

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

БИОТА и СРЕДА

ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

14(2)
2026

ISSN 2782-1978

ISSN 2782–1978

БИОТА И СРЕДА ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

2026, Т. 14, № 2

Журнал основан в 2011 г., регулярно издаётся с 2014 г. В 2014–2017 гг. именовался «Биота и среда заповедников Дальнего Востока» (ISSN 2227-149X); в 2018–2020 гг. – «Биота и среда заповедных территорий» (ISSN 2618-6764).

Учредители: ФГБУ «Дальневосточное отделение Российской академии наук» (ДВО РАН) и ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии» Дальневосточного отделения Российской академии наук (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – В. В. Богатов, академик РАН, ДВО РАН, Владивосток

Заместитель главного редактора – А. А. Гончаров, член-корреспондент РАН, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

Заместитель главного редактора (ответственный редактор) – Л. А. Прозорова, канд. биол. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

Ш. Р. Абдуллин, д-р биол. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

Е. И. Барабанщиков, канд. биол. наук, ТФ ГНЦ ФГБНУ «ВНИРО» (ТИНРО), Владивосток

Е. А. Беляев, д-р биол. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

Ю. В. Беспалая, д-р биол. наук, Институт биогеографии и генетических ресурсов ФИЦКИА УрО РАН, Архангельск

Л. Я. Боркин, канд. биол. наук, ЗИН РАН, Санкт-Петербург

Е. А. Жарикова, канд. биол. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

И. В. Картавцева, д-р биол. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

В. М. Локтионов, канд. биол. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

М. В. Павленко, канд. биол. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

Т. Я. Ситникова, д-р биол. наук, ЛИИ СО РАН, Иркутск

Е. В. Сундукова (технический редактор), канд. хим. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

Р. С. Сурмач (редактор английского языка), ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

Г. Н. Челомина, д-р биол. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

М. В. Черепанова, канд. геол.-минерал. наук, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

Е. Н. Чернова, д-р биол. наук, ТИГ ДВО РАН, ДВФУ, Владивосток

В. М. Шулькин, д-р геогр. наук, ТИГ ДВО РАН, Владивосток

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

И. Н. Болотов, член-корреспондент РАН, ФИЦКИА УрО РАН, Архангельск

М. Ву, д-р наук (PhD), Нанкинский университет, Нанкин, Цзянсу, КНР

С. М. Голубков, член-корреспондент РАН, ЗИН РАН, Санкт-Петербург

Ю. Н. Журавлёв, академик РАН, ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток

Ю. Мории, д-р наук (PhD), Университет Киото, Киото, Япония

Т. Накано, д-р наук (PhD), Университет Киото, Киото, Япония

К. К. Нго, д-р наук (PhD), Институт тропической биологии ВАНТ, Хошимин, Вьетнам

О. А. Радченко, член-корреспондент РАН, ИБПС ДВО РАН, Магадан

Г. С. Розенберг, член-корреспондент РАН, ИЭВБ РАН, Тольятти

Т. Сайто, д-р наук (PhD), Амстердамский свободный университет, Амстердам, Нидерланды

Д. Слат, д-р наук (PhD), Общество охраны дикой природы (WCS), Нью-Йорк, США

Т. Хирано, С. Чибэ, д-р наук (PhD), Университет Рюкю, Окинава, Япония

С. Чибэ, д-р наук (PhD), Университет Тохоку, Центр изучения Северо-восточной Азии, Сендай, Япония

ISSN 2782-1978

BIOTA and ENVIRONMENT of NATURAL AREAS

SCIENTIFIC PEER-REVIEWED JOURNAL

2026, vol. 14, no. 2

The journal was founded in 2011, began to be regularly published from 2014. In 2014–2017 the journal was named *Biodiversity and Environment of Far East Reserves* (ISSN 2227-149X); during 2018–2020 – *Biodiversity and Environment of Protected Areas* (ISSN 2618-6764).

Founders: Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences and Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (FSCEATB FEB RAS).

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief: Viktor V. Bogatov, Academician of the Russian Academy of Sciences, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Deputy editor-in-chief: Andrey A. Gontcharov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Deputy editor-in-chief (executive editor): Larisa A. Prozorova, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Shamil R. Abdullin, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Evgene I. Barabanshchikov, Pacific Branch of VNIRO (TINRO), Vladivostok

Evgene A. Beljaev, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Yulia V. Bepalaya, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research UB RAS, Arkhangelsk

Leo J. Borkin, Zoological Institute RAS, St. Petersburg

Elena A. Zharikova, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Irina V. Kartavtseva, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Valery M. Loktionov, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Marina V. Pavlenko, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Tatiana Ya. Sitnikova, Limnological Institute SB RAS, Irkutsk

Elena V. Sundukova, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Rada S. Surmach (editor of the English text), FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Galina N. Chelomina, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Marina V. Cherepanova, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Elena N. Chernova, Pacific Geographical Institute FEB RAS, Far Eastern Federal University, Vladivostok

Vladimir M. Shulkin, Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok

EDITORIAL COUNCIL

Ivan N. Bolotov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research UB RAS, Arkhangelsk

Min Wu, Nanjing University, Jiangsu, China

Sergey M. Golubkov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Zoological Institute RAS, St. Petersburg

Yuri N. Zhuravlyev, Academician of the Russian Academy of Sciences, FSCEATB FEB RAS, Vladivostok

Yuta Morii, Kyoto University, Kyoto, Japan

Takafumi Nakano, Kyoto University, Kyoto, Japan

Xuan Quang Ngo, Institute of Tropical Biology VAST, Ho Chi Minh, Vietnam

Olga A. Radchenko, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Biological Problems of the North FEB RAS, Magadan

Gennady S. Rozenberg, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Ecology of Volga Basin RAS, Tolyatti

Takumi Saito, Vrije University, Amsterdam, Netherlands

Jonathan C. Slaght, Wildlife Conservation Society, New York, USA

Takahiro Hirano, University of Ryukyus, Okinawa, Japan

Satoshi Chiba, Tohoku University, Center for Northeast Asian Studies, Sendai, Japan

© Дальневосточное отделение Российской академии наук, 2026

© ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Шевченко О. Г., Питрук Д. Л. Приближая океан к человеку: Приморскому океанариуму исполняется 10 лет	5
Шульгина М. А., Тевс К. О., Пономарева А. А. Таксономический состав фитопланктона бухты Парис на о-ве Русский, Японское море	12
Пономарева А. А., Шевченко О. Г. Диатомовые водоросли рода <i>Skeletonema</i> Greville: история изучения, современное состояние и распространение в заливе Петра Великого, Японское море	29
Гостюхина О. Б. Выращивание живых кормов в условиях Приморского океанариума	43
Фоменко М. А., Фоменко В. В., Магарламов Т. Ю. Адаптация и содержание гетеронемертины <i>Kulikovia alborostrata</i> (Takakura, 1898) в искусственных условиях	57
Степаньков А. П. Роль размерно-весовых зависимостей в мониторинге и оптимизации содержания рыб (опыт Приморского океанариума)	66
Радченко Д. Э. Эффективность использования живых кормов при выращивании молоди селекционной формы Параиба Пиной обыкновенной скалярии <i>Pterophyllum scalare</i> (Schultze, 1823) (Perciformes: Cichlidae)	76
Степаньков А. П. Клинические проявления и особенности течения криптокариоза у морских рыб в условиях аквариумного содержания	82
Фоменко М. А., Крещеновская В. А., Магарламов Т. Ю. Пингвины Гумбольдта <i>Spheniscus humboldti</i> Meyen, 1834: успехи содержания и воспроизводства редкого вида в Приморском океанариуме	91
Ягодина В. Д., Батищева Н. М., Каменская Д. Н. Генетическая изменчивость в искусственной популяции белухи <i>Delphinapterus leucas</i> Pallas, 1776 Приморского океанариума	100

BIOTA and ENVIRONMENT of NATURAL AREAS

2026, VOL. 14, NO. 2



CONTENTS

Shevchenko O. G., Pitruk D. L. Bringing the ocean closer to human: the 10th anniversary of the Primorsky Aquarium	5
Shulgina M. A., Tevs K. O., Ponomareva A. A. Taxonomic composition of phytoplankton in Paris Bay, Russky Island, Sea of Japan	12
Ponomareva A. A., Shevchenko O. G. Diatom algae of the genus <i>Skeletonema</i> Greville: history of study, current status, and distribution in Peter the Great Bay, Sea of Japan	29
Gostiukhina O. B. Cultivation of live feed at the Primorsky Aquarium	43
Fomenko M. A., Fomenko V. V., Magarlamov T. Yu. Acclimating and maintaining of the heteronemertean <i>Kulikovia alborostrata</i> (Takakura, 1898) in captivity	57
Stepankov A. P. The role of length–weight relationships in monitoring and optimizing fish maintenance: insight from the Primorsky Aquarium	66
Radchenko D. E. Efficiency of live feed use in rearing juvenile angelfish <i>Pterophyllum scalare</i> (Schultze, 1823) (Perciformes: Cichlidae), Pinoy Paraiba variety	76
Stepankov A. P. Clinical manifestations and patterns of progression of cryptocaryonosis in marine fish under aquarium conditions	82
Fomenko M. A., Kreschenovskaya V. A., Magarlamiov T. Yu. Humboldt penguins, <i>Spheniscus humboldti</i> Meyen, 1834: rare species being successfully maintained and bred at the Primorsky Aquarium	91
Yagodina V. D., Batischeva N. M., Kamenskaya D. N. Genetic variation in the captive population of beluga whales <i>Delphinapterus leucas</i> Pallas, 1776 at the Primorsky Aquarium	100

УДК 379.8.092, 379.8.093, 573.6, 59.006, 93/94

https://doi.org/10.25221/2782-1978_2026_2_1

<https://elibrary.ru/tgauqq>

Приближая океан к человеку: Приморскому океариуму исполняется 10 лет

Ольга Геннадьевна Шевченко, Дмитрий Леонидович Питрук✉

*Приморский океариум, филиал Национального научного центра морской биологии
им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация*

✉ Автор-корреспондент, e-mail: dlpitruk@primocean.ru

Получена 5 мая 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. Идея создания Приморского океариума впервые возникла в 2002 г. во время визита Российского президента В. В. Путина в Приморский край и начала реализовываться в 2004 г. Первоначально океариум планировали возводить в бухте Патрокл, но в 2007 г., после принятия решения о строительстве комплекса ДВФУ на о-ве Русский, там же было решено разместить и океариум. Для сбора лучшего мирового опыта об устройстве океариумов и содержании гидробионтов сотрудников командировали в страны Северо-Восточной Азии и другие регионы. В настоящее время научно-образовательный комплекс «Приморский океариум» – филиал Национального научного центра морской биологии ДВО РАН является одним из крупнейших океариумов в мире. К началу 2026 г. в нем обитало более 14 тысяч экземпляров, принадлежащих 498 видам морских и пресноводных животных от медуз и моллюсков до млекопитающих и пингвинов, проводится большая научная и просветительская работа, комплекс научно-образовательных программ включает 13 крупных разделов. За десять лет работы Приморский океариум занял ведущие позиции в направлении эколого-просветительской и научно-исследовательской деятельности среди океариумов и зоопарков Российской Федерации.

Ключевые слова: Приморский океариум, история создания, остров Русский, наука, эколого-просветительские программы.

Bringing the ocean closer to human: the 10th anniversary of the Primorsky Aquarium

Olga G. Shevchenko, Dmitry L. Pitruk✉

*Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center
for Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, 690017, Russian Federation*

✉ Corresponding author, e-mail: dlpitruk@primocean.ru

Received May 5, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. The idea of creating the Primorsky Aquarium first arose in 2002 during President Vladimir Putin's visit to Primorsky Krai and began to be implemented in 2004. Initially, the aquarium was planned to be constructed in Patrokl Bay, but in 2007, after the decision to build the Far Eastern Federal University on Russky Island, it was also decided to situate the Aquarium there. To study the best international practices in aquarium design and aquatic animal management, staff members were sent to the countries of Northeast Asia and other regions. Currently, the Primorsky Aquarium Scientific and Educational Center, a branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, is one of the largest aquariums in the world. By the beginning of 2026, it was home to more than 14 thousand specimens belonging to 498 species of marine and freshwater animals, from jellyfish and mollusks to mammals and penguins. Extensive scientific and educational activities are carried out here, with the complex of programs including 13 major sections. Over the past ten years, the Primorsky Aquarium has become a leader in environmental education and research conducted by aquariums and zoos all over the Russian Federation.

Key words: Primorsky Aquarium, history of creation, Russian Island, science, environmental education programs.

Мировой океан занимает большую часть поверхности нашей планеты, но относительно неплохо изучена лишь зона континентального склона. Однако даже то, что уже известно не только в океане, но и в пресных водах, не перестаёт удивлять

разнообразием форм и цветов. Поэтому человек на протяжении всей своей истории пытается познать скрытую жизнь под поверхностью воды. В последнее время это удаётся всё лучше, в том числе, благодаря публичным океанариумам. Они позволяют не только насладиться красотой своих обитателей, но и прикоснуться к недоступным ранее сторонам жизни подводного мира. Это в полной мере относится к Приморскому океанариуму (Питрук 2024), сравнимому в этом отношении с океанариумами залива Монтерей в США, «Аквармарин Фукусима» (Aquamarine Fukushima) и «Окинава Тюрауми» (Okinawa Churaumi Aquarium) в Японии и пр. В таких наиболее современных океанариумах наряду с экспонированием проводятся научные исследования, что находит отражение в названии, например, «Москвариум – центр океанографии и морской биологии» в Москве на ВДНХ.

С момента возникновения идеи создания Приморского океанариума во время визита Владимира Владимировича Путина в Дальневосточный морской заповедник в 2002 г. океанариум сразу позиционировался как научно-образовательный комплекс, что было подтверждено в период посещения президентом Института биологии моря (ИБМ, ныне Национальный научный центр морской биологии, ННЦМБ) ДВО РАН в 2004 г. (рис. 1) (Исаева, Касьянов 2013). Началом реализации проекта строительства океанариума мирового уровня во Владивостоке стало поручение президента Путина № Пр-55 от 17.01.2005. В соответствии с поручением функции заказчика-застройщика были возложены на Управление делами президента РФ, при котором была создана Дирекция по строительству Приморского океанариума. Сотрудники ИБМ ДВО РАН приняли активное участие в разработке широкого спектра документации, от аннотированных списков животных до требований к техническому оснащению помещений.

На основании распоряжения Правительства РФ о создании Приморского океанариума было (26.11.2006) были приняты постановления Президиума РАН № 58/1 (24.05.2009) и Бюро Отделения биологических наук РАН № 132 (30.06.2009) о создании Приморского океанариума. Данными документами определялись основные направления научной деятельности океанариума, в частности, разработка технологий содержания и разведения редких видов гидробионтов, а также организация эколого-просветительской работы для широкого спектра возрастных групп. 15.06.2010 на общем собрании Приморского океанариума был принят устав Научно-образовательного комплекса (НОК) «Приморский океанариум» ДВО РАН, а 29.07.2010 это учреждение поставлено на налоговый учет.

Первоначально Приморский океанариум планировали разместить в бухте Патрокл п-ова Муравьёва-Амурского, как наиболее отвечающей экологическим требованиям подобных объектов. Однако в начале 2007 г. было принято решение о проведении в 2012 г. на о-ве Русский саммита Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС) с постройкой нового комплекса Дальневосточного федерального университета и моста на остров. Поэтому океанариум также было решено строить на о-ве Русский (Питрук 2012), в связи с чем ИБМ ДВО РАН организовал серию комплексных экспедиций для изучения экологических условий в прибрежной акватории острова (Питрук и др. 2009). В итоге, местом строительства Приморского океанариума определили п-ов Житкова, расположенный недалеко от моста и университета.

В связи с тем, что мост на о-в Русский был открыт только летом 2012 г. незадолго до саммита АТЭС, в первые годы грузы и люди доставлялись на место стройки по морю. Для выполнения всего комплекса работ привлекались ведущие



Рис. 1. Посещение Музея ИБМ ДВО РАН президентом В. В. Путиным (А); слева направо: В. В. Путин; председатель ДВО РАН В. И. Сергиенко; директор ИБМ ДВО РАН В. Л. Касьянов, фото С. Е. Козлова, 23.06.2004. Строительство Приморского океариума (В), фото Л. К. Петровой, 02.05.2011.

Fig. 1. Visit to the Museum of the IBM FEB RAS by Russian President Vladimir Putin (A); from left to right: V. V. Putin; Chairman of the FEB RAS V. I. Sergienko; Director of the Institute of Marine Biology FEB RAS V. L. Kasyanov, photo by S. E. Kozlov, June 23, 2004. Construction of the Primorsky Aquarium (B), photo by L. K. Petrova, May 2, 2011.

специалисты, как из России, так и других стран, в первую очередь, Тайваня, Японии, Китая и Республики Корея. Основную часть времени генеральным подрядчиком работ выступала компания ООО «НПО «Мостовик» из Омска, работы велись под постоянным контролем Управления делами Президента РФ (рис. 2).

С начала 2006 г. ИБМ и Дирекцией по строительству было инициировано проектирование здания научно-адаптационного корпуса, в котором планировалось карантинирование, содержание и, при необходимости, лечение беспозвоночных и рыб. В связи с необходимостью интенсификации широкого спектра работ, связанных с проектированием и функционированием, включая информационное обеспечение экспозиций, подбор, закупку и транспортировку гидробионтов и т. д., в 2006 г. была сформирована научно-техническая группа Приморского океариума. С целью сбора информации об экспозициях, работе ведущих океариумов мира и возможности поставок животных, начиная с 2006 г. было организовано несколько десятков поездок сотрудников в Японию, США, Китай, Тайвань, Филиппины, Индонезию, Великобританию, Германию и другие страны. В результате были установлены контакты с компаниями, работающими в разных сферах аквариумного бизнеса, включая отлов гидробионтов. Благодаря этому в дальнейшем удалось решить проблему приобретения животных и растений. Основная масса тепловодных рыб и беспозвоночных была закуплена на Тайване, Филиппинах, Шри-Ланке, в Японии, Индонезии и Китае. Дельфинов-афалин приобрели в Японии, а белух – в России, у компании, которая профессионально занималась их отловом в Охотском море. Старожил и живой символ океариума морж Миша (рис. 2В), доставлен с Чукотки как осиротевший детёныш. Когда океариум уже был открыт для публики, в 2018 г. из Чешской республики привезли 14 молодых пингвинов Гумбольдта, которые через несколько лет начали активно размножаться, и к концу 2024 г. стая океариума насчитывала 60 особей (подробнее см. статью в этом номере). Охотские белухи не менее успешно адаптировались в океариуме: в 2021 г. впервые в России белуха по кличке Джессика

родила жизнеспособного детёныша (фото на обложке), а в 2024 г. – второго (подробнее см. статью в этом номере).

Официальное открытие Приморского океанариума президентом Российской Федерации В. В. Путиным в присутствии первых лиц Японии и Республики Корея состоялось 3.09.2016. В торжественных мероприятиях участвовали представители местного руководства всех уровней, а также приглашённые гости, которые имели возможность ознакомиться не только с экспозициями океанариума, но и с научными лабораториями и помещениями образовательного блока.

В настоящее время Приморский океанариум – активно развивающийся научно-образовательный комплекс и, одновременно, туристическая «Мекка» приморцев и гостей края. За десять лет, прошедших со дня открытия, его посетили около шести миллионов человек из более чем сорока стран мира. Это объясняется богатством, разнообразием и высокой зрелищностью экспозиций, в которых водные животные предстают перед посетителем во всей красе. В океанариуме живут более 14 тысяч экземпляров 498 видов морских и пресноводных животных от медуз и моллюсков до рыб, акул и млекопитающих, обитающих в различных аквариумах от небольших контактных до огромных, дающих представление о морской бездне (рис. 2А).

Неизменной популярностью наравне с аквариумами, экспозициями ископаемой биоты и интерактивными стендами пользуются выступления ластоногих (тюлени, моржи) и китообразные (дельфины, белухи), демонстрирующих замечательную физическую форму и навыки дрессуры (рис. 2В, С). За всем этим стоит круглосуточный кропотливый труд множества специалистов по работе с животными, кормоподготовке, дизайну экспозиций, поддержанию работы и текущему ремонту аквариумного оборудования, материальному обеспечению, организации и общей взаимосвязи всех процессов – технических, научных и административных работников (рис. 3).

Как результат слаженной работы коллектива в океанариуме наряду с созданием и обслуживанием экспозиций, создающих благоприятную среду для познания и творчества, ведётся большая исследовательская и просветительская деятельность по 13 направлениям. Разнообразные эколого-просветительские и научно-образовательные программы рассчитаны на любой возраст, начиная с дошкольного (рис. 4А, В). Одним из наиболее востребованных является масштабный образовательный проект «Просветительская среда», в рамках которого организованные группы широкого возрастного диапазона (от дошкольников до студентов, педагогов и воспитанников коррекционных школ и реабилитационных центров) посещают бесплатные тематические занятия, уроки и экскурсии с целью ознакомления с экспозициями океанариума, а также углубленного изучения морской биологии и экологии в интерактивном формате (рис. 4А).

Особенно популярен «Урок в океанариуме», интегрированный в школьную программу по биологии, географии и окружающему миру. Большой интерес у детей и родителей также вызывает проект «Растем в океанариуме», основной идеей которого является стимуляция познавательного интереса к морской биологии и формирование ответственного отношения к природе. В период каникул для школьников работают специальные комплексные программы и экологические смены, включающие развивающие занятия по различным направлениям морской биологии. Для жителей и гостей Владивостока всех возрастов разработаны научные и творческие мастер-классы. Таким образом, к настоящему времени Приморский океанариум задаёт тон в эколого-просветительской деятельности среди океанариумов, зоопарков и научных учреждений Российской Федерации.

