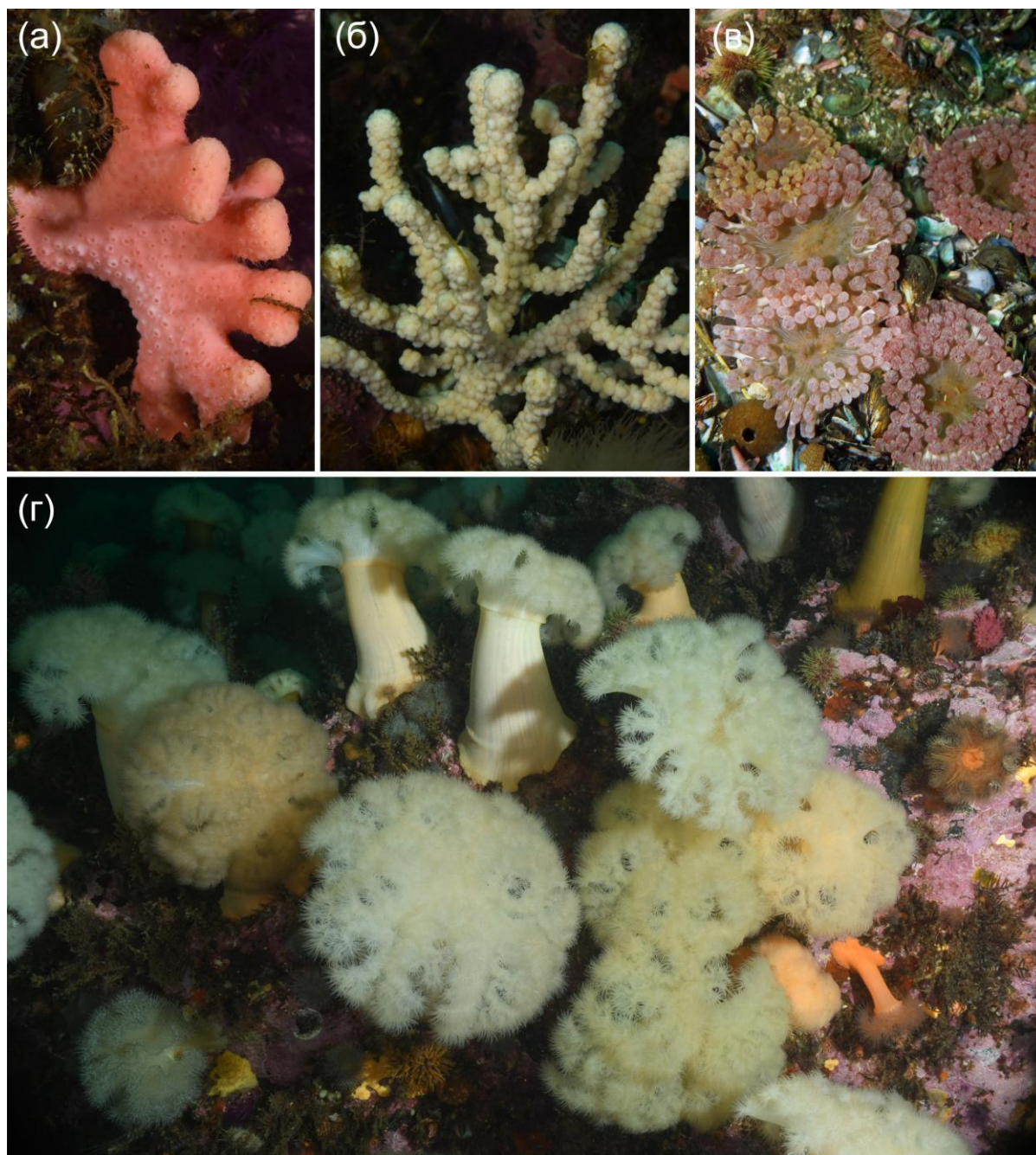


Рис. 3. Донные сообщества Парамушира: а – гидрокоралл Stylasteridae; б – горгонария; в – скопление актиний *Cribrinopsis olegi* (сем. Tealidae); г – массовый вид актиний *Metridium farcimen* (сем. Metridiidae). Автор фото – О.В. Савинкин

Fig. 3. Benthic communities of Paramushir Island: а – a hydrocorall (Stylasteridae); б – a gorgonian; в – aggregation of the sea anemone *Cribrinopsis olegi* (Fam. Tealidae); г – the abundant sea anemone species *Metridium farcimen* (Fam. Metridiidae). Photo by O.V. Savinkin

Остров Матуа демонстрирует наибольшую степень фаунистической обособленности в рамках исследования (см. рис. 2, а, б, г). Его сходство с Камчаткой снизилось с 51%, которое было до 2020 г., до 38%

после ВЦВ 2020 г., что отражает последствия обеднения материковой фауны. Такое же невысокое сходство с Парамуширом (48%) подчеркивает качественное своеобразие матуанских сообществ. Низкий про-

цент общего ядра для трех территорий (30–34%) прямо указывает на уникальность фауны Матуа, что согласуется с историческим выделением Средних Курил в особый фаунистический район [Кусакин и др., 1997]. Формированию своеобразных сообществ в акватории средних Курильских о-вов способствуют удаленность от материка и материковых стоков, иной гидрологический режим с сильными течениями, меньшие колебания температуры и чистота воды [Санамян, Санамян, 2020; Санамян и др., 2023].

Влияние состояния бентосных сообществ на численность донных рыб

Донные рыбы (рис. 4), наиболее типичными представителями которых являются рогатковые, семейство Cottidae (бычки), и близкий к ним представитель семейства Hemitripterae (волосатый бычок *Hemitripterus villosus*), а также зайцеголовые терпуги *Hexagrammos lagocephalus* встречались у Парамушира в каждом погружении. Подобная ситуация была и у побережья Юго-Восточной Камчатки до осени 2020 г. – многих бычков, таких как многоиглый *Myoxocephalus polyacanthocephalus* и мраморный *M. stelleri* керчаки, пестрый *Hemilepidotus gilberti* и белобрюхий *H. jordani* получешуйники и двурогий бычок *Enophrus diceraus*, можно было встретить почти в каждом погружении на глубинах до 30 м. Однако после ВЦВ встречи этих рыб стали очень редкими. Результаты контрольных удебных обловов в 2021–2025 гг. в прибрежье Авачинского залива (юго-восток Камчатки) показали, что, несмотря на то, что видовой состав донных рыб после ВЦВ остался практически тем же [Токранов, 2022, 2023, 2025], относительная численность этих рыб здесь существенно изменилась. Если в предше-

ствующие ВЦВ годы (рис. 5) общая доля рогатковых в удебных уловах в июне – августе варьировала в пределах от 48,6 до 68,4% от числа всех пойманных рыб, то в начале октября 2020 г. сразу после ВЦВ она резко сократилась до 16,4%. В летние месяцы 2021 г. относительная численность рогатковых в прибрежье Авачинского залива на глубинах менее 20 м оставалась примерно на том же уровне (17,6%), но в 2022 г. она снизилась до 2,5% от числа пойманных рыб (рис. 5); хотя ни осенью 2020 г., ни в последующем (2021–2025 гг.) массовой гибели рогатковых нигде в прибрежье не зарегистрировано.

Выполненные в летние месяцы 2023 г. водолазные наблюдения в Авачинском заливе показали, что принципиальных изменений в видовом составе и численности донных беспозвоночных в прибрежной зоне не произошло, а потому доля рогатковых рыб в удебных уловах оставалась по-прежнему довольно низкой (всего 5,7% от числа пойманных рыб). Однако в июне – июле 2024 г., впервые после ВЦВ, в прибрежной зоне Авачинского залива отмечено появление губок и некоторых других ценозообразующих донных беспозвоночных, что сразу вызвало увеличение здесь относительной численности рогатковых рыб до 15,0% [Токранов, 2025]. В 2025 г. их доля в уловах еще более возросла, достигнув в летний период свыше 30% (рис. 5).

Анализ результатов водолазных наблюдений, сопровождавшихся подводной фото- и видеосъемкой, позволяет дать следующее объяснение динамике относительной численности рогатковых рыб семейства Cottidae (а также одного из видов близкого к ним семейства Hemitripterae – волосатого бычка *Hemitripterus villosus*) в прибрежье Авачинского залива в 2020–2025 гг.

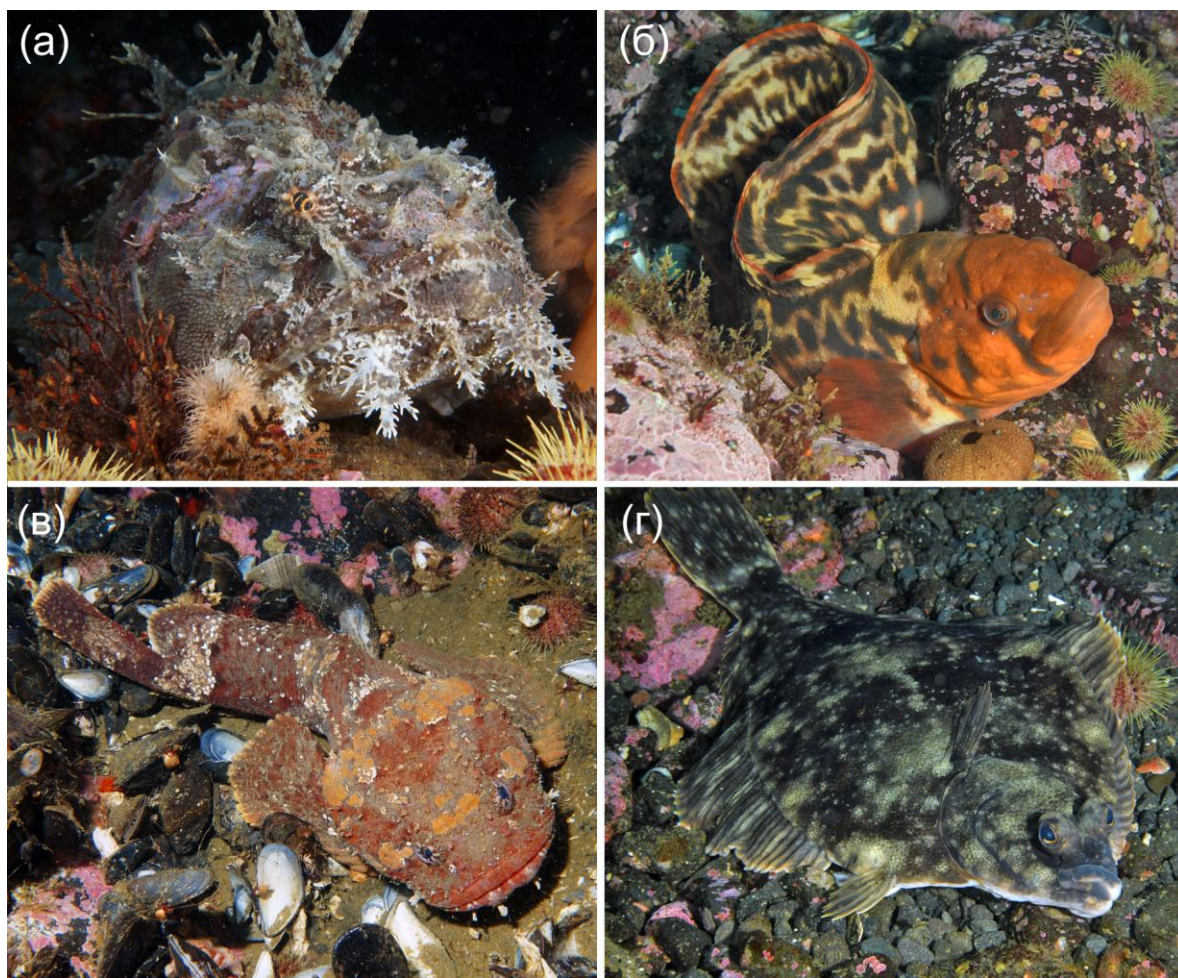


Рис. 4. Донные рыбы о. Парамушир: а – волосатый бычок *Hemitripterus villosus* (сем. Hemitripteridae); б – красная аскольдия *Askoldia variegata* (сем. Stichaeidae); в – красногубый эвримен (головастиковидный бычок) *Eurymen gyrinus* (сем. Psychrolutidae); г – северная двухлинейная камбала *Lepidopsetta polyxystra* (сем. Pleuronectidae). Авторы фото: (а, в) – Т.И. Антохина; (б, г) – О.В. Савинкин

Fig. 4. Benthic fishes of Paramushir Island: а – shaggy sea raven *Hemitripterus villosus* (Fam. Hemitripteridae); б – red prickleback *Askoldia variegata* (Fam. Stichaeidae); в – spineless sculpin *Eurymen gyrinus* (Fam. Psychrolutidae); г – northern rock sole *Lepidopsetta polyxystra* (Fam. Pleuronectidae). Photo credits: (а, в) – T.I. Antokhina; (б, г) – O.V. Savinkin

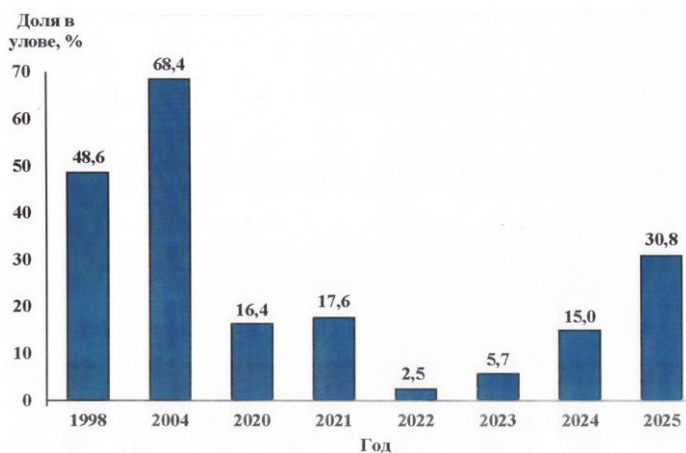


Рис. 5. Динамика относительной численности рогатковых рыб в удебных уловах на глубинах до 25 м у о-ва Старичков (Авачинский зал., Юго-Восточная Камчатка) в период с 1998 по 2025 г.

Fig. 5. Dynamics of relative abundance of sculpins caught by rod fishing at depths up to 25 m off Starichkov Island (Avacha Bay, Southeastern Kamchatka) from 1998 to 2025

Поскольку крупные представители данных семейств, являющиеся хищниками-засадчиками (многоиглый, мраморный керчаки и волосатый бычок) или бентоихтиофагами (пестрый и белобрюхий получешуйники) [Токранов, 2019], традиционно используют покрывающие донный субстрат губки, гидроиды, мшанки и других обрастателей для маскировки во время добычи пищи, то массовая гибель представителей этих групп беспозвоночных [Санамьян и др., 2023] лишила рыб такой возможности. А потому в 2021–2023 гг. они были вынуждены сместиться в соседние районы или на большие глубины, где беспозвоночные-обрастатели в значительно меньшей степени подверглись воздействию ВЦВ, и донные сообщества не так сильно изменились. Косвенно это подтверждают результаты контрольных удебных обловов, выполненных в июне – августе 2021–2023 гг. на глубине более 25–30 м [Токранов, 2024б]. Однако появление в летние месяцы 2024 г. впервые после ВЦВ в прибрежной зоне Авачинского залива губок и некоторых других ценозообразующих донных беспозвоночных, позволяющих им эффективно маскироваться на дне, вновь привело к подходу рогатковых рыб ближе к берегу на глубины менее 20 м и увеличению здесь их численности (рис. 5).

Факторы, определившие сохранность сообществ Парамушира и их современную структуру

Гидрологическая защита. Остров Парамушир расположен в пределах камчатского шельфа – на материковой отмели (изобата 200 м), окружающей Камчатку [Зенкевич, 1963]. Замор в результате ВЦВ осенью 2020 г. затронул как восточный, так и юго-западный берега Камчатки, а потери в биоразнообразии донных беспозво-

ночных оказались наиболее значительными в юго-восточной части камчатского шельфа [Морозов и др., 2024]. Однако донные сообщества в верхней сублиторали у юго-западной части о. Парамушир не несут явных признаков замора. Ключевым фактором, позволившим сообществам западного побережья Парамушира избежать сильных последствий ВЦВ, по-видимому, явилось влияние холодных вод Охотского моря, самый верхний слой которых даже в наиболее теплое время года не прогревается выше 10°C [Зенкевич, 1963]. Остров Парамушир, вместе со средними Курильскими о-вами, в летний период на глубине 10 м ограничен от окружающих вод изотермой 8°C, сдвинутой существенно дальше в западном, охотоморском, направлении от цепи островов, чем к востоку от них [Зенкевич, 1963, рис. 234А]. Это показывает, что восточная, тихоокеанская, сторона Курильской гряды, особенно в северной ее части, слабее защищена от прогрева воды, чем западная. Такая термальная граница, по-видимому, послужила барьером для распространения ВЦВ, основным триггером которого были положительные температурные аномалии [Бондур и др., 2021], и западная сторона Парамушира оказалась лучше защищена от воздействия ВЦВ.

Качественные особенности фауны и сообществ. Исследованные биоценозы верхней сублиторали юго-западного Парамушира характеризуются высокой сложностью и признаками длительного существования («старости»): обилием фильтрующих организмов, густыми обрастаниями, высоким уровнем комменсализма (например, практически на каждой морской звезде (рис. 6, в), крупных голотуриях, крупных и средне-размерных брюхоногих моллюсках присутствовали комменсальные полихеты *Arctonoe vittata*). В воде много взвеси, как в прикамчатских водах. Обилие и видовое

разнообразие напоминает то, которое было в прибрежье Камчатки до событий 2020 г., но с добавлением видов, характерных для Средних Курил (о. Матуа), а также видов, которые не встречаются на водолазных глубинах ни у побережья Камчатки, ни у о. Матуа – таких как, например, Stylasteridae (гидрокораллы) (см. рис. 3, а), небольшие

горгонарии (см. рис. 3, б) или неопределенные виды Edwardsiidae (актинии) и cf. Cuthonellidae (голожаберные моллюски). Таким образом, мелководная фауна о. Парамушир имеет переходный характер между камчатской и среднекурильской с добавлением уникальных региональных особенностей.



Рис. 6. Донные сообщества Парамушира: а – мидии *Mytilus trossulus* на глубине 20 м; б – кормящаяся на мидиях морская звезда *Evasterias retifera*; в – молодая морская звезда *Solaster endeca* (перевернута) с комменсальной полихетой *Arctonoe vittata*. Авторы фото: (а, б) – О.В. Савинкин; (в) – Т.И. Антохина

Fig. 6. Benthic communities of Paramushir Island: а – mussels *Mytilus trossulus* at 20 m depth; б – the sea star *Evasterias retifera* feeding on mussels; в – a juvenile sea star *Solaster endeca* (upside down) with the commensal polychaete *Arctonoe vittata*. Photo credits: (а, б) – O.V. Savinkin; (в) – T.I. Antokhina

Характерный и очень похожий на камчатский подводный пейзаж у о. Парамушир глубже 10 м создают массовые крупные актинии *Metridium farcimen* (см. рис. 3, з). Эти сестонофаги не живут в чистой воде в районе Средних Курил: ни *M. farcimen*, ни близкий ему столь же массовый у Камчатки и Парамушира, но более мелкий вид *Metridium senile fimbriatum*, не найдены в водах о. Матуа. Также у о. Матуа нет крупных голотурий (как *Cucumaria djakonovi*, *Psolus*), крупных морских звезд (родов *Evasterias*, *Solaster*), морских блюдечек (моллюсков семейства *Lottiidae*) и крупных гастропод (например, *Fusitriton oregonensis*, *Tritonia tetraquetra*), нет отшельников и крабов, отсутствуют форониды и сидячие полихеты *Crucigera zygophora*, которые обычны в бентосных сообществах Камчатки (до 2020 г.) и Парамушира [Санамян, Санамян, 2020].

На глубинах 5–10 м сходство Парамушира с о. Матуа обусловлено зарослями на скальных выходах гигантской ламинариевой водоросли *Eualaria fistulosa* (для заливов Юго-Восточной Камчатки этот вид не характерен). Также общим является большое количество крупных сцифоидных медуз *Chrysaora melanaster*, часто запутывающихся своими длинными щупальцами в слоевищах *E. fistulosa*. Общими в донных сообществах выделяются яркие альционарии (такие как фиолетовые *Elenanthus violaceus*, а также *Alcyonium pacificum*, *Clavularia anisimovi*), многочисленные мелкие актинии (*Paraisanthus tamarae*, *Acricoactis brachyacontis* и семейства *Sagartiidae*) и кустистые мшанки *Microporina articulata*, не встречавшиеся у побережья Камчатки; а также множество мелких морских звезд рода *Leptasterias*.

Отличительной чертой изученного района акватории о. Парамушир стало формирование обширных «мидиевых ба-

нок», покрывающих склоны и скальные платформы от уреза воды и, по меньшей мере, до 20–25 м. Их составляют большей частью крупные, старые моллюски *Mytilus trossulus* с развитым эпибиозом на раковинах, формируемым в основном баяланусами, иногда мшанками, губками, актиниями, асцидиями и др. беспозвоночными (рис. 6, а). Большое количество мелких морских звезд рода *Leptasterias* и три крупных вида рода *Evasterias*, питающиеся на этих «банках» (рис. 6, б), явно не справляются с контролем численности мидий. В фауне морских звезд в данной акватории Парамушира отсутствует наиболее массовый для Камчатки вид *Asterias rathbuni*. Он лучше других видов звезд пережил замор 2020 г., и, несмотря на сильное сокращение популяции, морские звезды этого вида быстро восстанавливают численность [Санамян и др., 2023]. По-видимому, *A. rathbuni* является наиболее эффективным хищником для сдерживания мидиевых поселений: эти звезды крупные, в аквариумах живут дольше всех остальных видов морских звезд и, вероятно, более терпимы к повышенной температуре, а также быстро размножаются. Отсутствие у Парамушира наиболее эффективного хищника мидий – морской звезды *A. rathbuni* – в сочетании с обилием взвеси (пищи для фильтраторов) из-за близости к матерiku, невысокой численностью крупных звезд рода *Evasterias* и низкой численностью каланов [Коростелев и др., 2023; Токранов и др., 2024б] создало условия для бесконтрольного роста поселений мидий. В противоположность этому, у о. Матуа, где нет столь крупных «мидиевых банок», лимитирующим фактором для мидий, вероятно, является низкое содержание взвеси в воде, и уже как следствие ограниченности пищевой базы в виде двустворчатых моллюсков отсутствуют крупные морские звезды

(указанная в атласе о биоте о. Матуа [Санамян, Санамян, 2020, с. 265] *Evasterias retifera* является ошибочным определением и относится к роду *Leptasterias*).

Анализ распределения видов вдоль побережья Парамушира выявил градиент изменения фауны. На самой северной станции № 11 (у мыса Свирепого) отмечается усиление камчатских черт, например, появление актиний *Anthopleura orientalis* и крупных разноцветных экземпляров *Aulactinia stella*, не встречавшихся на более южных станциях. В то же время при сохранении на этой станции некоторых ярких курильских элементов (таких как колонии фиолетовых и бежевых альционарий, *Elenanthus violaceus* и *Alcyonium* sp., которые не встречаются у камчатских берегов), сокращается количество видов, характерных для Средних Курил. Так, из четырех матуанских актиний, не отмечавшихся у берегов Камчатки и обычных на других станциях у о. Парамушир, только один вид, *Acricoactis brachyacontis*, присутствовал на станции № 11. Это указывает на постепенное фаунистическое смещение, переход от среднекурильской фауны к камчатской, которое прослеживается на побережье о. Парамушир даже в пределах небольшого расстояния в несколько километров. Наблюдаемое переходное состояние мелководной фауны Парамушира может служить иллюстрацией к сделанному ранее предположению, что «островные» виды, встречающиеся на Курильских и Командорских или Алеутских о-вах, но отсутствующие в юго-восточном прибрежье Камчатки, ранее могли иметь непрерывный ареал, но исчезли вдоль камчатского берега вследствие обеднения фауны из-за «красных приливов», происходивших и ранее из-за температурных аномалий и материкового стока, усиливаемого активными циклонами, характерными для

региона, и приносящего достаточно питания для вспышек численности в том числе и токсичных одноклеточных водорослей [Санамян и др., 2023].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные подтверждают то, что фауна становится более уникальной и специфичной по мере удаления от материка: Камчатка и Парамушир показывают высокую степень сходства, а о. Матуа выступает в роли центра своеобразия с наиболее отличным видовым составом, что делает его особенно ценным с точки зрения сохранения регионального биоразнообразия.

Парамушир – фаунистический «спутник» Камчатки. Фауна Парамушира имеет высокую степень общности с камчатской, являясь ее продолжением, но уже со своими особенностями.

Переходный характер мелководной фауны Парамушира между «островной» и «материковой» указывает на возможные в прошлом последствия ВЦВ вдоль камчатского берега, которые лишь частично могли затрагивать Северные Курилы, благодаря влиянию холодных вод Охотского моря.

Остров Парамушир, по крайней мере его юго-западная, охотоморская, акватория, может выполнять роль рефугиума – убежища, или резервата, для камчатских видов и играть важную роль для расселения гидробионтов на побережье Камчатки после периодических катастроф из-за токсичных «красных приливов».

Для подтверждения роли Парамушира как рефугиума необходимы дальнейшие количественные исследования биомассы и численности ключевых видов, а также генетические исследования для оценки связей между островными и материковыми популяциями.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Русское географическое общество и Министерство обороны России за организацию экспедиции на о. Парамушир, Б.И. Сиренко за определение хитонов и Ю.И. Кантора за определение неогастропод.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания КФ ТИГ ДВО РАН по теме «Структурно-функциональная организация, динамика и продуктивность наземных и прибрежных экосистем на Дальнем Востоке РФ. Разработка научных основ и экономических инструментов устойчивого природопользования» (№ ЕГИСУ 124012700496-4) и по теме «Исследование и сохранение уникального морского биоразнообразия Камчатки» (№ ЕГИСУ 124093000049-8) в рамках Межведомственной комплексной программы научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий в 2024–2026 гг.; а также госзадания лаборатории морских исследований ЗИН РАН «Таксономия, биоразнообразии и экология беспозвоночных гидробионтов в регионах современных транспортно-экономических коридоров Арктики, Внутренней Азии и Дальнего Востока в условиях меняющегося климата и нарастающего антропогенного воздействия» (номер темы: 125012800918-9).

ЛИТЕРАТУРА

Бондур В.Г., Замшин В.В., Чверткова О.И. и др. 2021. Анализ причин экологического происшествия на Камчатке осенью 2020 г., связанного с красным приливом, на основании космических данных. *Исследование Земли из космоса*. № 3. С. 3–18.

Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г., Коростелев С.Г. и др. 2023. Динамика бентосных сообществ верхней сублиторали Юго-Восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) осенью 2020 г. *Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, природно-ресурсные и социально-экономические структуры*. Сборник научных статей. Владивосток. С. 23–27.

Железняк М.Ю. 2023. Литоральная ихтиофауна острова Матуа (Курильские острова). *Зоологический журнал*. Т. 102. № 6. С. 675–680.

Зенкевич Л.А. 1963. Биология морей СССР. Москва: АН СССР. 440 с.

Коростелев С.Г., Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г. и др. 2023. Сукцессия прибрежных сообществ гидробионтов, вызванная вредоносным цветением водорослей в 2020 году в тихоокеанских водах Камчатки и северных Курильских островов. Морские экспедиционные исследования России в 2022 году. *Тезисы докладов конференции «Итоги экспедиционных исследований в 2022 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка»*. Москва: МИРЭА – Российский технологический университет. С. 299–304.

Кусакин О.Г. (отв. ред.). 1989. Гидробиологические исследования в Авачинской губе. Владивосток: ДВО РАН СССР. 136 с.

Кусакин О.Г., Иванова М.Б., Цурпало А.П. и др. 1997. Список видов животных, растений и грибов литорали дальневосточных морей России. Владивосток: Дальнаука. 168 с.

Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А. 2002. Биологическое разнообразие и методы его оценки. География и мониторинг биоразнообразия. Москва: Изд-во НУМЦ. 432 с.

- Мартынов А.В., Коршунова Т.А. 2011. Заднежаберные моллюски морей России. Атлас-определитель с обзором биологии. Москва: ЗАО «Фитон+». 232 с.
- Мартынов А.В., Коршунова Т.А., Санамян Н.П., Санамян К.Э. 2009. Заднежаберные моллюски (Gastropoda: Opisthobranchia) прибрежных вод острова Старичков. Биота острова Старичков и прилегающей к нему акватории Авачинского залива. *Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН*. Вып. VIII. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 227–240.
- Мартынов А.В., Санамян Н.П., Коршунова Т.А. 2015а. Обзор фауны заднежаберных моллюсков дальневосточных морей России: Pleurobranchomorpha, Doridida и Nudibranchia. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 34. С. 62–87.
- Мартынов А.В., Санамян Н.П., Коршунова Т.А. 2015б. Новые данные по фауне заднежаберных моллюсков (Gastropoda: Opisthobranchia) прибрежных вод Командорских островов и дальневосточных морей России. *Доклады XV международной научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»*, посвященной 80-летию со дня основания Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 55–69.
- Морозов Т.Б., Санамян Н.П., Санамян К.Э. 2024. Последствия воздействия вредоносного «цветения» водорослей на донных беспозвоночных на шельфе Восточной Камчатки. *Биология моря*. Том 50. № 6. С. 427–445.
- Ошурков В.В. 2000. Сукцессии и динамика эпибентосных сообществ верхней сублиторали бореальных вод. Владивосток: Дальнаука. 206 с.
- Панина Е.Г., Степанов В.Г., Санамян Н.П., Санамян К.Э. 2017. Морские ежи и голотурии острова Матуа (Курильские острова). *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 41. С. 62–71.
- Парин Н.В., Евсеенко С.А., Васильева Е.Д. 2014. Рыбы морей России. *Аннотированный каталог*. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 733 с.
- Санамян Н.П., Коробок А.В., Санамян К.Э. 2023. Качественная оценка последствий влияния вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года у побережья Юго-Восточной Камчатки (Северо-Западная Пацифика) на мелководные бентосные сообщества. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 63. С. 22–44.
- Санамян К.Э., Санамян Н.П. 2009. Асцидии (Tunicata: Ascidiacea) прибрежных вод острова Старичков. Биота острова Старичков и прилегающей к нему акватории Авачинского залива. *Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН*. Вып. VIII. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 241–249.
- Санамян К.Э., Санамян Н.П. (ред.). 2020. Флора и фауна острова Матуа (средние Курильские острова). *Атлас-определитель*. Том 1. Море. Череповец: ООО «Интрон». 496 с.
- Санамян К.Э., Санамян Н.П., Панина Е.Г. 2017. Первые сведения о фауне губок (тип Porifera) прибрежных вод острова Матуа (средние Курильские острова). *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 41. С. 72–82.
- Санамян Н.П., Санамян К.Э. 2009. Коралловые полипы (Cnidaria: Anthozoa),

- найденные у острова Старичков. Биота острова Старичков и прилегающей к нему акватории Авачинского залива. *Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН*. Вып. VIII. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 208–226.
- Токранов А.М. 2019. Трофические группировки рогатковых рыб (Cottidae) в прикамчатских водах. *Принципы экологии*. № 3 (33). С. 123–132.
- Токранов А.М. 2022. Состав прибрежной ихтиофауны юго-восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 59. С. 38–48.
- Токранов А.М. 2023. Состав и относительная численность рогатковых рыб в прибрежье о-ва Старичков через два года после цветения водорослей осенью 2020 г. LXXVI Герценовские чтения. *Материалы международной научно-практической конференции «География: развитие науки и образования»*. Том 1. Санкт-Петербург: Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена. С. 171–176.
- Токранов А.М. 2024а. Современный состав сообщества рыб галечно-валунных участков приливно-отливной зоны Авачинского залива (Юго-Восточная Камчатка). *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН*. № 3. С. 64–73.
- Токранов А.М. 2024б. Состояние сообщества рыб верхней сублиторали Авачинского залива (Юго-Восточная Камчатка) спустя три года после вредоносного «цветения» водорослей осенью 2020 г. *Материалы VIII международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана»*. Владивосток: Дальрыбвтуз. С. 241–247.
- Токранов А.М. 2025. Динамика относительной численности рогатковых рыб (Cottidae) в прибрежной зоне Авачинского залива после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г. *Материалы всероссийской научно-практической конференции «Трешниковские чтения-2025: Современная географическая картина мира и технологии географического образования»*. Ульяновск: ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова». С. 116–117.
- Токранов А.М., Бурдин А.М., Данилин Д.Д. и др. 2024а. Состояние прибрежной биоты Юго-Восточной Камчатки спустя три года после вредоносного «цветения» водорослей осенью 2020 года. Морские экспедиционные исследования России в 2023 году. *Тезисы докладов конференции «Итоги экспедиционных исследований в 2023 году в Мировом океане и внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка»*. М.: МИРЭА – Российский технологический университет. С. 59–61. ISBN 978-5-7339-2369-7
- Токранов А.М., Бурдин А.М., Данилин Д.Д. и др. 2024б. Состояние прибрежной биоты Юго-Восточной Камчатки и северных Курильских островов спустя три года после вредоносного «цветения» водорослей осенью 2020 года. *Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные и социально-экономические факторы и структуры. Сборник научных статей*. Владивосток, 2024. С. 95–101.
- Токранов А.М., Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г. и др. 2021. Оценка воздействия возникшей осенью 2020 г. у берегов Камчатки неблагоприятной экологической обстановки на представителей

- различных групп гидробионтов. *Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (Maresedu-2021)»*. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». Том II (III). С. 93–96.
- Токранов А.М., Мурашева М.Ю. 2018. Ихтиофауна литорали Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка). *Вопросы ихтиологии*. Т. 58. № 4. С. 422–427.
- Токранов А.М., Мурашева М.Ю. 2020. Рыбы. Флора и фауна острова Матуа (средние Курильские острова). *Атлас-определитель*. Том 1. Море. Под ред. К.Э. Санамян, Н.П. Санамян. Череповец: ООО «Интрон». С. 316–335.
- Токранов А.М., Шейко Б.А. 2009. К познанию ихтиофауны прибрежных вод острова Старичков. Биота острова Старичков и прилегающей к нему акватории Авачинского залива. *Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН*. Вып. VIII. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 250–262.
- Токранов А.М., Шейко Б.А. 2015. Современный состав ихтиофауны Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка). *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Вып. 36. С. 48–54.
- Федоров В.В. 2000. Видовой состав, распределение и глубины обитания видов рыбообразных и рыб северных Курильских островов. В кн. Промысловые биологические исследования рыб в тихоокеанских водах Курильских о-вов и прилежащих районах Охотского и Берингова морей в 1992–1998 гг. Москва: Изд-во ВНИРО. С. 7–41.
- Шейко Б.А., Федоров В.В. 2000. Класс Cephalaspidomorpha – Миноги. Класс Chondrichthyes – Хрящевые рыбы. Класс Holoccephali – Цельноголовые. Класс Osteichthyes – Костные рыбы. Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. С. 7–69.
- Шейко О.В. 2009. Гидроиды (Cnidaria: Hydrozoa) прибрежных вод острова Старичков: аннотированный список видов. Биота острова Старичков и прилегающей к нему акватории Авачинского залива. *Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН*. Вып. VIII. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 199–207.
- Hulsen T., de Vlieg J., Alkema W. 2008. BioVenn – a web application for the comparison and visualization of biological lists using area-proportional Venn diagrams. *BMC Genomics*. Vol. 9. Art. № 488.
- Korshunova T.A., Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. et al. 2020. Biodiversity hotspot in cold waters: a review of the genus *Cuthonella* with descriptions of seven new species (Mollusca, Nudibranchia). *Contributions to Zoology*. Vol. 90. № 2. P. 1–68.
- Orlova T.Yu., Aleksanin A.I., Lepskaya E.V. et al. 2022. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020. *Harmful Algae*. Vol. 120. Art. № 102337.