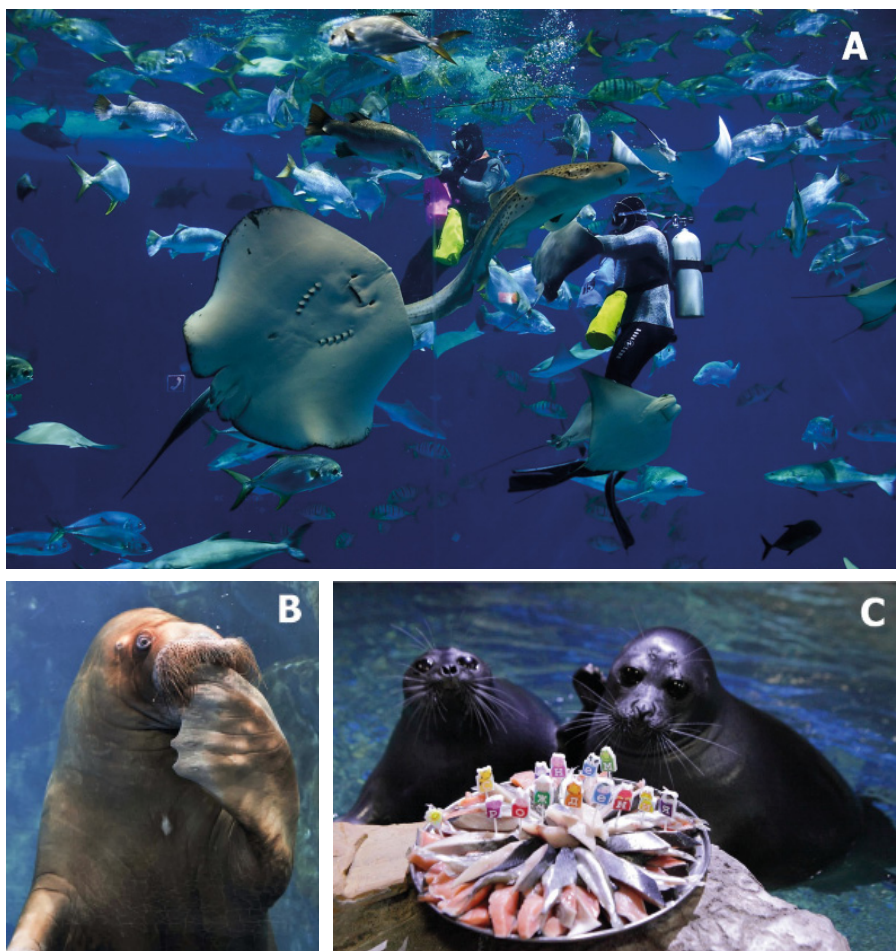


Рис. 2. Кормление животных в танке «Бездна» (А), фото А. А. Кауфман, 17.11.2021; морж Миша (В), фото А. А. Кауфман, 24.11. 2025; день рождения у дрессированных ларг (С), фото А. А. Кауфман.

Fig. 2. Feeding the animals in the “Abyss” tank (A), photo by A. A. Kaufman, November 17, 2021; Misha the walrus (B), photo by A. A. Kaufman, November 24, 2025; birthday of trained spotted seals (C), photo by A. A. Kaufman.

Научная деятельность сотрудников океариума включает главным образом прикладные исследования, связанные с адаптацией к искусственным условиям, питанием и размножением различных организмов, пригодных к экспонированию. Наряду с этим ведутся также фундаментальные исследования морской биоты совместно с сотрудниками ННЦМБ ДВО РАН и других учреждений. Спектр наиболее актуальных направлений научно-исследовательской деятельности Приморского океариума отражён в статьях настоящего выпуска журнала, посвященного десятилетнему юбилею этого учреждения. В девяти нижеследующих статьях приведены результаты исследования видового состава фитопланктона окружающей акватории, обобщён опыт культивирования и повышения биологической ценности живых кормов для беспозвоночных и молоди рыб, показаны перспективы аквариумного содержания и экспонирования различных немертин, для рыб рассмотрено применение размерно-весовых соотношений в целях оптимизации их кормления и оценки биомассы, изучена эффективность использования живых кормов при выращивании молоди



Рис. 3. Работа с животными: отлов акулы-зебры *Stegostoma fasciatum* Hermann, 1783 (А); приемка рыбы баррамунди *Lates calcarifer* (Bloch, 1790) с Тайваня (В), фото из архива Приморского океанариума, 23.03.2016; ультразвуковое исследование ларги Вари (С), фото А. А. Кауфман, 22.01.2020.

Fig. 3. Working with animals: capture of zebra shark *Stegostoma fasciatum* Hermann, 1783 (A); receiving barramundi (*Lates calcarifer* (Bloch, 1790)) from Taiwan (B), photo from the archive of the Primorsky Aquarium, March 23, 2016; ultrasound examination of Varya the spotted seal (C), photo by A. A. Kaufman, January 22, 2020.

обыкновенной скалярии и описана клиника криптокариоза у морских рыб. Также представлены достигнутые в Приморском океанариуме успехи содержания и воспроизводства редкого вида – пингвинов Гумбольдта *Spheniscus humboldti* Meyen, 1834. Впервые в Российской Федерации в условиях океанариума зафиксировано последовательное рождение двух жизнеспособных детёнышей белух *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776), что подтверждает возможность стабильного воспроизводства данного вида в неволе (фото на обложке). Изучена генетика группы белух Приморского океанариума, состоящая из шести особей, и на этой основе разработан надёжный метод определения отцовства и материнства, а также реконструкции родословных даже в отсутствии достоверных племенных книг, что необходимо для долгосрочного планирования программ разведения белух в океанариумах.



Рис. 4. Научно-образовательные программы: занятия с детьми в экспозициях (А), фото Н. А. Хоревой, 18.03.2020; занятия со школьниками старших классов в аквалаборатории (В), фото Н. А. Хоревой, 26.11.2019.

Fig. 4. Scientific and educational programs: classes in exhibits (A), photo by N. A. Khoreva, March 18, 2020; classes with high school students in an Aqualab (B), photo by N. A. Khoreva, November 26, 2019.

Указанные факты наглядно демонстрируют значение научно-образовательного комплекса «Приморский океариум» как для людей, так и для природы. Научно-практические разработки вносят существенный вклад в дело сохранения и воспроизводства редких видов, а обширная просветительская деятельность – в экологическое воспитание и образование молодого поколения.

Благодарности

Авторы выражают признательность всем участникам проектирования и строительства Приморского океариума, а также авторам вышеприведённых фотографий – С. Е. Козлову, Л. К. Петровой, А. А. Кауфман, Н. А. Хоревой. Отдельная благодарность коллективу редколлегии журнала «Биота и среда природных территорий» во главе с его главным редактором акад. РАН В. В. Богатовым за неоценимую помощь при подготовке статей данного номера. Особенно признательны за постоянную поддержку, творческое отношение и всестороннюю помощь при написании данной статьи, научном и техническом редактировании всех статей номера заместителю главного редактора (ответственному редактору) журнала Л. А. Прозоровой.

Работа выполнена на базе ЦКП «Приморский океариум» ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток).

Литература (References)

- Питрук Д. Л.** 2012. Приморский океариум: настоящее и будущее // *Вестник ДВО РАН*. № 3 (163). С. 3–12. (**Pitruk D. L.** 2012. Primorsky Territory aquarium: present and future. *Bulletin of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences* 3: 3–12. [In Russian].)
- Питрук Д. Л.** 2024. Роль уникального комплекса животных Приморского океариума в просветительской деятельности // *Проблемы зоокультуры и экологии*. Выпуск 8. – М.: ГАУ «Московский зоопарк», ЕАРАЗА, СОЗАР. С. 62–70. (**Pitruk D. L.** 2024 The role of the unique animal complex of the Primorsky Aquarium in educational activities. In: *Problems of Zoocultures and Ecology*. Issue 8. Moscow: Moscow ZOO, EARAZA, SOZAR, pp. 62–70. [In Russian].)
- Исаева В. В., Касьянов Н. В.** 2013. Улица Академика Касьянова на острове Русский // *Вестник ДВО РАН*. № 2 (168). С. 136–143. (**Isaeva V. V., Kasyanov N. V.** Academician Kasyanov Street in the Russky Island. *Bulletin of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences* 2: 136–143. [In Russian].)
- Питрук Д. Л., Мощенко А. В., Масленников С. И.** 2009. Экологическое состояние восточной части пролива Босфор Восточный // *Природа без границ. Материалы IV Международного экологического форума*. Владивосток, 6–8 октября 2009 г. – Владивосток. С. 247–249. (**Pitruk D. L., Moshchenko A. V., Maslennikov S. I.** 2009. Ecological state of the eastern part of the Bosfor Vostochny Strait. In: *Nature without borders. Materials of the Fourth International Environmental Forum*. Vladivostok, 6–8 October 2009. Vladivostok, pp. 247–249. [In Russian].)

УДК 574.583:582:26

https://doi.org/10.25221/2782-1978_2026_2_2

<https://elibrary.ru/mpapes>

Таксономический состав фитопланктона бухты Парис на о-ве Русский, Японское море

Мария Александровна Шульгина^{1,2✉}, Кирилл Олегович Тевс¹,
Анна Андреевна Пономарева¹

¹Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии
им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация

²Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, 690041, Российская Федерация

✉ Автор-корреспондент, e-mail: annekee@mail.ru

Получена 9 февраля 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. Впервые представлены обобщенные данные многолетнего исследования видового состава микроводорослей бухты Парис (северо-восточная часть о-ва Русский). Идентифицировано 246 видов и внутривидовых таксонов, относящихся к семи отделам. По числу видов преобладали диатомовые – 151 таксон, динофлагеллаты – 79, золотистые – пять, криптофитовые, рафидофитовые и эвгленовые по три таксона, зелёные – два. Проведена таксономическая ревизия флоры микроводорослей, составлен аннотированный список видов, содержащий данные об относительном обилии каждого таксона по месяцам.

Ключевые слова: мониторинг, фитопланктон, таксономический состав, о-в Русский, Японское море.

Taxonomic composition of phytoplankton in Paris Bay, Russky Island, Sea of Japan

Mariia A. Shulgina^{1,2✉}, Kirill O. Tevs¹, Anna A. Ponomareva¹

¹Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine
Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, 690017, Russian Federation

²A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russian Federation

✉ Corresponding author, e-mail: annekee@mail.ru

Received February 9, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. Data obtained from the long-term study of the phytoplankton species composition in the Paris Bay (northeastern part of the Russky Island) are presented for the first time. A total of 246 species and subspecies belonging to seven phyla were identified. In terms of species richness, diatoms dominated (151 taxa); followed by dinoflagellates (79 taxa); ochrophytes (5 taxa); cryptophytes, raphidophytes and euglenozoans (3 taxa each); and chlorophytes (2 taxa). A taxonomic revision of the microalgal flora was carried out, and an annotated list of species was compiled, including data on the relative abundance of each taxon by month.

Keywords: monitoring, phytoplankton, taxonomic composition, Russky Island, Sea of Japan.

Введение

Состав и динамика фитопланктона являются важными индикаторами антропогенного воздействия на водные экосистемы из-за свойства микроводорослей быстро реагировать на любые изменения среды (Cloern, Jassby 2010). Особое значение такие исследования имеют для прибрежных акваторий, которые используются человеком для рыболовства, размещения аквакультурных хозяйств, зон рекреации и т. д. (Yubo et al. 2019; Weir et al. 2022).

К числу таких акваторий относится б. Парис, расположенная у западного побережья п-ова Житкова, о-в Русский. Здесь находится База исследования морских млекопитающих (БИММ) Приморского океанариума – филиала Национального научного центра морской биологии ДВО РАН. В 30 м от берега в бухте размещены открытые вольеры, в которых содержатся белухи *Delphinapterus leucas* Pallas, 1776 и ларги *Phoca largha* Pallas, 1811.

С декабря 2012 г. в бухте Парис осуществляется комплексный круглогодичный мониторинг видового состава и количественной динамики планктонных микроводорослей. По результатам многолетних исследований опубликовано около десяти научных работ, посвященных экологическому состоянию акватории, флористическому составу и морфологии некоторых видов (Пономарева, Шевченко 2016; Shevchenko et al. 2018; Shevchenko et al. 2019a; Shevchenko et al. 2019b; Shevchenko et al. 2020; Shevchenko et al. 2022b; Тевс, Шевченко 2022; Shevchenko, Tevs 2022). Материал и данные, полученные в рамках мониторинговой программы, легли в основу двух диссертационных работ (Пономарева 2017; Шульгина 2023). Результаты исследований были неоднократно представлены и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях. Несмотря на значительное количество публикаций, отсутствует обобщающий список микроводорослей для исследуемой акватории. Цель нашей работы – объединить результаты многолетних наблюдений, подвести промежуточный итог большого количества работ.

Район исследования

Японское море расположено в северо-западной части Тихого океана и ограничено материком, Японскими островами и островом Сахалин. Крупнейшим заливом его российской акватории является залив Петра Великого площадью около 9 тыс. км² с протяжённостью береговой линии свыше 1500 км. Полуостров Муравьёва-Амурского разделяет этот залив на два обширных внутренних залива – Амурский и Уссурийский. От данного полуострова остров Русский отделён проливом Босфор Восточный. Этот остров, достигающий 18 км в длину и 13 км в ширину, является крупнейшим в заливе Петра Великого.

Мелководная бухта Парис (43°00'44.6" с. ш., 131°54'49.4" в. д.), выбранная в качестве ключевого участка для мониторинга, находится в северо-восточной части острова Русский, омывается водами пролива Босфор Восточный и расположена в защищённом месте между мысом Житкова и мысом Балка.

Гидродинамический режим акватории имеет выраженную сезонную и приливную динамику. Во время прилива поверхностное течение направлено от пролива Босфор Восточный ко входу в бухту, а придонное – в обратном направлении, к проливу. На входе в бухту в поверхностном слое наблюдается интрузия вод с восточной стороны, тогда как с западной – их отток; в придонном слое на входе течение направлено внутрь бухты. При смене фазы прилива направление течений меняется на противоположное: во время отлива как поверхностные, так и придонные потоки направлены из пролива на восток и юго-восток. Зимой скорость течений существенно снижается. Преобладающими направлениями в поверхностном слое в этот период являются южное и юго-восточное, в придонном – юго-восточное и восточное.

В целом, циркуляция вод в районе исследований носит сложный характер, определяется преимущественно ветровым режимом и подвержена значительной пространственно-временной изменчивости.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили круглогодичные сборы проб воды, выполненные в период с декабря 2012 г. по декабрь 2022 г. в б. Парис на станции в районе открытых вольеров с морскими млекопитающими. Всего было собрано и обработано 250 фитопланктонных проб. Воду отбирали два раза в месяц пятилитровым батометром Нискина. Один литр пробы фиксировали раствором Утермёля и концентрировали методом осаждения (Utermöhl 1958). Видовую идентификацию и подсчет численности клеток проводили под световым микроскопом Carl Zeiss Axio Vert. A1 (Германия) в камере типа Нажотта объёмом 0.05 мл. Биомассу микроводорослей оценивали объёмным методом, используя литературные данные измерений объёма клеток каждого вида (Нестерова, Василенко 1986; Sun, Liu 2003). «Цветение» воды связывали с развитием видов микроводорослей, концентрация которых превышала 1 млн клеток в литре. Идентификация мелкоклеточных и слабоизученных видов осуществлялась методом лабораторного культивирования. Клетки или колонии микроводорослей изолировали из проб воды стерильным капилляром, промывали в пяти–семи каплях питательной среды и помещали в ячейки планшета. При достижении устойчивого роста содержимое ячейки переносили в колбы Эрленмейера. Культуры выращивали в климатических камерах при температуре 15 °C или 20 °C (в зависимости от температуры изолируемой воды) со световым периодом 12 ч свет: 12 ч темнота. Для детального изучения тонкой структуры панциря микроводорослей использовали сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) Carl Zeiss Sigma 300 (Германия). Подготовка образцов к СЭМ включала промывку дистиллированной водой и обезвоживание в серии спиртов возрастающей концентрации (25, 50, 75, 100%; по 30 минут на каждой ступени). Высушенные на воздухе образцы на нуклеопоровых фильтрах напыляли проводящим слоем углерода в вакуумном poste Edwards AUTO 306. В данной статье мы применяли таксономическую классификацию, предложенную Гири и Гири (Guiry, Guiry 2026). Для идентификации таксонов использовали следующие определители и монографии: Коновалова и др. 1989; Hasle, Syvertsen 1997; Hoppenrath et al. 2009. Для фитогеографического анализа задействовали систему районирования К. В. Беклемишева с соавторами (Беклемишев и др. 1977). Типы биотопов, к которым относятся таксоны фитопланктона, определяли на основе классификации, разработанной И. А. Киселёвым (Киселёв 1969).

Результаты и обсуждение

В результате оригинальных исследований составлен аннотированный список микроводорослей б. Парис, содержащий информацию о 246 таксонах, относящихся к семи отделам (таблица). По числу видов преобладали диатомовые водоросли, составляя 61.4% от всех обнаруженных таксонов. Динофлагелляты представляют 32.1%, золотистые – 2.0%, криптофитовые, рафидофитовые и эвгленовые по 1.2% и зелёные – 0.9%. Среди диатомовых водорослей наибольшее количество видов и внутривидовых таксонов принадлежало родам *Chaetoceros* Ehrenberg (32) и *Thalassiosira* Cleve (19). Среди динофлагеллят наибольшим количеством видов были представлен род *Prorocentrum* Bergh (25).

Анализ полученных данных показал, что в период с декабря 2012 по декабрь 2022 гг. численность фитопланктона изменялась в пределах от 0.6 тыс. кл./л до 13.7 млн кл./л. Пики развития микроводорослей мы отмечали в каждый сезон, причём в сообществе чаще всего доминировали диатомовые водоросли. Летне-осенний период характеризовался развитием видов рода *Skeletonema* Greville. Изучение

Таблица. Аннотированный список микроводорослей, обнаруженных в планктоне б. Парис (северо-восточная часть о-ва Русский) с декабря 2012 г. по декабрь 2022 г.

Table. Annotated list of microalgae found in the plankton of Paris Bay (northeastern part of the Russky Island) from December 2012 to December 2022.

Таксон Taxon	Эк/X ET	Гео/X GT	O/C AS	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
OCHROPHYTA															
<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg	N	C	M	0	1	1	1	1	1	0	2	3	2	2	1
<i>Dinobryon</i> sp.	-	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Dinobryon balticum</i> (Schütt) Lemmermann	N	B	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Octactis octonaria</i> (Ehrenberg) Hovasse	N	C	M	0	0	0	0	0	0	1	1	3	2	1	1
<i>Octactis speculum</i> (Ehrenberg) Chang, Grieve et Sutherland	O	C	M	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0
BACILLARIOPHYTA															
<i>Actinopterychus</i> sp.	-	-	-	0	1	0	0	2	1	1	1	0	0	0	0
<i>Actinopterychus octonarius</i> (Ehrenberg) Kützing	N	TB	M	0	0	0	1	1	1	2	1	1	2	0	0
<i>Actinopterychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	N	-	M	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Amphiprora</i> sp.	-	-	-	1	0	0	2	1	2	0	1	2	0	0	1
<i>Amphora</i> sp.	-	-	-	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
<i>Amphora proteus</i> Gregory	b	C	M	1	1	0	1	1	2	1	1	2	1	1	1
<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round	N	C	M	1	1	1	1	2	2	1	1	1	3	2	2
<i>Attheya decora</i> West	-	-	M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Attheya longicornis</i> Crawford et Gardner	N	AB	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0
<i>Attheya ussurensis</i> Stonik, Orlova et Crawford	b	-	M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Bacillaria paxillifer</i> (Müller) Marsson	b	TAB	M	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
<i>Bacteriastrium furcatum</i> Shadbolt	O	TB	M	2	0	0	1	3	1	0	2	2	0	1	2
<i>Bacteriastrium hyalinum</i> Lauder	N	T	M	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Bacterosira constricta</i> (Gaarder) Park et Lee	-	-	M	0	3	2	0	0	0	0	0	0	2	0	1
<i>Cerataulina dentata</i> Hasle in Hasle et Syvertsen	-	TB	M	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	1	1
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	N	TB	M	0	2	1	1	2	2	1	2	2	3	1	1
<i>Ceratoneis closterium</i> Ehrenberg	N	C	M	1	1	2	2	3	3	2	3	2	3	3	2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Ceratoneis fasciola</i> Ehrenberg	-	-	B	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
<i>Chaetoceros</i> sp.	-	-	-	0	2	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros</i> <i>aequatorialis</i> Cleve	O	T-Ant	M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder	N	TB	M	0	0	0	1	2	3	2	2	3	2	2	0
<i>Chaetoceros</i> <i>anastomosans</i> Grunow	N	T	M	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0
<i>Chaetoceros atlanticus</i> Cleve	O	C	M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Chaetoceros brevis</i> Schütt	N	C	M	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder	N	TAB	M	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0
<i>Chaetoceros</i> <i>conconvicornis</i> Mangin	P	AB	M	0	2	0	3	3	0	1	1	0	1	0	0
<i>Chaetoceros constrictus</i> Gran	N	TAB	M	0	0	0	0	3	3	2	2	3	2	2	0
<i>Chaetoceros contortus</i> Schütt	N	C	M	3	2	3	2	3	2	0	2	3	2	3	0
<i>Chaetoceros convolutus</i> Castracane	P	C	M	0	2	2	2	2	0	1	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros costatus</i> Pavillard	-	TB	M	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	N	C	M	0	0	0	0	0	2	0	2	3	3	2	0
<i>Chaetoceros debilis</i> Cleve	N	TAB	M	3	3	2	3	3	3	1	3	4	3	2	3
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve	P	C	M	2	3	2	3	3	2	2	2	2	3	1	1
<i>Chaetoceros densus</i> Cleve	P	TAB	M	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
<i>Chaetoceros diadema</i> (Ehrenberg) Gran	N	C	M	0	2	0	0	2	2	0	2	2	0	0	1
<i>Chaetoceros didymus</i> Ehrenberg	N	TB	M	0	2	0	0	2	2	1	2	2	2	2	1
<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve	N	TB	M	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
<i>Chaetoceros eibenii</i> Grunow	O	TB	M	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Chaetoceros furcillatus</i> Baile	N	AB	M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros laciniosus</i> Schütt	N	C	M	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	0	0
<i>Chaetoceros lauderi</i> Ralfs	N	T	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow	N	T	M	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
<i>Chaetoceros mitra</i> (Bailey) Cleve	N	AB	M	2	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell	P	C	M	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros protuberans</i> Lauder	N	TB	M	0	0	0	0	0	0	1	0	3	2	0	0
<i>Chaetoceros pseudocrinitus</i> Ostenfeld	N	AB	M	2	3	2	3	0	0	0	0	0	2	0	3
<i>Chaetoceros radicans</i> Schütt	N	C	M	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0
<i>Chaetoceros seiracanthus</i> Gran	N	B	M	0	0	0	0	0	2	1	4	3	0	0	0
<i>Chaetoceros similis</i> Cleve	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Chaetoceros simplex</i> Ostenfeld	N	C	M	2	1	2	3	3	1	2	2	1	2	2	2
<i>Chaetoceros socialis</i> f. <i>radicans</i> (Schütt) Proshkina-Lavrenko	N	C	M	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis</i> sp.	-	-	-	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg	b	C	M, B	1	0	1	2	1	2	2	3	2	1	1	1
<i>Conticribra guillardii</i> (Hasle) Stachura-Suchoples et Williams	-	-	F, M	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coscinodiscus</i> sp.	-	-	-	1	1	1	1	0	2	2	2	2	2	1	1
<i>Coscinodiscus asteromphalus</i> Ehrenberg	O	-	M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coscinodiscus granii</i> Gough	N	TB	M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Coscinodiscus marginatus</i> Ehrenberg	P	TAB	M	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	P	AB	M	3	2	2	0	1	2	1	2	3	1	2	1
<i>Coscinodiscus perforatus</i> Ehrenberg	N	TAB	M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg	P	C	M	0	0	0	0	0	2	1	2	2	1	0	0
<i>Cyclotella</i> sp.	-	-	-	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	1
<i>Cyclotella atomus</i> var. <i>gracilis</i> ** Genkal et Kiss	-	C	F, B	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
<i>Cyclotella caspia</i> Grunow	N	-	F, B, M	0	0	1	2	0	0	0	1	0	0	1	0
<i>Cyclotella choctawhatcheeana</i> Prasad	N	C	M	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann et Lewin	N	C	M	1	1	2	2	3	3	2	4	2	3	3	2
<i>Dactyliosolen antarcticus</i> Castracane	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle	N	C	M	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	1	0
<i>Detonula confervacea</i> (Cleve) Gran	N	AB	M	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Diploneis lineata</i> (Donkin) Cleve	-	-	M, B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) Cleve	b	C	M	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow	N	TB	M	0	0	0	1	0	2	3	3	3	2	1	1
<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg	N	C	M	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
<i>Fragilariopsis</i> sp.	-	-	-	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing	b	C	M	2	0	0	1	2	2	1	1	1	1	1	1
<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle	N	C	M	0	0	1	0	0	0	2	2	3	3	0	0
<i>Guinardia striata</i> (Stolterfoth) Hasle	P	TB	M	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gyrosigma fasciola</i> (Ehrenberg) Griffith et Henfrey	b	C	M	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
<i>Hemiaulus hauckii</i> Grunow et Van Heurck	N	T	M	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0
<i>Hemiaulus sinensis</i> Greville	-	-	M	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve	N	TB	M	0	2	3	1	1	1	2	2	3	2	2	0
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i> (Peragallo) Hasle	N	C	M	0	0	0	2	1	0	0	2	1	1	0	0
<i>Leptocylindrus minimus</i> Gran	N	TAB	M	2	1	1	1	2	2	1	3	2	3	2	1
<i>Licmophora abbreviata</i> Agardh	b	C	M	1	1	2	3	1	2	2	1	1	1	1	1
<i>Mediolabrus comicus</i> (Takano) Li	N	TAB	M	0	0	0	0	0	0	0	6	5	0	0	0
<i>Melosira moniliformis</i> (Müller) Agardh	b	TAB	M, F	1	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Melosira nummuloides</i> Agardh	-	-	M, F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Navicula</i> sp.	-	-	-	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
<i>Navicula directa</i> (Smith) Brébisson	b	C	M	1	2	1	2	1	1	2	1	0	1	1	1
<i>Navicula granii</i> (Jørgensen) Gran	N	AB	F	2	0	3	1	0	2	0	0	0	0	0	1
<i>Navicula septentrionalis</i> Cleve	N	AB	M	1	1	3	3	2	3	0	0	0	0	2	1
<i>Navicula transitans</i> var. <i>derasa</i> (Grunow) Cleve	N	AB	M	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Navicula transitans</i> var. <i>derasa</i> f. <i>delicatula</i> Heimdal	N	AB	M	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2
<i>Navicula vanhoeffenii</i> Gran	N	AB	M	0	0	0	2	1	1	1	0	0	0	0	0
<i>Neomoelleria cornuta</i> (Cleve) Blanco et Wetzel	N	T-Ant	M	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
<i>Nitzschia</i> sp.	-	-	-	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0
<i>Nitzschia fontifuga</i> Cholnoky	-	-	M	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia frigida</i> Grunow	b	AB	M	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
<i>Nitzschia hybrida</i> Grunow	-	-	F, B, M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs	N	C	M, F	0	1	2	1	1	2	2	3	2	2	2	0
<i>Nitzschia rectilonga</i> Takano	-	-	M	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) Gardh	N	TAB	M	1	2	2	1	1	1	0	1	1	2	2	1
<i>Odontella regia</i> (Schultze) Simonsen	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Odontella turgida</i> (Ehrenberg) Kützing	-	-	M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Planktoniella sol</i> (Wallich) Schütt	O	T	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Pleurosigma formosum</i> Smith	b	C	F	1	2	1	1	2	2	1	0	2	2	1	1
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström	P	C	M	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Pseudo-nitzschia</i> <i>delicatissima</i> (Cleve) Heiden	N	C	M	1	1	1	0	2	4	2	3	3	4	4	3
<i>Pseudo-nitzschia</i> <i>multistriata</i> (Takano) Takano	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	2	0
<i>Pseudo-nitzschia</i> <i>pungens</i> (Grunow et Cleve) Hasle	P	C	M	1	1	0	1	2	2	2	2	2	3	2	4
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> (Cleve) Peragallo	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
<i>Eupyxidicula nipponica</i> (Gran et Yendo) Blanco et Wetzel	N	AB	M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i> Gran	P	C	M	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>semispina</i> (Hensen) Gran	N	TB	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Shionodiscus</i> sp.	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
<i>Skeletonema</i> sp.	-	-	-												
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve	N	C	M	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Skeletonema dohrnii</i> ** Sarno et Kooistra	-	-	M	0	0	0	0	2	3	4	5	5	0	0	0
<i>Skeletonema grethae</i> Zingone et Sarno	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Skeletonema japonicum</i> ** Zingone et Sarno	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	5	6	6	0
<i>Skeletonema marinoi</i> Sarno et Zingone	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
<i>Skeletonema menzelii</i> ** Guillard, Carpenter et Reimann	N	TB	M	0	0	3	3	0	0	0	1	1	0	0	1
<i>Stephanopyxis turris</i> (Greville) Ralfs	-	-	M	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sundstroemia pungens</i> (Euler) Medlin, Lundholm et al.	-	C	M	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0
<i>Sundstroemia setigera</i> (Brightwell) Medlin in Medlin et al.	N	C	M	1	1	1	0	1	2	3	2	2	3	2	1
<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow) Tempère et Peragallo	P	TB	M	2	1	2	1	1	3	3	2	3	4	2	2
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	P	TAB	M, F	2	2	2	1	1	3	2	2	3	4	3	2
<i>Thalassiosira</i> sp.	-	-	-	2	3	3	2	1	3	2	3	3	3	2	2
<i>Thalassiosira aestivalis</i> Gran	N	TB	M	2	3	2	1	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Thalassiosira allenii</i> var. <i>allenii</i> ** Takano	N	TB	B, M	0	0	0	0	1	2	2	1	2	2	0	0
<i>Thalassiosira allenii</i> var. <i>striata</i> ** Guo, Guo et Li	N	TB	M	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Thalassiosira anguste- lineata</i> (Schmidt) Fryxell et Hasle	N	TAB	B, M	3	2	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0
<i>Thalassiosira antarctica</i> Comber	-	-	M	0	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira binata</i> Fryxell	N	TB	M	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira conferta</i> ** Hasle	P	C	B, M	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira curviseriata</i> Takano	N	TB	M	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Thalassiosira favosa</i> * Makarova	N	TAB	M	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Thalassiosira gravis</i> Cleve	P	AB	M	1	3	0	0	0	1	2	1	2	2	1	0
<i>Thalassiosira hispida</i> ** Syvertsen	N	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Thalassiosira hyalina</i> (Grunow) Gran	P	AB	M	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Thalassiosira levanderi</i> ** Goor	N	AB	B	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
<i>Thalassiosira lundiana</i> ** Fryxell	N	TB	M	0	0	0	0	0	0	3	4	2	2	0	0
<i>Thalassiosira minima</i> ** Gaarder	P	C	M	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i> Cleve	N	AB	M	6	4	3	2	3	0	0	0	0	0	2	6
<i>Thalassiosira oceanica</i> ** Hasle	N	TB	M	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0	0
<i>Thalassiosira ordinaria</i> ** Makarova	N	AB	M	2	3	0	1	1	0	1	2	1	1	1	0
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Hasle et Heimdal	N	TB	B, M	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira punctigera</i> (Castracane) Hasle	N	TAB	M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Thalassiosira tealata</i> ** Takano	N	TB	M	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
<i>Thalassiosira tenera</i> Proschkina-Lavrenko	N	TAB	M, F	0	1	1	1	0	1	2	2	1	2	0	0
<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow	P	AB	M	1	1	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2
CRYPTOPHYTA															
<i>Cryptomonas</i> sp.	-	-	-	0	1	0	1	2	0	2	0	0	0	0	1
<i>Teleaulax acuta</i> (Butcher) Hill	N	-	M	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Teleaulax amphioxeia</i> (Conrad) Hill	N	C	M	3	1	3	2	2	3	3	3	3	2	2	0
DINOFLAGELLATA															
<i>Akashiwo sanguinea</i> (Hirasaka) Hansen et Moestrup	N	AB	M	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
<i>Alexandrium tamarense</i> (Lebour) Balech	N	-	M	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Amphidinium crassum</i> Lohmann	N	AB	M, B	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amphidinium sphenoides</i> Wülf	O	AB	M	1	1	1	0	1	1	2	1	0	0	0	0
<i>Amylax triacantha</i> (Jørgensen) Sournia	N	AB	M	2	1	0	2	1	0	0	2	3	1	1	1
<i>Archaeoperidinium minutum</i> (Kofoid) Jørgensen	N	C	M	1	1	1	0	2	2	1	2	2	2	0	0
<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède et Lachmann	N	C	M	1	1	0	1	2	2	2	2	2	2	1	0
<i>Dinophysis acuta</i> Ehrenberg	N	BIP	M	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
<i>Dinophysis infundibulum</i> Schiller	N	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Dinophysis norvegica</i> Claparède et Lachmann	N	AB	M	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Dinophysis sphaerica</i> Stein	O	C	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Diplopsalis lenticula</i> Bergh	O	TB	M	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1
<i>Dissodinium</i> <i>pseudolunula</i> Swift, Elbrächter et Drebes	N	B	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Gonyaulax digitale</i> (Pouchet) Kofoid	N	TB	M	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1
<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède et Lachmann) Diesing	N	C	M, F	0	0	1	0	1	2	1	1	0	0	0	0
<i>Gonyaulax verior</i> Sournia	N	C	M	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Gymnodinium</i> <i>abbreviatum</i> Kofoid et Swezy	-	-	M	0	0	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0
<i>Gymnodinium</i> <i>antarcticum</i> Thessen, Patterson et Murray	-	-	M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gymnodinium blax</i> Harris	N	B	F	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1
<i>Gymnodinium</i> sp.	-	-	-	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0
<i>Gymnodinium wulffii</i> Schiller	N	B	M	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Gyrodinium flagellare</i> Schiller	N	TB	M	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gyrodinium fusiforme</i> Kofoid et Swezy	-	TAB	M	2	2	2	1	2	2	3	1	2	2	2	1
<i>Gyrodinium lachryma</i> (Meunier) Kofoid et Swezy	O	AB	M	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gyrodinium spirale</i> (Bergh) Kofoid et Swezy	P	C	M	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1
<i>Karenia mikimotoi</i> (Miyake, Kominami et Oda) Gert Hansen et Moestrup	N	C	M	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
<i>Kryptoperidinium</i> <i>triquetrum</i> (Ehrenberg) Tillmann, Gottschling et al.	N	B	M	1	1	1	1	0	1	2	2	1	1	0	1
<i>Lebouridinium glaucum</i> (Lebour) Gómez, Takayam, Moreira et al.	O	T	M	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
<i>Lingulaulax polyedra</i> (Stein) Head, Mertens et Fensome	N	B	M	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid et Swezy	N	C	M	1	1	1	0	2	2	2	1	0	1	2	1
<i>Oblea rotunda</i> (Lebour) Balech et Sournia	O	B	M	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1
<i>Oxytoxum</i> sp.	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Oxytoxum gladiolus</i> Stein	O	TB	M	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Oxytoxum sceptrum</i> (Stein) Schröde	O	T	M	2	3	4	1	2	2	3	2	2	2	1	2
<i>Phalacroma oxytoxoides</i> (Kofoid) Gomez, Lopez-Garcia et Moreira	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
<i>Phalacroma rotundatum</i> (Claparède et Lachmann) Kofoid et Michener	O	C	M	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0
<i>Pronocetiluca pelagica</i> Fabre-Domergue	O	-	M	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pronocetiluca spinifera</i> (Lohmann) Schiller	-	-	M	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Prorocentrum cordatum</i> (Ostenfeld) Dodge	N	-	M	0	0	0	0	1	1	2	2	3	3	1	1
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	N	TB	M, B	1	0	0	0	0	1	2	2	1	1	2	1
<i>Prorocentrum triestinum</i> Schiller	N	TB	M	1	1	1	1	1	1	3	4	3	2	1	1
<i>Protoceratium reticulatum</i> (Claparède et Lachmann) Bütschli	N	C	M	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
<i>Protodinium simplex</i> Lohmann	N	C	M, F	2	2	2	1	2	3	3	2	2	2	2	1
<i>Protoperidinium</i> sp.	-	-	-	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Protoperidinium bipes</i> (Paulsen) Balech	N	AB	M	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1
<i>Protoperidinium brevipes</i> (Paulsen) Balech	N	C	M	0	0	0	1	1	1	0	1	2	2	0	0
<i>Protoperidinium claudicans</i> (Paulsen) Balech	N	TB	M	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
<i>Protoperidinium conicoides</i> (Paulsen) Balech	N	C	M	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech	N	C	M	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
<i>Protoperidinium crassipes</i> (Kofoid) Balech	N	-	M	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Protoperidinium curtipes</i> (Jørgensen) Balech	O	AB	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
<i>Protoperidinium curvipes</i> (Ostenfeld) Balech	O	-	M	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech	O	C	M	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenberg) Balech	N	C	M	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Protoperidinium globulus</i> (Stein) Balech	O	C	M	1	0	0	0	0	0	2	2	1	0	0	0
<i>Protoperidinium gracile</i> Gran et Braarud	N	AB	M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Protoperidinium granii</i> (Ostenfeld) Balech	N	TAB	M	1	1	1	1	1	2	1	1	0	0	1	0
<i>Protoperidinium monospinum</i> (Paulsen) Zonneveld et Dale	-	-	M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Protoperidinium monovelum</i> (Abé) Balech	-	-	M	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	0	0
<i>Protoperidinium pallidum</i> (Ostenfeld) Balech	P	C	M	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh	N	C	M	1	1	1	1	2	2	3	2	2	2	1	1
<i>Protoperidinium pentagonum</i> (Gran) Balech	N	BIP	M	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0
<i>Protoperidinium pyriforme</i> (Paulsen) Balech	O	C	M	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Protoperidinium quarnerense</i> (Schröder) Balech	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Protoperidinium steinii</i> (Jørgensen) Balech	N	C	M	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
<i>Protoperidinium subinerme</i> (Paulsen) Loeblich	N	AB	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Protoperidinium thorianum</i> (Paulsen) Balech	N	AB	M	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	0
<i>Protoperidinium thulesense</i> (Balech) Balech	N	AB	M	0	0	0	0	0	3	1	1	0	0	0	0
<i>Pseliodinium fusus</i> (Schütt) Gómez	N	TB	M	0	0	0	0	1	0	2	2	1	1	1	0
<i>Pyrophacus horologium</i> Stein	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Pyrophacus steinii</i> (Schiller) Wall et Dale	O	-	M	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
<i>Scrippsiella acuminata</i> (Ehrenberg) retschmann, Elbrächter et al.	N	C	M	1	2	1	1	1	2	3	2	1	2	1	1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<i>Torodinium robustum</i> Kofoid et Swezy	-	-	M	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Triplos balticus</i> (Schütt) Gómez	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Triplos furca</i> (Ehrenberg) Gómez	P	C	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1
<i>Triplos fusus</i> (Ehrenberg) Gómez	O	C	M	0	0	0	0	1	0	2	2	1	1	1	0
<i>Triplos longipes</i> (Bailey) Gómez	O	AB	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Triplos macroceros</i> (Ehrenberg) Gómez	-	-	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Triplos pentagonus</i> (Gourret) Gómez	-	-	M	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
RAPHIDOPHYTA															
<i>Heterosigma akashiwo</i> (Hada) Hada, Hara et Chihara	N	B	M	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudochattonella</i> sp.	-	-	-	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudohaptolina birgeri</i> (Hällfors et Niemi) Ribeiro et Edvardsen	-	-	M	0	3	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EUGLENOPHYTA															
<i>Eutreptia globulifera</i> Goor	-	-	F	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Eutreptia lanowii</i> Steuer	N	C	M, F	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1	1	2
<i>Eutreptiella braarudii</i> Thronsdén	-	-	M	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CHLOROPHYTA															
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brebisson	-	-	F, B	0	0	0	1	0	0	3	2	0	0	0	2
<i>Tetradesmus lagerheimii</i> Wynne et Guiry	-	-	F	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* Новые для Японского моря таксоны, отмеченные нами ранее. New taxa from the Sea of Japan, previously mentioned here.

** Новые для морей России таксоны, отмеченные нами ранее. New taxa from the seas of Russia, previously mentioned here.

Примечание. Э/Х – экологическая характеристика: N – неритический, O – океанический, P – панталассный, b – бентический. Гео/Х – географическая характеристика: AB – арктическо-бореальный; TB – тропическо-бореальный, TAB – тропическо-аркто-бореальный; T – тропический, C – космополитический, BIP – биполярный, B – бореальный, T-Ant. – тропическо-антарктический. O/C – отношение к солёности: M – морской, B – солоноватоводный, F – пресноводный. I–XII – месяцы. 1 – численность менее 1 тыс. кл/л, 2 – 1–10 тыс. кл/л, 3 – 10–100 тыс. кл/л, 4 – 100–500 тыс. кл/л, 5 – 500 тыс. кл/л – 1 млн кл/л, 6 – более 1 млн кл/л, 0 – вид отсутствует.

Note. ET – ecological type: N – neritic; O – oceanic, P – panthalassic, b – benthic. GT – geographical type: AB – arctic-boreal, TB – tropical-boreal, TAB – tropical-arctic-boreal, T – tropical, C – cosmopolitan, BIP – bipolar, B – boreal, T-Ant. – tropical-antarctic. AS – attitude to salinity: M – marine, B – brackishwater, F – freshwater. I–XII – months. 1 – abundance less than 1,000 cells/L, 2 – 1–10 thousand cells/L, 3 – 10–100 thousand cells/L, 4 – 100–500 thousand cells/L, 5 – 500 thousand cells/L – 1 mln cells/L, 6 – more than 1 mln cells/L, 0 – species absent.

видов рода с применением методов электронной микроскопии показало преобладание *S. marinoi* Sarno et Zingone в сентябре, и *S. japonicum* Zingone et Sarno в ноябре (Шевченко, Пономарева 2016).