REFERENCES

- Bondur V.G., Zamshin V.V., Chvertkova O.I. et al. 2021. Analysis of the Causes of the Kamchatka Environmental Disaster in Autumn 2020 Related with a Red Tide, Based on Satellite Data. *Issledovanie Zemli iz kosmosa (Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics)*. Iss. 3. P. 3–18 (in Russian).
- Danilin D.D., Zhigadlova G.G., Korosteliev S.G. et al. 2023. Dynamics of benthic

- communities of the upper sublittoral of South-Eastern Kamchatka after a harmful algal bloom (HAB) in the autumn 2020. *Geosystems of Northeast Asia: Natural, Resource, and Socio-Economic Structures*. Collection of scientific articles. Vladivostok. P. 23–27 (in Russian).
- Zheleznyak M.Yu. 2023. Littoral ichthyofauna of Matua Island, Kuril Islands. *Zoologicheskii zhurnal (Russian Journal of Zoology)*. Vol. 102. № 6. P. 675–680 (in Russian).
- Zenkevich L.A. 1963. Biology of the seas of the USSR. Moscow: AN SSSR. 440 p. (in Russian).
- Korostelev S.G., Danilin D.D., Zhigadlova G.G. et al. 2023. Succession of coastal hydrobiont communities induced by the harmful algal bloom in 2020 in the Pacific waters of Kamchatka and the northern Kuril Islands. Marine Expeditionary Research of Russia in 2022. *Abstracts of the Conference “Results of Expeditionary Research in 2022 in the World Ocean, Inland Waters, on the Svalbard Archipelago and the Kamchatka Peninsula”*. Moscow: RTU MIREA Publ. P. 299–304 (in Russian).
- Kussakin O.G. (Editor). 1989. Hydrobiological studies in Avacha Bay. Vladivostok: Far Eastern Branch, Academy of Sciences of the USSR. 136 p. (in Russian).
- Kussakin O.G., Ivanova M.B., Tsurpalo A.P. et al. 1997. A check-list of animals, plants and fungi from the intertidal zone of Far Eastern seas of Russia. Vladivostok: Dalnauka Publ. 168 p. (in Russian).
- Lebedeva N.V., Krivolutsky D.A. 2002. Biological diversity and methods for its assessment. Geography and monitoring of biodiversity. Moscow: NUMTS Publishing House. 432 p. (in Russian).
- Martynov A.V., Korshunova T.A. 2011. Opisthobranch mollusks of the seas of Russia. A colour guide to their taxonomy and biology. Moscow: Fiton+. 232 p. (in Russian).
- Martynov A.V., Korshunova T.A., Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2009. Opisthobranch mollusks (Gastropoda: Opisthobranchia) from the coastal waters of Starichkov Island. Biota of Starichkov Island and adjacent waters of Avacha Gulf. *Proceedings of Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography, Far Eastern Division, Russian Academy of Sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. Iss. 8. P. 227–240 (in Russian).
- Martynov A.V., Sanamyan N.P., Korshunova T.A. 2015a. Review of the opisthobranch mollusk fauna of Russian Far Eastern seas: Pleurobranchomorpha, Doridida and Nudibranchia. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 34. P. 62–87 (in Russian).
- Martynov A.V., Sanamyan N.P., Korshunova T.A. 2015b. New data on the opisthobranch molluscs (Gastropoda: Opisthobranchia) of waters of Commander Islands and Far Eastern seas of Russia. *Reports of the XV International Scientific Conference “Conservation of Biodiversity of Kamchatka and Coastal Waters”*, dedicated to the 80th anniversary of the founding of the Kronotsky State Natural Biosphere Reserve. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. P. 55–69 (in Russian).
- Morozov T.B., Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2024. Consequences of the Impacts of a Harmful Algal Bloom on Benthic Invertebrates in the Eastern Kamchatka Shelf. *Russian Journal of Marine Biology*. Vol. 50. № 6. P. 319–334.
- Oshurkov V.V. 2000. Successions and dynamic of epibenthic communities from the boreal upper subtidal zone. Vladivostok: Dalnauka Publ. 206 p. (in Russian).

- Panina E.G., Stepanov V.G., Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2017. Sea urchins and sea cucumbers from Matua Island (Kuril Islands). *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 41. P. 62–71 (in Russian).
- Parin N.V., Evseenko S.A., Vasil'eva E.D. 2014. Fishes of Russian seas: annotated catalogue. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 733 p. (in Russian).
- Sanamyan N.P., Korobok A.V., Sanamyan K.E. 2023. Qualitative assessment of algae harmful bloom impact in autumn 2020 off the coast of South-Eastern Kamchatka (North-West Pacific) on shallow-water benthic communities. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 63. P. 22–44 (in Russian).
- Sanamyan K.E., Sanamyan N.P. 2009. Sea squirts (Tunicata: Ascidiacea) of the coastal waters of Starichkov Island. Biota of Starichkov Island and adjacent waters of Avacha Gulf. *Proceedings of Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography, Far Eastern Division, Russian Academy of Sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. Iss. 8. P. 241–249 (in Russian).
- Sanamyan K.E., Sanamyan N.P. (ed.). 2020. Flora and fauna of Matua Island (middle Kuril Islands): the field guide. Vol. 1. Sea. Cherepovets: OOO "Intron". 496 p. (in Russian).
- Sanamyan K.E., Sanamyan N.P., Panina E.G. 2017. First information on the fauna of sponges (Porifera) of coastal waters Matua Island (middle Kuril Islands). *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 41. P. 72–82 (in Russian).
- Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. 2009. Anthozoans (Cnidaria: Anthozoa) found at the coasts of Starichkov Island. Biota of Starichkov Island and adjacent waters of Avacha Gulf. *Proceedings of Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography, Far Eastern Division, Russian Academy of Sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. Iss. 8. P. 208–226 (in Russian).
- Tokranov A.M. 2019. Trophic groups of the sculpins (Cottidae) in the waters near Kamchatka. *Principles of the Ecology*. Iss. 3(33). P. 123–132 (in Russian).
- Tokranov A.M. 2022. Composition of the coastal ichthyofauna of the South-Eastern Kamchatka after harmful algal bloom in autumn 2020. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 59. P. 38–48 (in Russian).
- Tokranov A.M. 2023. Species composition and relative abundance of the sculpins (Cottidae) in the coastal zone of Starichkov island two years after harmful algal bloom in autumn 2020. Herzen readings, LXXVI. *Materials of the International Scientific-Practical Conference "Geography: Development of Science and Education"*. Vol. 1. St. Petersburg: Publishing House of A.I. Herzen Russian State Pedagogical University. P. 171–176 (in Russian).
- Tokranov A.M. 2024a. Fish community composition in pebble-boulder areas of the Avacha Gulf intertidal zone (South-Eastern Kamchatka). *Bulletin of the North-Eastern Scientific Center, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences*. Iss. 3. P. 64–73 (in Russian).
- Tokranov A.M. 2024b. State of the fish community in the upper sublittoral zone of Avacha Gulf (South-Eastern Kamchatka)

- three years after the harmful algae bloom in the fall of 2020. *Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference* "Current Issues in the Development of Biological Resources of the World Ocean". Vladivostok: Dalrybvtuz Publ. P. 241–247 (in Russian).
- Tokranov A.M. 2025. Dynamics of the relative abundance of sculpins (Cottidae) in the coastal zone of the Avacha Gulf after harmful algal bloom in the fall of 2020. *Materials of the All-Russian Scientific-Practical Conference* "Treshnikov Readings-2025: Modern geographical global picture and technology of geographic education". Ulyanovsk: I.N. Ulyanov Ulyanovsk State Pedagogical University. P. 116–117 (in Russian).
- Tokranov A.M., Burdin A.M., Danilin D.D. et al. 2024a. State of the coastal biota of Southeastern Kamchatka three years after the harmful algal bloom in autumn 2020. Marine Expeditionary Research of Russia in 2023. *Abstracts of the Conference* "Results of Expeditionary Research in 2023 in the World Ocean and Inland Waters, on the Svalbard Archipelago and the Kamchatka Peninsula". Moscow: RTU MIREA Publ. P. 59–61. ISBN 978-5-7339-2369-7 (in Russian).
- Tokranov A.M., Burdin A.M., Danilin D.D. et al. 2024b. The state of the coastal biota of southeastern Kamchatka and the northern Kuril Islands three years after the harmful algae bloom in the autumn of 2020. *Geosystems of Northeast Asia: Natural and Socio-Economic Factors and Structures*. Collection of scientific articles. Vladivostok. P. 95–101 (in Russian).
- Tokranov A.M., Danilin D.D., Zhigadlova G.G. et al. 2021. Evaluation of the affect of negative ecological situation arisen near coasts of Kamchatka in autumn 2020 to different groups of hydrobionts. *Proceedings of the X International Scientific-Practical Conference* "Marine Research and Education (Maresedu-2021)". Tver: OOO "PolyPRESS". Vol. II(III). P. 93–96 (in Russian).
- Tokranov A.M., Murasheva M.Yu. 2018. Ichthyofauna in the intertidal zone of Avacha Bay (Southeastern Kamchatka). *Voprosy ikhtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 58. № 4. P. 502–507 (in Russian).
- Tokranov A.M., Murasheva M.Yu. 2020. Fishes. Flora and fauna of Matua Island (Middle Kuril Islands): the field guide. Vol. 1. Sea. Ed. K.E. Sanamyan, N.P. Sanamyan. Cherepovets: OOO "Intron". P. 316–335 (in Russian).
- Tokranov A.M., Sheiko B.A. 2009. Contribution to the knowledge on ichthyofauna of the coastal waters of Starichkov Island. Biota of Starichkov Island and adjacent waters of Avacha Gulf. *Proceedings of Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography, Far Eastern Division, Russian Academy of Sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. Iss. 8. P. 250–262 (in Russian).
- Tokranov A.M., Sheiko B.A. 2015. Current composition of ichthyofauna of Avachinskaya Bay (Southeastern Kamchatka). *Research of Water Biological Resources of Kamchatka and of the Northwest of the Pacific Ocean*. Iss. 36. P. 48–54 (in Russian).
- Fedorov V.V. 2000. Species composition, distribution, and habitat depths of cyclostomes and fishes of the northern Kuril Islands. In: Commercial and biological investigations of fishes in the Pacific waters of the Kuril Islands and adjacent areas of the Okhotsk and Bering Seas in 1992–1998. Moscow: VNIRO Publishing House. P. 7–41 (in Russian).
- Sheiko B.A., Fedorov V.V. 2000. Class Cephalaspidomorphi – Lampreys. Class Chon-

- drichthyes – Cartilaginous fishes. Class Holocephali – Chimaeras. Class Osteichthyes – Bony fishes. Catalog of vertebrates of Kamchatka and adjacent waters. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskiy Petchatniy Dvor. P. 7–69 (in Russian).
- Sheiko O.V. 2009. Hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) from the coastal area of Starichkov Island: an annotated species list. Biota of Starichkov Island and adjacent waters of Avacha Gulf. *Proceedings of Kamchatka Branch of Pacific Institute of Geography, Far Eastern Division, Russian Academy of Sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress Publ. Iss. 8. P. 199–207 (in Russian).
- Hulsen T., de Vlieg J., Alkema W. 2008. BioVenn – a web application for the comparison and visualization of biological lists using area-proportional Venn diagrams. *BMC Genomics*. Vol. 9. Art. № 488.
- Korshunova T.A., Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. et al. 2020. Biodiversity hotspot in cold waters: a review of the genus *Cuthonella* with descriptions of seven new species (Mollusca, Nudibranchia). *Contributions to Zoology*. Vol. 90. № 2. P. 1–68.
- Orlova T.Yu., Aleksanin A.I., Lepskaya E.V. et al. 2022. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020. *Harmful Algae*. Vol. 120. Art. № 102337.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Санамян Надежда Павловна – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник; actiniaria@sanamyan.com. SPIN-код: 9152-0973, Author ID: 84633; Scopus ID: 35616434400; ORCID: 0000-0002-9987-0668.

Sanamyan Nadezhda Pavlovna – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher; actiniaria@sanamyan.com. SPIN-code: 9152-0973, Author ID: 84633; Scopus ID: 35616434400; ORCID: 0000-0002-9987-0668.

Санамян Карэн Эдуардович – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; старший научный сотрудник; ascidiacea@sanamyan.com. SPIN-код: 5218-4438, Author ID: 79998; Scopus ID: 6602501578; ORCID: 0000-0002-7460-3985.

Sanamyan Karen Eduardovich – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Senior Researcher; ascidiacea@sanamyan.com. SPIN-code: 5218-4438, Author ID: 79998; Scopus ID: 6602501578; ORCID: 0000-0002-7460-3985.

Антохина Татьяна Игоревна – Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН; 119071, Россия, Москва; ведущий инженер; tanya@sai.msu.ru. SPIN-код: 9334-6869, Author ID: 735808; Scopus ID: 36189889600; ORCID: 0000-0002-0857-4186.

Antokhina Tatiana Igorevna – A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS; 119071, Russia, Moscow; Leading Engineer; tanya@sai.msu.ru. SPIN-code: 9334-6869, Author ID: 735808; Scopus ID: 36189889600; ORCID: 0000-0002-0857-4186.

Деарт Юрий Владимирович – Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН; 119071, Россия, Москва; младший научный сотрудник; y.v.deart@gmail.com. SPIN-код: 2978-4276, Author ID: 734210; Scopus ID: 56106331100; ORCID: 0000-0001-6847-8295.

Deart Yury Vladimirovich – A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS; 119071, Russia, Moscow; Junior Researcher; y.v.deart@gmail.com. SPIN-code: 2978-4276, Author ID: 734210; Scopus ID: 56106331100; ORCID: 0000-0001-6847-8295.

Иванова Наталия Юрьевна – Зоологический институт РАН; 199034, Россия, Санкт-Петербург; кандидат биологических наук, научный сотрудник; edwardsiella@yandex.ru. SPIN-код: 9811-4546, Author ID: 1173076; Scopus ID: 57072605600; ORCID: 0000-0001-6984-8534.

Ivanova Natalia Yurievna – Zoological Institute of RAS; 199034, Saint Petersburg; Candidate of Biological Sciences, Researcher; edwardsiella@yandex.ru. SPIN-code: 9811-4546, Author ID: 1173076; Scopus ID: 57072605600; ORCID: 0000-0001-6984-8534.

Савинкин Олег Владимирович – Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН; 119071, Россия, Москва; главный специалист; o.savinkin@mail.ru. Author ID: 140155; Scopus ID: 26433815100; ORCID: 0009-0009-1830-7610.

Savinkin Oleg Vladimirovich – A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS; 119071, Russia, Moscow; Chief Specialist; o.savinkin@mail.ru. Author ID: 140155; Scopus ID: 26433815100; ORCID: 0009-0009-1830-7610.

Токранов Алексей Михайлович – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; главный научный сотрудник; tok_50@mail.ru. SPIN-код: 9756-8561, Author ID: 93184; Scopus ID: 6603388324; ORCID: 0000-0001-6124-578X.

Tokranov Alexey Mikhailovich – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Chief Researcher; tok_50@mail.ru. SPIN-code: 9756-8561, Author ID: 93184; Scopus ID: 6603388324; ORCID: 0000-0001-6124-578X.

Статья поступила в редакцию 05.02.2026; одобрена после рецензирования 11.03.2026; статья принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 05.02.2026; approved after reviewing 11.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.

Для цитирования: Санамян Н.П., Санамян К.Э., Антохина Т.И., Деарт Ю.В., Иванова Н.Ю., Савинкин О.В., Токранов А.М. 2026. Фаунистическое сходство и различия верхней сублиторали острова Парамушир с побережьем Камчатки и островом Матуа (Средние Курилы). *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 75. С. 34–62. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-34-62>.

For citation: Sanamyan N.P., Sanamyan K.E., Antokhina T.I., Deart Yu.V., Ivanova N.Yu., Savinkin O.V., Tokranov A.M. 2026. Faunal similarities and differences of the upper sublittoral of Paramushir Island with the coast of Kamchatka and Matua Island (Middle Kuril Islands). *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 75. P. 34–62 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-34-62>.

Научная статья

УДК 597.556(265.5)

DOI: 10.17217/2079-0333-2026-75-63-84

**МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ
ДЕВЯТИИГЛЫХ КОЛЮШЕК РОДА *PUNGITIUS* (GASTEROSTEIDAE)
В ВОДОЕМАХ КАМЧАТКИ**

Григорьев С.С.¹, Седова Н.А.^{2,1}

¹ Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, ул. Партизанская, 6

² Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35

Дана морфологическая характеристика девятииглой колюшки из пяти внутренних водоемов Камчатки: озера бассейна рек западного побережья и водоемы юго-востока. Показано, что на Камчатке из рода *Pungitius*, помимо обычной девятииглой колюшки *P. pungitius*, обитает еще амурская девятииглая колюшка *P. sinensis*. Этот вид отличается следующими признаками: более мелкие средние размеры особей, двухвершинный ряд размерного состава, бока тела почти на всем протяжении вооружены слабо выраженными вертикальными костными боковыми пластинками, более высоким средним числом мягких лучей спинного плавника, большей как антедорсальной, так и постдорсальной длиной тела. Сохранение этого вида можно объяснить изолированностью внутренних водоемов западного побережья Камчатки.

Ключевые слова: внутренние водоемы Камчатки, меристические признаки, морфология, пластические признаки, распространение, *Pungitius pungitius*, *P. sinensis*.

Original article

**MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND DISTRIBUTION
OF NINESPINE STICKLEBACKS OF THE GENUS *PUNGITIUS* (GASTEROSTEIDAE)
IN THE WATERS OF KAMCHATKA**

Grigorev S.S.¹, Sedova N.A.^{2,1}

¹ Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, Partizanskaya Str. 6.

² Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

The morphological characteristics of Ninespine stickleback from inland waters of Kamchatka, including lakes in the river basins of the western coast and basins in the southeast, were studied. It was shown that in addition to the common Ninespine stickleback *P. pungitius*, Kamchatka is home to another species of the genus *Pungitius*: Amur stickleback *P. sinensis*. This species is distinguished by the following features: smaller average size, a bimodal size range, weakly vertical bony lateral plates along the sides of the body, a higher average number of soft rays in the dorsal fin, and antedorsal and postdorsal body length. The persistence of this species is explained by the isolated location of the inland waters of Kamchatka's western coast.

Key words: inland waters of Kamchatka, meristic features, morphology, plastic features, distribution, *Pungitius pungitius*, *P. sinensis*.

ВВЕДЕНИЕ

Колюшковые рыбы (сем. Gasterosteidae) широко распространены в морских и пресных водах Евразии и Северной Америки. Среди рыб это филогенетически сравнительно молодая группа, одна из наиболее прогрессивных с точки зрения анатомии, морфологии, этологии, экологии и количественного состава ДНК [Зюганов, 1991]. На Камчатке колюшковые рыбы широко распространены и представлены двумя родами: трехиглой колюшкой *Gasterosteus* и девятииглой колюшкой *Pungitius*, которые включают комплексы форм. В этих же двух родах полнее всего реализуется полиморфизм по таким признакам, как строение тазового пояса, киля на хвостовом стебле, боковых костных пластин на теле, число жаберных тычинок, брачная окраска и т. д. [Зюганов, 1991]. Единственный представитель рода *Gasterosteus*, трехиглая колюшка *G. aculeatus* Linnaeus, 1758, на Камчатке хорошо изучен. Статус его сомнений не вызывает. Однако относительно распространения и встречаемости на Камчатке колюшек рода *Pungitius* существуют противоречивые мнения. Считается, что в эволюции рода *Pungitius* в Северо-Восточной Азии ключевую роль в качестве барьеров или факторов, способствующих расселению, играли окраинные моря [Takahashi, et al., 2016]. Колюшки рода *Pungitius* являются ярким примером естественной гибридизации и конвергентной эволюции: эволюционные взаимоотношения и таксономическая валидность различных видов и популяций в этом циркумполярно распространенном видовом комплексе остаются спорными из-за конвергентной эволюции признаков, считающихся диагностическими, в их таксономии, а также, возможно, из-за частого скрещивания между видами и формами [Guo et al., 2019].

Широкое распространение на Камчатке имеет обыкновенная девятииглая колюшка *Pungitius pungitius*. Она встречается на территории Камчатского края повсеместно, обитает как в пресных водоемах, так и в солоноватых водах приустьевых участков рек, лагун и бухт [Роров, 1933; Виноградов, 1949; Куренков, 1965; Токранов, 1994; Василец и др., 1999; Шейко, Федоров, 2000; Токранов, Бугаев, 2001; Мешкова, Смирнов, 2003; Маркевич, Панфилова, 2014; Коваль и др., 2015; Токранов, Шейко, 2015; Токранов, Паскочина, 2023; Григорьев, 2024].

Противоречивые мнения существуют относительно распространения на Камчатке другого вида рода *Pungitius* – амурской (китайской) девятииглой колюшки *Pungitius sinensis* (Guichenot, 1869). Амурскую девятииглую колюшку обычно рассматривают как отдельный вид *Pungitius sinensis* [Masuda et al., 1984; Zhu, 1995; Черешнев, 1996; Богущкая, Насека, 1997; Kim, 1997; Решетников, Савваитова, 1998; Черешнев, 2002; Федоров и др., 2003; Богущкая, Насека, 2004; Пичугин и др., 2004]. Ряд авторов включает ее как подвид в *P. pungitius* [Берг, 1949; Okada, 1961; Monod, 1973; Keivany, Nelson, 2000; Pietsch et al., 2001]. Отмечается, что это сложный полиморфный вид. Название *P. sinensis* относится к самой южной форме китайской колюшки, и в случае разделения этого полиморфного вида на ряд отдельных видов северная форма может получить независимый статус [Богущкая, Насека, 2004]. Последние исследования показывают, что, несмотря на широкое географическое распространение *P. sinensis*, этот вид относительно недавно, в плейстоцене (1,32 млн лет назад), расширил свой ареал до Китая [Takahashi et al., 2016; Guo et al., 2019; Wang et al., 2021].

В литературе имеются сведения о распространении этого вида в водоемах западного побережья Камчатки, а также на островах Сахалин, Шантарских и Куриль-

ских, в водоемах северного побережья Охотского моря [Берг, 1949; Шмидт, 1950; Линдберг, Легеза, 1965; Зюганов, 1991; Черешнев, 1996; Решетников, Савваитова, 1998; Черешнев, 2002; Решетников, 2003; FishBase]. Широкое распространение амурская (китайская) девятииглая колюшка *P. sinensis* имеет в водоемах бассейна р. Утхолок (северо-западное побережье Камчатки) [Павлов и др., 2016]. Эти авторы отмечают, что численность амурской колюшки сильно варьирует в зависимости от гидрологического режима и кормовой базы, а также ее большое фенотипическое разнообразие и массовую гибридизацию с видом. Замечено также, что молодь *P. sinensis* в этих водоемах была достоверно мельче, чем молодь *P. pungitius* [Павлов и др., 2016].

По мнению других авторов [Шейко, Федоров, 2000], колюшки рода *Pungitius* с мелкими щитками на туловище, известные с западного берега Камчатки как *P. s. wosnessenskyi*, относимые Г.Г. Зюгановым [1991] к виду *Pungitius sinensis* и встречающиеся во многих водоемах Южной Камчатки, являются формой «*trachura* – тип *P. pungitius*», обнаруженной в отдельных японских популяциях *P. p. pungitius*. Камчатские исследователи высказывали мнение, что у вида *P. pungitius* подобное явление имеет ту же природу, что и существование морф «*trachurus*», «*semiarmatus*» и «*leiurus*» у *Gasterosteus aculeatus* [Шейко, Федоров, 2000]. Хотя виды *P. pungitius* и *P. sinensis* различаются по своим характеристикам, формальная идентификация на основе простых линейных измерений или подсчета признаков затруднена из-за большого перекрытия значений этих признаков и фенотипической изменчивости. В настоящее время признано, что морфо-экологический подход и методы молекулярно-генетического анализа не позволяют решить окончательно вопрос о таксономическом статусе видов рода *Pungitius*,

так как они не отображают реальный эволюционный сценарий этой группы рыб [Долганов, Кравченко, 2011].

Целью данного исследования было проанализировать морфологические признаки представителей рода *Pungitius* из разных водоемов Камчатки и выявить вероятные различия между популяциями, что может помочь в уточнении видового состава и распространения девятииглых колюшек на Камчатке.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал для данного исследования собран сотрудниками Камчатского института экологии и природопользования ДВО РАН (в настоящее время Камчатский филиал ТИГ ДВО РАН) в водоемах Камчатки двух различных районов: озера бассейна рек западного побережья Камчатки и водоемы юго-востока Камчатки (рис. 1).

В районе бассейна рек западного побережья Камчатки ловы проводились в двух озерах бассейна нижнего течения р. Облуковины, впадающей в Охотское море: оз. Тхуклу в октябре 1998 г. и оз. Кривом в сентябре 2000 г. Обловы выполнены мальковым неводом размером 1,5×2,0 м (шаг ячеи в крыльях – 6,0, в кутке – 3,0 мм). Пойманные особи первоначально были зафиксированы в 6%-ном формалине, а затем переведены в 70°-ный этиловый спирт для хранения в коллекционном фонде КФ ТИГ ДВО РАН.

В районе Юго-Восточной Камчатки лов колюшки осуществляли в августе 1993 г. в Авачинской губе мальковым неводом возле устья р. Авачи, в отлив, на глубине около 1 м, среди зарослей морской травы зостеры. Кроме того, в августе 1998 г. мальковым неводом ловили в бассейне р. Паратунки в небольшом озере, находящемся вблизи бывшего пионерского лагеря «Алые паруса», на глубине до 0,8 м.

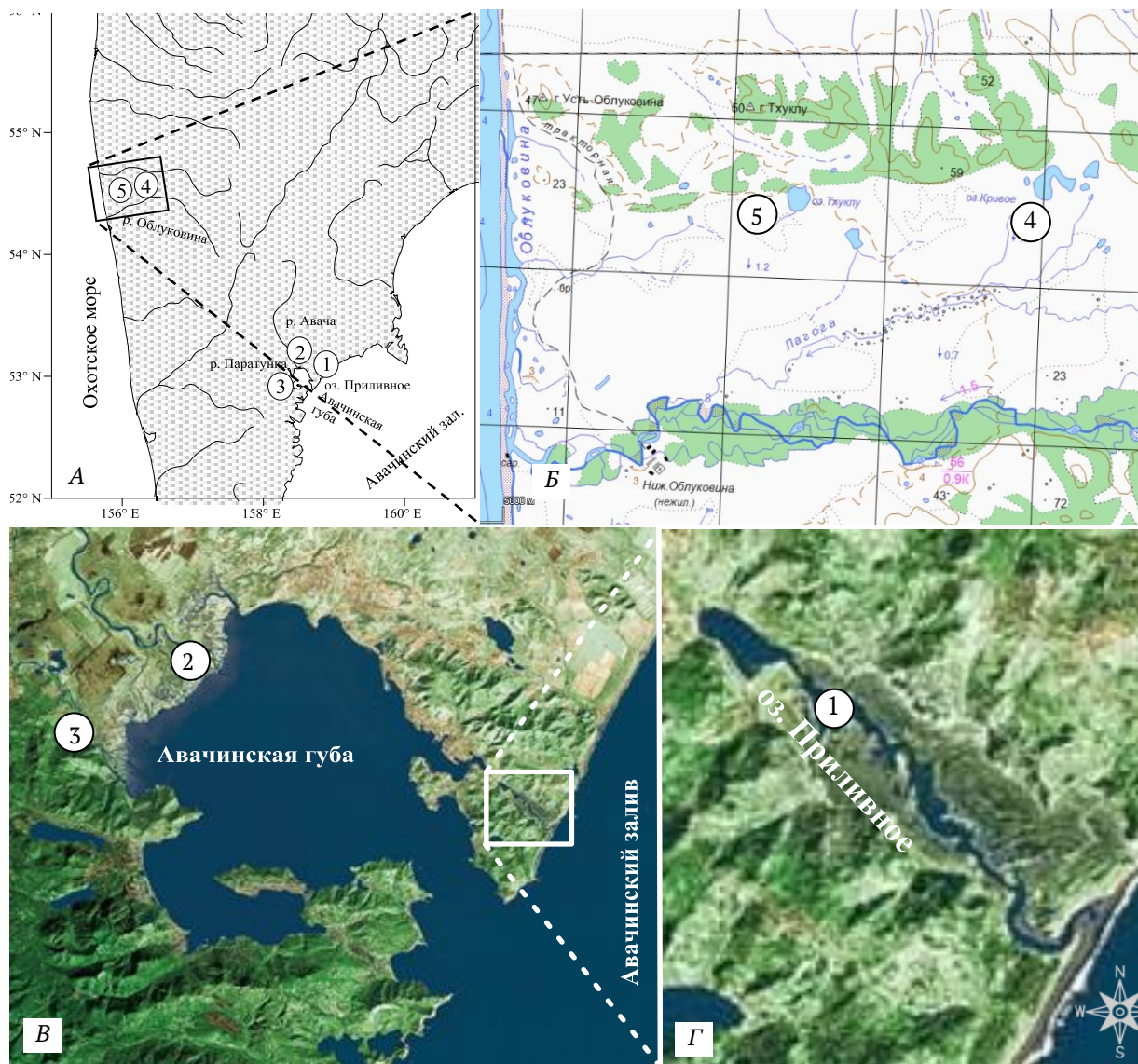


Рис. 1. Схема расположения мест лова девятииглой колюшки: А – общая схема, Б – места лова в озерах бассейна реки Облуковины, В – места лова в бассейне Авачинской губы, Г – место лова в оз. Приливном. 1 – оз. Приливное, 2 – оз. бассейна р. Паратунки, 3 – устье р. Авачи, 4 – оз. Кривое, 5 – оз. Тхуклу

Fig. 1. Location of catching of ninespine stickleback: А – general layout, Б – fishing grounds in the lakes of the Oblukovina River basin, В – fishing grounds in the Avacha Bay basin, Г – fishing ground in Lake Prilivnoye. 1 – Lake Prilivnoye, 2 – lakes of the Paratunka River basin, 3 – mouth of the Avacha River, 4 – Lake Krivoie, 5 – Lake Tkhuklu

Наиболее обширный материал был собран в оз. Приливном. Это озеро лагунного типа, отделенное от моря песчано-гравийной косой, соединяется протокой с Авачинским заливом только в период паводков и больших приливов. Озеро извилистое, вытянуто в южном направлении на 4–5 км. В среднем глубина водоема составляет

0,3–0,4 м, в паводки доходит до 0,8 м. Вода во всем озере пресная. Небольшое количество морской воды поступает лишь во время больших приливов. Материал в оз. Приливном был собран во время ледостава, в период зимы 2022–2023 гг. Обловы проводили периодически в одном и том же месте, в приустьевой части протоки, выте-

кающей из озера. Лов всегда производили в первой половине дня, между 10 и 12 ч местного времени. Глубина озера вблизи устья протоки составляла 0,8–1,5 м, глубина русла ручья в месте лова – 0,8–2,0 м. Температура воды за период исследований колебалась от 0,0 до 1,2°C у поверхности и от 0,2 до 3,0°C у дна. Температура воздуха в период исследования изменялась от –18 до –4°C. В декабре и в марте лов осуществляли в полынье. В январе и феврале полынья замерзала. Толщина льда в месте лова составляла обычно 10–15 см и с конца декабря до начала марта менялась незначительно.