Зимние пики численности чаще всего были обусловлены развитием *Thalassiosira nordenskiöldii* Cleve. Интенсивная вегетация вида происходила подо льдом при температуре поверхностного слоя воды от -1.8 до 0 °C и солености 33.0–35.0‰ (Shevchenko et al. 2020).

За период исследования нами были отмечены вспышки численности, нехарактерные для данной акватории. Максимальная плотность микроводорослей за весь период исследования зафиксирована в марте 2013 г. Это было «цветение», обусловленное массовым развитием водоросли *Pseudohaptolina birgeri* (Hällfors et Niemi) Ribeiro et Edvardsen, которая за весь период наблюдений была отмечена единожды (Пономарева, Шевченко 2016). Развитие *P. birgeri* наблюдали при резком опреснении приповерхностного слоя воды с 32 до 13.8‰ за счёт таяния льда.

В августе 2017 г. зарегистрирован первый случай «цветения» мелкоклеточной диатомовой водоросли *Mediolabrus comicus* (Takano) Yang Li (5.5 млн кл./л) в морях России (Шульгина 2023).

В сентябре 2019 г. при солёности 19‰ в б. Парис доминировали пресноводные диатомовые рода *Cyclotella* (Kützinger) de Brébisson – *C. atomus* var. *gracilis* Genkal et Kiss и *C. choctawhatcheeana* Prasad (4.4 млн кл./л). Оба вида впервые отмечены в числе видов, вызывающих «цветение» воды в морских водах (Shevchenko et al. 2022b).

За время исследований флористический состав морей России был дополнен нами 14 видами, для Японского моря отмечен один новый вид. Находки *Skeletonema dohrnii*, *S. marinoi* и *S. menzelii* представляют собой первые документальные свидетельства их присутствия в российских морских водах, что расширяет представления об ареалах данных видов (Шевченко, Пономарева 2016). Для видового состава рода *Thalassiosira* в заливе Петра Великого даны подробные диагнозы и отмечены находки следующих видов: *T. allenii* var. *allenii*, *T. allenii* var. *striata*, *T. hispida*, *T. levanderi*, *T. lundiana*, *T. ordinaria*, *T. conferta*, *T. minima*, *T. oceanica*, *T. tealata*. Впервые обнаружена в Японском море *T. favosa* (Шульгина 2023). Также впервые в морских водах был зарегистрирован вид *Cyclotella atomus* var. *gracilis* (Shevchenko et al. 2022b).

Высокое видовое богатство объясняется расположением акватории в зоне влияния умеренного и субтропического поясов. Также на формирование альгофлоры существенное воздействие оказывает смешение водных масс разного происхождения: океанических из Тихого океана, холодных арктических из Охотского моря и тёплых из Южно-Китайского моря (Shevchenko et al. 2006). Доминирование и «цветение» диатомовых водорослей характерно для фитопланктона северо-западной части Японского моря (Паутова, Силкин 2000; Алексанин и др. 2012).

В отличие от регионов с высокой антропогенной нагрузкой, где видовой состав включает в себя большое количество эвгленовых и зелёных водорослей, в исследуемой нами б. Парис таких видов отмечено гораздо меньше. Различия в структуре альгоценоза между б. Парис и акваториями с высокой антропогенной нагрузкой, вероятно, связаны с разной степенью солёности. В изученной бухте условия приближаются к морским, что исключает массовое развитие эвгленовых и зелёных водорослей, адаптированных преимущественно к пресной воде. Основу сообщества бухты составляют диатомовые и динофитовые водоросли, что характерно для умеренных широт Мирового океана (Trigueros, Orive 2001; Škaloud et al. 2006; Hernández-Becerril et al. 2007; Орлова и др. 2009).

Благодарности

Работа выполнена в Центре коллективного пользования «Приморский океанариум» ННЦМБ ДВО РАН (г. Владивосток).

Литература (References)

- Алексанин А. И., Ким В., Орлова Т. Ю. и др. 2012. Фитопланктон залива Петра Великого и задача его дистанционного зондирования // *Океанология*. Т. 52, № 2. С. 239–250. (Aleksanin A. I., Kim V., Orlova T. Yu. et al. 2012. Phytoplankton of Peter the Great Bay and the task of its remote sensing. *Oceanology* 52 (2): 239–250. [In Russian].)
- Беклемишев К. В., Парин Н. В., Семина И. В. 1977. Пелагиаль // *Океанология*. Биология океана. Биологическая структура океана. Т. I. – М.: Наука. С. 219–262. (Beklemishev K. V., Parin N. V., Semina I. V. 1977. Pelagial. In: *Oceanology. Biology of the ocean. Biological structure of the ocean*. V. 1. Moscow: Nauka, pp. 219–262. [In Russian].)
- Киселев И. А. 1969. Планктон морей и континентальных водоемов. – Л.: Наука. 658 с. (Kiselev I. A. 1969. *Plankton of seas and continental waters*. Leningrad: Nauka, 658 pp. [In Russian].)
- Коновалова Г. В., Орлова Т. Ю., Паутова Л. А. 1989. Атлас фитопланктона Японского моря. – Ленинград: Наука. 160 с. (Konovalova G. V., Orlova T. Yu., Pautova L. A. 1989. *Atlas of phytoplankton of the Sea of Japan*. Leningrad: Nauka, 160 pp. [In Russian].)
- Нестерова Д. А., Василенко Л. С. 1986. Размерная характеристика массовых видов фитопланктона западной части Черного моря // *Гидробиологический журнал*. Т. 22, № 3. С. 16–21. (Nesterova D. A., Vasilenko L. S. 1986. Size characteristics of common phytoplankton species in the western Black Sea. *Hydrobiological Journal* 22 (3): 16–21. [In Russian].)
- Орлова Т. Ю., Стоник И. В., Шевченко О. Г. 2009. Флора микроводорослей планктона Амурского залива Японского моря // *Биология моря*. Т. 35, № 1. С. 48–61. (Orlova T. Yu., Stonik I. V., Shevchenko O. G. 2009. Microalgal flora of plankton in Amur Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology* 35 (1): 48–61. [In Russian].)
- Паутова Л. А., Силкин В. А. 2000. Зимний фитопланктон северо-западной части Японского моря. Некоторые закономерности формирования структуры фитоценоза в прибрежном мелководье // *Океанология*. Т. 40, № 4. С. 553–561. (Pautova L. A., Silkin V. A. 2000. Winter phytoplankton of the northwestern Sea of Japan. Some patterns of phytocenosis structure formation in coastal shallow waters. *Oceanology* 40 (4): 553–561. [In Russian].)
- Пономарева А. А., Шевченко О. Г. 2016. Цветение гаптофитовой водоросли в районе содержания морских млекопитающих на открытой воде // *Вода: химия и экология*. № 12. С. 54–58. (Ponomareva A. A., Shevchenko O. G. 2016. Bloom of haptophyte algae in the area of marine mammals keeping in open water. *Water: Chemistry and Ecology* 12: 54–58. [In Russian].)
- Пономарева А. А. 2017. Структура и динамика фитопланктона в бухте Парис (залив Петра Великого, Японское море): дис. ...канд. биол. наук: 03.02.10. – Владивосток. 171 с. (Ponomareva A. A. 2017. [Structure and dynamics of phytoplankton in Paris Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan)]: dis. kand. biol. nauk: 03.02.10. Vladivostok, 171 pp. [In Russian].)
- Тевс К. О., Шевченко О. Г. 2022. Динамика фитопланктона в прибрежных водах города Владивостока в 2019–2021 гг. // *Известия ТИНРО*. Т. 202, вып. 4. С. 880–893. (Tevs K. O., Shevchenko O. G. 2022. Dynamics of phytoplankton in the coastal waters at Vladivostok in 2019–2021. *Izvestiya TINRO* 202 (4): 880–893. <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2022-202-880-893>
- Шевченко О. Г., Пономарева А. А. 2016. Новые для российских морей виды *Skeletonema* (Bacillariophyceae) в северо-западной части Японского моря // *Ботанический журнал*. Т. 101, № 9. С. 90–96. (Shevchenko O. G., Ponomareva A. A. 2016. New species of *Skeletonema* (Bacillariophyceae) for Russian seas in the northwestern part of the Sea of Japan. *Botanical Journal* 101(9): 90–96. [In Russian].)
- Шульгина М. А. 2023. Видовой состав, сезонная и многолетняя динамика количественных параметров диатомовых водорослей рода *Thalassiosira* в заливе Петра Великого, Японское море: дис. ...канд. биол. наук: 1.5.16. – Владивосток. 192 с. (Shulgina M. A. 2023. [Species composition, seasonal and long-term dynamics of quantitative parameters of diatoms of the genus *Thalassiosira* in Peter the Great Bay, Sea of Japan]: dis. kand. biol. nauk: 1.5.16. Vladivostok, 192 pp. [In Russian].)
- Cloern J. E., Jassby A. D. 2010. Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine-coastal ecosystems. *Estuaries and Coasts* 33: 230–241.
- Guiry, M. D., Guiry G. M. 2026. Algaebase. Last accessed at <http://www.algaebase.org>, 27 February 2026.

- Hasle G. R., Syvertsen E. E. Marine diatoms. 1997. In: Identifying marine phytoplankton (Ed. by C. R. Tomas). Academic Press, San Diego, California, pp. 5–385.
- Hernández-Becerril D., Bravo-Sierra E., Aké-Castillo J. 2007. Phytoplankton on the western coasts of Baja California in two different seasons in 1998. *Scientia Marina* 71 (4): 735–743.
- Hoppenrath M., Elbrächter M., Drebes G. 2009. Marine phytoplankton. Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt. Stuttgart, 265 pp.
- Shevchenko O. G., Orlova T. Yu. Hernández-Becerril D. U. 2006. The genus *Chaetoceros* (Bacillariophyta) from Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Botanica Marina* 49: 236–258. <https://doi.org/10.1515/BOT.2006.028>
- Shevchenko O. G., Shulkin V. M., Ponomareva A. A. 2018. Phytoplankton and hydrochemical parameters near net pens with beluga whales in a shallow bay of the northwestern Sea of Japan. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences* 34: 139–151. <https://doi.org/10.1007/s41208-017-0046-x>
- Shevchenko O. G., Ponomareva A. A., Turanov S. V. et al. 2019a. Morphological and genetic variability of *Skeletonema dohrnii* and *Skeletonema japonicum* (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan. *Phycologia* 58(1): 95–107. <https://doi.org/10.1080/00318884.2018.1517540>
- Shevchenko O. G., Ponomareva A. A., Shulgina M. A. et al. 2019b. Phytoplankton in the Coastal Waters of Russky Island, Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Botanica Pacifica* 8(1): 133–141. <https://doi.org/10.17581/bp.2019.08112>
- Shevchenko O. G., Shulgina M. A., Shulkin V. M. et al. 2020. The long-term dynamics and morphology of the diatom *Thalassiosira nordenskiöldii* Cleve, 1873 (Bacillariophyta) from the coastal waters of Peter the Great Bay, Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology* 46: 284–291. <https://doi.org/10.1134/S1063074020040069>
- Shevchenko O. G., Tevs K. O., Shulkin V. M. et al. 2022b. Monitoring of phytoplankton and hydrochemical parameters of coastal waters of Russky Island (Peter the Great Bay, Sea of Japan). *Russian Journal of Marine Biology* 48(1): 39–47. <https://doi.org/10.1134/S1063074022010102>
- Škaloud P., Řezáčová M., Ellegaard M. 2006. Spatial distribution of phytoplankton in spring 2004 along a transect in the Eastern part of the North Sea. *Journal of Oceanography* 62: 717–729.
- Sun J., Liu D. 2003. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton. *Journal of Plankton Research* 25 (11):1331–1346. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbg0>
- Trigueros J. M., Orive E. 2001. Seasonal variations of diatoms and dinoflagellates in a shallow, temperate estuary, with emphasis on neritic assemblages. *Hydrobiologia* 444: 119–133.
- Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Mitteilungen* 9(1): 1–38. <https://doi.org/10.1080/05384680.1958.11904091>
- Weir M. J., Kourantidou M., Jin D. 2022. Economic impacts of harmful algal blooms on fishery-dependent communities. *Harmful Algae* 118: 102321. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102321>
- Yubo L. U., Xiao Y. U., Xilei L. I., et al. 2019. Ecological characteristics of planktonic algae and their relationship with environmental factors in scallop culture area of Yangma Island. *Journal of Fisheries Research* 41(3): 207–216. <https://doi.org/10.14012/j.cnki.fjsc.2019.03.004>

УДК 574.5

https://doi.org/10.25221/2782-1978_2026_2_3

<https://elibrary.ru/olppxe>

Диатомовые водоросли рода *Skeletonema* Greville: история изучения, современное состояние и распространение в заливе Петра Великого, Японское море

Анна Андреевна Пономарева^{1✉}, Ольга Геннадьевна Шевченко^{1,2,3}

¹Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация

²Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690041, Российская Федерация

³Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, 690087, Российская Федерация

✉ Автор-корреспондент, e-mail: ponomareva_aa@primosean.ru

Получена 24 февраля 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. По результатам многолетних исследований фитопланктона в прибрежных водах залива Петра Великого, Японское море, зарегистрировано пять видов *Skeletonema*: *S. costatum*, *S. dohrnii*, *S. japonicum*, *S. marinoi*, *S. menzelii*. В работе для каждого вида представлены морфологические описания на основании электронной микроскопии. Согласно представленным данным, развитие видов приурочено к определенным экологическим условиям, так, *S. dohrnii* вегетирует в районе исследования при температуре воды 17–25 °C и солёности 25–29‰, обуславливая летние «цветения» воды. *S. japonicum* массово развивался при температуре от –1.8 °C до 10 °C и солёности 30–34‰, а массовое развитие *S. marinoi* отмечали при температуре 17.5–21.5 °C и солёности 25.4–33.2‰. Вид *S. menzelii* достигал максимальных значений при сильно пониженной солёности 11‰ и низкой температуре воды 0 °C в период таяния льда. Известно, что одновременно в планктоне вегетирует несколько представителей рода, но «цветение» образует всегда один вид. Полученные данные значительно упрощают идентификацию видов рода в разные сезоны при мониторинговых исследованиях.

Ключевые слова: диатомеи, *Skeletonema*, морфология, распространение, история изучения.

Diatom algae of the genus *Skeletonema* Greville: history of study, current status, and distribution in Peter the Great Bay, Sea of Japan

Anna A. Ponomareva^{1✉}, Olga G. Shevchenko^{1,2,3}

¹Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine Biology Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690922, Russian Federation

²A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russian Federation

³Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, 690087, Russian Federation

✉ Corresponding author, e-mail: ponomareva_aa@primosean.ru

Received February 24, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. As a result of long-term studies of phytoplankton in the coastal waters of the Peter the Great Bay, Sea of Japan, five species of *Skeletonema* were recorded: *S. costatum*, *S. dohrnii*, *S. japonicum*, *S. marinoi*, and *S. menzelii*. The paper presents morphological descriptions for each species based on electron microscopy. According to the data provided, the development of these species is associated with specific ecological conditions. For example, *S. dohrnii* thrived in the study area at water temperatures of 17–25 °C and salinities of 25–29‰, causing summer blooms. *S. japonicum*'s populations rapidly increased at temperatures ranging from –1.8 °C to 10 °C and salinities of 30–34‰, while *S. marinoi* showed substantial growth at temperatures of 17.5–21.5 °C and salinities of 25.4–33.2‰. *S. menzelii* reached maximum abundance at significantly reduced salinity (11‰) and low water temperature (0 °C) during ice melt season. Although several representatives of the genus co-occur in the plankton, only one species is always responsible for bloom formation. These data considerably facilitate the identification of members of the genus during monitoring studies across different seasons.

Key words: diatoms, *Skeletonema*, morphology, distribution, history of study.

Введение

История изучения одного из наиболее широко распространённых в Мировом океане и массовых родов диатомовых водорослей *Skeletonema* Greville (Bacillariophyceae, Thalassiosirales) насчитывает уже больше 160 лет, продолжая сохранять актуальность и востребованность среди исследователей различных направлений.

В 1857 г. Дж. Норман, исследуя содержимое желудков асцидий у побережья Йоркшира, зафиксировал «мелозиру мелкой формы с продольными отметинами» (Norman 1857, p. 158). В 1865 г., Р. К. Гревиль (рис. 1А) из палеонтологического материала прибрежных вод о-ва Барбадос выделил новый род и описал вид *Skeletonema barbadensis* Greville. Чуть позже, в 1866 г., он обнаружил новый вид из материала,

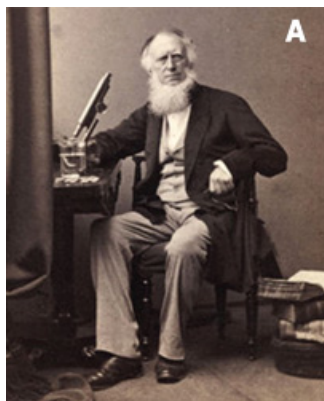


Рис. 1. Р. К. Гревиль (А), (https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Kaye_Greville); П. Т. Клеве (В), (https://en.wikipedia.org/wiki/Per_Teodor_Cleve)

Fig. 1. R. K. Greville (А), (https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_Kaye_Greville); P. T. Cleve (В), (https://en.wikipedia.org/wiki/Per_Teodor_Cleve)

собранного в прибрежных водах Гонконга: «Диатомовая водоросль, указанная ранее моим другом, г-ном Норманом, при осмотре оказалась идентичной образцам, любезно предоставленным мне г-ном Палмером из Гонконга, где она, по-видимому, встречается в изобилии. Заметные продольные рёбрышки, семь или восемь из которых иногда видны одновременно, являются её отличительным признаком. При большом увеличении видно, что рёбрышки расширены на вершинах и соединены с рёбрышками прилегающего панциря» (Greville 1866, p. 78),

и описал его как *Melosira costata* Greville. Автор проиллюстрировал свою находку четырьмя изображениями, на которых отчётливо указал «продольные рёбра, расширенные на своих вершинах и прикрепленных к рёбрам прилегающего панциря» (Greville 1866, p. 78).

В 1873 г. шведский исследователь П. Т. Клеве (P. T. Cleve) (рис. 1В) выделил похожий вид в материале Яванского моря, отметил его сходство с ранее описанным *S. barbadensis* (Cleve, 1873) и перевёл *M. costata* в род *Skeletonema*, установив самый упоминаемый в науке вид диатомовых водорослей *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve.

В своей работе 1973 года норвежская исследовательница Г. Р. Хасле (G. R. Hasle) писала: «Для большинства морских планктонологов название *Skeletonema* является синонимом видового названия *Skeletonema costatum*» (Hasle 1973, p. 110). И действительно, данный вид упоминается в многочисленных исследованиях самых различных биологических дисциплин, и из более чем 700 научных работ, в 80% статей в названии или аннотации упоминается именно *S. costatum*. В связи с этим складывается ложное впечатление, что данный вид широко распространён по всему миру, является легко культивируемым, широко толерантным видом. Кроме того, результаты этих

исследований интерпретируются и сравниваются с неявным предположением, что все штаммы и популяции принадлежат к одному виду (Sarno et al. 2005).

Действительно, виды рода *Skeletonema* легко идентифицируются по цилиндрическим клеткам с кольцом длинных отростков, отходящих от края створки (первоначально называемых «костями» Р. К. Гревилем) (Greville 1866). Эти отростки выровнены параллельно продольной оси клетки и соединяются с аналогичными отростками соседних створок, образуя таким образом цепочки.

Благодаря наличию длинных, хорошо различимых в световом микроскопе выростов, с помощью которых клетки *Skeletonema* объединены в колонии, представителей рода можно легко идентифицировать в планктоне. Однако внутривидовая изменчивость и чрезвычайная вариабельность основных диагностических признаков – размер клетки, ареоляция створки, число выростов, способ объединения в колонию, делает видовую идентификацию затруднительной. Существенный прорыв в изучении морфологических особенностей видов этого рода обозначился только в начале 2000-х годов, чему способствовало стремительное развитие унифицированных методик: применение молекулярно-генетических методов и электронной микроскопии. На сегодняшний день известно около пяти ископаемых видов рода и около 15 ныне существующих видов (Guiry, Guiry 2026; <https://www.algaebase.org/>).

Ревизия рода *Skeletonema* с применением методов электронной микроскопии (Sarno et al. 2005; Zingone et al. 2005, Sarno et al. 2007) и молекулярно-генетических подходов (Alverson, Kolnick 2005; Kooistra et al. 2008) показала, что *Skeletonema costatum* sensu lato объединяет 11 видов: *S. ardens* Sarno & Zingone, *S. costatum* (Greville) Cleve, *S. dohrnii* Sarno & Kooistra, *S. grethae* Zingone & Sarno, *S. grevillei* Sarno & Zingone, *S. japonicum* Zingone & Sarno, *S. marinoi* Sarno & Zingone, *S. menzelii* Guillard, Carpenter & Reimann, *S. pseudocostatum* L. K. Medlin, *S. subsalsum* (Cleve-Euler) Bethge, *S. tropicum* Cleve.