Для лова колюшек в оз. Приливном использовали сачок с металлическим обручем диаметром 40 см. Кутовая часть сачка была выполнена из мельничного газа с шагом ячеей 0,5 мм. Ручка сачка имела длину 50 см.

Стаи колюшек численностью 10–50 особей подходили к месту лова с частотой 1–2 мин. За замет в сачок обычно попадали

1–3 особи. Извлеченная из воды рыба сразу замерзала. Пойманные рыбы были зафиксированы 70%-ным этанолом. Всего было собрано 14 проб девятииглой колюшки (табл. 1).

Для количественной проверки морфологической различимости девятииглых колюшек из пяти мест обитания на Камчатке была проведена количественная оценка морфологической изменчивости представителей каждой популяции в данном районе.

Общую длину тела (*TL*) измеряли от переднего конца рыла до заднего края плавниковой каймы или до конца средних лучей хвостового плавника, стандартную длину (*SL*) – до основания средних лучей хвостового плавника. Подсчитано число спинных колючек, число колючих и мягких лучей в плавниках, жаберных тычинок на первой жаберной дуге, число костных щитков на хвостовом стебле. Схема измерений представлена на рисунке 2.

Таблица 1. Характеристика собранного материала и условий лова девятииглой колюшки рода *Pungitius* в водоемах Камчатки

Table 1. Characteristics of the collected material and fishing conditions for ninespine ickleback of the genus *Pungitius* in Kamchatka waters

Район лова	Дата лова	Кол-во, экз.	Длина (<i>SL</i>), мм		Орудие лова	Температура воды, °С	Глубина места, м	Сборщики	
			Пределы	Средняя					
Восточная Камчатка	Озеро Приливное	26.12.2023	3	51–61	55,3	Сачок	1,0	0,6	С.С. Григорьев
		11.01.2024	9	45–71	53,2		0,2	0,5	
		24.01.2024	13	46–69	53,3		0,2	0,8	
		6.03.2024	53	28–67	49,9		0,1	1,2	
		13.03.2024	79	27–65	50,1		0,1	0,6	
		20.03.2024	120	27–70	46,5		0,1	0,5	
		27.03.2024	96	35–62	38,5		0,3	0,5	
		3.04.2024	351	28–74	50,4		0,3	0,5	
		2.06.2024	10	48–63	52,3		2,0	0,5	
		6.06.2020	7	52–66	56,9		11,0	0,5	
		6.07.2024	5	52–62	56,8			0,4	
		13.07.2024	5	51–62	55,8			0,5	
		8.11.2024	2	48–50	49,0		1,4	0,6	
		15.01.2025	2	52–61	56,5		0,8	1,0	
Всего	755	27–74	49,9	0,1–11,0	0,4–1,2				
	Устье р. Авачи	9.08.1993	49	25–67	40,5	Мальковый невод		1,0	А.М. Токранов, Б.А. Шейко, Е.А. Архипова
	Озеро в бассейне р. Паратунки	23.08.1998	17	19–40	32,5			0,0–0,8	Б.А. Шейко, Н.П. Санамян

глазничный отдел головы, i_o – межглазничное расстояние.

Все измерения выполнены в лаборатории. Меристические признаки подсчитывали на фиксированном материале под бинокулярным микроскопом без окрашивания. Статистическая обработка выполненных измерений проводилась с использованием пакета компьютерных программ «STATISTICA». При анализе изменений пропорций тела по мере роста личинок, кроме собственных данных, использовали литературные данные [Зюганов, 1991; Ризевский, 2017; Семенов, 2009; Черешнев, 2002]. Для промеров пластических признаков и подсчета меристических признаков использовано 120 экземпляров. Всего использовано 1 361 экз.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полная длина пойманных во всех исследованных водоемах Камчатки экземпляров девятииглой колюшки изменялась от 23 до 83 мм, стандартная длина – от 20 до 76 мм. Преобладали рыбы стандартной длиной 41–50 мм, количество составляло

28,9% (рис. 3). Средняя стандартная длина составила 49,9 мм, средневзвешенная стандартная длина – 43,3 мм. Разменный состав девятииглой колюшки рода *Pungitius* из водоемов Камчатки показан на рисунке 3.

Длина экземпляров колюшек (*SL*) рода *Pungitius* в уловах в различных исследованных водоемах Камчатки составляла от 19,0 мм в озере бассейна р. Паратунки до 74,0 мм в оз. Приливном. Самые мелкие экземпляры были пойманы в озере бассейна р. Паратунки и в оз. Кривом (средняя длина составляла соответственно 28,4 и 32,5 мм). Самыми крупными колюшки были в оз. Приливном (средняя длина 49,9 мм). График размерного состава девятииглой колюшки из оз. Кривого отличался от графиков из прочих водоемов тем, что имел две вершины размерного ряда: 30–40 и 51–60 мм, а также более мелкой средней длиной экземпляров.

Меристические признаки девятииглой колюшки рода *Pungitius* из водоемов Камчатки в сравнении с литературными данными для других регионов приведены в таблице 2.

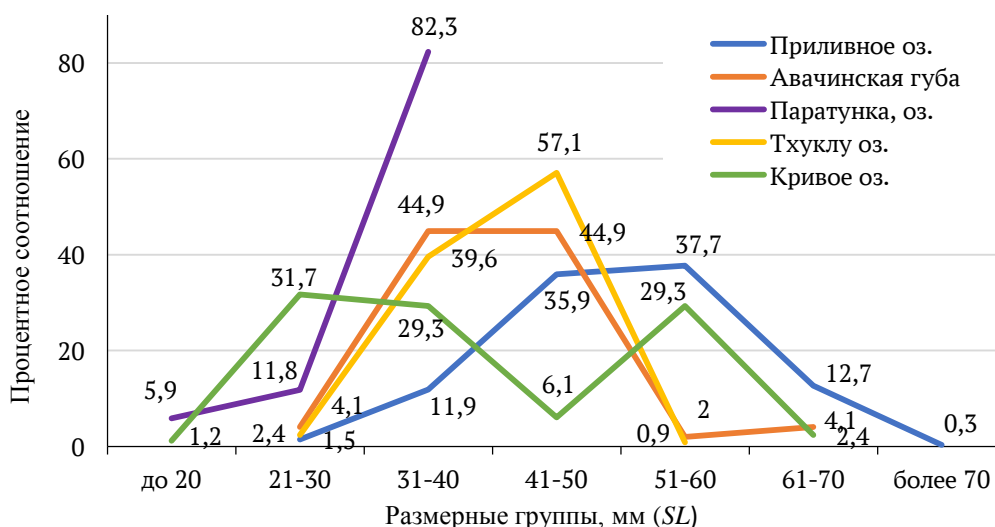


Рис. 3. Размерный состав девятииглой колюшки рода *Pungitius* из водоемов Камчатки

Fig. 3. Size composition of ninespine stickleback of the genus *Pungitius* from Kamchatka basin

Таблица 2. Меристические признаки девятииглой колючки рода *Pungitius* из водоемов Камчатки в сравнении с другими регионами

Table 2. Meristic characteristics of ninespine stickleback of the genus *Pungitius* from Kamchatka waters in comparison with other regions

Признаки	Водоемы Камчатки					Черешнев, 2002	Ризевский, 2017	Зюганов, 1991	
	оз. Приливное (Юго-Восточная Камчатка)	устье р. Авачи (Юго-Восточная Камчатка)	оз. бас. р. Паратунки (Юго-Восточная Камчатка)	оз. Тхуклу (Западная Камчатка)	оз. Кривое (Западная Камчатка)	оз. Чистое (бассейн Тауйской губы)	р. Припять (бассейн Черного моря)	оз. Рейдовое (Курильские о-ва)	р. Сходная (бассейн р. Волги)
<i>SL</i> , мм	27-74 (49,9)	25-67 (40,5)	19-40 (32,5)	22-57 (41,4)	20-68 (28,4)	42-81			
<i>ll</i> киль	8-6 (7)	5-8 (6,7)	6-12 (8,5)	6-8 (6,4)	6-8 (7,1)		4-8 (5,97)		8-12 (10)
<i>ll</i> бока	4-6 (5)	5-10 (7,7)	5-12 (8,9)	5-12 (7,3)	27-34 (30,5)	24-37 (35,3)	0	0-4 (2-7)	1-4 (5,97)
<i>vert.</i>	33-35 (34)	34-38 (36,4)	35	36-38 (37,1)	35	32-35 (33,3)	30-34 (31,97)	31-34 (32,3)	32-34 (33,0)
<i>D</i> ₁ кол.	8-12 (10)	9-11 (9,9)	8-10 (8,9)	8-9 (8,9)	9-10 (9,1)	9-10 (9,1)	8-11 (9,6)	7-11 (9,2)	9-10 (9,8)
<i>D</i> ₂ вет.	8-14 (11)	10-11 (10,2)	10-12 (10,8)	10-12 (10,8)	11-12 (11,4)	10-11 (10,8)	9-12 (10,3)	10-13 (10,8)	10-11 (10,7)
<i>A</i>	9-12 (10,5)	9-11 (9,9)	9-12 (10,4)	10-12 (10,7)	9-11 (10,2)	9-11 (9,8)	8-10 (9,17)	7-11 (9,6)	9-11 (10)
<i>P</i>	8-11 (9,5)	10	10	10	10	10	9-11 (10,27)		10
<i>C</i>	10-16 (13)	12	12	12	12		12-13 (12,1)		12
<i>sp.br.</i>	9-10 9,5	10-12 (11,25)	10-12 (11)	12-14 (12,9)	10	12-15 (12,6)	9-13 (11,7)	7-10 (8,2)	11-13 (11,7)

Примечание. В скобках указаны средние данные.

Note. The average data is stated in parentheses.

Количество позвонков у исследованных нами экземпляров насчитали от 33 до 38, хотя по известным значениям этого показателя для представителей рода *Pungitius* по литературным данным общее количество позвонков не превышает 35 [Зюганов, 1991; Ризевский, 2017; Черешнев, 2002].

Количество спинных колючек у изученных представителей из водоемов Камчатки изменялось от 8 до 11 (преимущественно 9-10), что вполне укладывается в значения этого признака для других водоемов. Высота последней колючки при-

мерно равна высоте предыдущих. Колючки направлены под углом в стороны зигзагообразно. Перепонкой колючки соединены со спинной частью. Колючки разделены между собой треугольной мембраной и отделены от мягких лучей спинного плавника. Они могут фиксироваться в поднятом положении.

Количество мягких лучей спинного плавника изменялось от 8 до 14 во всех изученных водоемах Камчатки, хотя Г.Г. Зюганов [1991] указывает максимум 13 колючек. В среднем количество мягких лучей

спинного плавника в четырех водоемах (оз. Приливном, устье р. Авачи, оз. бас. р. Паратунки, оз. Тхуклу) изменялось от 10,2 до 11,0, но у колюшек оз. Кривого этот показатель был выше – 11,4.

У всех просмотренных экземпляров в начале анального плавника имеется небольшая колючка. Количество мягких лучей анального плавника от 9 до 12 (чаще 10), что укладывается в пределы значений для других регионов.

В грудном плавнике у экземпляров из оз. Приливногo 8–11 (в среднем 9,5) лучей. У всех экземпляров из прочих водоемов Камчатки в грудном плавнике насчитано 10 лучей. По литературным данным, этот показатель у колюшек видов как у *P. pungitius*, так и у *P. sinensis* составляет 9–10 лучей [Зюганов, 1991], а для вида *P. pungitius* из р. Припяти указано 9–11 (в среднем 10,27) лучей. В грудном плавнике имеется одна длинная колючка.

В хвостовом плавнике насчитано от 10 до 16 основных лучей. Число мягких лучей в хвостовом плавнике, в верхней и нижней его части, в сумме составляло обычно 12 (85,9% случаев). У экземпляров из оз. Приливногo встречалось 14 лучей (12,5% случаев). Там же были встречены единичные экземпляры с 10 и 16 мягкими лучами хвостового плавника. По литературным данным, этот показатель у видов *P. pungitius* и *P. sinensis* составляет 12–13 лучей.

Количество жаберных тычинок на первой жаберной дуге у экземпляров из водоемов Камчатки изменялось от 9 до 14 (чаще количество их составляло 10–12). Эти значения близки к литературным данным, где указывается для вида *P. pungitius* 7–13 тычинок [Зюганов, 1991], а для вида *P. sinensis* 12–15 тычинок [Черешнев, 2002].

Виды рода *Pungitius* подвержены многочисленным вариациям в отношении числа боковых пластин на теле и на киле, числа

жаберных тычинок, степени развития брюшных колючек, спинных колючек и некоторым другим признакам. Наличие костных пластин, расположенных на киле и на теле перпендикулярно по отношению к боковой линии, является у девятииглых колюшек важным систематическим признаком.

В рассмотренном материале из водоемов Камчатки у всех экземпляров на киле присутствовали костные пластинки. Количество их изменялось от 5 до 12. Среднее количество в различных водоемах составляло от 6,4 в оз. Тхуклу до 8,5 в бассейне р. Паратунки. Эти значения вполне соответствуют литературным данным, указанным по этому признаку для вида как *P. pungitius*, так и *P. sinensis* [Зюганов, 1991; Ризевский, 2017].

Хвостовой стебель с хорошо выраженным килем, состоящим из костных пластинок (или щитков). Количество выраженных пластинок изменялось от 7 до 16. Четко выраженные пластинки постепенно переходили в нечеткие. В рассмотренном материале из водоемов Камчатки у всех экземпляров костные пластинки на киле имели продолжение на заднюю часть тела. У экземпляров из четырех водоемов Камчатки (оз. Приливногo, устья р. Авачи, оз. бас. р. Паратунки, оз. Тхуклу) киль от хвостового стебля имел небольшое продолжение на бока в задней части тела в виде нескольких пластин. Количество таких пластин составляло от 5 в оз. Приливном до 12 в оз. бас. р. Паратунки и оз. Тхуклу. Однако у экземпляров из оз. Кривого боковые пластины на теле имели значительное продолжение по боковой линии тела, хотя и были слабо выражены. Количество таких пластин на теле насчитано от 27 до 34 (в среднем 30,5). Такое явление в озерах западного побережья Камчатки отмечалось и ранее. Оно рассматривалось подобно тому, как существование

морф «*trachurus*», «*semiarmatus*» и «*leiurus*» у *G. aculeatus* [Шейко, Федоров, 2000].

Пластические признаки девятииглой колюшки рода *Pungitius* из водоемов Камчатки в сравнении с литературными данными приведены в таблице 3.

Высота тела у начала основания анального плавника у экземпляров из водоемов Камчатки изменялась незначительно, от 13,1 до 18,9% от стандартной длины тела (стандартное отклонение 34,3). У европейских экземпляров вида *P. pungitius* этот показатель был выше (в среднем от 17,8 до 21,5%).

Хвостовой стебель у всех исследованных экземпляров был низким. Высота хвостового стебля у экземпляров из водоемов Камчатки изменялась от 1,8 до 5,6% от стандартной длины тела. В среднем колебания значений этого показателя у экземпляров из различных водоемов Камчатки было незначительным (от 2,3 до 2,8%, стандартное отклонение 40,2). По литературным данным были близкие значения (в среднем от 1,9 до 2,8%).

Антедорсальная длина исследуемых экземпляров изменялась от 21,1 до 35,8% от стандартной длины тела (в среднем от 27,6 до 29,9%, стандартное отклонение 29,4). Среднее значение этого показателя из оз. Кривого (27,6%) были немного ниже, чем у экземпляров из других водоемов Камчатки (29,1–29,9%) и чем у вида *P. pungitius* по литературным данным (29,2–30,2%). Также отличалась постдорсальная длина у экземпляров из оз. Кривого (в среднем 12,1%) от этого показателя у экземпляров из водоемов Камчатки (в среднем 14,1–14,9%, стандартное отклонение 36,8) и экземпляров *P. pungitius* по литературным данным (в среднем 14,1–15,1%).

Расстояние между анусом и анальным плавником у исследуемых экземпляров из

водоемов Камчатки изменялось незначительно (в среднем от 1,9 до 3,2%, стандартное отклонение 40,1). По имеющимся данным для Куйбышевского водохранилища этот показатель был выше (в среднем 4,6%).

Антевентральная длина у всех исследуемых экземпляров из водоемов Камчатки и по литературным данным изменялась незначительно и составляла в среднем от 35,7 до 39,1% от стандартной длины тела (стандартное отклонение 26,5).

Средние показатели антеанальной длины в % от длины тела у исследуемых экземпляров из водоемов Камчатки и по литературным данным также изменялись незначительно (в среднем от 56,8 до 65,0%, стандартное отклонение 16,2).

Расстояние между грудным плавником и брюшной колючкой у исследуемых экземпляров из водоемов Камчатки подвержены значительной изменчивости, относительные показатели которых больше всего у экземпляров из оз. бас. р. Паратунки (от 1,4 до 10,9% от стандартной длины тела, стандартное отклонение 39,6). Эти же показатели по литературным данным были выше, по сравнению с таковыми для камчатских экземпляров (в среднем соответственно 2,6–4,1 и 5,1–7,5%).

Расстояние между брюшной колючкой и анальным плавником у исследуемых экземпляров из водоемов Камчатки изменялось от 15,4 до 25,0% (в среднем 17,7–22,0%, стандартное отклонение 32,8). По литературным данным этот показатель был выше (в среднем 25,0–26,4%).

Значения относительной длины хвостового стебля были близкими у камчатских экземпляров и по литературным данным в среднем соответственно 12,7–14,1 и 14,1–15,2%. Однако наименьшие значения этого показателя отмечены у экземпляров из оз. Кривого (10,4–14,6%, в среднем 12,7%, стандартное отклонение 35,9).

Таблица 3. Пластические признаки девятиглой колюшки рода *Pungitius* из водоемов Камчатки в сравнении с литературными данными
 Table 3. Plastic characteristics of ninespine stickleback of the genus *Pungitius* from Kamchatka waters in comparison with literary data

Признаки	Водоемы Камчатки						Сев. побер. Охотского моря (Черешнев, 2002)	Басейн реки Припяти, Беларусь (Ризевский, 2017)		Басейн реки Волги (Семенов, 2009)
	Юго-Восточная Камчатка			Западная Камчатка				р. Кречег	р. Тур	
	оз. Приливное	устье р. Авачи	оз. бас. р. Паратунки	оз. Тхуклу (Зап. Камчатка)	оз. Тхуклу (Зап. Камчатка)	оз. Кривое (Зап. Камчатка)				
<i>SL</i>	27-74	25-67	19-40	22-57	20-68	42-81				
% от длины тела <i>SL</i>										
<i>H</i>	17,1-21,0 (19,1)	13,1-17,9 (16,2)	16,2-17,6 (17,0)	14,4-16,7 (15,3)	15,4-18,9 (17,0)		15,9-21,0 (17,8)	18,5-23,3 (21,5)	14,8-20,4 (17,2)	
<i>h</i>	2,5-3,8 (3,2)	2,3-5,6 (2,8)	1,8-2,9 (2,5)	2,1-2,5 (2,4)	1,9-2,9 (2,3)	1,6-2,0 (1,9)	1,6-2,4 (2,0)	1,7-2,2 (2,0)	2,1-3,7 (2,8)	
<i>aD</i>	26,0-31,0 (28,5)	26,1-35,8 (29,9)	27,0-31,3 (29,6)	22,8-34,1 (29,1)	21,1-31,3 (27,6)		27,0-33,3 (30,1)	28,2-31,5 (30,2)	26,5-34,8 (29,2)	
<i>pD</i>	9,0-12,9 (11,0)	10,8-25,0 (14,9)	11,4-15,7 (14,1)	10,8-19,5 (14,7)	5,6-14,5 (12,1)		11,6-17,9 (15,1)	12,9-15,8 (14,1)		
<i>Ay</i>	3,1-3,6 (3,4)	2,0-3,5 (2,9)	1,3-2,8 (1,9)	2,0-5,1 (3,2)	1,2-4,7 (2,7)				3,7-5,4 (4,6)	
<i>aV</i>	29,2-34,0 (31,6)	32,6-41,3 (37,3)	35,1-40,0 (38,2)	29,8-40,5 (35,7)	32,7-40,4 (38,9)		36,2-41,0 (38,3)	37,1-41,3 (39,1)		
<i>aA</i>	64,6-68,0 (66,3)	52,3-66,7 (61,1)	51,4-60,3 (56,8)	55,2-64,9 (61,6)	58,2-72,5 (64,7)		60,3-66,2 (62,9)	62,2-68,1 (65,0)		
<i>PV</i>	7,3-10,0 (8,7)	1,9-3,8 (2,6)	1,4-10,9 (4,1)	2,3-3,9 (3,2)	1,8-2,9 (2,4)		4,2-6,5 (5,1)	6,0-9,5 (7,5)		
<i>VA</i>	24,4-25,0 (24,7)	15,4-24,6 (20,4)	15,8-20,3 (17,7)	16,2-23,5 (19,6)	17,3-25,0 (22,0)		22,3-27,2 (25,0)	24,0-29,6 (26,4)		
<i>Ip</i>	11,0-13,5 (12,3)	11,9-17,2 (13,1)	11,7-15,7 (14,1)	11,4-15,7 (13,4)	10,4-14,6 (12,7)		10,111-17,9 (15,2)	12,6-15,4 (14,1)		
<i>c</i>	21,9-27,0 (24,5)	21,5-29,7 (24,1)	27,0-29,7 (28,6)	22,4-28,6 (26,5)	24,4-29,8 (27,4)	24,7-26,7 (25,6)	24,6-28,8 (26,6)	25,1-28,4 (26,5)	23,6-31,3 (26,9)	
<i>ID</i>	54,2-62,0 (51,8)	49,2-68,8 (60,7)	47-52,9 (49,1)	46,2-73,0 (61,6)	58,2-75,5 (68,5)				52,1-63,2 (56,6)	
<i>hD</i>	5	4,3-8,2 (6,4)	6,2-8,0 (6,9)	3,8-6,8 (5,2)	5,8-8,6 (7,5)		8,9-12,1 (10,2)	8,1-11,0 (9,8)		
<i>IP</i>	15,4-16 (15,7)	9,6-14,2 (12,7)	11,7-17,1 (15,0)	10,8-14,1 (12,9)	11,8-21,7 (15,7)		13,3-16,4 (14,7)	12,6-15,7 (14,2)	14,5-17,2 (15,9)	

Окончание таблицы 3

The End of the Table 3

Признаки	Водоемы Камчатки						Сев. побер. Охотского моря (Черешнев, 2002)	Бассейн реки Припяти, Беларусь (Ризевский, 2017)		Бассейн реки Волги (Семенов, 2009)
	Юго-Восточная Камчатка			Западная Камчатка				р. Кречет	р. Тур	
	оз. Приливное	устье р. Авачи	оз. бас. р. Паратунки	оз. Тхуклу (Зап. Камчатка)	оз. Кривое (Зап. Камчатка)	оз. Чистое				
<i>их1</i>	6,7-10,0 (8,4)	4,6-6,5 (5,8)	4,7-6,3 (5,5)	4,7-6,5 (5,2)	4,7-5,7 (5,4)				4,3-7,0 (5,6)	
<i>zz1</i>	9,6-10,8 (10,2)	6,9-11,6 (9,1)	8,0-12,4 (10,1)	5,7-8,8 (7,5)	5,6-12,3 (9,6)				8,9-12,1 (10,6)	
<i>IA</i>	24,0-25,0 (24,5)	18,0-26,7 (20,1)	17,5-21,7 (19,9)	14,1-19,5 (17,2)	17,3-26,8 (21,3)		16,8-21,5 (20,1)		17,7-27,1 (22,5)	
<i>hA</i>	5,4-6,4 (5,9)	5,9-8,7 (6,7)	5,3-8,3 (6,7)	5,6-7,4 (6,5)	6,6-8,7 (7,4)		7,5-11,4 (10,0)			
<i>IV</i>	7,6-10,0 (8,8)	6,2-12,0 (9,1)	8,3-11,8 (9,8)	6,2-8,7 (7,5)	6,8-10,6 (9,0)		8,2-11,7 (10,2)			
<i>IC</i>	10,6-15,0 (12,8)	7,7-14,1 (10,6)	11,1-13,0 (11,8)	9,6-11,7 (10,8)	8,5-12,3 (10,6)		11,7-15,1 (13,3)			
<i>сН</i>	55,5-57,1 (56,3)	52,6-69,8 (61,1)	50,0-64,1 (53,8)	48,4-58,7 (51,6)	49,7-59,1 (55,2)		58,3-68,2 (63,4)		50,9-64,8 (56,8)	
В % от длины головы с										
<i>ао</i>	28,1-29,6 (28,9)	22,6-26,7 (25,0)	24,2-28,2 (26,5)	22,0-27,6 (24,0)	22,1-32,1 (27,7)		19,8-27,3 (24,1)		25,7-34,3 (29,9)	
<i>о</i>	22,2-22,8 (22,5)	19,3-28,3 (23,5)	25,6-31,9 (28,4)	22,1-30,1 (24,7)	21,1-26,0 (23,9)		26,6-32,0 (29,2)		21,4-28,4 (24,7)	
<i>по</i>	47,6-48,1 (47,7)	35,8-56,8 (48,8)	38,8-44,9 (41,4)	45,0-60,9 (47,1)	38,5-48,5 (43,9)		44,9-50,0 (47,3)		41,9-6,8 (48,3)	
<i>io</i>	33,3-36,2 (34,8)	13,7-26,4 (22,9)	11,4-19,2 (15,0)	14,6-23,5 (18,3)	14,9-21,2 (17,6)				35,7-43,7 (39,9)	

Относительная длина головы у исследуемых экземпляров из водоемов Камчатки изменялась от 21,5 до 29,8% (в среднем от 24,1 до 28,6%, стандартное отклонение 30,8). По литературным данным были близкие показатели (в среднем 25,6–26,9%).

Относительная длина основания спинного плавника изменялась от 49,2 до 75,5% (в среднем от 49,1 до 75,5% от длины тела, стандартное отклонение 18,8) что вполне укладывается в пределы этого показателя по литературным данным (52,1–63,2%, в среднем 56,6%). Наиболее длинное основание спинного плавника относительно длины тела было у экземпляров из оз. Кривого (в среднем 68,5%), а наиболее короткое – из бассейна р. Паратунки (49,1%).

Наибольшая высота спинного плавника относительно длины тела у экземпляров из водоемов Камчатки изменялась от 4,3 до 8,6% (в среднем от 5,2 до 7,5, стандартное отклонение 38,7), что заметно ниже показателей европейских экземпляров, по литературным данным (8,1–12,1%, в среднем 9,8–12,2%). Среди водоемов Камчатки наибольшее значение этого показателя было у экземпляров из оз. Приливного.

Относительная высота наибольших лучей анального плавника у всех изученных экземпляров с Камчатки заметно различалась (от 6,5 до 7,4%, стандартное отклонение 38,5), причем у экземпляров из оз. Кривого этот показатель был наивысшим (в среднем 7,4%). По литературным данным этот показатель был еще выше (в среднем 10,0%).

Относительно длины тела такие величины, как длина наибольших лучей грудного плавника, длина основания грудного плавника, длина лучей брюшного плавника, длина основания анального плавника, длина брюшной колючки, длина хвостового плавника, высота головы в области затылка у всех изученных экземпляров из

водоемов Камчатки и по литературным данным изменялась довольно значительно (стандартное отклонение от 32,9 до 37,6). Относительно длины головы такие величины, как длина рыла, горизонтальный диаметр глаза, заглазничный отдел головы у всех изученных экземпляров с Камчатки и по литературным данным изменялись незначительно (стандартное отклонение 22,7–30,5). Это наименее изменчивые признаки. Небольшая разница между показателями исследуемых экземпляров и литературными данными могла быть вызвана особенностью измерения в разных условиях разными специалистами.

Межглазничное расстояние в % относительно длины головы всех изученных экземпляров с Камчатки изменялось довольно значительно (от 11,4 до 26,4%, в среднем 15,0–23,5%, стандартное отклонение 33,1). Значения этого показателя по литературным данным превышало полученные в данном исследовании значения (35,67–43,71%, в среднем 39,9%).

Кластерный анализ как меристических, так и пластических признаков показывает, что экземпляры девятииглой колючки из оз. Кривого отличаются от представителей рода *Pungitius* из других водоемов Камчатки (рис. 4). Отличия в меристических признаках составляют, прежде всего, наличие слабых щитков на боковой линии в виде продолжения кия на хвостовом стебле и количестве мягких лучей спинного плавника. Среди пластических признаков отличия составляют несколько большая относительная длина основания и наибольшая высота спинного плавника, относительно более короткий хвостовой стебель, более низкие значения антедорсальной и постдорсальной длины.

Полученные данные показывают, что в оз. Кривом обитает вид *P. sinensis*. Возможность обитания этого вида в водоемах

западного побережья Камчатки ранее исследованиями неоднократно подтверждалась [Берг, 1949; Линдберг, Легеза, 1965; Зюганов, 1991].

Исследования показали, что в сравнительно близко расположенных небольших

пойменных озерах в нижнем течении р. Облуковины западного побережья Камчатки, Тхуклу и Кривого замечено явное различие пойманных экземпляров девятииглой колюшки (рис. 5).

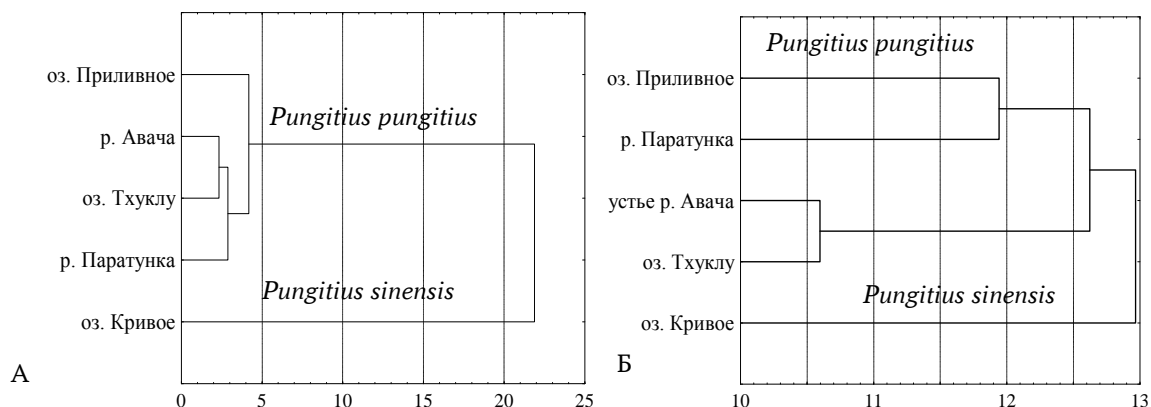


Рис. 4. Дендрограмма кластерного анализа на основе квадратов евклидовых расстояний с использованием метода межгрупповой связи популяций девятииглой колюшки рода *Pungitius* из водоемов Камчатки по меристическим (А) и пластическим (Б) признакам. Метод одиночной связи

Fig. 4. Dendrogram of cluster analysis based on squared Euclidean distances using the intergroup linkage method for populations of ninespine stickleback of the genus *Pungitius* from Kamchatka reservoirs based on meristic (A) and plastic (B) characteristics. Single linkage method



Рис. 5. Сравнение наиболее крупных фиксированных в формалине экземпляров девятииглых колюшек рода *Pungitius* из озер Тхуклу (*P. pungitius*): А – 52, Б – 55, В – 57 мм и Кривого (*P. sinensis*): Г – 64, Д – 68 мм (SL)

Fig. 5. Comparison of formalin-fixed specimens of ninespine sticklebacks of the genus *Pungitius* from lakes Thuklu (*P. pungitius*): А – 52, Б – 55, В – 57 mm and Krivoeye (*P. sinensis*): Г – 64, Д – 68 mm (SL)

Предыдущие исследования [Токранов, Паскочина, 2023] показали, что девятииглая колюшка в озерах Тхуклу и Кривом, небольших замкнутых водоемах нижнего течения р. Облуковины, где количество кормовых ресурсов ограничено, а численность потребителей достаточно высока, отличается особенностями питания. Особи девятииглой колюшки нагуливаются преимущественно у дна, и основными кормовыми объектами им служат различные мелкие донные, придонные беспозвоночные и личинки комаров-звонцов. Сравнение состава пищи девятииглой колюшки в озерах Тхуклу и Кривом, показало: изолированность этих водоемов привела к расхождению спектров питания. Если в оз. Тхуклу пищей служат различные мелкие бентосные организмы (79,8% по массе) с небольшой долей личинок Chironomidae (17,5%), то в оз. Кривом небольшие бентосные организмы составляли 27,5% по массе, а личинки Chironomidae преобладали (55,3% по массе). Кроме того, в пище девятииглой колюшки этого водоема встречались имаго Hemiptera (13,2% по массе).

Остается неясным, почему в сравнительно близко расположенных небольших пойменных озерах в нижнем течении р. Облуковины западного побережья Камчатки, оз. Тхуклу и Кривом, обитают разные виды, тогда как вид *P. pungitius* встречается в водоемах всей Камчатки. Видимо, этот вид не мог попасть в оз. Кривое из-за изолированности этих двух близлежащих водоемов.

Палеонтологические исследования [Wang et al., 2021] показали, что дивергенция между *P. pungitius* и *P. sinensis*, начавшаяся в результате закрытия Берингова пролива около 5 млн лет назад, к настоящему времени практически завершилась. Анализ данных по гибридизации показал, что обмен генами между этими видами сейчас незначительный и в подавляющем боль-

шинстве водоемов носит случайный характер. Следовательно, *P. sinensis* и *P. pungitius* следует считать отдельными таксонами. Минимальное время расхождения видов рода *Pungitius* от самого последнего общего предка произошло 7,65 млн лет назад [Wang et al., 2021]. Результаты предыдущих исследований [Guo et al., 2019; Wang et al., 2021] позволяют предположить, что существует по меньшей мере четыре направления расселения популяций *P. sinensis*, а также образование других видов от общего предка *P. pungitius*: 1) популяции в районе Охотского моря, 2) популяции северной Японии, Сахалина и западного побережья Японского моря, 3) популяции Южной Кореи, 4) китайские внутренние популяции (рис. 6). Показано распространение вида *P. sinensis* в западной части п-ва Камчатка вместе с видом *P. pungitius*, широко распространенным по всей Камчатке.

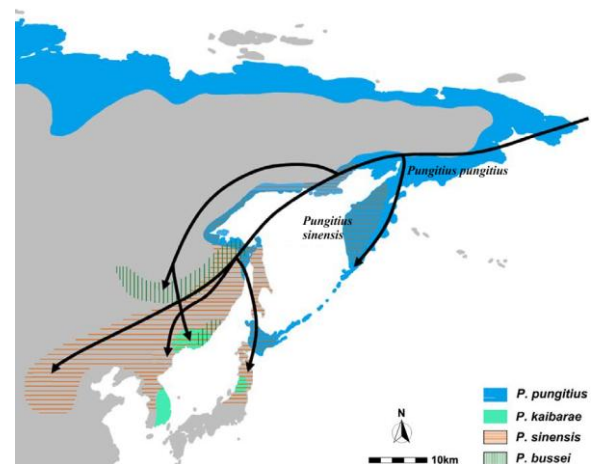


Рис. 6. Предполагаемые пути распространения колюшек рода *Pungitius* в Северо-Восточной Азии (реконструкция по Wang et al., 2021)

Fig. 6. Proposed distribution routes of sticklebacks of the genus *Pungitius* in North-East Asia (reconstruction after Wang et al., 2021)

Согласно генетическим исследованиям, на юге ареала своего распространения расхождение внутри *P. sinensis* произошло после захвата митогенома у *P. pungitius*

приблизительно 1,32 млн лет назад [Wang et al., 2021]. Данная гипотеза объясняет распространение амурской колюшки в водоемах западного побережья Камчатки и согласуется с результатами проведенных в настоящей работе исследований.

ВЫВОДЫ

Полученные морфологические данные показывают, что на Камчатке из рода *Pungitius*, помимо обычной девятииглой колюшки *P. pungitius*, обитает амурская девятииглая колюшка *P. sinensis*. В работе показано обитание изолированной популяции амурской девятииглой колюшки *P. sinensis* в оз. Кривом на западном побережье Камчатки.

Амурская девятииглая колюшка *P. sinensis* отличается от обычной девятииглой колюшки *P. pungitius* следующими признаками: более мелкими средними размерами особей, двухвершинным рядом размерного состава, слабо выраженными вертикальными костными боковыми пластинками почти на всем протяжении по бокам тела, более высоким средним числом мягких лучей спинного плавника, более коротким хвостовым стебелем, относительно меньшей антедорсальной и постдорсальной длиной тела.

Изолированность внутренних водоемов западного побережья Камчатки может служить объяснением сохранения в некоторых из них амурской девятииглой колюшки *P. sinensis*.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания КФ ТИГ ДВО РАН по теме «Структурно-функциональная организация, динамика и продуктивность наземных и прибрежных экосистем на Дальнем Востоке РФ. Разработка научных основ и экономиче-

ских инструментов устойчивого природопользования» (№ ЕГИСУ 124012700496-4). Тема 2 «Исследование и сохранение уникального морского биоразнообразия Камчатки» (№ ЕГИСУ 124093000049-8).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Комиссия по биоэтике Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН, созданная 20.11.2023 г. приказом директора Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН № 39-ОД, подтверждает, что авторами были соблюдены все международные, национальные и/или институциональные принципы использования животных (№ 01–22.11.2023).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Берг Л.С. 1949. Рыбы пресных вод СССР и сопредельных стран. Т. 3. Изд-во АН СССР. Москва; Ленинград. 925 с.
- Богущая Н.Г., Насека А.М. 2004. Каталог бесчелюстных и рыб пресных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями. Москва: КМК. 389 с.
- Богущая Н.Г., Насека А.М. 1997. Круглоротые и рыбы бассейна озера Ханка. Научные тетради. Санкт-Петербург: ГОСНИОРХ, Вып. 3. 89 с.
- Василец П.М., Карпенко В.И., Максименков В.В. 1999. Ихтиофауна эстуариев рек Восточной Камчатки. Тезисы докладов областной научно-практической конференции «Проблемы охраны и рационального использования биоресурсов Камчатки» (Петропавловск-Кам-

- чатский 10–12 июня 1999 г.). Петропавловск-Камчатский: Госкомкамчатэкология. С. 48–49.
- Виноградов К.А. 1949. О сезонных изменениях состава ихтиофауны Авачинской губы (Восточная Камчатка). *Зоологический журнал*. Т. 28. Вып. 6. С. 573–574.
- Григорьев С.С. 2024. Размерно-весовой состав и морфологическая характеристика девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* (Gasterosteidae) из озера Приливного (Юго-Восточная Камчатка) зимой 2022–2023 гг. *Вестник Камчатского государственного технического университета* № 67. С. 43–58. DOI: 10.17217/2079-0333-2024-67-43-58
- Долганов В.Н., Кравченко А.Ю. 2011. О филогенетических отношениях колюшек рода *Pungitius* Дальнего Востока. *Известия ТИНРО*. Т. 167. С. 120–127.
- Зюганов В.В. 1991. Семейство колюшковых (Gasterosteidae) мировой фауны. *Монография*. Ленинград: Наука. 261 с.
- Коваль М.В., Есин Е.В., Бугаев А.В. и др. 2015. Пресноводная ихтиофауна рек Пенжина и Таловка (Северо-Западная Камчатка). *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Вып. 37. С. 53–145. DOI:10.15853/2072-8212.2015.37.53-145.
- Куренков И.И. 1965. Зоогеография пресноводных рыб Камчатки. *Вопросы географии Камчатки*. Вып. 3. С. 25–34.
- Линдберг Г.У., Легеза М.Н. 1965. Рыбы Японского моря и сопредельных частей Охотского и Желтого морей. Часть 2. Teleostomi. Acipenseriformes – Poly-nemiformes. Москва; Ленинград: Наука. 392 с.
- Маркевич Г.Н., Панфилова П.Н. 2014. Современное состояние и многолетние изменения ихтиофауны эстуария реки Камчатки. *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Вып. 32. С. 21–34.
- Мешкова М.Г., Смирнов Б.П. 2003. Ихтиофауна озера Большой Вилкой. *Материалы IV научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»* (Петропавловск-Камчатский, 18–19 ноября 2003 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО. С. 71–76.
- Павлов Д.С., Кириллов П.И., Кириллова Е.А. и др. 2016. Состояние и мониторинг биоразнообразия рыб, рыбообразных и среды их обитания в бассейне реки Утхолок. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 197 с.
- Пичугин М.Ю., Сидоров Л.К., Стыгар В.М. 2004. Биологические и морфологические особенности девятииглых колюшек рода *Pungitius* (Gasterosteiformes) Курильских островов. *Вопросы ихтиологии*. Т. 44. № 1. С. 15–26.
- Решетников Ю.С. (ред). 2003. Атлас пресноводных рыб России. В 2 томах. Том 2. Москва: Наука. 253 с.
- Решетников Ю.С., Савваитова К.А. 1998. Отряд XII. Gasterosteiformes Goodrich, 1909. Колюшкообразные. Аннотированный каталог круглоротых и рыб континентальных вод России. Москва: Наука. С. 111–113.
- Ризевский В.К. 2017. Морфометрические параметры девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* (Linnaeus, 1758) из водоемов бассейна Черного моря. *Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук*. № 4. С. 33–39.
- Семенов Д.Ю. 2009. Биоэкологическая характеристика девятииглой колюшки *Pungitius pungitius* (Linnaeus, 1758) Куйбышевского водохранилища. *Известия Самарского научного центра*

- Российской академии наук. Т. 11. № 1. С. 181–184.
- Токранов А.М. 1994. Состав сообщества рыб эстуария р. Большая (Западная Камчатка). *Вопросы ихтиологии*. Т. 34. № 1. С. 5–12.
- Токранов А.М., Бугаев В.Ф. 2001. Сообщество рыб приустьевой зоны р. Камчатка. *Сборник материалов II научной конференции «Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей»* (Петропавловск-Камчатский, 9–10 апреля 2001 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 97–98.
- Токранов А.М., Паскочина А.А. 2023. Девятииглая колюшка *Pungitius pungitius* из озер нижнего течения р. Облуковина (Западная Камчатка). *Чтения памяти В.Я. Леванидова*. Вып. 10. С. 272–279.
- Токранов А.М., Шейко Б.А. 2015. Современный состав ихтиофауны Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка). *Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана*. Вып. 36. С. 48–54. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.36.48-54
- Федоров В.В., Черешнев И.А., Назаркин А.В. и др. 2003. Каталог морских и пресноводных рыб северной части Охотского моря. Владивосток: Дальнаука. 198 с.
- Черешнев И.А. 2002. Первая находка амурской девятииглой колюшки *Pungitius sinensis* на материковом побережье Охотского моря. *Вопросы ихтиологии*. Т. 42. № 1. С. 133–135.
- Черешнев И.А. 1996. Аннотированный список рыбообразных и рыб пресных вод Арктики и сопредельных территорий. *Вопросы ихтиологии*. Т. 36. № 5. С. 597–608.
- Шейко Б.А., Федоров В.В. 2000. Класс Cephalaspidomorphi – Миноги. Класс Chondrichthyes – Хрящевые рыбы. Класс Holoccephali – Цельноголовые. Класс Osteichthyes – Костные рыбы. Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор. С. 7–69.
- Шмидт П.Ю. 1950. Рыбы Охотского моря. Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР. 370 с.
- FishBase. URL: https://www.fishbase.se/summary/Pungitius_sinensis.html;
http://fishbiosystem.ru/GASTEROSTEIFORMES/Gasterosteidae/Pungitius_sinensis1.html
- Guo B., Fang, B., Shikano T. et al. 2019. A phylogenomic perspective on diversity, hybridization and evolutionary affinities in the stickleback genus *Pungitius*. *Molecular Ecology*. № 28(17). P. 4046–4064. URL: <https://doi.org/10.1111/mec.15204>
- Keivany Y., Nelson J.S. 2000. Taxonomic review of the genus *Pungitius*, ninespine sticklebacks (Gasterosteidae). *Cybium: International Journal of Ichthyology*. № 24. P. 107–122.
- Kim I.-S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. *Freshwater fishes*. Vol. 37. Seoul: Ministry of Education. 629 p.
- Masuda H., Amaoka K., Araga C. et al. 1984. The fishes of the Japanese Archipelago. Tokyo: Tokai Univ. Press. 437 p.
- Monod T. 1973. Gasterosteidae. In: J.-C. Hureau, T. Monod (Eds.). Check-list of the fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean (CLOFNAM). Vol. 1. Paris: UNESCO. P. 280–286.
- Okada Y. 1961. Studies of the freshwater fishes of Japan. “1959–1960”. Prefectural University of Mei, Tsu. 860 p.
- Pietsch T.W., Amaoka K., Stevenson D.E. et al. 2001. Fresh-water fishes of the Kuril Islands and adjacent regions. *Species Diversity*. Vol. 6. № 2. P. 133–164.
- Popov A.M. 1933. Fishes of Avatcha Bay on the Southern Coast of Kamtchatka. *Copeia*. № 2. P. 59–67.

- Takahashi H., Møller P.R., Shedko S.V. et al. 2016. Species phylogeny and diversification process of Northeast Asian *Pungitius* revealed by AFLP and mtDNA markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. № 99. P. 44–52. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.03.022>
- Wang Y., Zhao Y., Kravchenko A.Y. et al. 2021. Phylogenomics of Northeast Asian *Pungitius* sticklebacks. *Diversity and Distributions*, Vol. 28. Iss. 12. P. 2610–2621 URL: <https://doi.org/10.1111/ddi.13423>.
- Zhu S.Q. 1995. The synopsis of freshwater fishes of China. Jiangsu Science and Technology Publishing House. P. 1–549.
- REFERENCES**
- Berg L.S. 1949. Freshwater Fishes of the USSR and Adjacent Countries. Vol. 3. USSR Academy of Sciences Publishing House. Moscow; Leningrad. 925 p. (in Russian).
- Bogutskaya N.G., Naseka A.M. 2004. Catalogue of Agnatha and Fishes of Fresh and Brackish Waters of Russia with Nomenclatural and Taxonomic Comments. Moscow: KMK Publ. 389 p. (in Russian).
- Bogutskaya N.G., Naseka A.M. 1997. Cyclostomes and Fishes of the Khanka Lake Basin: Scientific Notebooks. St. Petersburg: GOSNIORKh. Iss. 3. 89 p. (in Russian).
- Vasilets P.M., Karpenko V.I., Maksimov V.V. 1999. Ichthyofauna of River Estuaries in Eastern Kamchatka. *Abstracts of reports of the regional scientific-practical conference “Problems of protection and rational use of bioresources of Kamchatka”* (Petropavlovsk-Kamchatsky, June 10-12, 1999). Petropavlovsk-Kamchatsky: Goskomkamchatekologiya. P. 48–49 (in Russian).
- Vinogradov K.A. 1949. On seasonal changes in the composition of the ichthyofauna of Avacha Bay (Eastern Kamchatka). *Zoologicheskij zhurnal (Russian Journal of Zoology)*. Vol. 28. Iss. 6. P. 57–574 (in Russian).
- Grigoriev S.S. 2024. Size-weight composition and morphological characteristics of nine-spined stickleback *Pungitius pungitius* (Gasterosteidae) from Lake Prilivnoye (South-Eastern Kamchatka) in winter 2022–2023. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. №. 67. P. 43–58. DOI: 10.17217/2079-0333-2024-67-43-58 (in Russian).
- Dolganov V.N., Kravchenko A.Yu. 2011. On the phylogenetic relationships of sticklebacks of the genus *Pungitius* in the Far East of Russia. *Izvestiâ Tihookeanskogo naučno-issledovatel'skogo rybohozâjstvennogo centra (News of the Pacific Institute of Fisheries and Oceanography)*. Vol. 167. P. 120–127 (in Russian).
- Zyuganov V.V. 1991. Family of sticklebacks (Gasterosteidae) of the world fauna: *Monograph*. Leningrad: Science Publ. 261 p. (in Russian).
- Koval M.V., Esin E.V., Bugaev A.V. et al. 2015. Freshwater ichthyofauna of the Penzhina and Talovka rivers (Northwestern Kamchatka). *Issledovaniya vodnykh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnojchasti Tihogo okeana (Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern Pacific Ocean)*. Iss. 37. P. 53–145. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.37.53-145 (in Russian).
- Kurenkov I.I. 1965. Zoogeography of freshwater fishes of Kamchatka. *Voprosy geografii Kamchatki (Problems of the Geography of Kamchatka)*. Iss. 3. P. 25–34 (in Russian).
- Lindberg G.W., Legeza M.N. 1965. Fishes of the Sea of Japan and adjacent parts of the Okhotsk and Yellow Seas. Part 2. Teleostomi. Acipenseriformes – Polynemi-

- formes. Moscow; Leningrad: Nauka Publ. 392 p. (in Russian).
- Markevich G.N., Panfilova P.N. 2014. Current state and long-term changes in the ichthyofauna of the Kamchatka River estuary. *Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern Pacific Ocean*. Iss. 32. P. 21–34 (in Russian).
- Meshkova M.G., Smirnov B.P. 2003. Ichthyofauna of Lake Bolshoy Vilyui. *Proceedings of the IV Scientific Conference “Biodiversity Conservation of Kamchatka and Adjacent Seas”* (Petropavlovsk-Kamchatsky, November 18–19, 2003). Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatNIRO Publ. P. 71–76 (in Russian).
- Pavlov D.S., Kirillov P.I., Kirillova E.A. et al. 2016. Status and monitoring of biodiversity of fish, fish-like animals and their habitat in the Utkholok River basin. Moscow: KMK Scientific Publications Partnership. 197 p. (in Russian).
- Pichugin M.Yu., Sidorov L.K., Stygar V.M. 2004. Biological and morphological features of nine-spined sticklebacks of the genus *Pungitius* (Gasterosteiformes) from the Kuril Islands. *Voprosy ichtyologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 44. № 1. P. 15–26 (in Russian).
- Reshetnikov Yu.S. (ed.). 2003. Atlas of freshwater fishes of Russia. In 2 volumes. Volume 2. Moscow: Nauka Publ. 253 p. (in Russian).
- Reshetnikov Yu.S., Savvaitova K.A. 1998. Order XII. Gasterosteiformes Goodrich, 1909. Sticklebacks. Annotated Catalogue of Cyclostomes and Fishes of Continental Waters of Russia. Moscow: Nauka Publ. P. 111–113 (in Russian).
- Rizevskiy V.K. 2017. Morphometric Parameters of the ninespine stickleback *Pungitius pungitius* (Linnaeus, 1758) from Water Bodies of the Black Sea Basin. *Bulletin of the National Academy of Sciences of Belarus. Seryya biyalagichnykh nauk*. № 4. P. 33–39 (in Russian).
- Semenov D.Yu. 2009. Bioecological Characteristics of the Nine-Spined Stickleback *Pungitius pungitius* (Linnaeus, 1758) of the Kuibyshev Reservoir. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk (Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences)*. Vol. 11. № 1. P. 181–184 (in Russian).
- Tokranov A.M. 1994. Composition of the fish community of the Bolshaya River estuary (Western Kamchatka). *Voprosy ichtyologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 34. № 1. P. 5–12 (in Russian).
- Tokranov A.M., Bugaev V.F. 2001. Fish community of the Kamchatka River estuary zone. *Collection of Materials of the II Scientific Conference “Conservation of Biodiversity of Kamchatka and Adjacent Seas”* (Petropavlovsk-Kamchatsky, April 9–10, 2001). Petropavlovsk-Kamchatsky: KamchatGTU Publ. P. 97–98 (in Russian).
- Tokranov A.M., Paskochina A.A. 2023. Nine-spine stickleback *Pungitius pungitius* from lakes of the lower reaches of the Oblukovina River (Western Kamchatka). *Chteniya pamyati V.Ya. Levanidov (Readings in Memory of V.Ya. Levanidov)*. Iss. 10. P. 272–279 (in Russian).
- Tokranov A.M., Sheiko B.A. 2015. Modern composition of the ichthyofauna of Avacha Bay (Southeastern Kamchatka). *Issledovaniya vodnyh biologicheskikh resursov Kamchatki i severo-zapadnojchasti Tihogo okeana (Studies of aquatic biological resources of Kamchatka and the northwestern Pacific Ocean)*. Iss. 36. P. 48–54. DOI: 10.15853/2072-8212.2015.36.48-54 (in Russian).
- Fedorov V.V., Chereshev I.A., Nazarkin A.V. et al. 2003. Catalog of marine and fresh-

- water fishes of the northern part of the Sea of Okhotsk. Vladivostok: Dal'nauka Publ. 198 p. (in Russian).
- Chereshnev I.A. 2002. The first find of the Amur nine-spined stickleback *Pungitius sinensis* on the mainland coast of the Sea of Okhotsk. *Voprosy ichtyologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 42. № 1. P. 133–135 (in Russian).
- Chereshnev I.A. 1996. Annotated list of fish-like creatures and freshwater fishes of the Arctic and adjacent territories. *Voprosy ichtyologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 36. № 5. P. 597–608 (in Russian).
- Sheiko B.A., Fedorov V.V. 2000. Class Cephalaspidomorphi – Lampreys. Class Chondrichthyes – Cartilaginous fishes. Class Holocephali – Holocephali. Class Osteichthyes – Bony fishes. Catalogue of vertebrate animals of Kamchatka and adjacent marine areas. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatskiy Pechatny Dvor. P. 7–69 (in Russian).
- Schmidt P.Yu. 1950. Fishes of the Sea of Okhotsk. Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 370 p. (in Russian).
- FishBase. URL: https://www.fishbase.se/summary/Pungitius_sinensis.html;
http://fishbiosystem.ru/GASTEROSTEIFORMES/Gasterosteidae/Pungitius_sinensis1.html
- Guo B., Fang B., Shikano T. et al. 2019. A phylogenomic perspective on diversity, hybridization and evolutionary affinities in the stickleback genus *Pungitius*. *Molecular Ecology*. № 28(17). P. 4046–4064. URL: <https://doi.org/10.1111/mec.15204>
- Keivany Y., Nelson J.S. 2000. Taxonomic review of the genus *Pungitius*, ninespine sticklebacks (Gasterosteidae). *Cybium: International Journal of Ichthyology*. № 24. P. 107–122.
- Kim I.-S. 1997. Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. *Freshwater fishes*. Vol. 37. Seoul: Ministry of Education. 629 p.
- Masuda H., Amaoka K., Araga C. et al. 1984. The fishes of the Japanese Archipelago. Tokyo: Tokai Univ. Press. 437 p.
- Monod T. 1973. Gasterosteidae. in: J.-C. Hureau, T. Monod (Eds.). Check-list of the fishes of the North-Eastern Atlantic and the Mediterranean (CLOFNAM). Vol. 1. Paris: UNESCO. H. 280–286.
- Okada Y. 1961. Studies of the freshwater fishes of Japan. “1959–1960”. Prefectural University of Mei, Tsu. 860 p.
- Pietsch T.W., Amaoka K., Stevenson D.E. et al. 2001. Fresh-water fishes of the Kuril Islands and adjacent regions. *Species Diversity*. Vol. 6. № 2. P. 133–164.
- Popov A.M. 1933. Fishes of Avatcha Bay on the Southern Coast of Kamtchatka. *Copeia*. № 2. P. 59–67.
- Takahashi H., Møller P.R., Shedko S.V. et al. 2016. Species phylogeny and diversification process of Northeast Asian *Pungitius* revealed by AFLP and mtDNA markers. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. № 99. P. 44–52. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.03.022>
- Wang Y., Wang, Y., Zhao Y. et al. 2021. Phylogenomics of Northeast Asian *Pungitius* sticklebacks. *Diversity and Distributions*. Vol. 28. Iss. 12. P. 2610–2621 URL: <https://doi.org/10.1111/ddi.13423>
- Zhu S.Q. 1995. The synopsis of freshwater fishes of China. Jiangsu Science and Technology Publishing House. P. 1–549.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Григорьев Сергей Сергеевич – Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; кандидат биологических наук, доцент, старший науч-

ный сотрудник лаборатории гидробиологии; sgri@inbox.ru. SPIN-код: 3010-8053, Author ID: 976830; Scopus ID: 56258333100; Researcher ID: KVB-9105-2024; ORCID 0000-0002-4250-9548.

Grigoriev Sergey Sergeevich – Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Candidate of Biological Sciences, Docent, Senior Researcher of Hydrobiology Laboratory; sgri@inbox.ru. SPIN-code: 3010-8053, Author ID: 976830; Scopus ID: 56258333100; Researcher ID: KVB-9105-2024; ORCID 0000-0002-4250-9548.

Седова Нина Анатольевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры водных биоресурсов, рыболовства и аквакультуры; Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН; 683000, Россия, Петропавловск-Камчатский; ведущий научный сотрудник лаборатории гидробиологии. sedova67@bk.ru. SPIN-код: 5638-3959, Author ID: 664456; Scopus ID: 7003300397; Researcher ID: ABH-5014-2020; ORCID: 0000-0002-0137-9628.

Sedova Nina Anatolievna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences, Docent, Professor of Water Bioresources, Fishery and Aquaculture Chair; Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute FEB RAS; 683000, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky. Leading Researcher of Laboratory of Hydrobiology. sedova67@bk.ru. SPIN-code: 5638-3959, Author ID: 664456; Scopus ID: 7003300397; Researcher ID: ABH-5014-2020; ORCID: 0000-0002-0137-9628.

Статья поступила в редакцию 15.01.2026; одобрена после рецензирования 11.03.2026; статья принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 15.01.2026; approved after reviewing 11.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.

Для цитирования: Григорьев С.С., Седова Н.А. 2026. Морфологическая характеристика и распространение девятииглых колюшек рода *Pungitius* (Gasterosteidae) в водоемах Камчатки. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 75. С. 63–84. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-63-84>.

For citation: Grigorev S.S., Sedova N.A. 2026. Morphological characteristics and distribution of ninespine sticklebacks of the genus *Pungitius* (Gasterosteidae) in the waters of Kamchatka. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 75. P. 63–84 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-63-84>.

Научная статья

УДК 595.384.2:574.2:574.5(262.54)

DOI: 10.17217/2079-0333-2026-75-85-101

**ОЦЕНКА РОСТА ЭЛЕМЕНТОВ ЭКСОСКЕЛЕТА,
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ПОЛОВОЗРЕЛОСТИ КРАБА
RHITHROPANOPEUS HARRISII (GOULD, 1841) (BRACHYURA: PANOPEIDAE)
ТАМАНСКОГО ЗАЛИВА АЗОВСКОГО МОРЯ, 2011 г.**

Овчарук А.С., Судник С.А.

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, ул. Советский проспект, 1.

Проведена оценка роста пяти элементов экзоскелета (по 18 пластическим признакам) краба Харриса. Установлено, что рост элементов экзоскелета у самцов был наиболее связан с ростом карапакса в длину, у самок – одинаково связан с ростом в длину и ширину. Для размерных признаков обеих клешней самцов и самок выявлена положительная аллометрия, с наибольшей выраженностью для правой клешни. Анализ роста клешней самцов позволил определить размеры их функционального (морфологического) полового созревания – длина карапакса 8,0–8,8 мм. У самок смена типа роста обеих клешней происходила при длине карапакса 5,3–7,3 мм, что на 17–34% меньше, чем у самцов. Учитывая, что неизвестно четкой связи процессов достижения половозрелости и приобретения морфологически развитых клешней у самок крабов, размеры их полового созревания необходимо определять гистологическим методом, используя оценку степени зрелости яичников.

Ключевые слова: краб Харриса, морфометрический метод, половозрелость, Таманский залив, функциональное созревание, *Rhithropanopeus harrisii*.

Original article

**ASSESSMENT OF EXOSKELETON ELEMENTS GROWTH
AND DETERMINATION OF THE SEXUAL MATURITY SIZE OF THE CRAB
RHITHROPANOPEUS HARRISII (GOULD, 1841) (BRACHYURA: PANOPEIDAE)
FROM THE TAMAN BAY OF THE AZOV SEA IN 2011**

Ovcharuk A.S., Sudnik S.A.

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Soviet Avenue Str. 1.

The growth of five exoskeleton elements (on 18 plastic signs) of the Harris crab was evaluated. It was found that growth of those elements in males was most related to carapace growth in length, in females – the same with growth in length and width. Positive allometry was revealed for the size signs of both claws of males and females, with the greatest expression for the right claw. Analysis of growth of the male claws allowed us to determine the size of their functional (morphological) sexual maturation – carapace length 8.0-8.8 mm. In females, the change of growth type of both claws occurred at the carapace length of 5.3-7.3 mm, which was 17-34 % less than in males. Taking into account that for female crabs there was no clear relationship between the processes of reaching sexual maturity and obtaining morphologically developed claws, the size of female sexual maturation should be determined by histological method, using an assessment of ovarian maturity.

Key words: Harris crab morphometric method, sexual maturity, Taman Bay, functional maturation, *Rhithropanopeus harrisi*.

ВВЕДЕНИЕ

Краб Харриса – широко распространенный североамериканский сильно инвазивный вид [Залота, 2017], в Европе впервые обнаруженный в лагуне Зейдерзее Северного моря в 1874 г. Отсюда, благодаря своей высокой экологической пластичности, в составе обрастаний и балластных вод он расселился по водоемам Европы, Северной и Центральной Америк, встречен на побережьях Японии [Резниченко, 1967; Залота, 2017; Самые опасные..., 2018].

Первое обнаружение краба в Таганрогском заливе Азовского моря произошло в 1948 г., за десять лет он полностью заселил море, а также почти все мелководья Таманского залива [Резниченко, 1967; Залота, 2017].

Вид устойчив к широким колебаниям температуры (0–35°C) и солености (0–40‰); при низкой солености способен осуществлять осморегуляцию, увеличивая выделение мочи и регулируя проницаемость тонких участков покровов тела [Резниченко, 1967; Залота, 2017; Niebert et al., 2016]. Обычно обитает на глубине до 10 м, но встречается до 35 м. Предпочитает обитать на песчаных, илистых грунтах, как правило, зарываясь, прячась под камнями, ракушками, в зарослях [Резниченко, 1967; Залота, 2017; Самые опасные..., 2018].