Для вод Тихого океана в литературе представлены данные по морфологии, численности и распространению видов *Skeletonema* в прибрежных водах Японии (Yamada et al. 2010, 2014), Китая (Chen et al. 2007; Gu et al. 2012), Кореи (Jung et al. 2009). Для российских вод Японского, Охотского и Берингова морей в летне-осенний период род составляет основу численности и биомассы фитопланктона, а также вызывает «цветение» прибрежных вод (Кисёлев 1947; Коновалова и др. 1989; Сёмина, Микаэлян 1993; Сорокин 1997; Шевченко и др. 2004). Необходимо отметить, что во всех ранних источниках до 2004 г. при упоминании рода *Skeletonema* все представленные сведения относятся только к виду *S. costatum*. На сегодняшний день в северо-западной части Японского моря отмечено шесть видов: *S. dohrnii*, *S. costatum*, *S. grethae*, *S. japonicum*, *S. marinoi*; *S. menzelii*. Все виды, кроме *S. grethae*, являются постоянным компонентом фитопланктона данной акватории. Вид *S. grethae* был отмечен только единожды в Амурском заливе (северо-западная часть Японского моря) в феврале 2009 г. (Shevchenko, Aizdaicher 2014). Однократное нахождение вида в Амурском заливе, возможно, объясняется заносом с балластными водами (Kooistra et al. 2008), так как акватория находится на пересечении морских транспортных путей (Zvyagintsev et al. 2011). Стоит также отметить, что в работе О. Г. Шевченко и Н. А. Айздайчер было представлено только морфологическое описание данного вида (Shevchenko, Aizdaicher 2014). Вероятно, что проведение дополнительных молекулярно-генетических работ с исследованными клонами помогло бы более точно идентифицировать выделенные штаммы.

В результате более чем 25-летнего наблюдения фитопланктона залива Петра Великого (северо-западная часть Японского моря) получены данные видового разнообразия рода *Skeletonema*, количественных характеристик, определена роль видов в сообществе в долгосрочном тренде, отмечены особенности экологии представителей *Skeletonema* на исследованной акватории.

Материалы и методы

Пробы отбирали в период 1996–2022 гг. на станциях, расположенных в Амурском заливе и в б. Парис (залив Петра Великого, Японское море) (рис. 2) с периодичностью один раз в две недели. Сбор материала проводили пятилитровым батометром с горизонтов 0, 2 и 5 м, 1 литр пробы фиксировали раствором Люголя. Для количественного учета фитопланктона определяли видовую принадлежность всех клеток микроводорослей и проводили их тотальный подсчёт в камере типа Нажотта объемом 0.05 мл (Фёдоров 1979; Andersen, Throndsen 2003). Одновременно с отбором проб микроводорослей измеряли температуру поверхностного слоя воды при помощи многопараметрического зонда YSI-Professional Plus (погрешность измерений ± 0.1 °C). Для определения и уточнения видовой принадлежности видов рода *Skeletonema* осуществляли изолирование клеток вида и дальнейший ввод в лабораторную культуру (Орлова и др. 2011).

Подсчёт и исследование полевого материала проводили в световом микроскопе (CM) Carl Zeiss Scope A1. (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany). Изолирование и мониторинг культур *Skeletonema* выполняли в инвертированном микроскопе Carl Zeiss AxioVert.A1 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany), оснащённом ZeissAxioCam 105 color camera (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany).

Тонкую структуру панциря *Skeletonema* изучали с помощью трансмиссионного (ТЭМ) JEM 100S (Jeol Ltd., Japan) и сканирующего (СЭМ) Carl Zeiss Sigma 300 (Carl Zeiss Microscopy GmbH, Jena, Germany) электронных микроскопов. Для подготовки материала к ТЭМ использовали стандартную методику (Hasle, Fryxell 1970), основанную на воздействии на образец концентрированной соляной кислоты (HCl) при высоких температурах, с последующей многократной отмывкой дистиллированной водой. Каплю подготовленного материала наносили на бленды, покрытые

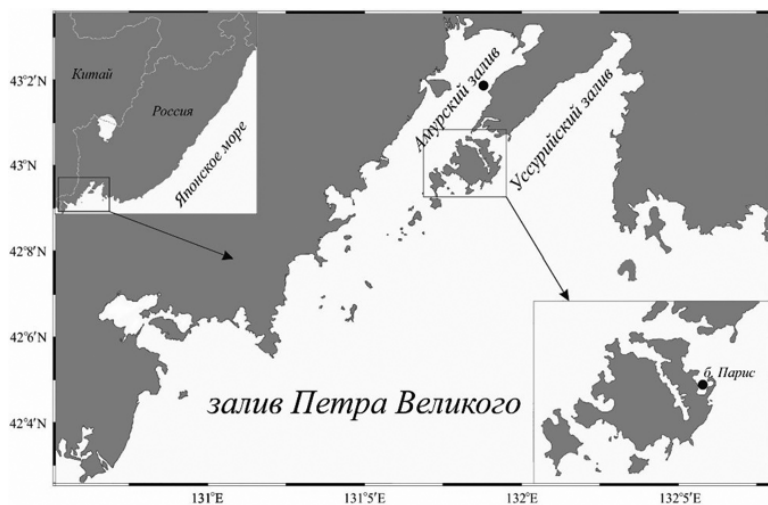


Рис. 2. Карта-схема района отбора проб.

Fig. 2. Schematic map of the sampling area.

формваром, высушивали на воздухе и исследовали с помощью ТЭМ. Для подготовки материалов для СЭМ применяли стандартную методику (Truby 1997), заключающуюся в дегидратации образца через серию спиртов (25, 50, 75, 96%). Фильтры с образцами помещали на предметные столики, высушенные на воздухе, затем в установке для нанесения многослойных покрытий Q_TES (Quorum Technologies, UK) было напылено электропроводящее покрытие из углерода.

В работе использована терминология, принятая для диатомовых водорослей (Ross et al. 1979), с уточнениями и дополнениями, предложенными для рода *Skeletonema* (Zingone et al. 2005).

Результаты и обсуждение

С 1996 по 2022 гг. в планктоне залива Петра Великого, северо-западная часть Японского моря, идентифицировано 5 видов *Skeletonema*, подтверждённых молекулярно-генетическими методами: *S. costatum*, *S. dohrnii*, *S. japonicum*, *S. marinoi*, *S. menzelii* (Shevchenko, Ponomareva 2015, Shevchenko et al. 2019, Shevchenko et al., 2022). На основании изучения колоний из природных популяций и культуральных клонов с помощью СМ, ТЭМ и СЭМ составлены детальные морфологические описания видов, приведены диапазоны численности для каждого из них, выделены сезоны развития.

Skeletonema costatum (Greville) Cleve

Со стороны пояска клетки почти круглые, слегка вытянутые в ширину, диаметром 5–16 мкм. Клетки объединены в прямые колонии, иногда слегка изогнутые. Створки округлые, плоские или слегка выпуклые, сильно окремнённые, часто с дополнительными силифицированными гребнями и наростами как на створках, так и на краевых выростах (Рис. 3А). Ареолы от круглых до прямоугольных (18–36) на сгибе створки, образованы расходящимися от центра радиальными и тангенциальными рёбрами. Из-за покрывающей створку мантии ареолы часто представлены в виде небольшого отверстия на поверхности створки. Краевых выростов от 13 до 25 на створке. Краевые выросты на промежуточных створках представляют собой закрытые уплощённые трубки с круглой порой в основании. Каждый такой вырост соединяется с двумя на соседней створке (1:2). Соединение краевых выростов на промежуточных створках простое, не образующее узел (Рис. 3А). Двугубый вырост на конечной створке в виде длинной узкой трубки слегка изогнут в дистальной части. Расположен близко к краю створки, практически между краевыми выростами. Двугубый вырост на промежуточных створках также располагается у края створки, между краевыми выростами; часто занимает место одного из них, упираясь в соединение краевых выростов соседней створки. Представлен в виде длинной узкой трубки, по высоте почти равен краевым выростам. Поясок представлен центральным продольным ободком с поперечными ветвящимися рёбрами, между которыми расположены ряды мелких пор.

В районе исследования вид отмечали одиножды в летний период (июнь 2013 г.); вместе с ним одновременно вегетировали нескольких видов рода – *S. dohrnii*, *S. japonicum* при температуре воды 11–21.5 °С и солёности 25–32‰.

Skeletonema dohrnii Sarno & Kooistra

Клетки со стороны пояска от четырёхугольных с закруглёнными углами до почти округлых, шириной 2.7–10.9 мкм. Колонии цепочкообразные, слегка изогнутые, длинные, состоят из 2–110 клеток. В каждой клетке один-два хлоропласта (Рис. 3В).

Створки округлые, слегка выпуклые. В центре каждой створки расположен чётко выраженный анулус (Рис. 3С). Ареолы крупные (28–50 в 10 мкм), расположены прямыми дихотомически разветвляющимися рядами; в центральной части створки преимущественно четырёхугольной формы, у края створки изменяются до треугольных либо закруглённых. Поверхность створки гладкая, иногда с несколькими рядами мелких шипов различной формы на сгибе створки вплоть до пояса (Рис. 3D). Краевые выросты длинные, прямые, от 6 до 29 на каждой створке. Каждый краевой вырост на промежуточной створке соединяется с одним (1:1) или двумя (1:2) (Рис. 3Е, F); в месте соединения образуют узел. В дистальной части краевые выросты на конечной створке расширены, по краю обрамлены мелкими зубчиками (Рис. 3D, G). Двугубый вырост на промежуточной створке имеет форму узкой, короткой трубки. Но иногда представлен длинной узкой трубкой (до 1.55 мкм); расположен между краевыми выростами (Рис. 3Е). Двугубый вырост на конечной створке представлен в виде длинной узкой трубки, равномерно расширяющейся дистально; чаще один, редко два (Рис. 3D, G, H). Положение двугубого выроста варьирует от центрального

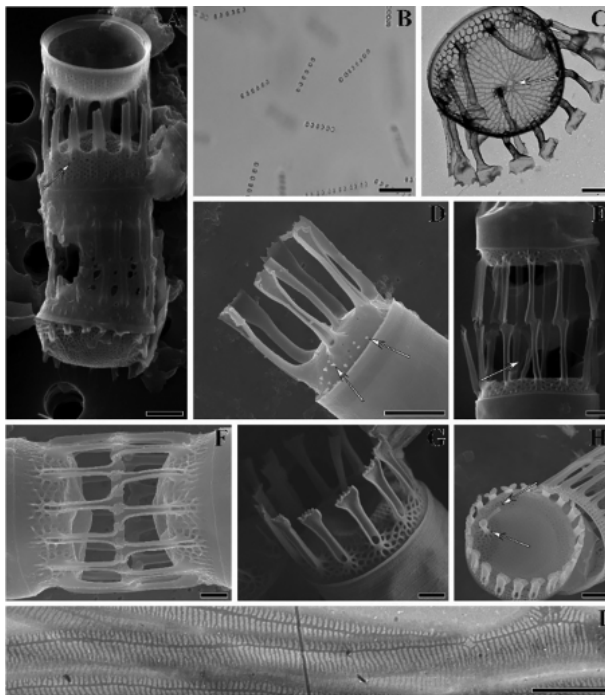


Рис. 3. *Skeletonema costatum* (A), *Skeletonema dohrnii* (B–I): А – пора в основании краевых выростов на промежуточной створке (стрелка); В – колонии; С – конечная створка, анулус (стрелка), расположение двугубого выроста по центру створки; D – конечная створка, сгиб створки с многочисленными мелкими шипами различной формы (стрелки), двугубый вырост в виде узкой длинной трубки; Е – промежуточные створки, соединение краевых выростов (1:1), двугубый вырост на промежуточной створке (стрелка); F – промежуточные створки, соединение краевых выростов (1:2); G – конечная створка, форма краевых выростов с мелкими зубцами по краю, двугубый вырост в виде узкой длинной трубки; H – конечная створка, два двугубых выроста (стрелки); I – пояс, вставочные

полосы, ряды многочисленных мельчайших пор, разделенных гиалиновыми областями.

Масштабная линейка: А, С–I = 1 мкм, В = 20 мкм. СМ – В, СЭМ – А, D–H, ТЭМ – С, I.

Fig. 3. *Skeletonema costatum* (A), *Skeletonema dohrnii* (B–I): A – pore at the base of marginal processes on intercalary valve (arrow); B – shapes of colonies and cell size; C – terminal valve, annulus (arrow), terminal rimoportula process in subcentral position; D – terminal valve with multiple small spines (arrow) on valve margin, terminal rimoportula visible as a long narrow tube; E – intercalary valves, intercalary fuloportula process junction (1:1), intercalary rimoportula process (arrow); F – intercalary valves, intercalary fuloportula process junction (1:2); G – terminal valve, terminal fuloportula processes with small denticles on the tips, terminal rimoportula appearing as a long narrow tube; H – terminal valve, two rimoportula processes (arrows); I – girdle, intercalary bands, rows of pores interspersed by hyaline areas.

Scale bar: A, C–I = 10 µm; B = 20 µm. LM – B, SEM – A, D–H, TEM – C, I.

до практически краевого (Рис. 3D, G). При наличии нескольких двугубых выростов они располагаются ближе к краю створки (Рис. 3H). Высота двугубого выроста на конечной створке равна (Рис. 3D) или больше высоты краевых выростов. Поясок состоит из многочисленных вставочных ободков, структурированных вертикальными рядами пор (12–15 в 1 мкм) различной формы – от округлой до четырёхугольной, между которыми располагаются гиалиновые области (Рис. 3I).

Массовое развитие вида отмечали при температуре 17–25 °C и солёности 25–29‰. Вид образовывал летнее «цветение» воды в июне.

Skeletonema japonicum Zingone & Sarno

Клетки со стороны пояса прямоугольные с закруглёнными углами, шириной 3.0–7.6 мкм, объединены в длинные прямые колонии до 30 клеток. В каждой клетке содержится от двух до четырёх хлоропластов (Рис. 4A). Створки округлые, слегка или сильно выпуклые, с отчётливой сетью ареол на поверхности. Ареолы крупные (38–68 в 10 мкм), с плотными ребрами, расположены радиальными рядами, дихотомически разветвляющимися к краю створки (Рис. 4B). Форма ареол изменяется от треугольной до четырёхугольной. Поверхность створки иногда покрыта кремнистым слоем, скрывающим ареолы (Рис. 4C). Анулюс слабо выражен, либо отсутствует (Рис. 4B). Краевые выросты прямые, длинные, 6–37 на каждой створке.

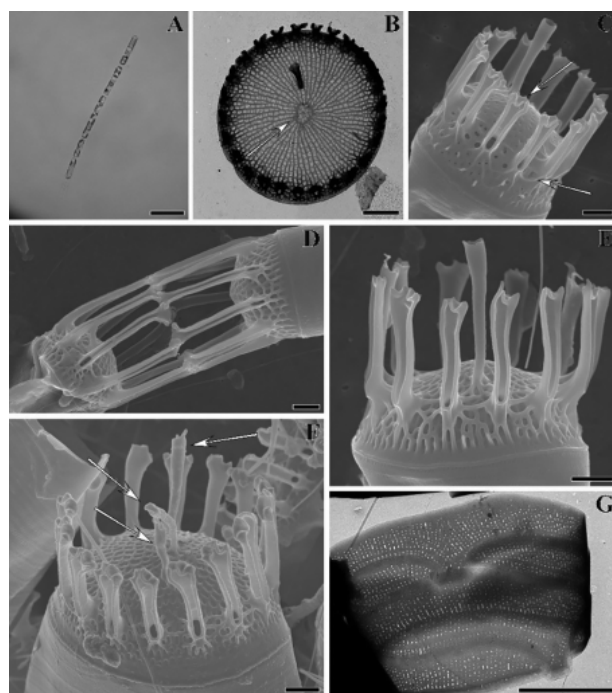


Рис. 4. *Skeletonema japonicum*:

A – фрагмент колонии, клетки с двумя и четырьмя хлоропластами; B – конечная створка, ряды пор, дихотомически разветвляющиеся к краю створки, анулюс слабо выражен (стрелка); C – конечная створка, покрытая кремнистым слоем, форма краевых выростов, край зубчатый, слегка вдавленный (стрелка), двугубый вырост в виде длинной трубки; D – промежуточные створки, места соединения в виде «узелков», тип соединения 1:2 и 1:1; E – конечная створка, краевые выросты с зубчатыми краями; F – конечная створка с тремя двугубыми выростами (стрелки); G – поясок, состоящий из множества вставочных ободков.

Масштабная линейка: A = 20 мкм, B, G = 2 мкм, C–F = 1 мкм. СМ – A, ТЭМ – C–F, ТЭМ – B, G.

Fig. 4. *Skeletonema japonicum*: A – detail of colony, cells with 2 and 4 chloroplasts; B – terminal valve, areolae arranged in rows dichotomously branching towards the valve margin; C – terminal valve covered with siliceous layer, terminal fulcrortula processes with dentate margin, slightly impressed (arrow), terminal rimoportula process appearing as a long narrow tube; D – intercalary valves, intercalary fulcrortula processes with 1:1 and 1:2 knot-like junctions; E – terminal valve, terminal fulcrortula processes with pronounced denticles on the tip; F – terminal valve with 3 terminal rimoportula processes (arrows); G – girdle consisting of numerous intercalary bands. Scale bar: A = 20 μm, B, G = 2 μm, C–F = 1 μm. LM – A, SEM – C–F, TEM – B, G.

Краевые выросты на промежуточных створках соединяются сильно расклепёнными концами с соседними, с одним (1:1) или двумя (1:2), образуя в местах соединения «узелки» (Рис. 4D). Краевые выросты на конечной створке слабо расширены в дистальной части, со слегка вдавленным по краям зубчатым краем. Высота зубцов изменяется от едва заметных до хорошо выраженных (Рис. 4C, E, F). На внутренней части краевых выростов отмечены рёбра жёсткости. Двугубый вырост на промежуточной створке имеет форму короткой трубки, расположен между краевыми выростами. Двугубый вырост на конечной створке в виде длинной, расширенной трубки с несколькими шипами на краю; высота равна или выше краевых выростов (Рис. 4C, E, F). На конечной створке один или два двугубых выроста располагаются ближе к центру створки, либо близко к краю (Рис. 4C, E, F). Поясок состоит из множества вставочных ободков с вертикальными рядами пор (13–15 в 1 мкм), которые чередуются с прозрачными участками; форма пор от округлой до четырёхугольной (Рис. 4G).

Вид массово развивался при температуре от -1.8°C до 10°C и солёности 30–34‰. Приуроченность вида к сравнительно низким температурам и высокой солёности соответствовала осенне–зимнему сезону (октябрь, ноябрь). Также *S. japonicum* обуславливал «цветение» воды октябре.

***Skeletonema marinoi* Sarno & Zingone**

Клетки со стороны пояса от квадратных до прямоугольных с закруглёнными углами, шириной 2–7 мкм. Колонии длинные, прямые или слегка изогнутые, состоящие из 2–30 клеток. В каждой клетке 1–2 крупных хлоропласта, расположенных пристенно (Рис. 5A). Створки округлые, выпуклые. Анулюс отсутствует. Ареолы крупные (45–60 в 10 мкм), образующие дихотомически разветвленные радиальные ряды. Форамены ареол от округлых до четырёхугольных (Рис. 5B). Краевые выросты длинные, прямые, от 6 до 17 на каждой створке. Краевые выросты на промежуточных створках расширены в дистальной части, место соединения с соседней створкой в виде «узелка» с одним (1:1) или двумя (1:2) краевыми выростами (Рис. 5C, D). Краевые выросты на конечных створках резко расширяются дистально; края выростов зубчатые (Рис. 5B, E). Двугубый вырост на конечной створке в форме длинной узкой трубки, расширяющейся в дистальной части; высота равна или чуть выше краевых выростов (Рис. 5B, E), положение ближе к центру (Рис. 5B, E). Двугубый вырост на промежуточных створках в виде короткой узкой трубки располагается близко к краю створки между краевыми выростами (Рис. 5F). Поясок состоит из вставочных ободков с многочисленными вертикальными ребрами (12 в 1 мкм) (Рис. 5? G).

Массовое развитие вида отмечали при температуре $17.5\text{--}21.5^{\circ}\text{C}$ и солёности 25.4–33.2‰, чаще в сентябре. Единичные колонии *S. marinoi* регистрировали до декабря.

***Skeletonema menzelii* Guillard, Carpenter et Reimann**

Одиночные клетки, шириной 2–7 мкм, иногда встречаются колонии из двух клеток. Со стороны пояса клетки двояковыпуклые, линзовидные. В каждой клетке 1–2 хлоропласта, расположенных пристенно (Рис. 6A). Створки округлые, плоские или почти плоские, слабо окремнённые. Анулюс слабо выражен, расположен в центре створки. На поверхности створки от центра дихотомически расходятся рёбра; между соседними рёбрами располагаются 1–2 ряда мелких пор. Ареолы отсутствуют (Рис. 6B). Краевые выросты длинные, тонкие, прямые, в дистальной

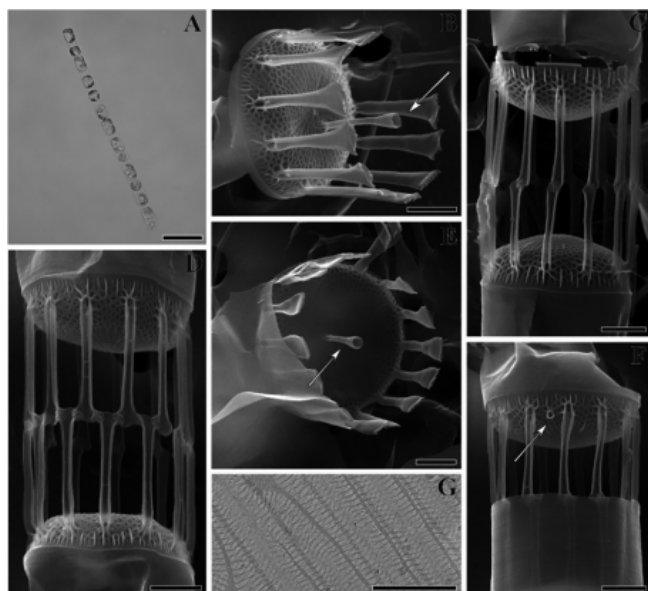


Рис. 5. *Skeletonema marinoi*: А – фрагмент колонии, клетки с 1–2 крупными хлоропластами; В – конечная створка, форма и расположение ареола, расположение двугубого выроста ближе к центру (стрелка); С – промежуточные створки, форма краевых выростов, соединения 1:1; D – промежуточные створки, форма краевых выростов, соединения 1:2 в форме «узелка»; Е – конечная створка, краевые выросты резко расширяются дистально, края выростов зубчатые, расположение двугубого выроста ближе к центру (стрелка); F – промежуточные створки, двугубый вырост в виде короткой узкой трубки, располагается близко к краю створки между краевыми выростами (стрелка); G – поясок, состоящий из множества вставочных ободков.

Масштабная линейка: А = 20 мкм, В, Е = 1 мкм, С, D, F = 2 мкм. СМ – А, СЭМ – В–F, ТЭМ – G.

Fig. 5. *Skeletonema marinoi*: A – detail of colony, cells with 1–2 large chloroplasts; B – terminal valve, shape and arrangement of areolae, terminal rimoportula process placed closer to valve centre (arrow); C – intercalary valves, intercalary fuloportula processes, 1:1 junction; D – intercalary valves, intercalary fuloportula processes with knot-like 1:2 junction; E – terminal valve, terminal fuloportula processes strongly flared distally, with dentate tips, terminal rimoportula process placed closer to valve centre (arrow); F – intercalary rimoportula process appearing as a short narrow tube, located between intercalary fuloportula processes (arrow); G – girdle consisting of numerous intercalary bands.

Scale bar: A = 20 μ m, B, E = 1 μ m, C, D, F = 2 μ m. LM – A, SEM – B–F, TEM – G.

части оканчиваются 2–3 острыми шипами (Рис. 6С). Количество краевых выростов от 5 до 13, в базальной части каждого расположена пара сателлитных пор (Рис. 6D). Основание всех краевых выростов окружено рёбрами жёсткости, образующими характерный звёздчатый рисунок (Рис. 6D). Двугубый вырост на конечной створке в виде длинной узкой трубки, слегка расширяющейся в дистальной части; расположен близко к центру (Рис. 6В). Поясок представлен рядами вставочных ободков со слабо окремнёнными поперечными рёбрами (Рис. 6Е).

Вид достигал максимальных значений в весенний период (март–апрель) при сильно пониженной солёности 11‰ и низкой температуре воды 0 °С в период таяния льда. Единичные колонии *S. menzelii* регистрировали в августе, сентябре, декабре.

Изучение данных полевых сборов, выделение лабораторных клонов, последующая их идентификация с применением электронной микроскопии показало, что представители *Skeletonema* в районе исследования присутствовали в планктоне круглогодично. Численность видов рода изменялась от единичных клеток *S. menzelii* в зимний период (декабрь), до вспышек развития *S. dohrnii* и *S. japonicum*, обуславливающих «цветение» воды в летний (июнь) и осенний (октябрь) периоды, соответственно. Плотность видов в течение года была неравномерной, наибольшей плотности они достигали в летне-осенний период, виды рода определяли пики плотности фитопланктона, их доля достигала 99% от общей плотности микроводорослей.

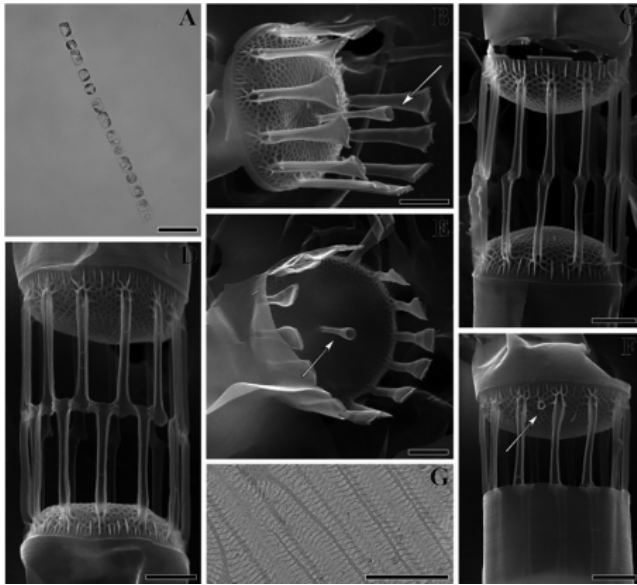


Рис. 6. *Skeletonema menzelii*: А – колонии из двух клеток; В – конечная створка, дихотомически расходящиеся ребра, ареолы отсутствуют, расположение двугубого выроста близко к центру (стрелка); С – краевые выросты длинные, тонкие, прямые, в дистальной части с острыми шипообразными выступами (стрелки); D – пара сателлитных пор, расположенных в базальной части краевого выроста (стрелки); E – поясик из вставочных ободков с окремненными поперечными ребрами. Масштабная линейка: А = 20 мкм, В, С = 2 мкм, D = 1 мкм. СМ – А, СЭМ – С, ТЭМ – В, D, E.

Fig. 6. *Skeletonema menzelii*: A – colonies of 2 cells; B – terminal valve, costae dichotomously branching, areolae absent, TRPP located subcentrally (arrow); C – fuloportula processes long, thin, straight, with sharp spinous projections at distal ends (arrows); D – pair of satellite pores at the base of fuloportula process (arrows); E – girdle consisting of intercalary bands.

Scale bar: A = 20 μm , B, C = 2 μm , D = 1 μm . LM – A, SEM – C, TEM – B, D, E.

За весь период наблюдения плотность видов рода изменялась от 20 кл./л (апрель 1997 г.) до 12.7 млн кл./л (июль 1996 г.).

Динамика «цветений» воды в течение года, обусловленная массовым развитием *Skeletonema* spp., чаще всего характеризовалась одним–тремя пиками. Во время многократного «цветения», летняя вспышка плотности рода превосходила осеннее «цветение» воды, вызванное массовым развитием *Skeletonema* spp.

Многолетний тренд количественной динамики выявил уменьшение пиков плотности *Skeletonema* и фитопланктона в целом от 1996 года (12.7 млн кл./л) к 2018 г. А с 2019 г. снова начали регистрировать «цветение» воды, вызванное массовым развитием *Skeletonema* spp. (от 4.2 млн кл./л)

В районе исследования обнаружены пять видов *Skeletonema*, в целом, для северо-западной части Японского моря известно шесть видов (Shevchenko, Aizdaicher 2014). Анализ данных научной литературы показал, что число видов в различных районах Мирового океана варьирует от трех до семи. Наибольшее видовое разнообразие *Skeletonema* было зафиксировано в прибрежных водах Японии (Yamada et al. 2010), у побережья Китая (Gu et al. 2012) и в заливе Наррагансэт (Canesi, Rynearson 2016). Отмечено, что нет зависимости видового разнообразия от долговременности наблюдений. Так, семь видов идентифицировано на основании шестилетнего периода наблюдений в заливе Наррагансэт, и такое же число видов определено в водах Японии в исследованиях, выполненных на протяжении двух лет. А на основании долговременных наблюдений, охватывающих более 12 лет, в водах северной Адриатики выявлено только три вида *Skeletonema* (Pfannkuchen et al. 2018). В типично морских широко исследованных районах число видов варьировало от трех до семи (Jung et al. 2009; Gu et al. 2012; Yamada et al. 2014; Canesi, Rynearson 2016; Pfannkuchen et al. 2018), такое же видовое разнообразие отмечали и в распреснённых

водах – эстуарии, нижнее течение рек (Cheng et al. 2008; Bergesch et al. 2009; Yamada et al. 2010, 2013; Hevia-Orube et al. 2016).

Широко известно, что представителей *Skeletonema* можно легко идентифицировать в планктоне до рода по наличию длинных, хорошо различимых в световом микроскопе, выростов, характерно соединяющих клетки в колонии. Видовая же идентификация на уровне световой микроскопии осложнена значительным перекрытием диагностических признаков. С начала использования для видовой идентификации электронной микроскопии (Sarno et al. 2005; Zingone et al. 2005) опубликован ряд работ с подтверждением вариативности диагностических признаков, в том числе и основных (размер клетки, число краевых выростов, количество ареол, двугубых выростов) (Ellegaard et al. 2008; Yamada et al. 2010; Gu et al. 2012; Pfannukuchen et al. 2017; Shevchenko et al. 2019). В целом, для морских диатомей даже в пределах одного клона характерна высокая степень морфологической и генетической изменчивости (Mann, Evans 2007). Установлено, что одной из причин существенной вариации диагностических признаков диатомовых и, в частности *Skeletonema*, служит приуроченность к определённым экологическим условиям (Gu et al. 2012; Pfannukuchen et al. 2017). Исключение составляют только *S. marinoi* и *S. dohrnii* – широко распространённые виды, вызывающие «цветение» воды в умеренных и субтропических водах Мирового океана (Kooistra et al. 2008; Yamada et al. 2014).

Анализ оригинальных данных показал, что морфология клеток изученных нами видов *Skeletonema* в целом соответствует первоописанию и согласуется с данными других исследователей. Однако для видов *S. dohrnii*, *S. japonicum*, *S. marinoi* отмечены некоторые отличия. Так, на створках *S. dohrnii* количество краевых выростов разнится со сведениями, указанными в литературе – 6–29 выростов (8–13 – Sarno et al. 2005; 8–10 – Jung et al. 2009); отмечено меньшее количество ареол в 10 мкм – 28–50 (38–47 Sarno et al. 2005). Количество краевых выростов у *S. japonicum* (6–37) больше приведённых в литературе (6–8 – Sarno et al., 2005; 8–12 – Shevchenko, Aizdaicher 2014). Больше ареол в 10 мкм – 45–60 и на створке *S. marinoi*, чем упоминается в литературе (33–58 – Sarno et al. 2005), также отличается число краевых выростов – 6–17 (9–11 – Sarno et al. 2005; 9–13 – Jung et al. 2009). Зарегистрировано более одного двугубого выроста на конечных створках *S. japonicum* и *S. dohrnii*. При анализе основных морфологических признаков видов рода стоит обращать внимание на такие надёжные признаки (Sarno et al. 2005; Zingone et al. 2005; Sarno et al. 2007), как строение краевых выростов – наличие шипообразных выростов у *S. japonicum*, обрамление мелкими зубцами у *S. dohrnii*, широко расклешённые, с мелкозубчатым краем у *S. marinoi*, длинные, тонкие с 2–3 острыми шипами у *S. menzelii*. Также при обработке рутинных полевых проб северо-западной части Японского моря можно учитывать сезонность развития тех или иных видов рода: *S. dohrnii* развивается в массе в июне (температура воды 17–25 °С, солёность 25–29‰), *S. japonicum* образовывал осенние «цветения» воды в октябре (температура от –1.8 °С до 10 °С, солёность 30–34‰), развитие *S. marinoi* чаще отмечали в сентябре (температура 17.5–21.5 °С, солёность 25.4–33.2‰), *S. menzelii* достигает максимальных значений в весенний сезон (март–апрель), в период активного таяния льда (температура 0 °С, солёность 11‰).

Заключение

Изучена морфология представителей одного из наиболее массовых родов морских планктонных диатомовых водорослей в морях умеренной зоны. Представленные в работе виды рода *Skeletonema* известны как широко распространённые

в Мировом океане. Полученные данные подчеркивают, что в планктоне одновременно могут вегетировать несколько видов рода *Skeletonema*, однако «цветение» всегда сформировано только одним видом. Так, *S. marinoi* чаще отмечали в сентябре, *S. japonicum* вегетирует в районе исследования при более низкой температуре воды и высокой солености (октябрь), *S. dohrnii* преобладает в планктоне летом (июнь), *S. menzelii* достигает максимальных значений в весенний сезон (март–апрель). Таким образом, полученные результаты значительно упрощают процесс идентификации видов при проведении мониторинговых исследований, что имеет важное значение для оценки состояния экосистемы и прогнозирования изменений в фитопланктонных сообществах в зависимости от сезонных условий.

Благодарности

Работа выполнена на базе Центра коллективного пользования «Приморский океанариум». Авторы выражают благодарность за предоставление части иллюстраций научному сотруднику Лаборатории биотехнологии морских микроводорослей Приморского океанариума Марии Александровне Шульгиной, и ведущему специалисту ЦКП «Приморский океанариум» Кириллу Олеговичу Тевсу.

Литература (References)

- Киселёв И. А.** 1947. Фитопланктон дальневосточных морей как показатель некоторых особенностей их гидрологического режима // *Труды государственного океанографического института*. Вып. 1(13). С. 189–212. (**Kiselev I. A.** 1947. Phytoplankton of the Far Eastern seas as an indicator of some features of the hydrological regime. *Trudy Gosudarstvennogo Okeanograficheskogo Instituta* 1(13): 189–212. [In Russian].).
- Коновалова Г. В., Орлова Т. Ю., Паутова Л. А.** 1989. Атлас фитопланктона Японского моря. – Л.: Наука. 160 с. (**Konvalova G. V., Orlova T. Yu., Pautova L. A.** 1989. Atlas of phytoplankton the Sea of Japan. Leningrad: Nauka, 160 pp. [In Russian].).
- Орлова Т. Ю., Айздайчер Н. А., Стоник И. В.** 2011. Лабораторное культивирование морских микроводорослей, включая продуцентов фитотоксинов: научно-методическое пособие. – Владивосток: Дальнаука. 89 с. (**Orlova T. Yu., Aizdaicher N. A., Stonik I. V.** 2011. Manual on laboratory cultivation of marine microalgae, including toxic species. Vladivostok: Dalnauka, 89 pp. [In Russian].).
- Сёмина Г. И., Микаэлян А. С.** 1993. Фитопланктон разных размерных групп в северо-западной части Тихого океана в летнее время // *Океанология*. Том 33, № 5. С. 117–124. (**Semina G. I., Mikaelian A. S.** 1993. Phytoplankton of different size groups in the north-western part of the Pacific Ocean in the summer. *Oceanology* 33(5): 117–124. [In Russian].).
- Сорокин Ю. И.** 1997. Первичная продукция в Охотском море // Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. – М.: ВНИРО. С. 103–110. (**Sorokin Yu. I.** 1997. Primary production in the Sea of Okhotsk. In: Integrated studies of the Okhotsk Sea ecosystem. Moscow: VNIRO, pp. 103–110. [In Russian].).
- Фёдоров В. Д.** 1979. О методах изучения фитопланктона и его активности. – Москва: Изд-во МГУ. 167 с. (**Fedorov V. D.** 1979. Methods for Studying Phytoplankton and Its Activity. Moscow: Izdatelstvo MGU, 167 pp. [In Russian].).
- AlgaeBase: Listing the World's Algae.* <https://www.algaebase.org/> (accessed on February 10, 2026)
- Alverson A. J., Kolnick L.** 2005. Intragenomic nucleotide polymorphism among small subunit (18S) rDNA paralogs in the diatom genus *Skeletonema* (Bacillariophyta). *Journal of Phycology* 41: 1248–1257. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.00136.x>
- Andersen P., Throndsen O.** 2003. Estimating cell numbers. In: Hallegraeff G. M., Anderson D. M., Cembella A. D. (Eds.). Manual on Harmful Marine Microalgae. Paris: Imprimerie Landais, pp. 99–130.
- Bergesch M., Garsia M. Odebrecht, C.** 2009. Diversity and morphology of *Skeletonema* species in southern Brazil, southwestern Atlantic Ocean. *Journal of Phycology* 45: 1348–1352. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2009.00743.x>.
- Canesi K. L., Rynearson T. A.** 2016. Temporal variation of *Skeletonema* community composition from a long-term time series in Narragansett Bay identified using high-throughput DNA sequencing. *Marine Ecology Progress Series* 556: 1–16. <https://doi.org/10.3354/meps11843>

- Chen G.-F., Wanf G.-C., Zhang, B.-Y. et al. 2007. Morphological and phylogenetic analysis of *Skeletonema costatum*-like diatoms (Bacillariophyta) from China Sea. *European Journal of Phycology* 42: 163–175. <https://doi.org/10.1080/09670260601149784>
- Cheng J., Li Ya., Liang J. et al. 2008. Morphological variability and genetic diversity in five species of *Skeletonema* (Bacillariophyta). *Progress in Natural Science* 18: 1345–1355. <https://doi.org/10.1016/J.PNSC.2008.05.002>
- Cleve P. T. 1873. Examination of diatoms found on the surface of the sea of Java. *Bihang till Kongl. Svenska vetenskaps-akademiens handlingar* 11: 3–13.
- Daniel R. 2016. Antibacterial activity of the marine diatom *Skeletonema costatum* against selected human pathogens. *International Journal of Current Pharmaceutical Research* 7 (5): 233–236.
- Ellegaard M., Godhe A., Härnström K. et al. 2008. The species concept in a marine diatom: LSU rDNA-based phylogenetic differentiation in *Skeletonema marinoi/dohrnii* (Bacillariophyceae) is not reflected in morphology. *Phycologia* 47: 156–167. <https://doi.org/10.2216/07-09.1>
- Greville R. K. 1865. Description of new and rare diatoms. *The Transactions of the Microscopical Society of London, Series 16*. 13: 43–57.
- Greville R. K. 1866. Description of new and rare diatoms // *The Transactions of the Microscopical Society of London, Series 20* 14: 77–86.
- Gu H., Zhang X., Sun J. et al. 2012. Diversity and seasonal occurrence of *Skeletonema* (Bacillariophyta) species in Xiamen Harbour and Surrounding Seas, China. *Cryptogamie, Algologie* 33: 245–263. <https://doi.org/10.7872/crya.v33.iss3.2012.245>
- Hasle G. R. 1973. Morphology and taxonomy of *Skeletonema costatum* (Bacillariophyceae). *Norwegian Journal of Botany* 20: 109–137
- Hasle G. R., Fryxell G. A. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Transactions of the American Microscopical Society* 89: 469–474.
- Hevia-Orube J., Orive E., David H. et al. 2016. *Skeletonema* species in temperate estuary: a morphological, molecular and physiological approach. *Diatom Research* 31(3): 1–13. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2016.1228548>
- Jung S. W., Yun S. M., Lee S. D. et al. 2009. Morphological characteristics of four species in the genus *Skeletonema* in coastal waters of South Korea. *Algae* 24(4): 195–203. <https://doi.org/10.4490/ALGAE.2009.24.4.195>
- Kooistra W. H. C. F., Sarno D., Balzano S. et al. 2008. Global diversity and biogeography of *Skeletonema* species (Bacillariophyta). *Protist* 159: 177–193. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2007.09.004>
- Lauritano C., Andersen J. H., Hansen E. et al. 2016. Bioactivity screening of microalgae for antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, anti-diabetes, and antibacterial activities. *Frontiers in Marine Science* 3: 68. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00068>
- Lauritano C., Martin J., De la Cruz M. et al. 2018. First identification of marine diatoms with antituberculosis activity. *Scientific Reports* 8: 2284. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20611-x>
- Mann D. G., Evans K. M. 2007. Molecular genetics and the neglected art of diatomics. In: Brodie J., Lewis J. (Eds.), *Unravelling the algae: The past, present and future of algal systematics*. Boca Raton, Florida: CRC Press, 231–266.
- Naviner M., Bergé J.-P., Durand P., Le Bris H. 1999. Antibacterial activity of the marine diatom *Skeletonema costatum* against aquacultural pathogens. *Aquaculture* 174: 15–24. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00513-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00513-4)
- Norman G. 1857. Notes on some new and rare Diatomaceae from the stomachs of Ascidiae. *The Annals and magazine of Natural History, Series 2* 20: 158–159.
- Pfannkuchen D. M., Godrijan J., Tanković M. S. 2018. The Ecology of one cosmopolitan, one newly introduced and one occasionally advected species from the genus *Skeletonema* in a highly structured ecosystem, the Northern Adriatic. *Microbial Ecology* 75: 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1069-9>
- Ross R., Cox E. J., Karayeva N. I. et al. 1979. An amended terminology for the siliceous components of the diatom cell. *Nova Hedwigia Beihefte* 64: 513–533.
- Sarno D., Kooistra W. H. C. F., Balzano S. et al. 2007. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae): III. Phylogenetic position and morphological variability of *Skeletonema costatum* and *Skeletonema grevillei* with the description of *Skeletonema ardens* sp. nov. *Phycologia* 43 (1): 156–170. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2006.00305.x>
- Sarno D., Kooistra W. H. C. F., Medlin L. K. et al. 2005. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae): II. An assessment of the taxonomy of *S. costatum*-like species with

- the description of four new species. *Journal of Phycology* 41: 151–176. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.04067.x>
- Shevchenko O. G., Aizdaicher N. A.** 2014. The morphology and development in laboratory culture of the diatoms *Skeletonema grethae* Zingone et Sarno, 2005 and *S. japonicum* Zingone et Sarno, 2005, which are new to the seas of Russia. *Russian Journal of Marine Biology* 40(4): 266–272. <https://doi.org/10.1134/S1063074014040129>
- Shevchenko O. G., Orlova T. Yu., Maslennikov S. I.** 2004. Seasonal Dynamics of the Diatoms of the Genus *Chaetoceros* Ehrenberg in Amursky Bay (Sea of Japan). *Russian Journal of Marine Biology* 30(1): 11–19. <https://doi.org/10.1023/B: RUMB.0000020564.12182.b8>
- Shevchenko O. G., Ponomareva A. A.** 2015. The morphology and ecology of the marine diatom *Skeletonema marinoi* Sarno et Zingone, 2005 from the Sea of Japan. *Russian Journal of Marine Biology* 41(6): 453–456.
- Shevchenko O. G., Ponomareva A. A., Turanov S. V., Dutova D. I.** 2019. Morphological and genetic variability of *Skeletonema dohrnii* and *Skeletonema japonicum* (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan. *Phycologia* 58(1): 95–107. <https://doi.org/10.1080/00318884.2018.1517540>
- Shevchenko O. G., Ponomareva A. A., Shulgina M. A., Tevs K. O., Orlova T. Yu.** 2022. *Skeletonema* species (Bacillariophyta) from the northwestern Sea of Japan: morphology, ecology, seasonal and long-term dynamics. *Botanica Marina* 65(3): 1–17 <https://doi.org/10.1515/bot-2021-0102>
- Truby E. W.** 1997. Preparation of single-celled marine dinoflagellates for electron microscopy. *Microscopy Research and Technique* 36: 337–340.
- Yamada M., Katsuki E., Otsubo M. et al.** 2010. Species Diversity of the Genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae) in the Industrial Harbor Dokai Bay. *Journal of Oceanography* 66: 755–771. <https://doi.org/10.1007/s10872-010-0062-4>
- Yamada M., Otsubo M., Kodama M. et al.** 2014. Species composition of *Skeletonema* (Bacillariophyceae) in planktonic and resting-stage cells in Osaka and Tokyo Bays. *Plankton and Benthos Research* 9: 168–175. <https://doi.org/10.3800/pbr.9.168>
- Yamada M., Otsubo M., Tsutsumi Y. et al.** 2013. Species diversity of the marine diatom genus *Skeletonema* in Japanese brackish water areas. *Fisheries Science* 70: 923–934. <https://doi.org/10.1007/s12562-013-0671-0>
- Zingone A., Percopo I., Sims P. A. et al.** 2005. Diversity in the genus *Skeletonema* (Bacillariophyceae). I. A re-examination of the type material of *Skeletonema costatum*, with the description of *S. grevillei* sp. nov. *Journal of Phycology* 41: 140–50. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2005.04066.x>
- Zvyagintsev A. Yu., Radashevsky V. I., Ivin V. V. et al.** 2011. Nonindigenous Species in the Far Eastern Seas of Russia. *Russian Journal of Biological Invasions* 2(2–3): 164–182.