Инвазивные виды могут влиять на биоразнообразие нативных бентосных сообществ [Залота, 2017]. Из литературных данных известно, что краб Харриса имеет довольно широкий спектр питания, в его желудках находили как остатки животных (моллюсков, гидроидов, многощетинковых червей, личинок комаров-звонцов), так и растительности (высшей и низшей) [Ту-

roboyski, 1973; Колесниченко и др., 2014; Залота, 2017]. Крабы-хищники могут контролировать численность травоядных видов и тем самым влиять на обилие микро- и макроводорослей. Поедая двустворчатых моллюсков, питающихся донными отложениями и взвесью, крабы косвенно влияют на трофическое состояние осадка [Lokko et al., 2018]. В целом из-за большого разнообразия пищевых объектов в местах обитания крабов Харриса высока вероятность возникновения пищевой и территориальной конкуренции и притеснения других бентосоядных организмов, в том числе крабов других видов, как это произошло с крабом брахинотусом (*Brachynotus sexdentatus*), которого *R. harrisi* заменил во многих районах Азовского моря [Залота, 2017]. Крабы и сами выступают в роли пищевых объектов для бентоядных рыб [Резниченко, 1967].

Отмечали, что этот вид может являться носителем бакуловирусов, которые чрезвычайно вирулентны, вызывают болезни у креветок и крабов [Rayen, Vonami, 1979]. Известно, что эти крабы могут повреждать рыболовное оборудование, рвать сети и забивать водозаборы [Самые опасные..., 2018]. Кроме того, вид – тестовый объект в токсикологии, объект аквариумистики [Turboyski, 1973].

Для контроля и составления прогнозов ожидаемых изменений в экосистемах, понимания всевозможных последствий воздействия чужеродных видов необходимо изучать биологию этих видов и поведенческие особенности.

Крабы считаются половозрелыми при достижении размера (по ширине карапакса), когда они способны участвовать в размножении. Из-за отсутствия регистри-

рующих возраст структур в основном для оценки половозрелости крабов используют два метода: гистологический и морфометрический.

Гистологический метод у самцов основан на определении степени зрелости семенников или наличия сперматофоров в семяпроводах на их гистологических срезах; у самок – на определении степени зрелости яичников. Этот метод позволяет оценить размеры особей, при которых наступает созревание гонад, размеры достижения состояния зрелых гонад назвали размерами физиологического созревания [Живоглядова, 2001; Клитин, 2002; Шагинян, 2006].

Морфометрический метод базируется на определении изменения типа роста элементов экзоскелета с изометрического (пропорционального) на аллометрический (непропорциональный) прежде всего клешней клешненосных ног. У самцов это связывают с достижением размеров, при которых они способны выполнять свои функции – успешно спариваться с самкой, удерживая ее развитыми клешненосными ногами, а значит – участвовать в нересте. В этом случае говорят о размерах наступления функционального или морфометрического созревания особей [Живоглядова, 2001; Клитин, 2002; Шагинян, 2006].

Цель данного исследования – провести оценку роста элементов экзоскелета краба Харриса, определить размер половозрелости особей из Таманского залива в 2011 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом послужили 222 особи краба *Rhithropanopeus harrisi*. Сбор пробы осуществлялся вручную сотрудниками Института океанологии им. П.П. Ширшова (г. Москва) 13–14 июля 2011 г. на мелко-

воде (глубина сбора до 1 м) Таманского залива Азовского моря.

Пол особей был определен по вторичным половым признакам (форма абдомена, строение плеоподов) и уточнялся при вскрытии особи – по первичным (тип гонад: семенники или яичники) [Майер и др., 1968; Turboyski, 1973].

С целью проверки возможности применения морфометрического метода определения размера половозрелости к крабу *R. harrisi* и оценки особенностей роста элементов экзоскелета для 171 самца и 51 самки был проведен расширенный морфометрический анализ. В оригинальную методику [Овчарук, 2023], составленную специально для вида *R. harrisi* по данным ряда актуальных методик [Jadames, 1999; Низяев, 2006; Czerniejewski, 2009], входило измерение 20 пластических признаков с помощью бинокулярного микроскопа с точностью 0,1 мм (рис. 1).

Значимыми для морфометрического метода элементами экзоскелета у крабов считаются абдомен, мерусы переоподов 2 и 3, клешни клешненосных ног [Шагинян, 2006]. Смена типа роста элемента определяется по точке перегиба линии кривой изменения размера элемента относительного размера стабильной части экзоскелета (ширины и длины карапакса) [Живоглядова, 2001; Клитин, 2002; Шагинян, 2006].

Для анализа типа роста элементов экзоскелета самцов и самок к каждому из 18 пластических признаков элементов строятся графики зависимости их роста от длины и ширины карапакса, для чего использовано уравнение роста [Hartnoll, 1978; Клитин, 2002]:

$$y = Bx^a,$$

где a (коэффициент регрессии) – показатель аллометрии роста.

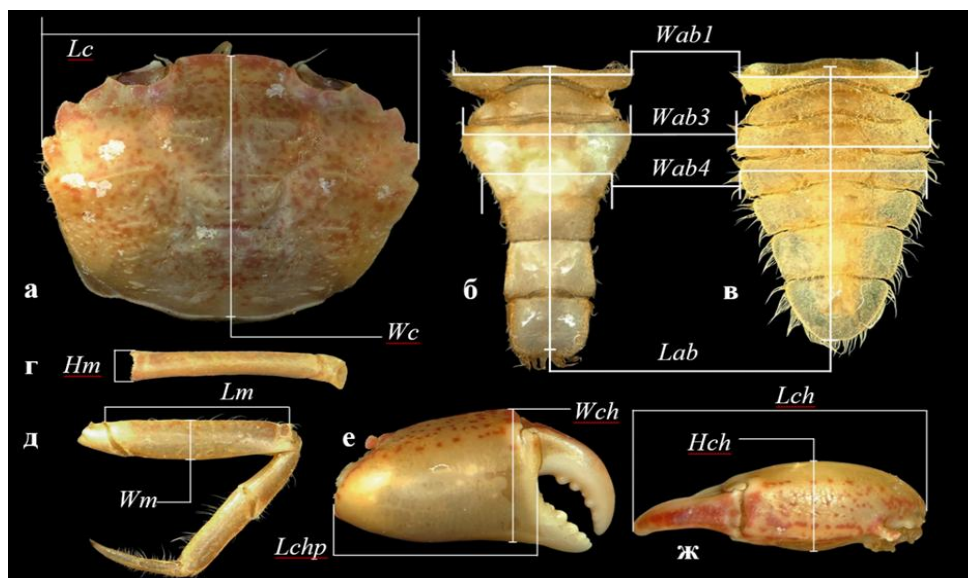


Рис. 1. Схема морфометрии *Rhithropanopeus harrisii*: а – карапакс, б – abdomen самца, в – abdomen самки, г, д – pereopod 2 и pereopod 3, е, ж – клешня; Lc – длина карапакса; Wc – ширина карапакса; Lab – длина abdomen; Wab1, Wab3, Wab4 – ширина сегментов abdomen 1, 3, 4; Lch – длина клешни; Lchp – длина ладони клешни; Wch – ширина ладони клешни; Hch – высота ладони клешни; Lm – длина меруса pereopодов 2 и 3; Wm – ширина меруса pereopодов 2 и 3; Hm – высота меруса pereopодов 2 и 3 [ориг.]

Fig. 1. Scheme of *Rhithropanopeus harrisii* morphometry: а – carapace, б – male abdomen, в – female abdomen, г, д – pereopod 2 and pereopod 3, е, ж – chela; Lc – carapace length; Wc – carapace width; Lab – abdomen length; Wab1, Wab3, Wab4 – width of abdomen segments 1, 3, 4; Lch – length of chela; Lchp – length of chela palm; Wch – width of chela palm; Hch – height of chela palm; Lm – length of merus of pereopods 2 and 3; Wm – width of merus of pereopods 2 and 3; Hm – height of merus of pereopods 2 and 3 [orig.]

Полученная при построении графиков величина коэффициента корреляции отражает силу связи значимых признаков, для ее оценки использована общепринятая шкала Чеддока. Величина коэффициента аллометрии a показывает тип роста: изометрический, если $a = 1,0$; аллометрический, если $a \neq 1,0$ (например, если $a > 1,0$, это – положительная аллометрия) [Клитин, 2002].

Для уточнения размера половозрелости самцов крабов применен метод Хартнолла [Hartnoll, 1978], уже успешно использованный для крабов [Клитин, 2002]: по результатам построения графиков относительного роста элементов экзоскелета для самцов с изометрией (считаются неполовозрелыми особями) и с положительной аллометрией (считаются функционально половозрелыми самцами) получены уравнения роста элементов; части полученных уравнений приравниваются, решение этих равенств дает

уточненное значение размера функционального полового созревания самцов (x).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определение размера половозрелости самцов краба морфометрическим методом

Анализ 36 уравнений (табл. 1), полученных путем построения графиков изменения размеров 18 пластических признаков элементов экзоскелета относительно как длины, так и ширины карапакса, показал, что у самцов краба Харриса рост значимых для определения половозрелости элементов экзоскелета оказался несколько более тесно связанным с ростом карапакса в длину (ДК), чем в ширину (ШК). Потому далее производилась оценка роста элементов экзоскелета относительно роста карапакса в длину.

Таблица 1. Значения коэффициентов уравнения простой аллометрии у самцов краба *R. harrisii* из вод Таманского залива, 2011 г. (B – эмпирическая константа, a – коэффициент аллометрии, r – коэффициент корреляции)

Table 1. Coefficients of the simple allometry equation in *R. harrisii* males from the Taman Bay, 2011 (B – empirical constant, a – allometry coefficient, r – correlation coefficient)

Признаки	Зависимость признака от ДК			Зависимость признака от ШК		
	B	a	r	B	a	r
Длина абдомена, Lab	0,872	0,885	0,948	0,843	0,807	0,947
Ширина сегмента 1 абдомена, $Wab1$	0,584	0,831	0,956	0,552	0,767	0,966
Ширина сегмента 3 абдомена, $Wab3$	0,594	0,799	0,950	0,570	0,733	0,960
Ширина сегмента 4 абдомена, $Wab4$	0,398	0,853	0,856	0,394	0,770	0,852
Длина меруса переоподов 2, $Lm2$	0,551	1,014	0,939	0,539	0,918	0,932
Ширина меруса переоподов 2, $Wm2$	0,215	0,878	0,913	0,209	0,800	0,911
Высота меруса переоподов 2, $Hm2$	0,123	0,970	0,906	0,121	0,877	0,898
Длина меруса переоподов 3, $Lm3$	0,646	0,968	0,943	0,625	0,881	0,940
Ширина меруса переоподов 3, $Wm3$	0,222	0,876	0,924	0,216	0,796	0,920
Высота меруса переоподов 3, $Hm3$	0,110	1,002	0,903	0,107	0,910	0,897
Длина правой клешни, $Lch1$	0,394	1,406	0,872	0,381	1,273	0,868
Длина ладони правой клешни, $Lchp1$	0,159	1,573	0,853	0,159	1,413	0,841
Ширина ладони правой клешни, $Wch1$	0,152	1,520	0,840	0,149	1,370	0,830
Высота ладони правой клешни, $Hch1$	0,092	1,542	0,842	0,091	1,391	0,833
Длина левой клешни, $Lch2$	0,448	1,303	0,901	0,418	1,196	0,903
Длина ладони левой клешни, $Lchp2$	0,187	1,432	0,885	0,172	1,318	0,881
Ширина ладони левой клешни, $Wch2$	0,153	1,443	0,894	0,144	1,318	0,891
Высота ладони левой клешни, $Hch2$	0,098	1,442	0,889	0,092	1,319	0,886

Анализ также показал, что для большинства пластических признаков абдомена, мерусов переоподов, была характерна отрицательная аллометрия ($a < 1$), за исключением длины меруса переоподов 2 и высоты меруса переоподов 3, которым был присущ изометрический рост ($a \approx 1$) (табл. 1).

Для пластических признаков клешней клешненосных ног обнаружена положительная аллометрия ($a = 1,3-1,5$) (рис. 2): рост правой и левой клешней в длину, ширину и высоту у самцов определенного размера начал опережать рост карапакса в длину. По изменению типа роста клешней с изометрии на аллометрию возможно определить размер функционального полового созревания самцов. При этом оказалось, что наиболее сильно аллометрия была выражена для длины ладони правой клешни ($a = 1,573$).

Полученные отличия в росте двух клешней самцов (см. рис. 3 и 4) позволили

оценить размер функционального созревания самцов. Анализ графиков роста правой и левой клешни (в длину, ширину и высоту) относительно роста карапакса в длину (рис. 2–4) показал: смена типа роста правой клешни с изометрии на аллометрию происходила при ДК 8,3–9,2 мм, левой – при ДК 8,7–9,7 мм. Это позволило принять ДК 8,3–9,7 мм за размер функционального полового созревания самцов *R. harrisii* (см. табл. 2).

С помощью метода Хартнолла было уточнено значение размера функционального полового созревания самцов (x), с учетом двух клешней получены два значения (ДК 8,4–8,8 мм и 8,0–8,5 мм – различия отражали большую аллометрию правой клешни). В итоге размер функциональной половозрелости самцов *R. harrisii*, определенный морфометрическим методом, – ДК 8,0–8,8 мм (см. табл. 2).

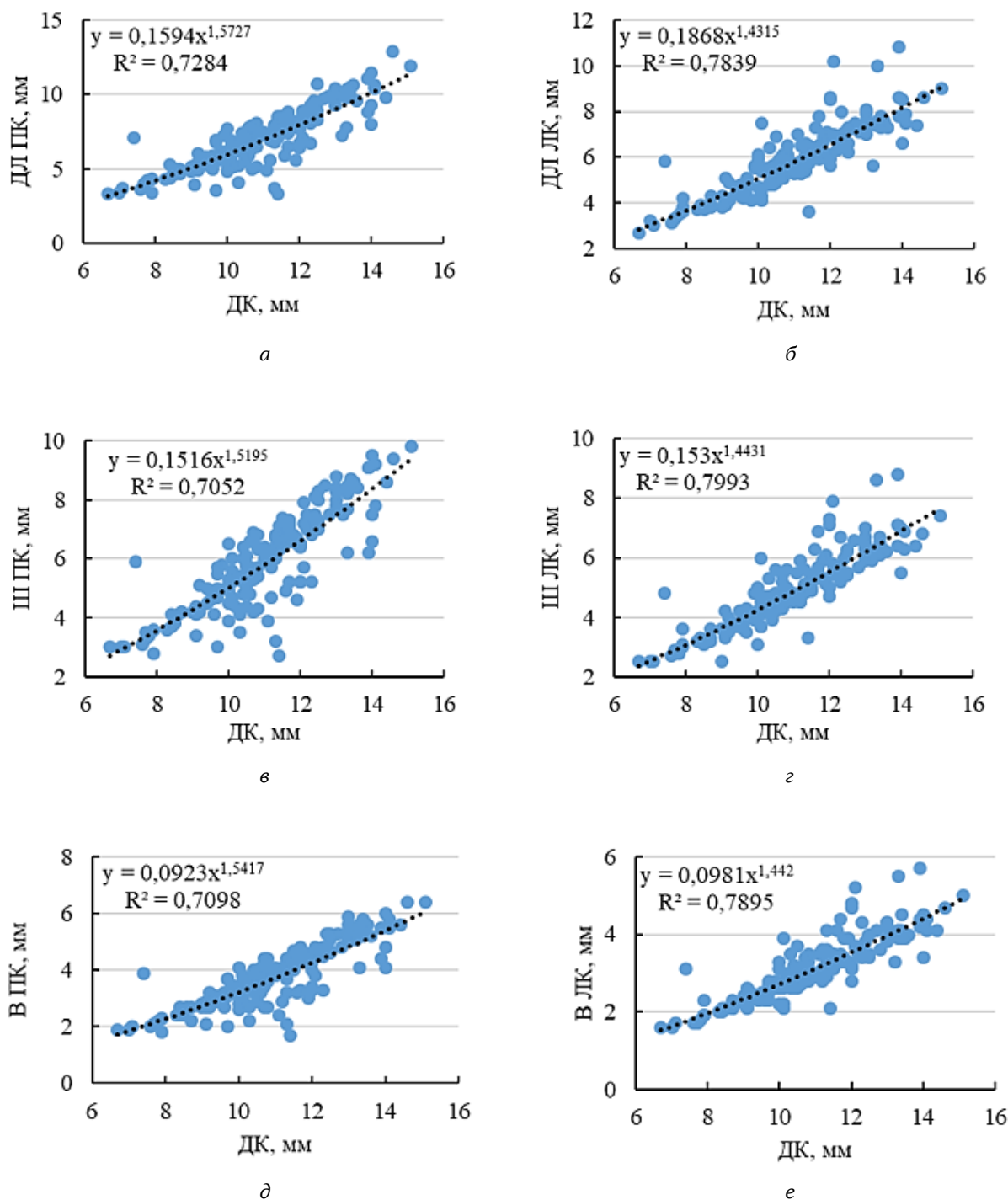


Рис. 2. Оценка типа роста правой и левой клешней самцов *R. harrisiai* относительно длины карапакса (ДК): ДЛ ПК, Ш ПК, В ПК – длина, ширина, высота ладони правой клешни; ДЛ ЛК, Ш ЛК, В ЛК – длина, ширина, высота ладони левой клешни

Fig. 2. Growth type evaluation of right and left chela of *R. harrisiai* males in relation to carapace length (L_c): $Lchp1$, $Wch1$, $Hch1$ – length, width, height of the right chela palm; $Lchp2$, $Wch2$, $Hch2$ – length, width, height of the left chela palm

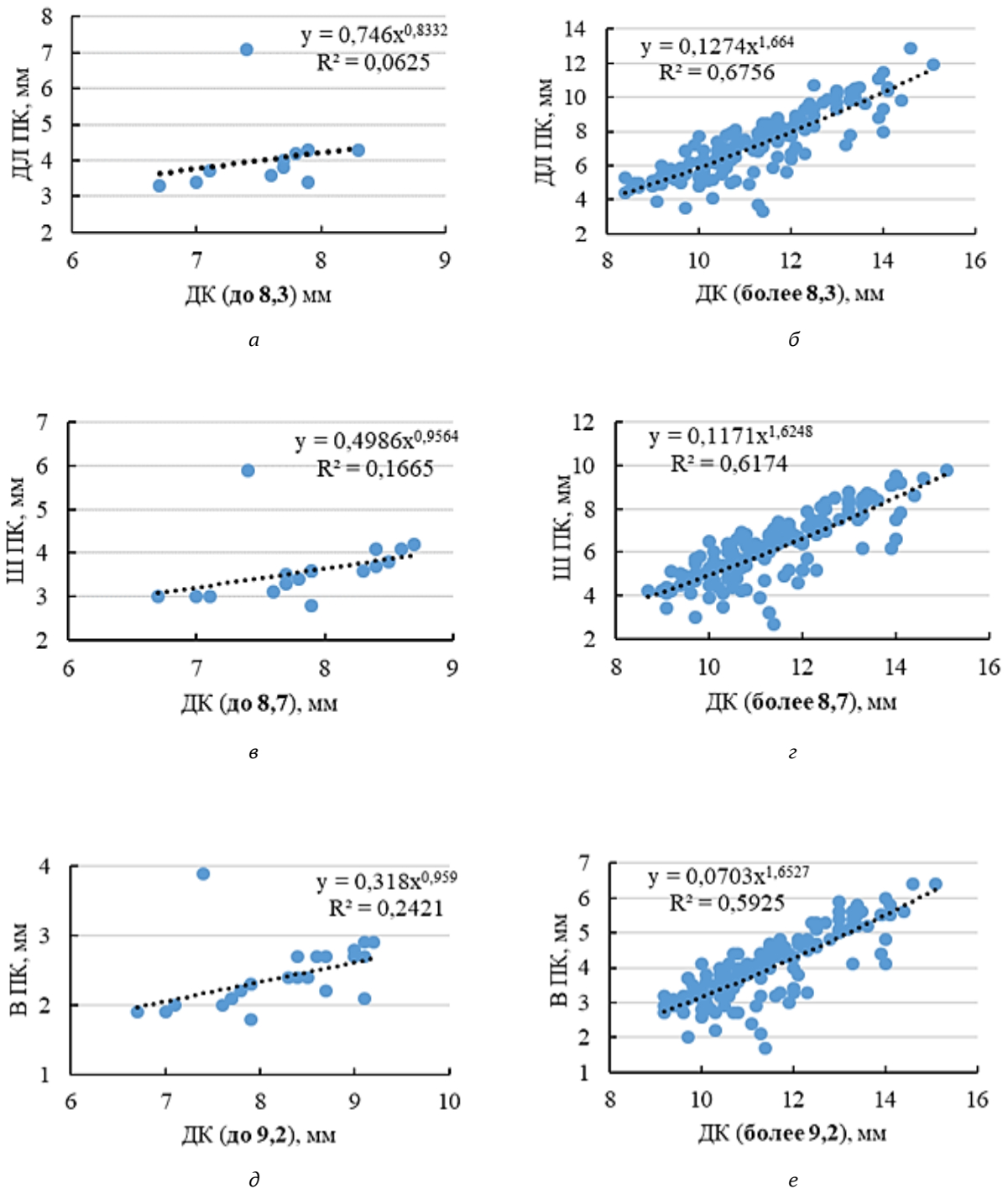


Рис. 3. Получение уравнений роста правой клешни у самцов *R. harrisii* двух размерных групп (с изометрией ($a < 1,0$) и аллометрией ($a > 1,0$)): а, в, д – неполовозрелые особи, б, г, е – половозрелые особи; ДЛ ПК, Ш ПК, В ПК – длина, ширина, высота ладони правой клешни

Fig. 3. Obtaining equations of right chela growth in males of *R. harrisii* of two size groups (with isometry ($a < 1.0$) and allometry ($a > 1.0$)): а, в, д – immature individuals, б, г, е – sexually mature individuals; *Lchp1*, *Wch1*, *Hch1* – length, width, height of the right chela palm

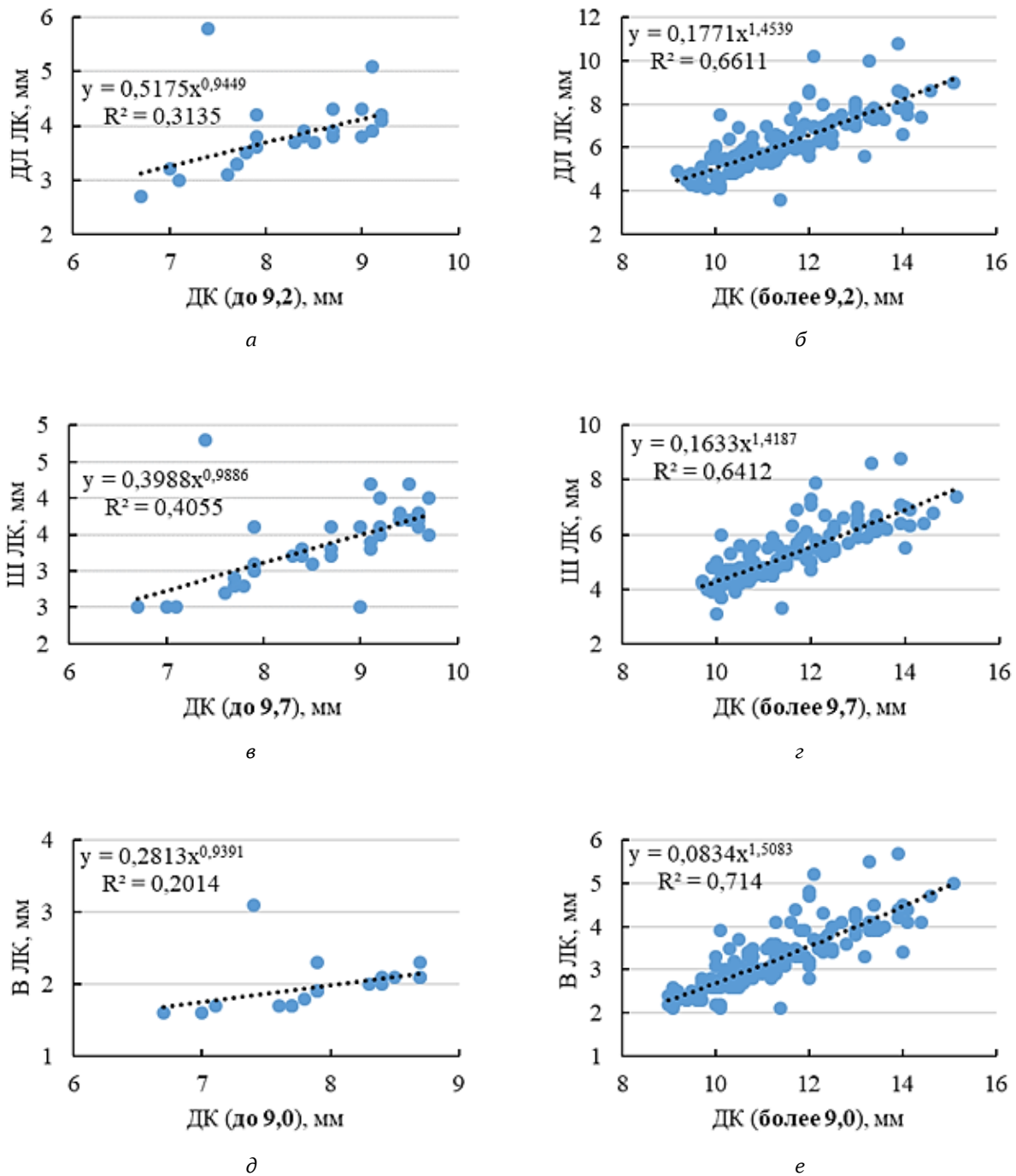


Рис. 4. Получение уравнений роста левой клешни у самцов *R. harrisii* двух размерных групп (с изометрией ($a < 1,0$) и аллометрией ($a > 1,0$)): а, в, д – неполовозрелые особи, б, г, е – половозрелые особи; ДЛ ЛК, Ш ЛК, В ЛК – длина, ширина, высота ладони левой клешни

Fig. 4. Obtaining equations of left chela growth in males of *R. harrisii* of two size groups (with isometry ($a < 1.0$) and allometry ($a > 1.0$)): а, в, д – immature individuals, б, г, е – sexually mature individuals; *Lchp2*, *Wch2*, *Hch2* – length, width, height of left chela palm

Таблица 2. Определение размера функциональной половозрелости самцов (ФПС) краба *R. harrisi* из вод Таманского залива, 2011 г., по оценке роста клешней относительно длины карапакса самцовTable 2. Determination the size of functional sexual maturity of *R. harrisi* males (Lc FSM) from the Taman Bay, 2011, by estimation of chela growth in relation to Lc

Признак	Уравнения относительного роста клешней		ДК ФПС, мм	
	изометрия	аллометрия	оценка по графикам роста	оценка методом Хартнолла
правая клешня (ладонь)				
длина	$0,746x^{0,8332}$	$0,1274x^{1,664}$	8,3	8,39
ширина	$0,4986x^{0,9564}$	$0,1171x^{1,6248}$	8,7	8,74
высота	$0,318x^{0,959}$	$0,0703x^{1,6527}$	9,2	8,81
левая клешня (ладонь)				
длина	$0,5175x^{0,9449}$	$0,1771x^{1,4539}$	9,2	8,22
ширина	$0,3988x^{0,9886}$	$0,1633x^{1,4187}$	9,7	7,97
высота	$0,2813x^{0,9591}$	$0,0834x^{1,5085}$	8,7	8,46

Оценка особенностей роста элементов экзоскелета самок краба

В результате анализа уравнений 36 построенных графиков роста получены значения коэффициентов уравнения простой аллометрии признаков элементов (табл. 3).

У самок рост элементов экзоскелета был примерно одинаково сильно связан как с длиной, так и с шириной карапакса (табл. 3).

В отличие от самцов для большинства пластических признаков самок была характерна изометрия ($a \approx 1$), в некоторых случаях (ширина абдомена 3 и высота мерусов переоподов 2) – слабая положительная аллометрия (табл. 3). Отрицательная аллометрия ($a < 1$) отмечена для ширины абдомена сегмента 1, ширины меруса переоподов 2, длины и ширины меруса переоподов 3.

Положительная аллометрия отмечена для признаков правой клешни самок (длины, ширины и высоты ее ладони), как по отношению к ДК, так и к ШК ($a = 1,3-1,5$) (табл. 3, рис. 5). Это очень напоминает данные, полученные нами для самцов вида, за исключением того, что у самок несколько более сильная аллометрия была

выражена для роста ладони правой клешни в высоту ($a = 1,460$ и $a = 1,396$), а у самцов вида – в длину.

Анализ графиков роста правой и левой клешни (в длину, ширину и высоту) позволил определить, что смена типа роста (с изометрии на аллометрию) правой клешни самок происходила при ДК 8,4–9,2 мм, левой – при ДК 7,2–8,0 мм, в итоге – при ДК 7,2–9,2 мм (см. рис. 6 и 7).

Уточнены размеры тела самок, при которых происходит смена типа роста клешней (x), получен диапазон ДК 5,3–7,3 мм – его определили, объединив данные, полученные по оценке типа роста правой и левой клешней (ДК 5,3–6,9 мм и 6,3–7,3 мм – различия отражали большую положительную аллометрию правой клешни, описанную выше) (см. табл. 4).

Сравнение размеров тела, при которых происходит смена типа роста клешней у самок и самцов вида, показало: их значения у самок меньше на 17–34%. И это важный факт, однако трактовать его в пользу более раннего морфологического полового созревания самок не представляется возможным, поскольку для самок крабов, в том числе *R. harrisi*, подобная связь не описана.

Для самцов краба Харриса определены размеры морфологической (функциональной) зрелости, при которых развиваются клешни необходимых для спаривания размеров, значит обретается способность к спариванию, – ДК 8,0–8,8 мм. Учитывая полученные для вида Таманского залива размеры физиологической зрелости самцов (минимальная длина карапакса особей со зрелыми гонадами) – от 7,7 мм [Овчарук, Судник, 2025], можно заключить, что их вторичные половые признаки (здесь – осо-

бенные клешни) в 2011 г. развивались несколько позже, чем происходило созревание семенников.

Применение морфометрического метода оценки размеров функционального созревания самцов для равношипного и камчатского крабов, для краба стригуна [Живоглядова, 2001; Клитин, 2002; Шагинян, 2006] привело для последних двух видов к тем же выводам: их функциональная зрелость наступала несколько позже физиологической зрелости.

Таблица 3. Значения коэффициентов уравнения простой аллометрии у самок краба *R. harrisii* из вод Таманского залива, 2011 г. (*B* – эмпирическая константа, *a* – коэффициент аллометрии, *r* – коэффициент корреляции)

Table 3. Coefficients of the simple allometry equation in *R. harrisii* females from the Taman Bay, 2011 (*B* – empirical constant, *a* – allometry coefficient, *r* – correlation coefficient)

Признаки	Зависимость признака от ДК			Зависимость признака от ШК		
	<i>B</i>	<i>a</i>	<i>r</i>	<i>B</i>	<i>a</i>	<i>r</i>
Длина abdomena, <i>Lab</i>	0,653	1,082	0,949	0,531	1,050	0,969
Ширина сегмента 1 abdomena, <i>Wab1</i>	0,513	0,940	0,980	0,474	0,868	0,984
Ширина сегмента 3 abdomena, <i>Wab3</i>	0,352	1,172	0,928	0,310	1,093	0,943
Ширина сегмента 4 abdomena, <i>Wab4</i>	0,428	1,076	0,890	0,332	1,064	0,926
Длина меруса переоподов 2, <i>Lm2</i>	0,505	1,025	0,947	0,432	0,978	0,951
Ширина меруса переоподов 2, <i>Wm2</i>	0,171	0,974	0,894	0,152	0,916	0,884
Высота меруса переоподов 2, <i>Hm2</i>	0,080	1,168	0,921	0,070	1,092	0,906
Длина меруса переоподов 3, <i>Lm3</i>	0,588	0,986	0,960	0,506	0,940	0,964
Ширина меруса переоподов 3, <i>Wm3</i>	0,204	0,910	0,879	0,174	0,877	0,891
Высота меруса переоподов 3, <i>Hm3</i>	0,093	1,080	0,930	0,080	1,026	0,929
Длина правой клешни, <i>Lch1</i>	0,491	1,245	0,956	0,414	1,180	0,953
Длина ладони правой клешни, <i>Lchp1</i>	0,210	1,370	0,900	0,168	1,313	0,907
Ширина ладони правой клешни, <i>Wch1</i>	0,159	1,436	0,917	0,129	1,367	0,917
Высота ладони правой клешни, <i>Hch1</i>	0,094	1,460	0,918	0,075	1,396	0,923
Длина левой клешни, <i>Lch2</i>	0,591	1,124	0,942	0,509	1,064	0,938
Длина ладони левой клешни, <i>Lchp2</i>	0,307	1,138	0,858	0,275	1,058	0,860
Ширина ладони левой клешни, <i>Wch2</i>	0,233	1,197	0,886	0,198	1,134	0,883
Высота ладони левой клешни, <i>Hch2</i>	0,144	1,185	0,876	0,126	1,113	0,866

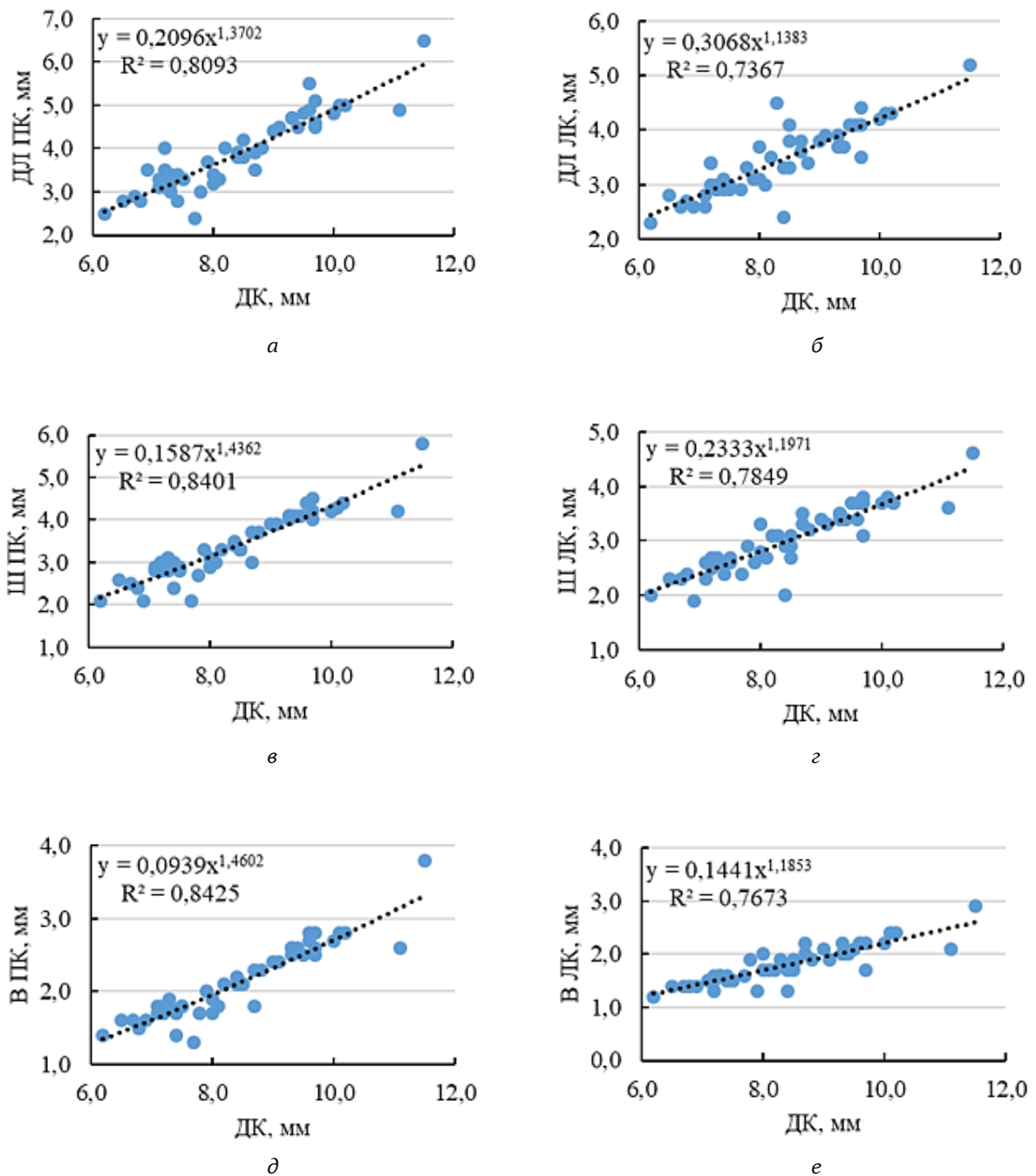


Рис. 5. Рост шести элементов экзоскелета самок *R. harrisii* относительно длины карапакса (ДК); ДЛ ПК, Ш ПК, В ПК – длина, ширина, высота ладони правой клешни; ДЛ ЛК, Ш ЛК, В ЛК – длина, ширина, высота ладони левой клешни

Fig. 5. Growth of six morphometric exoskeleton parameters of *R. harrisii* females in relation to carapace length (*Lc*); *Lchp1*, *Wch1*, *Hch1* – length, width, height of the right chela palm; *Lchp2*, *Wch2*, *Hch2* – length, width, height of the left chela palm

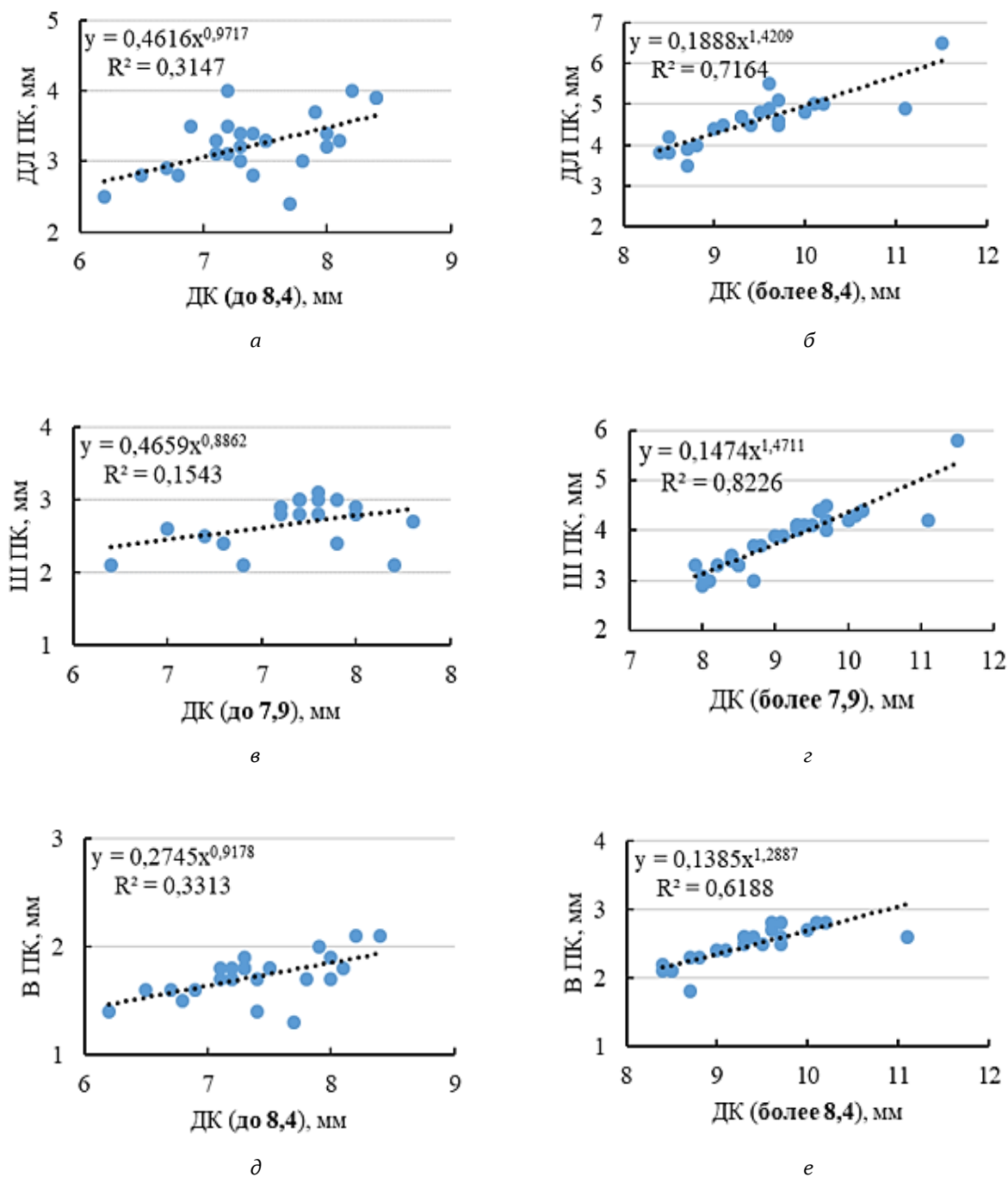
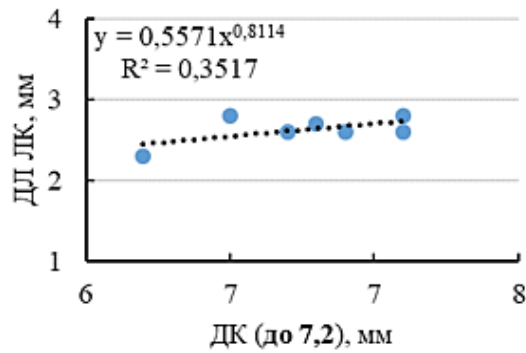
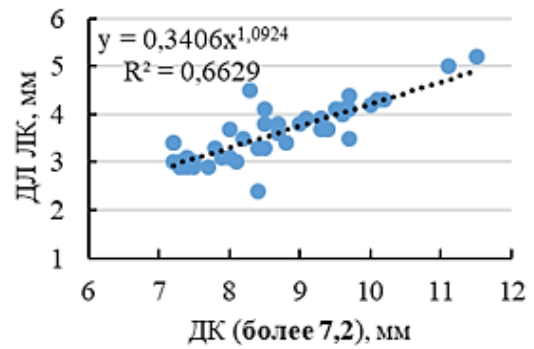


Рис. 6. Получение уравнений роста правой клешни у самок *R. harrisii* двух размерных групп (с изометрией ($a < 1,0$) и аллометрией ($a > 1,0$)): *a, в, д* – изометрический рост, *б, г, е* – аллометрический рост; ДЛ ПК, Ш ПК, В ПК – длина, ширина, высота ладони правой клешни

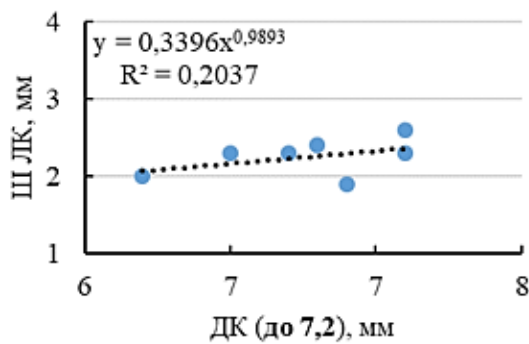
Fig. 6. Obtaining equations of right chela growth in females of *R. harrisii* of two size groups (with isometry ($a < 1.0$) and allometry ($a > 1.0$)): *a, в, д* – isometric growth, *б, г, е* – allometric growth; *Lchp1, Wch1, Hch1* – length, width, height of the right chela palm



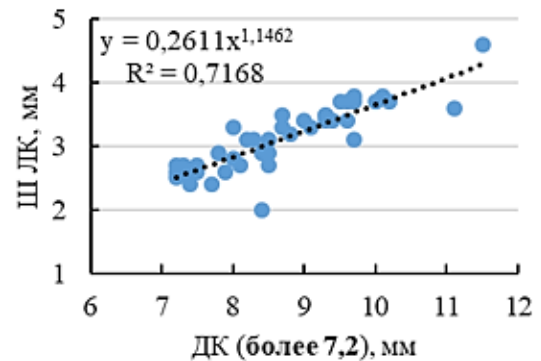
а



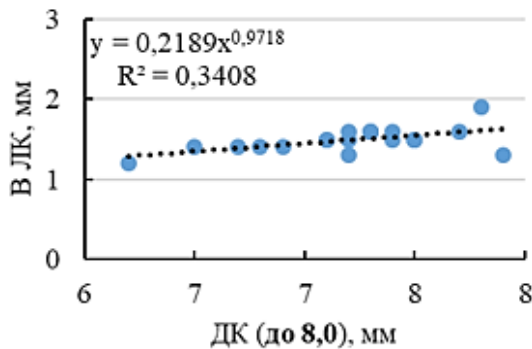
б



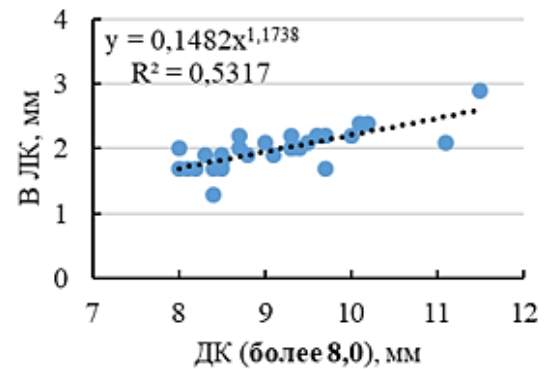
в



г



д



е

Рис. 7. Получение уравнений роста левой клешни у самок *R. harrisii* двух размерных групп (с изометрией ($a < 1,0$) и аллометрией ($a > 1,0$)): а, в, д – изометрический рост, б, г, е – аллометрический рост; ДЛ ЛК, Ш ЛК, В ЛК – длина, ширина, высота ладони левой клешни

Fig. 7. Obtaining equations of left chela growth in *R. harrisii* females of two size groups (with isometry ($a < 1.0$) and allometry ($a > 1.0$)): а, в, д – isometric growth, б, г, е – allometric growth; *Lchp2*, *Wch2*, *Hch2* – length, width, height of the left chela palm

Таблица 4. Оценка особенностей роста клешней относительно длины карапакса у самок краба *R. harrisi* из вод Таманского залива, 2011 г.

Table 4. Evaluation of chela growth specifics in relation to carapace length in *R. harrisi* females from the Taman Bay, 2011

Признак	Уравнения относительного роста клешней		ДК смены типа роста клешней, мм	
	изометрия	аллометрия	оценка по графикам роста	оценка методом Хартнолла
правая клешня (ладонь)				
длина	$0,4616x^{0,9717}$	$0,1888x^{1,4209}$	8,4	7,32
ширина	$0,4659x^{0,8862}$	$0,1474x^{1,4711}$	7,9	7,15
высота	$0,2745x^{0,9178}$	$0,1385x^{1,2887}$	8,4	6,32
левая клешня (ладонь)				
длина	$0,5571x^{0,8114}$	$0,3406x^{1,0924}$	7,2	5,76
ширина	$0,3396x^{0,9893}$	$0,2611x^{1,1462}$	7,2	5,34
высота	$0,2189x^{0,9718}$	$0,1482x^{1,1738}$	8,0	6,90

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование морфометрического метода позволило описать особенности роста ряда элементов экзоскелета (клешней клешненосных ног, мерусов переоподов 2 и 3, абдомена) у самцов и самок краба *R. harrisi* из Таманского залива. По результатам оценки изменения типа роста клешней самцов определены размеры (длина карапакса) их функционального полового созревания (способности к удерживанию самок при спаривании) – 8,0–8,8 мм и то, что функциональное созревание самцов наступало несколько позже их физиологической зрелости (ДК 7,7 мм). У самок вида смена типа роста клешней с изометрического на аллометрический происходила при достижении длины карапакса 5,3–7,3 мм, что на 17–34% меньше таковых размеров самцов. Поскольку для самок крабов нет достоверных данных о связи изменения типа роста клешней и достижения ими половозрелости, размеры их полового созревания рекомендовано определять гистологическим методом.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках научного сотрудничества ФГБОУ ВО «КГТУ» с Ин-

ститутом 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).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают искреннюю благодарность А.К. Залота (ИО РАН г. Москва) за сбор материалов и передачу их для изучения.

ЛИТЕРАТУРА

- Живоглядова Л.А. 2001. Морфометрическое созревание самок и самцов равношипного краба (*Lithodes aequispina* Benedict) у северных Курильских островов. *Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра)*. Т. 28. Ч. 2. С. 659–662.
- Залота А.К. 2017. Чужеродные виды десятиногих ракообразных (Crustacea Decapoda) в морях России и сопредельных водах. *Диссертация ... канд. биол. наук*. Москва. 255 с.
- Клитин А.К. 2002. Распределение, биология и функциональная структура ареала камчатского краба в водах Сахалина и

- Курильских островов. *Диссертация ... канд. биол. наук.* Южно-Сахалинск. 215 с.
- Колесниченко А.И., Буруковский Р.Н., Марин И.Н. 2014. Состав пищи краба-вселенца *Rhithropanopeus harrisi* (Panopeidae, Brachyura, Decapoda) в Вислинском заливе Балтийского моря. *Поволжский экологический журнал.* № 4. С. 508–515.
- Майер Е.М., Колтун В.М., Наумов Д.В. и др. 1968. Атлас беспозвоночных Каспийского моря. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т морского рыбного хозяйства и океанографии «ВНИРО». Москва: Пищевая промышленность. 415 с.
- Низяев С.А., Букин С.Д., Клитин А.К. и др. 2006. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России. Южно-Сахалинск. 114 с.
- Овчарук А.С. 2023. Создание методики морфометрического анализа для краба Харриса, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) и первые результаты морфометрии вида из Таманского залива Азовского моря. *Материалы II Национальной научно-технической конференции студентов и курсантов «Дни науки» (10–22 апреля 2023 г.)*. Калининград: КГТУ. С. 151–156.
- Овчарук А.С., Судник С.А. 2025. Репродуктивное состояние, тип репродуктивной стратегии самцов и самок краба *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) из Таманского залива Азовского моря в 2011 году. *Вестник Камчатского государственного технического университета.* № 72. С. 39–60.
- Резниченко О.Г. 1967. Трансокеаническая аутоакклиматизация ритропанопеуса (*Rhithropanopeus harrisi*: Crustacea, Brachyura). *Труды Института океанологии АН СССР.* № 85. С. 136–177.
- Самые опасные инвазионные виды России (Топ-100). 2018. Ред. Ю. Дгебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. Москва: Товарищество научных изданий КМК. 688 с.
- Шагинян Э.Р. 2006. Размер половозрелости самок и самцов равношипного краба восточной части Охотского моря. *Труды международной конференции «Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами»*. Мурманск. С. 109–111.
- Czerniejewski P. 2009. Some aspects of population biology of the mud crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) in the Odra estuary, Poland. *Oceanological and Hydrobiological Studies.* Vol. 38. № 4. P. 49–62.
- Hartnoll R.G. 1978. The determination of relative growth in crustacean. *Crustacea.* Vol. 34. № 3. P. 281–293.
- Hiebert T.C., Butler B.A., Shanks A.L. 2016. Oregon Estuarine Invertebrates: Rudys' Illustrated Guide to Common Species, 3rd ed. P. 404–409.
- Jadamec L.S., Donaldson W.E., Cullenberg P. 1999. Biological Field Techniques for Chionoecetes Crabs. Vol. 2. P. 80.
- Lokko K., Kotta J., Orav-Kotta H. et al. 2018. Introduction of a functionally novel consumer to a low diversity system: Effects of the mud crab *Rhithropanopeus harrisi* on meiobenthos. *Estuarine Coastal and Shelf Science.* Vol. 201. P. 132–139.
- Payen G.G., Bonami J.R. 1979. Mise en évidence de particules d'allure virale associées aux noyaux des cellules mésodermiques de la zone germinative testiculaire du crabe *Rhithropanopeus harrisi* (Gould) (Brachyura, Xanthidae). *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes.* Vol. 43. P. 361–365.
- Turoboyski K. 1973. Biology and Ecology of the Crab *Rhithropanopeus harrisi* ssp.

tridentatus. *Marine Biology*. Vol. 23. P. 303–313.

REFERENCES

- Zhivoglyadova L.A. 2001. Morphometric maturation of females and males of the equal-spined crab (*Lithodes aequispina* Benedict) off the northern Kuril Islands. *Izvestiya TINRO (Tikhookeanskogo nauchno-issledovatel'skogo rybokhozyaystvennogo tsentra) (Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography)*. Vol. 28(2). P. 659–662 (in Russian).
- Zalota A.K. 2017. Alien species of decapod crustaceans (Crustacea Decapoda) in the seas of Russia and adjacent waters. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Moscow. 255 p. (in Russian).
- Klitin A.K. 2002. Distribution, biology and functional structure of the range of the Kamchatka crab in the waters of Sakhalin and the Kuril Islands. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Yuzhno-Sakhalinsk. 215 p. (in Russian).
- Kolesnichenko A.I., Burukovskii R.N., Marin I.N. 2014. Food composition of the invasive crab *Rhithropanopeus harrisi* (Panopeidae, Brachyura, Decapoda) in the Vistula Bay of the Baltic Sea. *Povolzhskij ekologicheskij zhurnal (Povolzhskiy Journal of Ecology)*. № 4. P. 508–515 (in Russian).
- Mayer E.M., Koltun V.M., Naumov D.V. et al. 1968. Atlas of invertebrates of the Caspian Sea. Ed. by Y.A. Birshstein [and others]. Moscow: Food industry Publ. 415 p. (in Russian).
- Nizyaev S.A., Bukin S.D., Klitin A.K. et al. 2006. Manual for the study of commercial crustaceans of the Far Eastern seas of Russia. Yuzhno-Sahalinsk. 114 p. (in Russian).
- Ovcharuk A.S. 2023. Development of morphometric analysis methodology for the Harris crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) and the first results of morphometry of the species from the Taman Bay of the Azov Sea. *Proceedings of the II National Scientific and Technical Conference of Students and Cadets "Science Days"* (April 10–22, 2023). Kaliningrad: KSTU Publ. P. 151–156 (in Russian).
- Ovcharuk A.S., Sudnik S.A. 2025. Reproductive status, type of reproductive strategy of males and females of the crab *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) from the Taman Bay of the Azov Sea in 2011. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 72. P. 39–60 (in Russian).
- Reznichenko O.G. 1967. Transoceanic auto-acclimatization of *Rhithropanopeus harrisi* (Crustacea, Brachyura). *Trudy Instituta okeanologii AN SSSR (Proceedings of the Institute of Oceanology, USSR Academy of Sciences)*. № 85. P. 136–177 (in Russian).
- Russia's most dangerous invasive species (Top 100). 2018. Ed. by Y. Dgebuadze, V.G. Petrosyan, L.A. Khlyap. Moscow: TMK Scientific Publishing House. 688 p. (in Russian).
- Shaginyan E.R. 2006. Size of sexually mature females and males of the equal-spined crab of the eastern part of the Sea of Okhotsk. *Proceedings of National conference "Current state of crab populations in the Barents Sea and their interaction with bottom biocenoses"*. Murmansk. P. 109–111 (in Russian).
- Czerniejewski P. 2009. Some aspects of population biology of the mud crab, *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) in the

- Odra estuary, Poland. *Oceanological and Hydrobiological Studies*. Vol. 38. № 4. P. 49–62.
- Hartnoll R.G. 1978. The determination of relative growth in crustacean. *Crustacea*. Vol. 34. № 3. P. 281–293.
- Hiebert T.C., Butler B.A., Shanks A.L. 2016. Oregon Estuarine Invertebrates: Rudys' Illustrated Guide to Common Species, 3rd ed. P. 404–409.
- Jadamec L.S., Donaldson W.E., Cullenberg P. 1999. Biological Field Techniques for Chionoecetes Crabs. Vol. 2. 80 p.
- Lokko K., Kotta J., Orav-Kotta H. et al. 2018. Introduction of a functionally novel consumer to a low diversity system: Effects of the mud crab *Rhithropanopeus harrisi* on meiobenthos. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. Vol. 201. P. 132–139.
- Payen G.G., Bonami J.R. 1979. Mise en évidence de particules d'allure virale associées aux noyaux des cellules mésodermiques de la zone germinative testiculaire du crabe *Rhithropanopeus harrisi* (Gould) (Brachyura, Xanthidae). *Revue des Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*. Vol. 43. P. 361–365.
- Turoboyski K. 1973. Biology and Ecology of the Crab *Rhithropanopeus harrisi* spp. *Tridentatus*. *Marine Biology*. Vol. 23. P. 303–313.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Овчарук Анастасия Сергеевна – Калининградский государственный технический университет; 236022, Россия, Калининград; магистрант; arveyzer@mail.ru. SPIN-код: 9433–5502, Author ID: 1268005.

Ovcharuk Anastasia Sergeevna – Kaliningrad State Technical University; 236022, Russia, Kaliningrad; Master's Student; arveyzer@mail.ru. SPIN code: 9433–5502, Author ID: 1268005.

Судник Светлана Александровна – Калининградский государственный технический университет; 236022, Россия, Калининград; кандидат биологических наук; доцент кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура»; svetlana.sudnik@klgtu.ru. SPIN-код: 1762–4196, Author ID: 504370; Scopus ID: 6506749999.

Sudnik Svetlana Aleksandrovna – Kaliningrad State Technical University; 236022, Russia, Kaliningrad; Candidate of Sciences in Biology, Associate Professor at the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture; svetlana.sudnik@klgtu.ru. SPIN-code: 1762–4196. Author ID: 504370; Scopus ID: 6506749999.

Статья поступила в редакцию 07.07.2025; одобрена после рецензирования 11.03.2026; статья принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 07.07.2025; approved after reviewing 11.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.

Для цитирования: Овчарук А.С., Судник С.А. 2026. Оценка роста элементов экзоскелета, определение размера половозрелости краба *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) Таманского залива Азовского моря, 2011 г. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 75. С. 85–101. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-85-101>.

For citation: Ovcharuk A.S., Sudnik S.A. 2026. Assessment of exoskeleton elements growth and determination of the sexual maturity size of the crab *Rhithropanopeus harrisi* (Gould, 1841) (Brachyura: Panopeidae) from the Taman Bay of the Azov Sea in 2011. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehničkogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 75. P. 85–101 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-85-101>.

Научная статья

УДК 597.554.3:639.33

DOI: 10.17217/2079-0333-2026-75-102-115

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАРПОВЫХ РЫБ В ПЕРИОД АДАПТАЦИИ ПОСЛЕ ТРАНСПОРТИРОВКИ В ГЕРМЕТИЧЕСКИХ ЕМКОСТЯХ

Пронина Г.И., Кандыбин А.А., Чан В.Д., Бубунец Э.В.

Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, ул. Тимирязевская 49.

Исследовано влияние плотности посадки на физиологическое состояние карпа (*Cyprinus carpio* L.) при транспортировке в герметических емкостях. Эксперимент проведен на годовиках карпа массой ($77,4 \pm 27,7$) г при плотности 175 г/л (контроль) и 368 г/л (опыт) с применением специального кондиционера для воды. Методология исследования включала оценку гидрохимических параметров и гематологических показателей (уровень гемоглобина, количество эритроцитов) до и после транспортировки. Установлено, что применение кондиционера при повышенной плотности посадки позволяет избежать серьезных физиологических нарушений. Новизна исследования заключается в доказательстве возможности безопасной транспортировки карпа при повышенной плотности посадки с использованием кондиционера. Выявлено снижение гемоглобина на 30,2% в контроле и 19,6% в опыте, эритроцитов – на 22,3% и 33,1% соответственно, с полной нормализацией показателей через 6 ч, что свидетельствует о высокой адаптационной способности карпа и возможности повышения плотности посадки при транспортировке в 2,1 раза по сравнению с существующими нормативами.

Ключевые слова: гемоглобин, карп, количество эритроцитов, содержание кислорода в воде.

Original article

HEMATOLOGICAL PARAMETERS OF CYPRINID FISH DURING THE ADAPTATION PERIOD AFTER TRANSPORTATION IN HERMETIC CONTAINERS

Pronina G.I., Kandybin A.A., Tran V.D., Bubunets E.V.

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Timiryazevskay Str., 49.

The effect of planting density on the physiological state of carp (*Cyprinus carpio* L.) during transportation in sealed containers has been studied. The experiment was conducted on carp yearlings weighing (77.4 ± 27.7) g with a density of 175 g/l (control) and 368 g/l (experiment) using a special water conditioner. The research methodology included an assessment of hydrochemical and hematological parameters (hemoglobin level, number of red blood cells) before and after transportation. As we established, the use of air conditioner with increased planting density avoids serious physiological disorders in fish. The novelty of the study is to prove the possibility of safe transportation of carp at an increased planting density using an air conditioner. A decrease in hemoglobin was revealed by 30.2% in the control and 19.6% under experimental condition,

red blood cells – by 22.3% and 33.1%, respectively, with full normalization of indicators after 6 hours, which indicates a high adaptive ability of carp and the possibility of increasing the density of planting during transportation by 2.1 times compared with existing standards.

Key words: hemoglobin, carp, number of red blood cells, oxygen content in water.

ВВЕДЕНИЕ

Транспортировка рыб играет важную роль в сфере производства, разведения и реализации водных биоресурсов. Для успешного осуществления этого процесса необходимо тщательно контролировать не только условия перевозки, но и последующего периода адаптации с целью обеспечения выживаемости рыб и минимизирования стресса, связанного с транспортировкой. К основным факторам стресса при перевозке рыб в герметических емкостях относятся погрузочно-разгрузочные работы, использование сетей, высокая плотность посадки, выгрузка, отсутствие возможности замены воды и снижение ее качества от начала к концу перевозки. Под воздействием этих факторов рыбы могут испытывать стрессовую реакцию «бей или беги», что приводит к серьезным физиологическим изменениям, негативно сказывающимся на их основных жизненных функциях [Barton et al., 1980; Erikson et al., 1997]. Эта реакция на стресс схожа с общим адаптационным синдромом [Selye, 1956].

В процессе перевозки особей, особенно мелких, широко используются специальные герметичные полиэтиленовые пакеты [Gomes et al., 2006; Юрин и др., 2020; López-Jiménez et al., 2024]. Их конструкция позволяет поддерживать оптимальный уровень кислорода в ограниченном пространстве, что является одним из ключевых факторов для сохранения здоровья рыб во время транспортировки. Если не поддерживать высокое содержание кислорода в воде, то рыба может погибнуть.

Так, при содержании растворенного кислорода 0,5 мг/л взрослый карп начинает тяжело дышать и подниматься на поверхность воды. Когда уровень кислорода падает до 0,2 мг/л, рыба погибает [Huang et al., 2019]. У русского осетра и севрюги при снижении уровня кислорода в воде отмечено повышение содержания гемоглобина в крови [Абдуллаева и др., 2016].

В замкнутом пространстве пакета происходит накопление продуктов жизнедеятельности рыб, что негативно сказывается на их состоянии. Особенно критичной является проблема накопления выделяемого углекислого газа, избыток которого приводит к изменению химического состава воды, делая ее более закисленной. При этом у рыб регистрируется гиперкапния и, как следствие, нарушение тканевого дыхания [Ishimatsu et al., 2004; Гурков, 2020]. Отмечается увеличение общего числа эритроцитов [Dobšíková et al., 2009]. Свободная углекислота снижает уровень гемоглобина в крови рыб [Currie, Tufts, 1993; Nikinmaa, 1993; Regan, Brauner, 2010]. В таких условиях существенно возрастает риск гибели рыб, что подчеркивает необходимость особого внимания к организации процесса транспортировки и выбору оптимальных методов поддержания качества водной среды.

Плотность посадки является ключевым параметром, оказывающим значительное влияние на состояние и уровень стресса рыб во время транспортировки [Gomes et al., 2003; Sintuprom et al., 2024]. Определение оптимальной плотности посадки (т. е. количества рыб или биомассы орга-

низмов на литр) в зависимости от условий окружающей среды позволяет безопасно транспортировать рыбу, минимизируя стресс и обеспечивая выживаемость в процессе перевозки [López-Jiménez et al., 2024]. Максимально допустимая плотность посадки определяет количество рыб, которое можно безопасно перевозить в одной емкости, не нанося вреда их здоровью.

При превышении допустимой плотности посадки в воде возрастает концентрация токсичных соединений, таких как аммиак и нитриты. Это приводит к нарушению газообмена, ухудшению дыхательных функций и снижению адаптационных способностей рыб, что может негативно сказаться на их выживаемости как во время транспортировки, так и в период адаптации [Chan et al., 2024; Yang et al., 2024]. Отравление аммиаком вызывает у рыб нарушение работы нервно-мышечной системы, сильные клонические судороги и дрожание плавников, приводит к нарушению работы жизненно важных органов и систем. Отмечается повышение уровня глюкозы и активности ферментов аланинаминотрансферазы и аспаратаминотрансферазы [Jumaa et al., 2018]. Длительное воздействие нитритов вызывает окислительный стресс у рыб, что может привести к анемии и окислению гемоглобина до метгемоглобина [Arnaudov, Arnaudova, 2023]. Например, у вида *Colossoma macropomum* было описано явление метгемоглобинемии, вызванное нитритной интоксикацией и сопровождающееся гемолитической анемией в связи с сокращением продолжительности жизни эритроцитов [Da Costa et al., 2004]. Рост числа эритроцитов при длительном воздействии нитритов является результатом высоких затрат клеточной энергии на снижение уровня метгемоглобина, что сокращает среднюю продолжительность жизни эритроцитов [Tucker et al., 1989].