УДК 639.6

https://doi.org/10.25221/2782-1978_2026_2_4

<https://elibrary.ru/xjgydp>

Выращивание живых кормов в условиях Приморского океанариума

Ольга Борисовна Гостюхина

Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии
им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация

E-mail: gostiukhina_ob@primoceano.ru

Получена 27 апреля 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. Представлены данные по культивированию живых кормов в Приморском океанариуме. Объект исследования – девять видов морских микроводорослей (*Nannochloropsis* sp., *Dunaliella salina*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Isochrysis galbana*, *Chlorella vulgaris*, *Tetraselmis* sp., *Chaetoceros muelleri*, *Rhodomonas salina*, *Porphyridium purpureum*), пресноводная цианобактерия *Arthrospira platensis*, два вида дафний (*Daphnia magna* и *Daphnia pulex*), солоноводная коловратка *Brachionus plicatilis* и жаброногий рачок *Artemia salina*. Обобщены и внедрены методики культивирования и повышения биологической ценности живых кормов. Для микроводорослей применяют накопительный и полунепрерывный режимы культивирования. Дафний выращивают в пресной воде, коловраток и артемий – в морской, соленостью 32–34‰. Для повышения питательной ценности кормов проводится их обогащение путем смешивания различных организмов. Используемые методы позволяют круглогодично обеспечивать личинок и молодь гидробионтов Приморского океанариума достаточным количеством качественных кормовых объектов.

Ключевые слова: живые корма, микроводоросли, выращивание, температурный режим, питательная среда, коловратка, дафния, артемия, спирулина.

Cultivation of live feed at the Primorsky Aquarium

Olga B. Gostiukhina

Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center
for Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,

Vladivostok, 690017, Russian Federation

E-mail: gostiukhina_ob@primoceano.ru

Received April 27, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. The data on the cultivation of live feeds in the Primorsky Aquarium are presented. The object of the study are: nine species of marine microalgae (*Nannochloropsis* sp., *Dunaliella salina*, *Phaeodactylum tricornutum*, *Isochrysis galbana*, *Chlorella vulgaris*, *Tetraselmis* sp., *Chaetoceros muelleri*, *Rhodomonas salina*, *Porphyridium purpureum*), the freshwater cyanobacterium *Arthrospira platensis*, two species of daphnia (*Daphnia magna* and *Daphnia pulex*), the brackish-water rotifer *Brachionus plicatilis*, and the brine shrimp *Artemia salina*. The methods of cultivation and increasing the biological value of live feed were synthesized and implemented. Microalgae were produced using batch and semi-continuous modes. *Daphnia* were reared in fresh water, while rotifers and brine shrimps were maintained in seawater at a salinity of 32–34‰. To increase the nutritional value of the feeds, they were enriched by combining different organisms. The applied methods ensure the year-round supply of a sufficient amount of high-quality live feed to the larvae and juvenile aquatic organisms kept at the Primorsky Aquarium.

Keywords: live feeds, microalgae, cultivation, temperature regime, nutrient medium, rotifer, *Daphnia*, *Artemia*, *Spirulina*.

Введение

Использование живых кормов выступает определяющим фактором успеха при выращивании гидробионтов, особенно на стадиях раннего онтогенеза (Моисеев 2007). В этот период личинки и молодь крайне чувствительны к качеству питания: корм должен быть не только максимально питательным, но и легкодоступным. Живые

корма, богатые белками, полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами и микроэлементами, обеспечивают ускоренный рост и высокую сопротивляемость организмов заболеваниям (Басонов и др. 2024). Некоторые виды зоопланктона содержат высокий уровень пищеварительных ферментов, которые активируют ферментативную систему самих личинок, стимулируя их пищевую активность (Hamidreza et al. 2017).

Помимо питательной ценности, живые корма необходимы для имитации естественных экосистем. Движение кормовых объектов стимулирует охотничий инстинкт молоди рыб, что значительно улучшает поедаемость по сравнению с искусственными кормами (Тарасенко 2016; Басонов и др. 2024; Мамонова, Бригида 2024). Важным преимуществом применения живых кормов является их положительное влияние на качество воды: живые организмы длительное время не оседают, не склонны к быстрому разложению и гниению, что снижает вероятность загрязнения воды остатками пищи, а некоторые виды дополнительно способствуют биологической фильтрации (Басонов и др. 2024).

Целью данной работы является обобщение методов культивирования кормовых объектов и их адаптации к технологическим условиям Приморского океанариума. Внедрение данных методик направлено на обеспечение гидробионтов полноценным питанием и повышение их выживаемости в периоды роста и адаптации.

Материалы и методы

Работа выполнялась на базе научно-образовательного комплекса «Приморский океанариум» – филиала ННЦМБ им. А. В. Жирмунского ДВО РАН (далее – Приморский океанариум или Океанариум). Технологические мощности комплекса включают 135 аквариумных систем, обеспечивающих содержание многочисленных гидробионтов различных климатических зон (Приморский океанариум 2026).

Для обеспечения биологических потребностей животных разных трофических групп (фильтраторов, планктофагов, молоди рыб на ранних этапах развития, взрослых рыб со специфическим рационом) была сформирована база живых кормов, имитирующая естественные пищевые цепи. В качестве объектов культивирования были выбраны универсальные представители фито- и зоопланктона. Фитопланктон представлен морскими микроводорослями и пресноводной цианобактерией спирулиной, зоопланктон – коловратками и рачками дафнией и артемией.

На основе анализа научной литературы были определены и адаптированы к условиям Океанариума оптимальные параметры выращивания кормовых организмов. Основным критерием подбора методик стала возможность объединения нескольких объектов выращивания в одном помещении со сходным режимом содержания.

Для каждой группы организмов были установлены индивидуальные режимы выращивания (типы выростных ёмкостей, температура, солёность, освещение, аэрация и тип кормления). Применяемый подход позволил рационально использовать производственные площади Океанариума и обеспечить максимальную эффективность воспроизводства биомассы живых кормов.

Результаты и обсуждение

В процессе разведения рыб и беспозвоночных в искусственной среде обязательным требованием является применение живых кормов, особенно на ранних стадиях развития (Новоселова, Каниева 2024). По ряду причин физиологического характера личинки и мальки рыб не могут употреблять искусственные инертные

корма (Басонов и др. 2024). Согласно исследованиям некоторых авторов (Arvind et al. 2021; Lee et al. 2022; Li et al. 2018), живые корма влияют на микробиом кишечника личинок рыб. Так, кормление живыми кормами в сравнении с искусственным комбикормом повышало выживаемость личинок за счёт укрепления иммунитета и защиты от болезней (Arvind et al. 2021). В условиях Приморского океанариума содержится большое количество животных, таких как медузы, актинии, асцидии, многие виды кораллов, моллюски, иглокожие и т. д., для которых живой корм считается обязательным условием жизнедеятельности.

Для удовлетворения потребностей разных животных в живых кормах в Приморском океанариуме выращивают девять видов морских микроводорослей: *Nannochloropsis* sp., *Dunaliella salina* Teod., 1905, *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin, 1897, *Isochrysis galbana* Parke, 1949, *Chlorella vulgaris* M. Beijerinck, 1890, *Tetraselmis suecica* (Kyllin) Butcher, 1959, *Chaetoceros muelleri* Lemmermann 1898, *Rhodomonas salina* (Wislouch) D. R. A. Hill & R. Wetherbee, 1989, *Porphyridium purpureum* (Bory) K. M. Drew & R. Ross 1965, один вид пресноводной цианобактерии *Arthrospira platensis* (Nordstedt) Gomont, 1892 (спирулина), солоноводную коловратку *Brachionus plicatilis* O. F. Müller, 1786, рачков *Daphnia magna* Straus, 1820, *D. pulex* Leydig, 1860 (дафния) и *Artemia salina* Linnaeus, 1758 (артемия).

Микроводоросли

Микроводоросли представляют собой важную часть рациона многих водных организмов. Они являются первым звеном в пищевой цепи и служат основным источником питания для различных видов фильтраторов, таких как моллюски, кораллы, актинии (Басонов и др. 2024). В аквакультуре их используют для кормления личинок и молоди промысловых моллюсков и иглокожих, ракообразных и рыб. В условиях Океанариума микроводоросли микроводоросли? *Nannochloropsis* sp., *I. galbana*, *C. muelleri*, *C. vulgaris* используются в разведении солоноводной коловратки; *A. platensis* и *C. vulgaris* – для питания артемии на разных стадиях развития. Микроводорослями также кормят медуз, актиний, кораллов, креветок и молодь рыб.

Для некоторых гидробионтов, выращиваемых в Океанариуме, микроводоросли являются основным кормом и должны удовлетворять ряду требований: иметь соответствующий размер, удобный для заглатывания, хорошо перевариваться; иметь определённый химический состав и соответствовать пищевым потребностям гидробионтов. Биохимический состав кормовых микроводорослей может изменяться как от условий культивирования (температура, освещённость, минеральное питание), так и от фазы роста. Каждая стадия развития характеризуется наличием в клетке водоросли определённого набора питательных веществ. Так, на стадии активного роста в клетках имеется большое количество белка, а на стадии, близкой к стационарной, водоросли содержат в основном углеводы. В стадии замедления роста и отмирания водорослей количество питательных веществ снижается и возрастает количество продуктов обмена (Карагари 2018; Гостюхина, Сухин 2022). Такие водоросли в пищу не пригодны.

Виды микроводорослей значительно отличаются друг от друга по своим пищевым качествам, но правильно подобранная смесь оказывает значительный положительный эффект на рост и развитие гидробионтов. Культивируемые виды микроводорослей по своим качествам дополняют друг друга и успешно применяются для кормления гидробионтов Приморского океанариума. Морские микроводоросли используют для кормления мальков мелких видов рыб, таких как зебровидный

дасцилл (*Dascyllus aruanus* Linnaeus, 1758), единорог-акреихт (*Acreichthys tomentosus* Linnaeus, 1758), тернеция (*Gymnocorymbus ternetzi* Boulenger, 1895) и др., а также молоди медуз и кораллов. При выращивании коловратки микроводоросли используют в качестве основного корма.

Существует множество способов выращивания микроводорослей. Способ культивирования и тип конструкций выбирается в зависимости от целей выращивания. Это могут быть как бассейны, расположенные под открытым небом, так и высокотехнологические установки закрытого типа (Микроводоросли... 2008). Чаще всего для выращивания микроводорослей применяется накопительный режим культивирования. Он не требует дорогостоящего оборудования, при его применении легко контролировать рост микроводорослей. Цель этого метода заключается в получении альгологически чистой, жизнеспособной, плотной культуры, для использования её на корм гидробионтам (Патент № 2793471 С1 2023).

В Океанариуме микроводоросли выращивают в накопительном режиме в стеклянных колбах от 2 до 5 л и в полунепрерывном режиме в конусовидных ёмкостях объёмом 150 л. Культивирование микроводорослей в колбах проводят в специальном боксе, где соблюдаются стабильный уровень освещённости и постоянная температура воздуха (рис. 1).

Культуры микроводорослей должны быть альгологически чистыми, т. е. содержать только один вид. На протяжении всего периода выращивания поддерживается высокая чистота культуральной среды, любое заражение бактериями, простейшими или другими видами водорослей грозит гибелью культуры. Среды для культивирования готовят на основе морской воды с предварительным обеззараживанием. Для небольших объёмов применяют автоклавирование, для объёмов 150 л и более – ультрафильтрацию (0.1 мкм) с последующей УФ-обработкой. При культивировании морских микроводорослей используют среды Гольдберга и F/2 (Кабанова 1961). Среда Гольдберга применяется для зелёных микроводорослей, а F/2 – для диатомовых. Предварительно готовят концентрированные растворы макро- и микроэлементов

на дистилляте, затем добавляют определённое количество каждого раствора в стерилизованную морскую воду.

Культивирование микроводорослей осуществляется путём периодического пересева на свежую питательную среду. Периодическим пересевом культуры микроводоросли поддерживают длительное время и, при необходимости, наращивают в больших объёмах. В процессе культивирования микроводорослей ежедневно визуальное оценивают состояние культуры, её цвет, распределение клеток в суспензии. По необходимости проводят подсчёт клеток под микроскопом. При выращивании микроводорослей в стеклянных колбах толщина слоя суспензии небольшая, поэтому на этом этапе интенсивность освещения поддерживается на уровне от 2 до 6 кЛк, световой режим 12 часов свет: 12 часов темнота. В больших объёмах толщина



Рис. 1. Маточная культура микроводорослей.

Fig. 1. Microalgae stock culture.

слоя суспензии выше, и, чтобы света хватало всем клеткам водорослей, необходимо постоянное освещение мощностью не менее 10–12 кЛк (таблица).

Такой способ выращивания позволяет непрерывно обеспечивать живыми микроводорослями обитателей Океанариума. Ежедневно выдаётся от 6 до 15 л микроводорослей с численностью клеток от 2,5 до 10 тыс. клеток/мл.

Таблица. Общие показатели выращивания живых кормов в условиях Приморского океанариума.

Table. General indicators of live feed cultivation in the Primorsky Aquarium's facilities.

Тип корма	Температура, °С	Солёность, ‰	Содержание кислорода, мг/л	pH	Освещение, кЛк	Питание
Морские микроводоросли	21–23	33–34	5–7	7.0–8.5	2–6/10–12*	Питательные среды Гольдберга и F/2
Спирулина	23–26	0	4–7	8.5–10.0	2.0–4.5	Среда Зарукка
Коловратка	22–26	33–34	5–7	7.0–7.5	2–4	Микроводоросли, дрожжи
Артемия	24–28	33–36	4–7	7–8	2.5–4.0	Спирулина, хлорелла, дрожжи
Дафнии	22–26	0	4–7	7.5–8.0	2–4	Дрожжи

* 2–6 кЛк для маточной культуры, выращиваемой в колбах, 10–12 кЛк для культуры в больших объёмах (2–6 cLx for the stock cultures grown in flasks, 10–12 cLx for the cultures produced in large volumes).

Спирулина

Спирулина известна высокой продуктивностью и сравнительно доступными формами её культивирования в полупромышленных условиях. Она относится к видам с типично белковой направленностью биосинтеза, содержит до 75% белка, имеет большие размеры клеток (до 500 мкм) (Гнатченко и др. 1994). Высокое содержание в спирулине бета-каротина и аминокислот положительно влияет на иммунную систему и общую физиологию водных животных (Басонов и др. 2024). Существуют способы выращивания спирулины под открытым небом при солнечном освещении и в закрытых фотобиореакторах при постоянных параметрах среды (Гнатченко и др. 1994; Soni et al. 2019). В нашем случае выращивание спирулины производится в широких открытых аквариумах-культиваторах при постоянном искусственном освещении. Технологический процесс выращивания спирулины включает в себя несколько этапов: содержание маточных культур, приготовление питательной среды, выращивание водорослей в культиваторах, сбор культуры. При выращивании спирулины необходимо поддерживать в культиваторах высокий уровень pH, что достигается использованием среды Зарукка, основу которой составляет бикарбонат натрия (Пиневич и др. 1970).

При выращивании маточной культуры поддерживают стабильные показатели среды – температура воздуха в пределах 22–25 °С, освещение лампами дневного света интенсивностью от 4 до 6 кЛк. Маточную культуру спирулины выращивают со светопериодом 12 часов день: 12 часов ночь. При выращивании в культиваторах объёмом 120 л, объём среды со спирулиной составляет 50–75 л, толщина слоя 7–10 см, площадь водного зеркала 0.5 м² (рис. 2). Культивирование происходит при

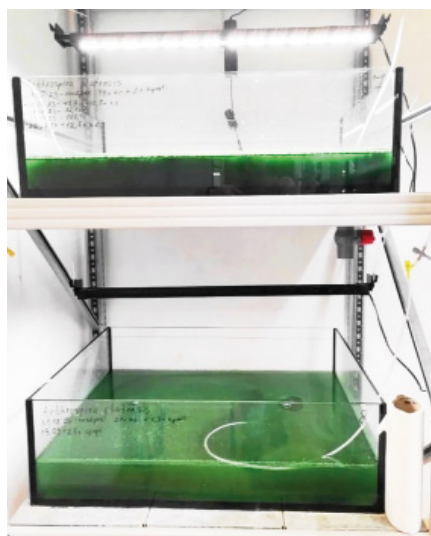


Рис. 2. Выращивание спирулины в культиваторах.

Fig. 2. Spirulina culture in cultivation tanks.

постоянном освещении и температуре 22–25 °С. Сбор биомассы осуществляется раз в неделю с поверхности культиваторов. После сбора в культиватор добавляют свежую питательную среду.

Полученная паста из спирулины используется как витаминная добавка для веслоносов (*Polyodon spathula* Walbaum, 1792), толстолобиков (*Hypophthalmichthys* spp.) и других планктонных рыб, а также рыб и кораллов экспозиции Большого рифа.

Коловратка

Brachionus plicatilis – небольшие коловратки 0.1–0.3 мм в длину, обитают в солоноватых водоёмах. Самки живут до двух недель, самцы 2–3 суток. Половой зрелости достигают за одиное суток (Спекторова и др. 1986). Коловраток используют в качестве источника питания многих гидробионтов на разных стадиях развития из-за высокого содержания белков, липи-

дов и других питательных веществ. Эти корма обеспечивают быструю и полноценную ассимиляцию питательных веществ, что способствует ускоренному росту и повышенной выживаемости гидробионтов. Исследования показывают, что рыбы, выращенные на живых кормах, демонстрируют лучший иммунитет и устойчивость к болезням (Hamre et al. 2013; Li et al. 2018).

В Приморском океанариуме коловраткой кормят медуз, актиний, моллюсков, кораллы, креветок, а также молодь многих морских рыб. При кормлении малька пресноводных рыб коловратку дают небольшими порциями, т. к. она выдерживает в пресной воде не более 5–6 часов, после чего погибает. Коловратку также задействуют в качестве стартового корма для личинок и мальков рыб. В процессе дальнейшего развития молодь рыб переводят на более крупный кормовой объект – науплий артемии. Для кормления гидробионтов ежедневно используется 10–15 л культуры коловратки плотностью 250–370 экз./мл.

Культивирование коловраток проводят в ёмкостях различного типа, объём которых определяется потребностью в корме для конкретного количества гидробионтов. Для разведения коловратки применяют конусовидные ёмкости из ПЭТ (полиэтилен-терефталат), объемом от 20 до 70 л. Солоноводная коловратка выдерживает большой диапазон солёности (Спекторова и др. 1986; Рожнова 2025). Для культивирования коловратки в Океанариуме используют морскую воду, прошедшую предварительную очистку через микрофильтр (0.1 мкм), солёностью 32–34‰ и температурой 22–26 °С; аэрация отсутствует. Освещение лампами дневного света, не менее 1–2 кЛк в режиме: 8 часов свет: 16 часов темнота. Воду не меняют, только добавляют по мере использования. При обрастании стенок, перезапуск культуры, меняя ёмкости меняют на чистые.