Существует множество свидетельств того, что симптомы анемии, вызванной нитритами, могут быть различными, что зависит как от тяжести интоксикации, так и от вида рыбы [Huey et al., 1980; Tomasso, 1986; Witeska, 2008]. Если концентрация метгемоглобина в крови рыбы составляет 70% от общего содержания гемоглобина, это приводит к вялости, невосприимчивости к раздражителям и дезориентации рыбы в пространстве [Klinger, 1957]. После воздействия порогового уровня аммиака снижается количество эритроцитов, концентрации оксигемоглобина, дезоксигемоглобина, метгемоглобина [Hrubinko et al., 1994]. При этом происходит снижение скорости потребления кислорода [Tilak et al., 2007].

Гематологические исследования играют ключевую роль в оценке состояния здоровья рыб и других животных [Крюков и др., 2023], позволяя выявить физиологические изменения и способности адаптации к условиям окружающей среды. Они предоставляют информацию о способности к транспортировке кислорода, состоянии иммунной системы, реакции на стресс, цитотоксичности и генотоксичности. Это позволяет ихтиопатологам и специалистам в области аквакультуры принимать своевременные меры для коррекции условий содержания или лечения рыб, что может предотвратить развитие более серьезных заболеваний и снизить риск потерь [Грозеску, Бахарева, 2008; Witeska et al., 2023].

Костистые рыбы, составляющие 95% всех видов рыб и почти половину всех позвоночных, демонстрируют выдающуюся адаптивную реакцию, что связано с их уникальной системой транспортировки кислорода. Исследования лососевых рыб показали, что при определенных условиях поступление гемоглобина и кислорода в ткани может увеличиваться в 2–3 раза без изменения перфузии. Это достигается благода-

ря изменению рН в эритроцитах, что снижает сродство гемоглобина к кислороду. Для эффективной работы этой системы необходимы три условия: высокая чувствительность гемоглобина к рН, быстрая регуляция рН в эритроцитах и неоднородное распределение кальция в сердечно-сосудистой системе [Brauner, Harter, 2017].

Повышение сродства гемоглобина к кислороду (P50) является ключевым фактором, который влияет на способность рыб адаптироваться к условиям транспортировки с низким содержанием кислорода. Когда уровень кислорода в воде достаточен, гемоглобин рыб эффективно насыщается им благодаря противоточному движению крови и воды через жабры. Однако в условиях гипоксии способность гемоглобина связываться с кислородом становится критически важной.

Свойства гемоглобинов рыб варьируют в зависимости от температуры. Исследования, проведенные на трех видах форели, показали, что повышение температуры на 1°C приводит к снижению сродства гемоглобина к кислороду, что, в свою очередь, увеличивает значение P50 примерно на 1 мм рт. ст. [Камшилов, 1999]. У некоторых рыб, таких как окунь, высокое сродство гемоглобина к кислороду может служить важным молекулярным механизмом адаптации к гипоксии, позволяя снизить его потребление организмом. Для окуня также характерна высокая концентрация кальция в эритроцитах, что наблюдается и у других рыб, устойчивых к гипоксии [Камшилов, Запруднова, 2015].

Уровень углекислого газа (CO₂) оказывает непосредственное влияние на сродство гемоглобина к кислороду. У рыб с высоким P50 даже небольшое увеличение напряжения CO₂ (с 2 до 10 мм рт. ст.) может значительно снизить сродство гемоглобина к кислороду, что приводит к со-

стоянию удушья, даже при наличии избытка кислорода [Ботязова, 2000].

С другой стороны, увеличение сродства гемоглобина к кислороду позволяет рыбам более эффективно использовать доступный кислород и поддерживать аэробный метаболизм, что особенно важно в стрессовых условиях транспортировки. Это подчеркивает важность изучения гематологических показателей и их изменений при транспортировке живой рыбы [Pan et al., 2017].

Как и у других позвоночных, эритроциты рыб содержат тетрамерные гемоглобины, обладающие способностью связывать кислород. У обитающих в хорошо насыщенной кислородом воде видов рыб содержание гемоглобина ниже, чем у тех, кто подвергается гипоксии [Arnaudov, Arnaudova, 2023]. Эритроциты рыб чувствительны также к загрязнению окружающей среды, поэтому их морфологические характеристики могут служить биоиндикаторами токсичности воды [Arnaudov, Arnaudova, 2023; Witeska, 2013].

Количество эритроцитов и содержание гемоглобина отражают общее состояние организма и его реакцию на стрессовые факторы. Анализ этих показателей представляет собой эффективный инструмент для выявления физиологических и иммунных особенностей в условиях транспортировки рыб, что обуславливает актуальность выбранной темы. Целью исследования является изучение влияния различных плотностей посадки при транспортировке на физиологические и иммунные характеристики карповых рыб.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований являлись годовики карпа (*Cyprinus carpio* L.). Средняя масса исследуемых особей составила (77,4 ± 27,7) г.

В ходе исследования использовались восьмилитровые полиэтиленовые пакеты, соотношение воды и кислорода составляло 1 : 2. Схема опыта представлена в таблице 1. Поскольку статья не носит рекламный характер, а также во избежание претензий и конфликтных ситуаций, в таблице 1 и далее по тексту препарат, добавляемый в пакеты экспериментальной группы, обозначен нами как кондиционер для воды, или N_1 .

Таблица 1. Параметры для проведения экспериментальных работ

Table 1. Indicators of the experimental conditions

Показатель	Контрольные образцы	Опытные образцы
Плотность посадки	175 г/л	368,0 г/л
Температура воды	20°C	20°C
Длительность транспортировки	24 ч	24 ч
Наличие кондиционера для воды (N_1)	нет	1,25 мл/л

В контрольной группе химические препараты не применялись, плотность посадки рыб была близка к максимально допустимому значению по Ю.И. Орлову [Орлов, 1974] и составила 175 г/л. В опытной группе ихтиомасса годовиков карпа превышала допустимую в 2,1 раза, составив 368,0 г/л. Для снижения содержания аммиака и нитритов в воду экспериментальных пакетов был добавлен используемый в промышленности кондиционер для воды (N_1) из расчета 1,25 мл/л. После герметичной упаковки пакеты размещались в пенопластовых термоящиках с целью дальнейшей транспортировки при температуре 20°C.

По прошествии суток (24 ч) пакеты вскрывали. Далее рыбы адаптировались к исходным параметрам аквариумной воды посредством замены на свежую. Через каждые 15 мин из пакетов убирали лишнюю воду. По истечении 30 мин в каждый пакет

подавалась аэрация. По прошествии 90 мин адаптации исследуемых рыб переводили из пакетов в аквариумы (для каждой группы). Морфометрические показатели исследуемых рыб определялись по стандартным методикам [Мина и др., 2005].

Оценка гидрохимических показателей осуществлялась капельным методом, что позволило достаточно точно определять различные параметры водной среды, включая содержание углекислого газа, жесткость воды и другие важные показатели. В исследованиях использовался набор тестов для воды Nilra («Нилпа»). Уровень pH и содержание растворенного в воде кислорода определялись инструментальным методом.

Для оценки гематологических показателей кровь у рыб отбирали три раза: первый – за неделю до эксперимента (для определения фоновых показателей), второй – сразу после вскрытия пакетов и третий – через 6 ч после вскрытия пакетов. Отбор крови у рыб в ходе эксперимента осуществлялся прижизненно из хвостовой вены. Использовались одноразовые стерильные шприцы с инъекционными иглами, предварительно обработанными антикоагулянтом – раствором 0,2%-го гепарина.

Определялись следующие гематологические показатели.

Уровень гемоглобина измеряли методом Сали. Этот метод предполагает визуальное определение количества гемоглобина путем сопоставления и сравнения цвета исследуемого образца со стандартными растворами гематина в соляной кислоте, которые находятся в двух боковых камерах гемометра. При добавлении к крови 0,1 моль/л соляной кислоты гемоглобин превращается в солянокислый гематин коричневого цвета, интенсивность которого пропорциональна содержанию гемоглобина. Полученный раствор солянокислого гематина разводили водой до цвета стан-

дарта, соответствующего известной концентрации гемоглобина [Турны, 2013].

Определение количества эритроцитов осуществлялось с помощью камеры Горяева. Эритроциты подсчитывали с помощью малого увеличения микроскопа по диагонали в пяти больших квадратах (80 малых). Расчет количества эритроцитов в 1 мкл крови (объем камеры Горяева) производили, исходя из ее разведения (200), числа подсчитанных квадратов (80) и объема 1 малого квадрата (1/4 000 мкл), по следующей формуле:

$$X = \frac{a \times 4000 \times 200}{80},$$

где X – число эритроцитов в 1 мкл крови;

a – число подсчитанных эритроцитов.

В результате сокращения $X = a \times 10\,000$.
Для перевода в стандартную систему еди-

ниц: числа эритроцитов на 1 литр крови, полученную величину умножали на 10^6 .

Статистическая обработка цифрового материала проводилась с помощью программы Excel, достоверными считались различия по критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ПДК и величины изученных гидрохимических показателей за время проведения эксперимента представлены в таблице 2 [Шестерин и др., 1984]. Активная реакция среды в начале опыта была слабощелочной, в процессе транспортировки отклонилась в кислую сторону на 1,34 и 1,35 ед. в контрольной и опытной группах соответственно, незначительно выходя за нижнюю границу ПДК. Данное снижение можно объяснить накоплением свободной углекислоты (табл. 2).

Таблица 2. Гидрохимические показатели при проведении экспериментальных работ

Table 2. Hydrochemical indicators during the experimental work

Показатель	Контрольные образцы	Опытные образцы	ПДК
До транспортировки			
O ₂ , мг/л	6,1	6,1	6–8 мг/дм ³
pH, ед.	7,7	7,7	6,5–8,0
CO ₂ , мг/л	3,8	3,8	30 мг/дм ³
NH ₃ , мг/л	0,036	0,036	0,05 мг/дм ³
NH ₄ ⁺ , мг/л	2,0	2,0	0,5 мг/дм ³ (в пересчете на азот 0,4);
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,3	0,3	0,08 мг/дм ³ (0,02 мг/дм ³ – в пересчете на азот нитритов)
NO ₃ ⁻ , мг/л	10	10	40 мг/дм ³ (9 мг/дм ³ – в пересчете на азот нитратов)
Сразу после транспортировки (вскрытия пакетов)			
O ₂ , мг/л	16,5	13,5	6–8 мг/дм ³
pH, ед.	6,34	6,35	6,5–8,0
CO ₂ , мг/л	100	85–87	30 мг/дм ³
NH ₃ , мг/л	0,014	0,006–0,014	0,05 мг/дм ³
NH ₄ ⁺ , мг/л	2,0	1,0–2,0	0,5 мг/дм ³ (в пересчете на азот 0,4)
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,2	0,01	0,08 мг/дм ³ (0,02 мг/дм ³ – в пересчете на азот нитритов)
NO ₃ ⁻ , мг/л	6	2–3	40 мг/дм ³ (9 мг/дм ³ – в пересчете на азот нитратов)
Через 6 часов после транспортировки			
O ₂ , мг/л	6,2	6,2	6–8 мг/дм ³
pH, ед.	7,7	7,8	6,5–8,0
CO ₂ , мг/л	3,8	3,8	30 мг/дм ³
NH ₃ , мг/л	0,036	0,036	0,05 мг/дм ³
NH ₄ ⁺ , мг/л	2,0	2,0	0,5 мг/дм ³ (в пересчете на азот 0,4)
NO ₂ ⁻ , мг/л	0,3	0,3	0,08 мг/дм ³ (0,02 мг/дм ³ – в пересчете на азот нитритов)
NO ₃ ⁻ , мг/л	10	10	40 мг/дм ³ (9 мг/дм ³ – в пересчете на азот нитратов)

Герметически закрытые емкости в начале транспортировки обеспечивают довольно высокое насыщение воды O_2 (до 20 мг/л и выше). Во время перевозки его уровень незначительно снижается. За 24 ч проведения эксперимента содержание растворенного в воде кислорода возросло, в контрольной группе в 2,7 раза, в опытной – в 2,2 раза, что ниже на 18,2%, связано с разными плотностями посадки рыб и применением специального препарата для удаления азотистых соединений (аммиака, нитритов, нитратов) из воды, который оказывает дополнительное влияние на снижение уровня кислорода [Кандыбин, Бубунец, 2025].

На фоне увеличения растворенного кислорода также накапливается содержание свободной углекислоты и аммиака. Так, содержание свободной углекислоты за период транспортировки значительно возрастает в 22,4–26,3 раза, превышая ПДК в 2,8–3,3 раза.

Несмотря на более высокую ихтиомассу, в опытной группе, в отобранных про-

бах воды содержание CO_2 , NH_3 , NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- соответственно ниже на 13–15%, 0–57,14%, 0–50%, 50–66,67%, 95% чем в контрольной группе. Эти изменения, очевидно, связаны с добавлением кондиционера для воды (N_1), снижающего содержание концентраций азотистых соединений. Для обеспечения основного условия эксперимента общая ихтиомасса в контрольной группе была в 2,1 раза выше, чем в опытной (рисунок).

Результаты проведенной работы показали, что за сутки перевозки (24 ч) рыбы в контрольной и опытной группах теряют по массе 3,2 и 3,7% соответственно. За последующие 6 ч наблюдений снижение массы продолжилось на 0,52% в контрольной и 0,22% в опытной группах. В целом за 30 ч эксперимента особи из контрольной группы потеряли в массе 3,68%, из опытной – 3,89%. Полученные данные следует учитывать при организации масштабных перевозок.

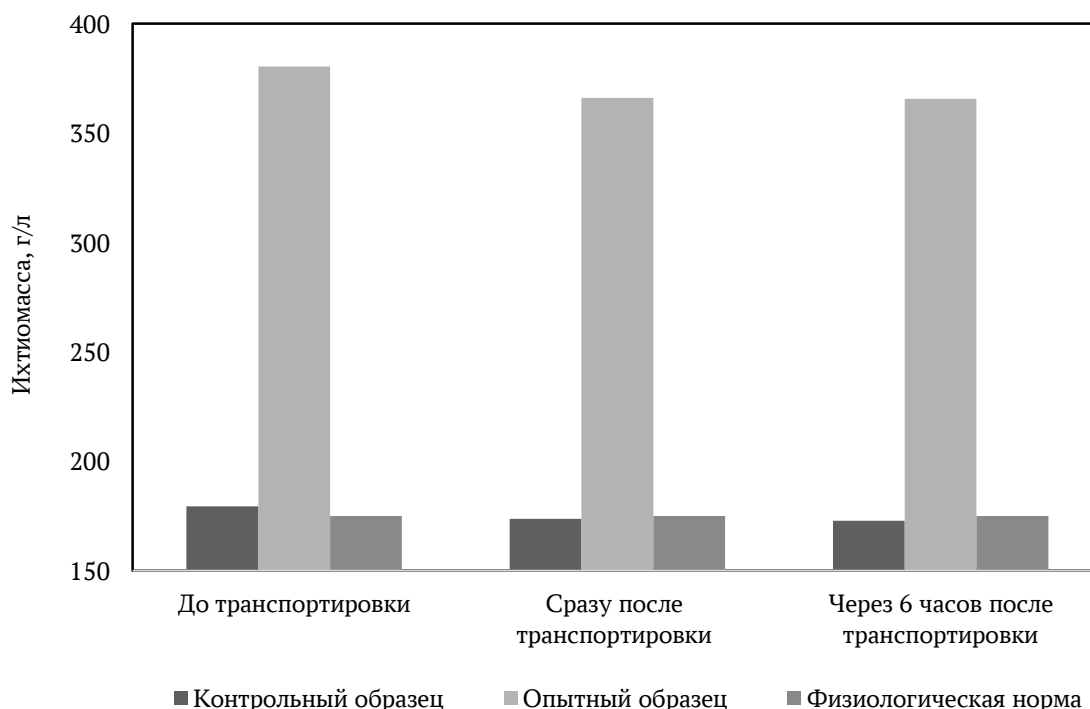


Рис. Изменение ихтиомассы карпа по группам за период исследований

Fig. Change in the ichthyomass of carp by groups during the research period

В таблице 3 представлены изменение гематологических показателей и физиологические нормы для молодежи обыкновенного карпа. Непосредственно после транспортировки зарегистрировано снижение содержания гемоглобина в крови рыб: на 19,57% в опыте и на 30,23% в контроле от исходных значений до транспортировки.

Очевидно высокое содержание углекислоты в рыбоводных емкостях (в опыте на 10–15% ниже по сравнению с контролем) вызвало уменьшение числа эритроцитов и гемоглобина. В контроле содержание гемоглобина снизилось на 30,2% против 19,6% в опыте, различия с высокой степенью достоверны ($p \leq 0,001$). Вероятно, меньшее снижение гемоглобина в опыте, несмотря на высокие плотности посадки, связано с добавлением кондиционера для воды (N_1), способствующего связыванию не только азотсодержащих соединений в воде, но и свободной углекислоты, что обеспечивает возможность увеличения плотности посадки рыб. Снижение содер-

жания числа эритроцитов за транспортировку в контрольной группе составило 22,3%, в опытной – 33,1%.

Через 6 ч после транспортировки в контрольной группе отмечено увеличение числа эритроцитов (незначительно больше верхней границы нормы) и гемоглобина, даже по сравнению с исходными значениями. Вероятно, снижение количества эритроцитов и соответственно гемоглобина при транспортировке стимулировало выработку эритропоэтина, который активировал эритропоэз. В опыте количество эритроцитов через 6 ч после перевозки возросло на 24,18% и приблизилось к исходной величине. По гемоглобину восстановление исходных значений еще не происходит. Поскольку через 6 ч после перевозки все показатели находились в пределах установленной для рыб физиологической нормы, можно сделать вывод о хорошей адаптации карпа после транспортировочного стресса.

Таблица 3. Изменение гематологических показателей у карпа за период исследований

Table 3. Changes in hematological parameters in carp during the study period

Показатель	Контрольные образцы	Опытные образцы	Физиологическая норма**
До транспортировки			
Гемоглобин, мг%	8,6 ± 0,1	9,2 ± 0,7	3–10
Количество эритроцитов, × 10 ¹²	1,21 ± 0,25	1,36 ± 0,31	0,5–2,0
Сразу после транспортировки			
Гемоглобин, мг%	6,0 ± 0,4	7,4 ± 0,3*	3–10
Количество эритроцитов, × 10 ¹²	0,94 ± 0,21	0,91 ± 0,13	0,5–2,0
Через 6 часов после транспортировки			
Гемоглобин, мг%	10,8 ± 0,3	6,7 ± 1,3*	3–10
Количество эритроцитов, × 10 ¹²	2,03 ± 0,22	1,13 ± 0,25*	0,5–2,0

* Различия достоверны $p \leq 0,05$

** Согласно авторам [Орлов и др., 1974; Желтое, 2006; Ахметова, Басина, 2015; Шумак, 2016; Срибный и др., 2017; Хорват и др., 2018; Жолдасбаев, 2020; Матросова, 2021]

* The differences are significant $p \leq 0,05$

** According to [Orlov et al., 1974; Zheltoe, 2006; Akhmetova, Basina, 2015; Shumak, 2016; Sribny et al., 2017; Horvat et al., 2018; Zholdasbayev, 2020; Matrosova, 2021]

**ЛИТЕРАТУРА
REFERENCES**

- Абдуллаева Н.М., Рамазанова М.Г., Габибов М.М. 2016. Изучение физиологического состояния осетровых рыб среднего Каспия. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. Т. 18. № 2. С. 7–9.
- Abdullaeva N.M., Ramazanova M.G., Gabibov M.M. 2016. Study of the physiological state of sturgeon fishes of the middle Caspian Sea. Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk (Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences). Vol. 18. № 2. P. 7–9 (in Russian).*
- Ахметова В.В., Басина С.Б. 2015. Оценка морфологической и биохимической картины крови карповых рыб, выращиваемых в ООО «Рыбхоз» Ульяновского района Ульяновской области. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. № 3. С. 53–58.
- Akhmetova V.V., Basina S.B. 2015. Evaluation of the morphological and biochemical blood picture of carp fish grown in "Rybkhoz" LLC from Ulyanovsk District, Ulyanovsk Region. Vestnik Ul'yanskoj gosudarstvennoj sel'skokhozyajstvennoj akademii (Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy). № 3. P. 53–58 (in Russian).*
- Ботязова О.А. 2000. Физиология системы крови: сравнительные, экологические и эволюционные аспекты. *Учебное пособие*. Ярославский государственный университет. Ярославль. 60 с. ISBN 5-8397-0104-1.
- Botyazhova O.A. 2000. Physiology of the blood system: comparative, ecological and evolutionary aspects. Textbook. Yaroslavl State University. Yaroslavl. 60 p. ISBN 5-8397-0104-1 (in Russian).*
- Грозеску Ю.Н., Бахарева А.А. 2008. Использование гематологических показателей для отбора рыболоводно-продуктивных самок и самцов осетровых рыб. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Рыбное хозяйство»*. № 3. С. 18–21.
- Grozesku Yu.N., Bakhareva A.A. 2008. Use of hematological parameters for selection of fish-farming productive females and males of sturgeon. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya "Rybnoye khozyaystvo" (Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series "Fisheries"). № 3. P. 18–21 (in Russian).*
- Гурков А.Н. 2020. Исследование вариативности рН внутренних сред гидробионтов в стрессовых условиях *in vivo*. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва. 21 с.
- Gurkov A.N. 2020. Study of pH variability of internal environments of aquatic organisms under stressful conditions in vivo. Abstract of Thesis for the Degree of Candidacy of Biological Sciences. Moscow. 21 p. (in Russian).*
- Желтое Ю.А. 2006. Организация кормления разновозрастного карпа в фермерских рыбных хозяйствах. Киев: Инкос. 282 с.
- Zheltoe Yu.A. 2006. Organization of feeding of carp of different ages in farm fisheries. Kiev: Inkos Publ. 282 p. (in Russian).*
- Жолдасбаев А.М. 2020. Биологические особенности карпа (*Cyprinus carpio* Linne 1758). *Форум молодых ученых*. № 12. С. 155–158.
- Zholdasbaev A.M. 2020. Biological characteristics of carp (Cyprinus carpio Linne 1758). Forum molodykh uchenykh (Forum of Young Scientists). № 12. P. 155–158 (in Russian).*
- Камшилов И.М. 1999. Функциональные свойства гемоглобина у разных по эко-

- логии групп рыб. Дис. ... канд. биол. наук. Москва. 143 с.
- Kamshilov I.M. 1999. *Functional properties of hemoglobin in ecologically different fish groups. Thesis for the Degree of Candidacy of Biological Sciences. Moscow. 143 p. (in Russian).*
- Камшилов И.М., Запрудникова Р.А. 2015. Особенности гемоглобиновой системы окуня (*Perca fluviatilis* L.). *Вестник Московского университета*. № 2. С. 152–157.
- Kamshilov I.M., Zaprudnova R.A. 2015. *Features of the hemoglobin system of perch (Perca fluviatilis L.). Vestnik Moskovskogo universiteta (Bulletin of Moscow University)*. № 2. P. 152–157 (in Russian).
- Кандыбин А.А., Бубунец Э.В. 2025. Динамика кислородного режима при транспортировке карповых рыб в герметичных емкостях. *Тезисы докладов молодежной научной конференции «Исследования молодых ученых в реализации приоритетов научно-технологического развития в области животноводства»*. С. 111–112.
- Kandybin A.A., Bubunets E.V. 2025. *Oxygen regime dynamics during transportation of carp fish in sealed containers. Abstracts of the Youth Scientific Conference "Research of Young Scientists in the Implementation of Scientific and Technological Development Priorities in Animal Husbandry"*. P. 111–112 (in Russian).
- Крюков В.И., Жучков С.А., Лазарева Т.Н. и др. 2023. Влияние КВЧ-излучения на частоту микроядер и ядерных аномалий в эритроцитах личинок амфибий. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 63. С. 101–112.
- Kryukov V.I., Zhuchkov S.A., Lazareva T.N. et al. 2023. *Influence of the radiation on frequency of macronuclei and nuclear anomalies in amphibian larva erythrocytes. Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 63. P. 101–112 (in Russian).
- Матросова И.В., Калинина Г.Г., Муртазалиева В.Е. 2021. Некоторые биологические характеристики карпа, выращенного в крестьянском фермерском хозяйстве. *Научные труды Дальрыбвтуза*. № 1. С. 60–66.
- Matrosova I.V., Kalinina G.G., Murtazalieva V.E. 2021. *Some biological characteristics of carp grown on a peasant farm. Nauchnyye trudy Dal'rybvvtuza (Scientific works of the Far Eastern State Technical University of Fisheries)*. № 1. P. 60–66 (in Russian).
- Мина М.В., Левин Б.А., Мироновский А.Н. 2005. О возможностях использования в морфометрических исследованиях рыб оценок признаков, полученных разными операторами. *Вопросы ихтиологии*. Т. 45. № 3. С. 331–341.
- Mina M.V., Levin B.A., Mironovsky A.N. 2005. *On the possibilities of using character assessments obtained by different operators in morphometric studies of fish. Voprosy ikhtiologii (Journal of Ichthyology)*. Vol. 45. № 3. P. 331–341 (in Russian).
- Орлов Ю.И., Кружалина Е.И., Аверина И.А. и др. 1974. *Транспортировка живой рыбы в герметических емкостях. Справочное пособие*. Москва. Пищевая промышленность. 97 с.
- Orlov Yu.I., Kruzhalina E.I., Averina I.A. et al. 1974. *Transportation of live fish in sealed containers. Reference manual. Moscow: Food industry Publ.* 97 p. (in Russian).
- Срибный А.С., Пономарева М.Е., Складчиков С.П. и др. 2017. Создание интенсивной технологии производства продукции аквакультуры: методические ре-

- комендации. Ставрополь: Агрус. 118 с.
Sribny A.S., Ponomareva M.E., Sklyarov S.P. et al. 2017. *Development of intensive technology for aquaculture production: methodological recommendations. Stavropol: Agrus Publ. 118 p. (in Russian).*
- Турны А.А. 2013. Проблема определения гемоглобина в лабораторной диагностике и методы ее решения. *Поликлиника*. № 3. С. 48–53.
- Turna A.A. 2013. *The problem of hemoglobin determination in laboratory diagnostics and methods for its solution. Poliklinika (Polyclinic)*. № 3. P. 48–53 (in Russian).
- Хорват Л., Тамас Ж., Кош А.Г. и др. 2018. Искусственное воспроизводство карповых видов рыб. Учебное пособие: раздаточный материал для внутрихозяйственных обучающих семинаров по искусственному воспроизводству карпа, толстолобика и белого амура в Центральной и Восточной Европе, на Кавказе и Центральной Азии. 2-е изд. Будапешт: ФАО. 38 с.
- Horvath L., Tamas J., Kosh A.G. et al. 2018. *Artificial propagation of carp fish species. A manual: handout for on-farm training seminars on artificial propagation of common carp, silver carp, and grass carp in Central and Eastern Europe, the Caucasus, and Central Asia. 2nd ed. Budapest: FAO. 38 p. (in Russian).*
- Шестерин И.С., Розова Т.Л., Богданова Л.А. и др. 1984. Министерство рыбного хозяйства СССР, Всесоюзное научно-производственное объединение по рыбоводству (ВНПО по рыбоводству), Всесоюзный научно-исследовательский институт прудного рыбного хозяйства (ВНИИПРХ). Инструкция по химическому анализу воды прудов (Утверждена Министерством рыбного хозяйства СССР 20.03.1984 г.). Москва: ВНИИПРХ. 50 с.
- Shesterin I.S., Rozova T.L., Bogdanova L.A. et al. 1984. *USSR Ministry of Fisheries, All-Union Scientific and Production Association for Fish Farming (VNPO for Fish Farming), All-Union Scientific Research Institute of Pond Fish Farming (VNIIPRKh). Instructions for the chemical analysis of pond water (Approved by the USSR Ministry of Fisheries on 20.03.1984). Moscow: VNIIPRKh. 50 p. (in Russian).*
- Шумак В.В. 2016. Основы модели роста карпа. *Рыбное хозяйство*. № 3. С. 80–84.
- Shumak V.V. 2016. *Fundamentals of the carp growth model. Rybnoye khozyaystvo (Fisheries Journal)*. № 3. P. 80–84 (in Russian).
- Юрин Д.А., Осепчук Д.В., Юрина Н.А. и др. 2020. Повышение сохранности мальков рыб при перевозке. *Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства*. Т. 9. С. 159–162.
- Yurin D.A., Osepchuk D.V., Yurina N.A. et al. 2020. *Improving the survival rate of fish fry during transportation. Sbornik nauchnykh trudov Severo-Kavkazskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhivotnovodstva (Collection of scientific papers of the North Caucasus Research Institute of Animal Breeding)*. Vol. 9. P. 159–162 (in Russian).
- Arnaudov A., Arnaudova D. 2023. Erythrocytes and hemoglobin of fish: Potential indicators of ecological biomonitoring. *Animal models and experimental research in medicine*. IntechOpen. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.107053> (accessed: 25.06.2025).
- Barton B.A., Peter R.E., Paulencu C.R. 1980. Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at rest, and subjected to handling confinement, transport and stocking. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 37. P. 805–811.

- Brauner C.J., Harter T.S. 2017. Beyond just hemoglobin: Red blood cell potentiation of hemoglobin-oxygen unloading in fish. *Journal of Applied Physiology*. Vol. 123. P. 935–941.
- Chan B., Zhaoding W., Jigui Y. et al. 2024. Effects of transport densities on the physiological and biochemical characteristics of sturgeon (*Acipenser baerii* ♀ × *A. schrenckii* ♂). *Aquaculture*. Vol. 586. Art. № 740832.
- Currie S., Tufts B.L. 1993. An analysis of carbon dioxide transport in arterial and venous blood of the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, following exhaustive exercise. *Fish Physiology and Biochemistry*. Vol. 12. P. 183–192.
- Da Costa O.T.F., Dos Santos F.D.J., Mendonça F.L.P. et al. 2004. Susceptibility of the Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae), to short-term exposure to nitrite. *Aquaculture*. Vol. 232. P. 627–636.
- Dobšíková R., Svobodová Z., Blahová J. et al. 2009. The effect of transport on biochemical and haematological indices of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Czech Journal of Animal Science*. Vol. 54. P. 510–518.
- Erikson U., Sigholt T., Seland A. 1997. Handling stress and water quality during live transportation and slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*. Vol. 149. P. 243–252.
- Gomes L.C., Araujo-Lima C.A.R.M., Roubach R. et al. 2003. Effect of fish density during transportation on stress and mortality of juvenile tambaqui *Colossoma macropomum*. *Journal of the World Aquaculture Society*. Vol. 34. P. 76–84.
- Gomes L.C., Chagas E.C., Brinn R.Ph. et al. 2006. Use of salt during transportation of air breathing pirarucu juveniles (*Arapaima gigas*) in plastic bags. *Aquaculture*. Vol. 256. P. 521–528.
- Jumaa Q.S., Hadi Al-Saeedy K.A., Obid W.S. 2018. The toxic effects of ammonia on growth rate and some blood parameters in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Al-Anbar Journal of Veterinary Sciences*. Vol. 11. P. 109–113.
- Hrubinko V.V., Smol'skyi O.S., Iavonenko O.F. 1996. Changes in the blood morphofunctional characteristics of cyprinid fishes in ammonia poisoning. *Fiziolohichniy zhurnal*. Vol. 42. P. 40–46.
- Huang Y., Cai D., Li M. et al. 2019. Influence of changes in dissolved oxygen content on fish behavioral trajectories during water eutrophication. *Applied Ecology and Environmental Research*. Vol. 17. P. 653–666.
- Huey D.W., Simco B.A., Criswell D.W. 1980. Nitrite induced methemoglobinemia in channel catfish. *Transactions of the American Fisheries Society*. Vol. 109. P. 558–562.
- Ishimatsu A., Kikkawa T., Hayashi M. et al. 2004. Effects of CO₂ on marine fish: larvae and adults. *Journal of Oceanography*. Vol. 60. P. 731–741.
- Klinger K. 1957. Toxicity of nitrite to channel catfish. *The Progressive Fish-Culturist*. Vol. 37. P. 96–98.
- López-Jiménez D., Espinosa-Chaurand L.D., Maeda-Martínez A.N. et al. 2024. Combined effect of temperature, salinity and dissolved oxygen on the survival of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry during transportation, at different densities and durations. *Aquaculture*. Vol. 580. Art. № 740283.
- Nikinmaa M. 1993. Blood CO₂ transport in fish with reduced rate of red cell anion exchange. *Funktionsanalyse Biologischer Systeme*. Vol. 23. P. 261–266.
- Pan Y.K., Ern R., Morrison P.R. et al. 2017. Acclimation to prolonged hypoxia alters hemoglobin isoform expression

- and increases hemoglobin oxygen affinity and aerobic performance in a marine fish. *Scientific Reports*. Vol. 7. Art. № 7834.
- Regan M.D., Brauner C.J. 2010. The transition in hemoglobin proton-binding characteristics within the basal actionpterugian fishes. *Journal of Comparative Physiology B*. Vol. 180. P. 521–530.
- Selye H. 1956. The stress of life. McGraw-Hill Book Co. Inc., New York, USA.
- Sintuprom C., Nuchchanart W., Dokkaew S. et al. 2024. Effects of clove oil concentrations on blood chemistry and stress-related gene expression in Siamese fighting fish (*Betta splendens*) during transportation. *Frontiers in Veterinary Science*. Vol. 11. Art. № 10.3389/fvets.2024.
- Tilak K.S., Veeraiah K., Raju J.M. 2007. Effects of ammonia, nitrite and nitrate on hemoglobin content and oxygen consumption of freshwater fish, *Cyprinus carpio* (Linnaeus). *Journal of Environmental Biology*. Vol. 28. P. 45–47.
- Tomasso J.R. 1986. Comparative toxicity of nitrite to fresh water fishes. *Aquatic Toxicology*. Vol. 8. P. 129–137.
- Tucker C.S., Francis-Floyd R., Bealeau M.H. 1989. Nitrite-induced anemia in channel catfish, *Ictalurus punctatus rafinesque*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 43. P. 295–301.
- Witeska M. 2008. Anemia in teleost fishes. *Bulletin of the European Association Fish P*. Vol. 35. P. 148–160.
- Witeska M. 2013. Erythrocytes in teleost fishes: a review. *Zoology and Ecology*. Vol. 23. P. 275–281.
- Witeska M., Kondera E., Bojarski B. 2023. Hematological and hematopoietic analysis in fish toxicology – a review. *Animals*. Vol. 13. Art. № 2625.
- Yang Y., Narayan E., ReyPlanellas S. et al. 2024. Effects of stocking density during simulated transport on physiology and behavior of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Journal of the World Aquaculture Society*. Vol. 55. Art. № e13054.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Пронина Галина Иозеповна – Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, Россия, Москва; доктор биологических наук, профессор кафедры аквакультуры и пчеловодства; gidrobiont4@yandex.ru. SPIN-код: 6162-9922, Author ID: 415525; Scopus ID: 56613245700.

Pronina Galina Iozepovna – Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow; Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Aquaculture and Beekeeping; gidrobiont4@yandex.ru. SPIN-code: 6162-9922, Author ID: 415525; Scopus ID: 56613245700.

Кандыбин Антон Алексеевич – Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, Россия, Москва; аспирант кафедры аквакультуры и пчеловодства; kandybin.anton@gmail.com. SPIN-код: 7013-9733, Author ID: 1097940.

Kandybin Anton Alekseevich – Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow; Postgraduate Student of the Department of Aquaculture and Beekeeping; kandybin.anton@gmail.com. SPIN-code: 7013-9733, Author ID: 1097940.

Чан Ван Дат – Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, Россия, Москва; аспирант кафедры зоологии; dattran1069@gmail.com.

Tran Van Dat – Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow; Postgraduate Student of the Department of Zoology; dattran1069@gmail.com.

Бубунец Эдуард Владимирович – Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева; 127434, Россия, Москва; доктор сельскохозяйственных наук, доцент, и.о. заведующего кафедры аквакультуры и пчеловодства; bubunets@rgau-msha.ru. SPIN-код: 1182-1890, Author ID: 280887.

Bubunets Eduard Vladimirovich – Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127434, Russia, Moscow; Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Acting Head of the Department of Aquaculture and Beekeeping; bubunets@rgau-msha.ru. SPIN-code: 1182-1890, Author ID: 280887.

Статья поступила в редакцию 28.08.2025; одобрена после рецензирования 11.03.2026; статья принята к публикации 20.03.2026.

The article was submitted 28.08.2025; approved after reviewing 11.03.2026; accepted for publication 20.03.2026.

Для цитирования: Пронина Г.И., Кандыбин А.А., Чан В.Д., Бубунец Э.В. 2026. Гематологические показатели карповых рыб в период адаптации после транспортировки в герметических емкостях. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. Вып. 75. С. 102–115. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-102-115>.

For citation: Pronina G.I., Kandybin A.A., Tran V.D., Bubunets E.V. 2026. Hematological parameters of cyprinid fish during the adaptation period after transportation in hermetic containers. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. Iss. 75. P. 102–115 (in Russian). <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2026-75-102-115>.

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ РУКОПИСЕЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК КАМЧАТГТУ»

Журнал «Вестник КамчатГТУ» выпускается четыре раза в год и публикует результаты научных исследований по направлениям:

- 1.5.12. Зоология (биологические науки)
- 1.5.15. Экология (биологические науки)
- 1.5.16. Гидробиология (биологические науки)
- 1.5.20. Биологические ресурсы (биологические науки)
- 2.2.4. Приборы и методы измерения (по видам измерений) (технические науки)
- 2.2.8. Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды (технические науки)
- 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы (физико-математические науки)
- 4.3.3. Пищевые системы (биологические и технические науки)
- 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

В рамках общих направлений предпочтение отдается следующим профилям:

- научно-информационное обеспечение развития технических систем, контроля природной среды и использования природных ресурсов;
- аквакультура и охрана водных биологических ресурсов и среды их обитания, воздействие природных и антропогенных факторов на состояние водных экосистем;
- пищевые технологии и рыбоперерабатывающая техника.

Редакция оставляет за собой право отклонять статьи, не соответствующие профилю журнала.

В журнале печатаются результаты, ранее не опубликованные и не предназначенные к одновременной публикации в других изданиях.

Работа должна соответствовать указанным выше направлениям, обладать несомненной новизной, иметь теоретическую и практическую значимость. Рукописи статей должны быть подготовлены на высоком научном уровне и содержать результаты исследований по соответствующей проблематике. Материалы исследований, присланные в журнал, не должны содержать заимствований из работ, принадлежащих другим ученым. Ссылки на исследования других специалистов даются в порядке, определенном традициями научного сообщества.

Рукописи должны быть оформлены в соответствии с правилами оформления, принятыми в журнале. Журнал публикует статьи на русском и английском языках.

Направление рукописей

Рукописи статей в электронном виде направляются в редакцию журнала по адресу: vestnik@kamchatgtu.ru. Название файла должно содержать фамилию автора статьи.

К рукописи статьи в электронном виде (скан-копии) должны быть приложены:

- анкета-заявка на опубликование. Если у статьи несколько авторов, то сведения предоставляются полностью о каждом из них, указывается автор для переписки с редакцией (Приложение 1);

- согласие автора о передаче права на публикацию рукописи и распространение в российских и международных электронных базах данных (Приложение 2);
- согласие автора на обработку и передачу персональных данных (Приложение 3);
- акт экспертизы / экспертное заключение в форме, принятой в направляющей организации;
- разрешение на опубликование материалов от организации, в которой работает автор с подписью руководителя и печатью организации (для внешних авторов).

Рецензирование рукописей

Издание осуществляет рецензирование всех поступающих в редакцию материалов, соответствующих ее тематике, с целью их экспертной оценки. Статьи, присланные в журнал, проходят предварительное (общий допуск) и профильное (официальная рецензия) рецензирование. Вопрос об опубликовании рукописи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала.

Рецензентами журнала являются высококвалифицированные специалисты, имеющие степень доктора или кандидата наук и научные публикации в областях наук по профилю рецензирования.

Рукопись, получившая положительную оценку рецензентов, принимается к опубликованию в журнале на заседании редколлегии журнала.

Рукопись, получившая рекомендации по доработке, отправляется авторам. Исправленная рукопись проходит повторное рецензирование.

В случае получения отрицательной рецензии на рукопись автор получает мотивированный отказ в опубликовании. Решение редколлегии о принятии статьи к печати или ее отклонении сообщается авторам.

Редколлегия оставляет за собой право отклонить материал без указания причин. Отклоненные рукописи авторам не возвращаются.

Рецензии хранятся в редакции журнала в течение 5 лет. При поступлении в редакцию соответствующего запроса редакция издания направляет копии рецензий в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Опубликование рукописей

Каждый номер научного журнала комплектуется из рукописей статей, прошедших рецензирование и принятых к опубликованию решением редакционной коллегии с учетом очередности поступления рукописи, ее объема и наполненности разделов.

Преимущественное право на публикацию имеют сотрудники КамчатГТУ, аспиранты, завершающие обучение в аспирантуре, и лица, выходящие на защиту диссертации в ближайшее время.

Автор может опубликовать в одном номере журнала не более одной статьи в качестве единственного автора.

Плата за публикации рукописей не взимается. Гонорар за публикации не выплачивается.

Полнотекстовые электронные версии выпусков журналов размещаются в свободном доступе на сайте КамчатГТУ (<http://www.kamchatgtu.ru>) (тип лицензии CC BY 4.0), в Научной электронной библиотеке (НЭБ) (<http://elibrary.ru>).

Печатная версия журнала высылается по всем обязательным адресам рассылки.

Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах размещаются в свободном доступе на сайте журнала, в электронных системах цитирования (базах данных) на русском и английском языках.

Приложение 1

Анкета-заявка

Полные Ф. И. О.	На русском и английском языках
Название статьи	На русском и английском языках
Ученая степень	На русском и английском языках
Ученое звание	На русском и английском языках
Должность (с указанием структурного подразделения)	На русском и английском языках
Место работы	На русском и английском языках
Адрес места работы (обязательно указать индекс)	На русском и английском языках
Членство в академиях (РАЕН, РАН, МАНЭБ, Военная и др.)	На русском и английском языках
Номера телефонов (мобильный, служебный, домашний)	
Адрес электронной почты (e-mail)	

Приложение 2

Согласие автора

**о передаче права на публикацию рукописи в научном журнале
«Вестник Камчатского государственного технического университета»
и распространение в российских и международных электронных базах данных**

Я, нижеподписавшийся, _____
(Ф. И. О. автора)

автор рукописи _____

(название рукописи)

передаю на безвозмездной основе редакции научного журнала «**Вестник Камчатского государственного технического университета**» неисключительное право на опубликование этой рукописи статьи (далее – Произведение) в печатной и электронной версиях научного журнала «**Вестник Камчатского государственного технического университета**», а также на распространение Произведения путем размещения его электронной копии в базе данных «Научная электронная библиотека» («НЭБ»), представленной в виде информационного ресурса сети Интернет elibrary.ru. Территория, на которой допускается использование вышеуказанных прав на Произведение, не ограничена.

Я подтверждаю, что указанное Произведение нигде ранее не было опубликовано.

Я подтверждаю, что данная публикация не нарушает авторские права других лиц или организаций.

С правилами представления статей в редакцию научного журнала «**Вестник Камчатского государственного технического университета**» согласен / согласна.

наименование
организации

должность

дата

подпись

расшифровка
подписи

**Согласие на публикацию
и обработку персональных данных
авторов научного журнала Вестник КамчатГТУ**

Я, _____, в соответствии с требованиями статьи 9 Федерального закона от 27.07.2006 г. № 152-ФЗ «О персональных данных» даю согласие на обработку моих персональных данных издателю – ФГБОУ ВО «КамчатГТУ», расположенному по адресу: 683003, Камчатский край, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, д. 35, ИНН 4100001140, ОГРН 1024101031790, в рамках процесса опубликования моей статьи в научном журнале «Вестник КамчатГТУ». Представленная статья не публиковалась ранее в других изданиях и не находится на рассмотрении в редакциях других издательств. Все возможные конфликты интересов, связанные с авторскими правами и опубликованием рассматриваемой статьи, урегулированы. Публикация статьи не нарушает авторские права третьих лиц.

Подтверждаю свое согласие на опубликование и размещение полнотекстовой версии статьи и своих персональных данных (фамилия, имя, отчество; сведения о месте работы и занимаемой должности; учёная степень (учёное звание); электронная почта, контактный телефон и другие предоставляемые мной в рамках статьи данные) в открытом доступе на сайте ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» (www.kamchatgtu.ru), Научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru), в иных базах данных научной информации, электронно-библиотечных системах, научных информационных ресурсах в сети Интернет и доведения до всеобщего сведения, обработки и систематизации в других базах цитирования, а также для включения в аналитические и статистические отчетности без ограничения по сроку.

(подпись)

(Ф. И. О. автора)

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

Объем

Объем содержательной части рукописи статьи (введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение) – не менее 5 страниц (без учёта таблиц, рисунков и списка литературы) для оригинальных статей и не более 24 страниц – для статей-ревизий.

Рекомендуемая структура

Статья должна быть структурирована и включать следующие разделы: введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, литература.

Правила набора

Текстовый редактор – Microsoft Word / P7-Office, шрифт – Times New Roman / PT Astra Serif; размер шрифта: основной – 11,5, вспомогательный – 10,5; абзацный отступ – 0,7 см; междустрочный интервал (множитель) – 1,2. Поля: верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм, правое – 20 мм, левое – 20 мм.

Начало статьи

Через один межстрочный интервал последовательно приводятся следующие сведения:

– индекс универсальной десятичной классификации (УДК), выровненный влево (шрифт 11,5);

на русском языке указываются:

– название статьи прописными (заглавными) полужирными буквами, без переносов, с выравниванием по центру (шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– фамилии и инициалы авторов последовательно с выравниванием по левому краю без абзацного отступа (шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– название организации, в которой работают авторы, адрес организации (с выравниванием по ширине полосы без абзацного отступа, шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– текст краткой аннотации (не менее 75 и не более 120 слов), выровненный по ширине полосы без абзацного отступа (шрифт 10,5; междустрочный интервал – 1); аннотация должна содержать краткое изложение проблемы, указание на технологию или методы исследования, результаты исследования с акцентом на их новизну;

– ключевые слова (не более 10 слов), выровненные по ширине полосы без абзацного отступа (шрифт 10,5; междустрочный интервал – 1);

далее на английском языке через один межстрочный интервал указываются:

– название статьи прописными (заглавными) полужирными буквами, без переносов, с выравниванием по центру (шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– фамилии и инициалы авторов последовательно с выравниванием по левому краю без абзацного отступа (шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– название организации, в которой работают авторы, адрес организации (с выравниванием по ширине полосы без абзацного отступа, шрифт 11,5; междустрочный интервал – 1);

– текст краткой аннотации, выровненный по ширине полосы без абзацного отступа (шрифт 10,5; междустрочный интервал – 1);

– ключевые слова (не более 10 слов), выровненные по ширине полосы без абзацного отступа (шрифт 10,5; междустрочный интервал – 1).

УДК

**ДЕСТРУКЦИЯ ТКАНЕЙ БУРОЙ ВОДОРΟΣЛИ *SACCHARINA BONGARDIANA*
В ПРОЦЕССЕ ТЕРМОЩЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БИОГЕЛЯ**

Иванов А.А.¹, Петрова А.А.²

¹ Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35.

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, г. Москва, ул. Красносельская, 17.

Saccharina bongardiana – один из самых массовых видов ламинариевых водорослей камчатского шельфа, характеризующийся широкой экологической пластичностью и морфологической изменчивостью. В работе описаны отличия его морфогенеза и биологии развития от таковых у других камчатских представителей рода *Saccharina* и близкого к нему рода *Laminaria*, рассмотрены особенности внутреннего строения, позволяющие данному виду осваивать литоральную зону шельфа, противостоять воздействию неблагоприятных факторов. Описан разработанный авторами метод контроля процесса деструкции тканей, происходящий под воздействием термощелочной обработки в процессе получения биогеля из этого вида водорослей.

Ключевые слова: *Saccharina bongardiana*, биология развития, морфогенез, водорослевый биогель, термощелочная обработка, деструкция ткани.

**TISSUE DESTRUCTION IN THE BROWN ALGA, *SACCHARINA BONGARDIANA*,
DURING THE PROCESS OF THERMAL-ALKALIN TREATMENT
WHEN PRODUCING BIOGEL**

Ivanov A.A.¹, Petrova A.A.²

¹ Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya Str. 35.

² Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Krasnoselskaya Str. 17.

Saccharina bongardiana is one of the most widespread kelp species in Kamchatka, which is characterized by a broad ecological plasticity and morphological variability. We describe differences in its morphogenesis and developmental biology from the other *Saccharina* and *Laminaria* species from Kamchatka, and features of its internal structure that allow this species to develop in the tidal zone and withstand the effects of adverse environmental factors. The method developed by the authors to control the process of *S. bongardiana* tissue destruction occurring in the process of thermo-alkaline treatment when producing biogel from this alga is described.

Key words: *Saccharina bongardiana*, developmental biology, morphogenesis, algal biogel, thermo-alkaline treatment, tissue destruction.

Текст статьи

Основной размер шрифта текста статьи – 11,5; междустрочный интервал (множитель) – 1,2; абзацный отступ – 0,7 см.

Структурные элементы статьи (**введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, литература**) должны быть приведены прописными (заглавными) полужирными буквами с выравниванием по центру.

Ссылки на литературу в тексте должны быть приведены в квадратных скобках с указанием фамилии автора (-ов) и через запятую – года выпуска научного издания (в порядке возрастания года издания; например, [Иванов, 1974; Петров, 1995; Абрамов, 2010]).

Ссылки на рисунки и таблицы должны быть приведены в тексте, при этом сами рисунки и таблицы – в конце статьи (после литературы и информации об авторах) с обязательным переводом названий таблиц и подрисуночных подписей на английский язык.

Все рисунки, кроме единственного, нумеруются. Рисунки должны быть четкими, обозначения и надписи читаемыми. Номер рисунка и подпись к нему печатаются шрифтом 10,5 размера, междустрочный интервал – 1 с выравниванием по ширине полосы без абзацного отступа (выносятся отдельно от рисунка для возможности редактирования). **Дополнительно к комплекту документов должны быть приложены файлы рисунков в формате jpg с разрешением не менее 300 dpi.**

Все таблицы, кроме единственной, нумеруются. Номер таблицы и подпись к нему печатаются 10,5 шрифтом, междустрочный интервал – 1 с выравниванием по ширине полосы без абзацного отступа.

Математические, физические и химические формулы следует набирать в редакторе Microsoft Equation Editor / LibreOffice Math. Все формулы, на которые есть ссылки в тексте, нумеруются, и ссылки на них приводятся в круглых скобках. Формулы выносятся отдельной строкой. Номер формулы вводится в круглые скобки и выравнивается по правому краю.

Образец оформления текста статьи

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время известно, что бурые, главным образом ламинариевые водоросли являются источником получения веществ [Ковалева, 2000; Липатов, 2004; Разумов и др., 2004; Талабаева, 2006; Конева, 2009; Вафина, 2010].

.....

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

.....

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Внутреннее строение *S. bongardiana* подвержено (рис. 1).

.....

Описанная выше последовательность мацерации тканей *S. bongardiana* показана на рисунке 2.

Представленная таблица показывает стадии процесса деструкции

.....

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показывает, что

Образец оформления формул

Полученные из опыта значения коэффициентов передач по каждому из каналов $K1(y_j)$ и $K2(y_j)$ соответственно удовлетворяют неравенствам:

$$\begin{aligned} -1 \leq K1(y_j) \leq 1, \\ -1 \leq K2(y_j) \leq 1. \end{aligned} \tag{1}$$

Учитывая более жесткие ограничения (1), получим систему неравенств:

$$\begin{aligned} K1(y, \min) \leq K1(y_i) \leq K1(y, \max), \\ K2(y, \min) \leq K2(y_i) \leq K2(y, \max). \end{aligned} \quad (2)$$

При построении семейства характеристик $K1_j = f(K2_j)$ учет неравенств (9) приведет к ограничению изобарных кривых с обеих сторон и выделению отрезков кривых, пересекающихся в исходной рабочей точке, соответствующей номинальным значениям $y_j^H(x)$.

Оформление литературы

Список литературы приводится последовательно на русском и английском языках и оформляется по алфавиту *строго в соответствии с образцом, представленным ниже, с выступом 0,7 см без нумерации.*

Образец оформления литературы

ЛИТЕРАТУРА

- Алфимов Н.Н., Петров Ю.Е. 1972. О биологических и биохимических особенностях некоторых ламинариевых и фукусовых водорослей (Phaeophyta) острова Беринга (Командорские острова). *Ботанический журнал*. Т. 57. № 6. С. 697–700.
- Аминина Н.М., Клочкова Н.Г. 2002. Перспективы развития производства по переработке водорослей на побережье Камчатки. *Рыболовство России*. № 1. С. 54–56.
- Богданов В.Д., Сафронова Т.М. 1993. Структурообразователи и рыбные композиции. Москва: ВНИРО. 172 с.
- Вафина Л.Х. 2010. Обоснование комплексной технологии переработки бурых водорослей (Phaeophyta) при получении функциональных пищевых продуктов. *Диссертация ... канд. техн. наук*. М. 280 с.
- Вишневская Т.Н., Саяпина Т.А., Аминина Н.М. 1999. Химический состав и перспективы использования экстрактов из бурых водорослей. *Тезисы докладов Российской научной конференции «Новые биомедицинские технологии с использованием биологически активных добавок»*. Владивосток. С. 10–12.
- Вялков А.Н., Козлов В.К., Бобровницкий А.И., Михайлов В.И., Подкорытова А.В., Одинец А.Г., Супрун С.В., Тулупов А.М. 2008. Морские водоросли в восстановительной медицине, комплексной терапии заболеваний с нарушением метаболизма. Москва: МДВ. 156 с.
- Зацепина А.Н., Бессонова А.Д. 2016. Обоснование технологии получения продуктов из бурых водорослей. *Материалы Национальной (всероссийской) научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование»*. С. 115–119.
- Иванюшина Е.А., Жигадлова Г.Г. 1994. Биология ламинарии *Laminaria bongardiana* на литорали острова Беринга (Командорские острова). *Биология моря*. Т. 20. № 5. С. 374–380.
- Огородников В.С. 2007. Водоросли-макрофиты Северных Курильских островов. *Автореферат диссертации ... канд. биол. наук*. Петропавловск-Камчатский. 25 с.
- Патент № 2041656 РФ. Способ получения пищевого полуфабриката из ламинариевых водорослей. *Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии* (Подкорытова А.В., Ковалева Е.А., Аминина Н.М.).
- Пьянкова А.С. 2012. Получение и использование полисахаридов бурых водорослей. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. № 20. С. 62–66.

REFERENCES

- Alfimov N.N., Petrov Yu.E. 1972. On the biological and biochemical characteristics of some kelp and fucalean algae (Phaeophyta) of Bering Island (Commander Islands). *Botanicheskiy zhurnal (Botanical Journal)*. Vol. 57. № 6. P. 697–700 (in Russian).
- Aminina N.M., Klochkova N.G. 2002. Prospects for the development of algae processing on the coast of Kamchatka. *Rybolovstvo Rossii (Russian Fishery)*. № 1. P. 54–56 (in Russian).
- Bogdanov V.D., Safronova T.M. 1993. Structuring agents and fish compositions. Moscow: VNIRO-press. 172 p. (in Russian).
- Vafina L.H. 2010. Justification of the integrated technology for processing of the brown algae (Phaeophyta) in obtaining functional food products. *Candidacy dissertation for technical sciences*. Moscow. 280 p. (in Russian).
- Vishnevskaya T.N., Sayapina T.A., Aminina N.M. 1999. Chemical composition and prospects of using extracts from the brown algae. *Proceedings of Russian scientific conference “New biomedical technologies using biologically active additives”*. Vladivostok. P. 10–12. (in Russian).
- Vyalkov A.N., Kozlov V.K., Bobrovnikskiy A.I. et al. 2008. Seaweed in rehabilitation medicine, complex therapy of metabolic diseases. Moscow: MDV. 156 p. (in Russian).
- Zatsepina A.N., Bessonova A.D. 2016. Justification of technology for obtaining products from brown algae. *Proceedings of National (All-Russian) scientific and practical conference “Natural resources, their present condition, protection, industrial and technical use”*. P. 115–119. (in Russian) (in Russian).
- Ivanyushina E.A., Zhigadlova G.G. 1994. Biology of the kelp species *Laminaria bongardiana* from the tidal zone of Bering Island (Commander Islands). *Biologiya morya (Marine Biology)*. Vol. 20. № 5. P. 374–380 (in Russian).
- Ogorodnikov B.C. 2007. Algae-macrophytes from the Northern Kuril Islands. *Abstract of the candidacy dissertation for biological sciences*. Petropavlovsk-Kamchatsky. 25 p. (in Russian).
- Patent № 2041656 RF. Method of obtaining a food semi-finished product from the laminariacean algae. *Pacific Fisheries and Oceanography Research Institute* (Podkoryitova A.V., Kovaleva E.A., Aminina N.M.) (in Russian).
- Pyancova A.S. 2012. Production and utilization of brown algae polysaccharides. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta (Bulletin of Kamchatka State Technical University)*. № 20. P. 62–66 (in Russian).

Информация об авторах

Информация обо всех авторах размещается в конце статьи (после литературы) и приводится последовательно на русском и английском языках по схеме: фамилия, имя, отчество автора; название организации, индекс, страна, город; степень, звание, должность; электронный адрес (шрифт – 10,5; междустрочный интервал – 1; абзацный отступ – 0,7 см), идентификационные номера авторов в базах данных научного цитирования. **Дополнительно к комплекту документов должны быть приложены файлы-скриншоты с личного кабинета автора на сайте e-library с указанием SPIN-кода (для его подтверждения), а также при наличии – файлы-скриншоты ID автора в международных базах научного цитирования.**

Образец оформления информации об авторах

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Клочкова Татьяна Андреевна – Камчатский государственный технический университет; 683003, Россия, Петропавловск-Камчатский; доктор биологических наук, профессор кафедры «Экология и природопользование»; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-код: 7534-7736, Author ID: 664379; Scopus ID: 12792241800; Researcher ID R-5087-2016; ORCID 0000-0002-7584-1774.

Klochkova Tatyana Andreevna – Kamchatka State Technical University; 683003, Russia, Petropavlovsk-Kamchatsky; Doctor of Biological Sciences, Professor of Ecology and Nature Management Chair; tatyana_algae@mail.ru. SPIN-code: 7534-7736, Author ID: 664379; Scopus ID: 12792241800; Researcher ID R-5087-2016; ORCID 0000-0002-7584-1774.

Образец оформления рисунков и таблиц в конце статьи

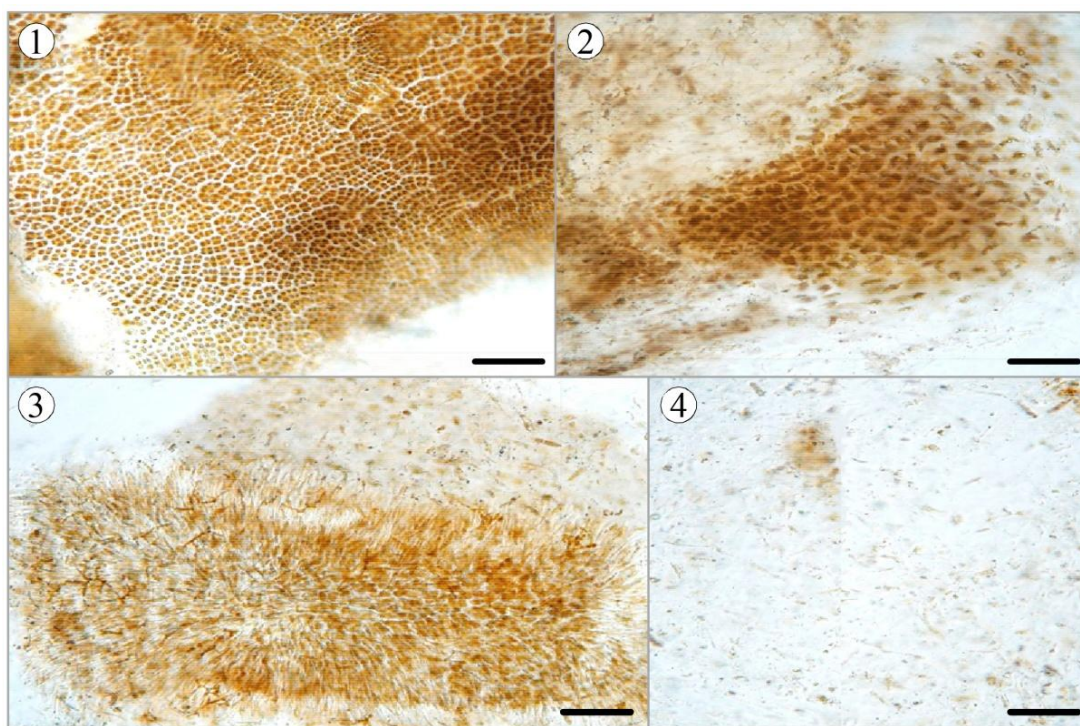


Рис. 1. Последовательность мацерации тканей *Saccharina bongardiana*: 1 – разделение дорсальной и вентральной половин слоевища и разрыхление корового слоя; 2 – разрыхление и дезинтеграция клеток меристодермы и медуллярной ткани; 3 – фрагмент соруса спорангиев с дезинтегрированными зооспорангиями и парафизами; 4 – мазок водорослевого биогеля в конце варки. Видны разрушенные нити сердцевины, отдельные парафизы и зооспорангии, небольшие скопления клеток меристодермы. Масштаб: 100 мкм (1, 3, 4), 50 мкм (2)

Fig. 1. The sequence of *Saccharina bongardiana* tissue maceration process: 1 – separation of the dorsal and ventral halves of the thallus and loosening of the cortical layer; 2 – loosening and disintegration of the meristoderm cells and medullar tissue; 3 – fragment of sporangial sori with disintegrated zoosporangia and paraphyses; 4 – smear of the algal biogel at the end of preparation. Broken filaments of the medullar tissue, individual paraphyses and zoosporangia, small clusters of meristoderm cells are visible. Scale: 100 μm (1, 3, 4), 50 μm (2)

Таблица 1. Мацерация дробленой *Saccharina bongardiana* в процессе ее термощелочной обработки

Table 1. Maceration of shredded *Saccharina bongardiana* thalli during thermo-alkaline treatment

Этап варки	Время варки (минут)	Средние размеры частиц (мм)	Характеристика изменений
1	10	4,01	Частицы плотные, целостные, без разделения на дорсальную и вентральную части
2	20	3,82	Частицы с начавшимся разделением на дорсальную и вентральную части. Наблюдается дробление крупных частиц
3	25	3,05	Продолжающийся процесс разрушения крупных частиц и расслоения пластины
4	30	2,6	Полное расслоение пластины, дезинтеграция клеток подкормки и сердцевины, дробление пластинок из коровой ткани и меристодермы
5	40	1,98	Продолжающаяся фрагментация частиц водорослей, разрыхление частиц, увеличение вязкости биогеля
6	50	0,83	Сильное набухание оставшихся частиц водорослей, почти полное разрушение оболочек клеток подкормки и меристодермы, увеличение вязкости биогеля

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Издание зарегистрировано в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций по Камчатскому краю
Регистрационный номер ПИ № ТУ41-00321 от 01 декабря 2020 года

Главный редактор Т.А. Ключкова

Редактор О.В. Ольхина
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Адрес редакции, издателя:

683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35
Тел. (4152) 300-953, (4152) 300-933
E-mail: kamchatgtu@kamchatgtu.ru
www.kamchatgtu.ru

Дата выхода в свет 31.03.2026 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура РТ Astra Serif
Авт. л. 8,53. Уч.-изд. л. 10,15. Усл. печ. л. 15,11
Тираж 500 экз. Заказ № 76325

Цена свободная

Отпечатано в типографии «Строки» (ИП Волков А.Е.)
394086, г. Воронеж, ул. Любы Шевцовой, д. 34

ISSN 2079-0333



9 772079 033418 >