В исследованиях некоторых авторов (Портная, Другакова 2018; Мамонова, Бригада 2024) указано, что качественный состав белка у живых кормовых объектов напрямую зависит от места их обитания и питания, что в полной мере относится

и к коловратке (Патент № 2824043 С1 2024). Смешанное кормление микроводорослями и дрожжами повышает питательность культуры коловраток и обогащают её аскорбиновой кислотой (Карагару 2018). Учитывая эти факторы, в Океанариуме при выращивании коловраток к микроводорослям (не менее 1 млн клеток/мл) *Nannochloropsis* sp., *D. salina*, *C. vulgaris*, *T. suecica* и *I. galbana* добавляют активированные пекарские дрожжи из расчёта 10 мл/л микроводорослей и 0.1 г/л (кормление производится два в сутки).

Артемия

Жаброногий рачок *Artemia salina* относится к одному из самых распространённых, универсальных и широко используемых видов живого корма при выращивании личинок различных рыб, ракообразных, и других гидробионтов (Bengtson et al. 2018; Ковачева и др. 2019; Ковалевский, Василенко 2022). Артемия обладает рядом преимуществ, выгодно отличающих её от других кормовых организмов: маленькие размеры, позволяющие применять артемию на ранних стадиях культивирования гидробионтов, высокая пищевая ценность, мягкий наружный скелет, несложность хранения инкубационного материала (цист), относительная простота приготовления к скармливанию (Ковачева и др. 2019).

Науплии артемии, представляющие собой личиночную стадию сразу после выклева, их характерная оранжевая окраска обусловлена высокой концентрацией каротиноидов в их тканях (Ивлева 1969; Гусев 1991). Артемии способны размножаться живорождением и откладыванием яиц с тонкой оболочкой, из которых сразу же развиваются науплии, и цисты, покрытые толстой хитиновой оболочкой. Формирование цист является физиологическим приспособлением артемии, позволяющим перенести неблагоприятные условия окружающей среды и в последствии возобновить популяцию (Литвиненко и др. 2009). При кормлении личинок рыб и других гидробионтов используются суточные науплии, полученные из цист артемии. Науплии содержат высокое количество белка и липидов, включая незаменимые жирные кислоты, что полностью обеспечивает потребность рыб и ракообразных на начальных стадиях развития (Ивлева 1969; Гусев 1991). Артемию на более поздних стадиях развития задействуют при выращивании личинок карповых, осетровых, лососевых и других видов рыб, а также некоторых ракообразных.

Выращивание артемии осуществляют экстенсивными и интенсивными методами. Экстенсивные методы предполагают внесение культуры артемии в солёные озера и их дальнейшее выращивание в естественных условиях. Из интенсивных методов выращивания самым распространённым является получение науплий методом инкубации цист. Для этого метода используются сухие цисты, собранные в естественных водоёмах. При попадании сухих цист в воду с солёностью от 5 до 90%, происходит их гидратация, которая запускает активное развитие эмбриона. Спустя сутки лопается жёсткая оболочка цисты, и появляется зародыш, окружённый внутренней мембраной. Затем наступает стадия выклева, когда лопается внутренняя мембрана, и появляются первые свободно плавающие науплии. Личинки I науплиальной стадии не могут потреблять корм, потому что их пищеварительная система еще не функционирует, и они в этот период расходуют запасы желточного мешка (Воскресенский, Хайдаров 1967).

В зависимости от мощности предприятий по выращиванию артемии, инкубацию цист проводят в ёмкостях объёмом от 20 до 200 л и более (Воронов 1986; Портная, Салтанов 2015; Ковачева и др. 2019). В условиях Океанариума цисты инкубируют



Рис. 3. Установка для инкубации цист *Artemia salina*.

Fig. 3. *Artemia salina* hatching system.

в ёмкостях с конусовидным дном объёмом 150 л при постоянном освещении лампами дневного света мощностью 2.5–4 кВт (рис. 3).

Культивирование артемии в Океанариуме проходит полный цикл и включает следующие этапы: 1) инкубация замороженных цист артемии; 2) получение науплий; 3) подращивание до половозрелой стадии. Для инкубации замороженных цист необходимо высокое содержание кислорода в воде, которое обеспечивается активной подачей воздуха через распылители в среду с цистами. Оптимальная скорость аэрации зависит от размера резервуара и плотности цист. Инкубатор состоит из шести сосудов в форме перевернутого конуса (рис. 3). На дно помещают аэрационный шланг, подключенный к компрессору. Сосуды заполняют морской водой солёностью 33–35‰ и температурой 24–27 °C. В каждую 150-литровую ёмкость

засыпают 170–200 г цист. Компрессор насыщает воду мелкими пузырьками, которые помимо аэрации поддерживают цисты во взвешенном состоянии и не позволяют им опуститься на дно сосуда.

В разных хозяйствах используют различные химические вещества для активации цист. Это могут быть перекись водорода или аскорбат натрия (Богатова, Шмакова 1980; Патент № 2352108 С2 2009). Для активации цист и лучшего выклева в Приморском океанариуме применяют 3% раствор перекиси водорода по 200 мл на каждый сосуд с цистами. После 48 часов инкубации и выключения компрессора скорлупа цист всплывает на поверхность, непродуктившиеся цисты опускаются на дно, выплывшие науплии парят в тоще воды. Через 15–20 минут необходимо начинать сбор науплий, так как более поздний срок сбора может привести к их гибели из-за высокой концентрации при отсутствии кислорода.

При использовании высококачественного сырья выход биомассы науплий по отношению к массе исходных цист составляет 1: 3. Часть науплий выдают в качестве корма для молоди мелких видов рыб, ракообразных, медуз, кораллов и других гидробионтов, а часть расселяют в ёмкости для дальнейшего выращивания. Для подращивания артемии практикуют круглые ёмкости с конусовидным дном объёмом от 300 л, в которых обеспечивается подача воздуха при помощи аэрации (рис. 4). Культивирование рачков проводят при температуре 25–29 °C и фотопериоде 12: 12 (свет: темнота). Содержание растворённого в воде кислорода поддерживают на уровне 4–7 мг/л. Для культивирования рачка артемии используют морскую воду, прошедшую предварительную очистку, солёностью 33–35‰; плотность посадки науплий в ёмкости должна быть не менее 5–10 тыс./л.

На начальном этапе развития науплии быстро растут за счет резервов желтка, поэтому в первые сутки после пересаживания рачков в ёмкости для подращивания их не кормят. В природе главная пища рачков – микроводоросли и бактерии грунта. В условиях Океанариума для кормления артемии применяют сухой порошок микроводорослей спирулины и хлореллы, предварительно разведённый водой до однородной суспензии. Эти микроводоросли содержат до 70% белка в сухом виде, а также



Рис. 4. Система емкостей для выращивания рачка *Artemia salina*.

Fig. 4. *Artemia salina* culture tank system.

витамины, ненасыщенные жирные кислоты и целый ряд микро- и макроэлементов (Гнатченко и др. 1994; Басонов и др. 2024).

Кроме водорослей в качестве добавки используют пекарские дрожжи. Кормление производится один раз в сутки. При такой диете рачки артемии очень быстро растут и уже через несколько дней пригодны для кормления взрослых рыб (в условиях соблюдения температурного режима). При температуре ниже 25 °С рост артемии замедляется.

Науплии и взрослые особи артемии составляют основу рациона гидробионтов на разных этапах жизненного цикла: от личинок и мальков до половозрелых особей. Кроме того, артемия служит незаменимым стартовым кормом при адаптации вновь поступивших гидробионтов. Ежесуточный расход биомассы составляет 2000–2700 г науплий и 40–70 г взрослого рачка (в сыром весе).

Дафния

Ветвистоусых рачков дафний применяют в качестве корма для многих пресноводных аквариумных рыб и других беспозвоночных. Для видов рыб с крупным новорождённым мальком эти ракообразные являются стартовым кормом, а для мелких мальков могут быть основным кормом при выращивании молоди (Койшибаева и др. 2011). Дафнии содержат большое количество белка, незаменимых аминокислот, витаминов, ферментов и других компонентов, особенно важных для молоди рыб, что сводит к минимуму заболеваемость и облегчает адаптацию к новым условиям (Симонов и др. 2022).

В Приморском океанариуме выращивают два вида дафний – *D. magna* и *D. pulex*, различающихся размерами. Максимальный размер взрослой *D. magna* – 6 мм, *D. pulex* до 3–4 мм; в момент вылупления 0.7–0.8 и 0.5 мм, соответственно. Эти рачки характеризуются высокой плодовитостью, быстрым темпом роста, приспособленностью к широкому спектру факторов среды. Дафнии выдерживают диапазон температур от 5 до 34 °С. Чем выше температура воды, тем короче жизнь рачка, при этом оптимальная температура для выращивания обоих видов составляет 22–26°С (таблица). Дафния может жить при очень низком содержании кислорода в воде (до 1 мг/л), оптимальная концентрация составляет 6–7 мг/л. При понижении содержания кислорода образуется гемоглобин, и рачки приобретают красноватый цвет.

Существуют различные способы культивирования дафний – от прудов до закрытых систем (Микулин 1994; Cheban et al. 2018). Выращивание в открытых прудах предполагает зависимость от погодных условий, а высокотехнологичные способы выращивания требуют больших материальных затрат. Предпочтительно культивировать дафний в небольшом объёме воды, где удобнее следить за факторами среды и проще осуществлять водообмен, т. к. выращивание зоопланктона в стоячей воде влечет за собой загрязнение воды кормом, изменение pH и т. д. (Пронина и др. 2024). В Приморском океанариуме дафний выращивают в ёмкостях с конусовидным дном объёмом от 70 до 300 л. В процессе культивирования наблюдается значительный рост уровня pH. Резкое снижение этого показателя при замене воды вызывает у рачков осмотический стресс: они оседают на дно, прекращают питание и погибают. Для минимизации резких колебаний гидрохимического режима свежую воду следует вносить порциями, не превышающими 1/4 от общего объема.

Все дафнии – хорошие фильтраторы, их естественную пищу составляют микроводоросли, бактерии, мелкие частички детрита. При выращивании в искусственных условиях кормом для дафний служат одноклеточные водоросли, инфузории, пекарские дрожжи. Из приведённых в литературных источниках сведений о кормлении дафний водорослями, бактериями и инфузориями ясно, что этот способ требует частого перезапуска ёмкостей, т. к. рост кормовых организмов не контролируется (Шохалова и др. 2023; Пронина и др. 2024). Стабильность культуры дафний в условиях Океанариума достигается путем дробного кормления. Применение дрожжевой взвеси требует строгого контроля: полное осветление воды через 12 часов после кормления свидетельствует об оптимальном балансе между объемом рациона и численностью рачков. Такой подход минимизирует риск стресса и стабилизирует микробиологический режим в системе. Для отслеживания изменений проводят ежедневный мониторинг параметров среды (температура, pH, соленость). При соблюдении всех описанных условий культивирования удастся получать стабильное количество дафний, необходимое для кормления рыб и других гидробионтов Океанариума. В качестве кормовых объектов ежедневно используется от 5 до 15 г *D. pulex* и от 25 до 40 г *D. magna*.

Заключение

Использование живых кормов является ключевым фактором в выращивании гидробионтов, особенно в период раннего онтогенеза. Высокая пищевая ценность и привлекательность таких кормов делают их незаменимыми, а для ряда узкоспециализированных видов Приморского океанариума – единственно возможным рационом.

В Приморском океанариуме используются обобщённые, критически рассмотренные, апробированные и адаптированные к технологическим особенностям конкретные методы поточного культивирования приоритетных групп фито- и зоопланктона. Поскольку качество белка кормовых объектов напрямую зависит от их питания, внедрены методы обогащения (селективное использование микроводорослей, дрожжевых компонентов, спироулины и хлореллы), что позволило значительно повысить биологическую ценность коловраток и артемии.

Применяемые методы обеспечивают стабильное получение качественных кормов в объёмах, достаточных для эффективного выращивания гидробионтов на всех этапах развития: от личинок до половозрелых особей. Внедренный системный подход к формированию кормовой базы позволил не только поддерживать

жизнедеятельность экспозиционных объектов, но и успешно реализовать программы по их адаптации и воспроизводству, создавая фундамент для дальнейшей научно-исследовательской деятельности.

Благодарности

Выражаю благодарность коллегам из сектора культивирования за помощь в работе и подготовке материала. При работе над оформлением материала использованы рекомендации В. С. Жердева (Вестник ДВО РАН), а при редактировании текста учтены ценные советы акад. РАН В. В. Богатова.

Работа выполнена в Центре коллективного пользования Приморский океанариум ННЦМБ ДВО РАН.

Литература (References)

- Басонов О. А., Судакова А. В., Шилова В. С.** 2024. Использование живых кормов в аквакультуре ценных видов рыб // Состояние и пути развития аквакультуры в Российской Федерации: IX Национальная научно-практическая конференция с международным участием. Саратов. С. 21–27. (**Basonov O. A., Sudakova A. V., Shilova V. S.** 2024. Use of live feeds in aquaculture of valuable fish species. In: State and prospects of aquaculture development in the Russian Federation: IX National Scientific and Practical Conference with International Participation. Saratov, pp. 21–27. [In Russian].)
- Богатова И. Б., Шмакова З. И.** 1980. Способ активации яиц ракообразных. Авторское свидетельство СССР № 712065. Бюллетень изобретений № 4. (**Bogatova I. B., Shmakova Z. I.** 1980. Method for activation of crustacean eggs. USSR Author's Certificate No. 712065. Bulletin of Inventions No. 4. [In Russian].)
- Воронов П. М.** 1986. Инструкция по заготовке, очистке, активации, инкубации и контролю за жизнеспособностью яиц артемии. – Краснодар: Краснодарский филиал ВНИИПРХ. 18 с. (**Voronov P. M.** 1986. Guidelines for harvesting, cleaning, activation, incubation and viability control of *Artemia* eggs. Krasnodar: Krasnodar Branch of VNIIPRKh, 18 pp. [In Russian].)
- Воскресенский К. А., Хайдаров И. Ш.** 1967. Стимуляция выклева науплиусов из яиц артемии // Вестник Московского университета. Серия 16. Биология, почвоведение 1: 3–11. (**Voskresensky K. A., Khaidarov I. Sh.** 1967. Stimulation of nauplii hatching from *Artemia* eggs. *Moscow University Bulletin. Series 16. Biology, Soil Science* 1: 3–11. [In Russian].)
- Гнатченко Л. Г., Писаревская И. И., Иванюта А. П.** 1994. Опыт интенсивного выращивания микроводоросли *Spirulina platensis* // Труды ЮгНИРО. Т. 40. С. 106–110. (**Gnatchenko L. G., Pisarevskaya I. I., Ivanyuta A. P.** 1994. Experience of intensive cultivation of the microalga *Spirulina platensis*. *Proceedings of YugNIRO* 40: 106–110. [In Russian].)
- Гостюхина О. Б., Сухин И. Ю.** 2022. Применение концентрированной суспензии микроводорослей для кормления личинок дальневосточного трепанга в контролируемых условиях // Морская биология в XXI веке: систематика, генетика, экология морских организмов: Тезисы докладов Всероссийской конференции, Владивосток, 20–23 сентября 2022 года. – Владивосток: Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН. С. 87–88. (**Gostyukhina O. B., Sukhin I. Yu.** 2022. Use of concentrated microalgae suspension for feeding larvae of the Far Eastern sea cucumber under controlled conditions. In: Marine Biology in the 21st Century: Systematics, Genetics and Ecology of Marine Organisms. Abstracts of the All-Russian Conference. Vladivostok: Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS, pp. 87–88. [In Russian].) <https://elibrary.ru/kbsmby>
- Гусев Е. Е.** 1991. Живой корм – *Artemia salina*. Краткий биологический очерк // Информационные материалы. Серия «Аквакультура». – М.: ВНИЭРХ. Вып. 3. 58 с. (**Gusev E. E.** 1991. Live feed – *Artemia salina*. A brief biological review. Information Materials. Aquaculture Series. Issue 3. Moscow: VNIERN, 58 pp. [In Russian].)
- Ивлева И. В.** 1969. Биологические основы и методы массового культивирования кормовых беспозвоночных. – М.: Наука. 171 с. (**Ivleva I. V.** 1969. Biological principles and methods of mass cultivation of forage invertebrates. Moscow: Nauka, 171 pp. [In Russian].)
- Кабанова Ю. Г.** 1961. О культивировании в лабораторных условиях морских планктонных диатомовых и перидиниевых водорослей // Труды Института океанологии АН СССР Т. 47. С. 203–216. (**Kabanova Yu. G.** 1961. Cultivation of marine planktonic diatom and peridinin algae

- under laboratory conditions. *Proceedings of the Institute of Oceanology of the USSR Academy of Sciences* 47: 203–216. [In Russian].)
- Ковалевский В. Н., Василенко И. Н.** 2022. Перспективы развития аквакультуры артемии в России // Импортозамещение в новых условиях 2022: перспективы направления развития пищевой и перерабатывающей промышленности в экономике региона: Международная научная конференция, Ростов-на-Дону, 02 июня 2022 года. – Ростов-на-Дону. С. 138–144. (Kovalevsky V. N., Vasilenko I. N. 2022. Prospects for the development of *Artemia* aquaculture in Russia. In: Import Substitution in New Conditions 2022: Prospects for the Development of the Food and Processing Industry in the Regional Economy. International Scientific Conference. Rostov-on-Don, pp. 138–144. [In Russian].) <https://elibrary.ru/erqdyd>
- Ковачева Н. П., Литвиненко Л. И., Саенко Е. М., Жигин А. В., Кряхова Н. В., Сёмик А. М.** 2019. Современное состояние и перспективы развития аквакультуры артемии в России // *Труды ВНИРО*. Т. 178. С. 3–10. (Kovacheva N. P., Litvinenko L. I., Saenko E. M., Zhigin A. V., Kryakhova N. V., Semik A. M. 2019. Current status and prospects of *Artemia* aquaculture development in Russia. *Trudy VNIRO* 178: 3–10. [In Russian].)
- Койшибаева С. К., Бадрызлова Н. С., Федоров Е. В., Мухрамова А. А., Булавина Н. Б.** 2011. Рекомендации по кормлению осетровых рыб в условиях рыбоводных хозяйств Казахстана. – Алматы. 36 с. (Koishibayeva S. K., Badryzlova N. S., Fedorov E. V., Mukhramova A. A., Bulavina N. B. 2011. Recommendations on feeding sturgeon fish under aquaculture conditions in Kazakhstan. Almaty, 36 pp. [In Russian].)
- Литвиненко Л. И., Литвиненко А. И., Бойко Е. Г.** 2009. Артемия в водоёмах Западной Сибири. – Новосибирск: Наука. 304 с. (Litvinenko L. I., Litvinenko A. I., Boyko E. G. 2009. *Artemia* in water bodies of Western Siberia. Novosibirsk: Nauka, 304 pp. [In Russian].)
- Мамонова А. С., Бригида А. В.** 2024. Живые корма: важность использования в аквакультуре для кормления личинок рыб // *Ветеринария и кормление* 3: 80–83. (Mamonova A. S., Brigida A. V. 2024. Live feeds: importance of their use in aquaculture for feeding fish larvae. *Veterinary Science and Feeding* 3: 80–83. [In Russian].)
- Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования.* 2008. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 454 с. ([*Microalgae of the Black Sea: problems of biodiversity conservation and biotechnological use*]. 2008. Sevastopol: ECOSI-Hydrophysics, 454 pp. [In Russian])
- Микулин А. Е.** 1994. Живые корма. Москва: Дельфин. 104 с. (Mikulin A. E. 1994. Live feeds. Moscow: Delfin, 104 pp. [In Russian].) <https://elibrary.ru/ywhybt>
- Моисеев Н. Н.** 2007. Выращивание живых кормов // *Рыбоводство и рыбное хозяйство* 12: 43–51. (Moiseev N. N. 2007. Cultivation of live feeds. *Fish Farming and Fisheries* 12: 43–51. [In Russian].) <https://elibrary.ru/yypaycj>
- Новоселова Н. В., Каниева Н. А.** 2024. Биологические основы культивирования живых кормов для питания молоди морских рыб (Кефалевые (*Mugilidae*) и Камбаловые (*Bothidae*)). – Астрахань: Издательство АГТУ. 116 с. (Novoselova N. V., Kanieva N. A. 2024. Biological bases of live feed cultivation for feeding juveniles of marine fish (*Mugilidae* and *Bothidae*). Astrakhan: Astrakhan State Technical University Publishing House, 116 pp. [In Russian].)
- Патент № 2352108 C2.** Российская Федерация, МПК A01K 61/00. Способ получения науплий артемии и композиция для осуществления способа. Оpubл. 20.04.2009 / Р. А. Клепиков; заявитель ОАО «Кучуксульфат». (Patent No. 2352108 C2. Russian Federation. Method for obtaining *Artemia* nauplii and composition for implementation of the method. Published 20.04.2009. Klepikov R. A.; applicant JSC “Kuchuksulfat”. [In Russian].) <https://elibrary.ru/lgewrr>
- Патент № 2793471 C1.** Российская Федерация, МПК A23K 10/00. Способ культивирования одноклеточных микроводорослей *Chaetoceros muelleri* и *Isochrysis galbana* – живого корма для личинок морских беспозвоночных. Оpubл. 04.04.2023 / В. Д. Дзизюров, И. Ю. Сухин, О. Б. Гостюхина и др.; заявитель ВНИРО. (Patent No. 2793471 C1. Russian Federation. Method for cultivation of unicellular microalgae *Chaetoceros muelleri* and *Isochrysis galbana* as live feed for larvae of marine invertebrates. Published 04.04.2023. Dzizyurov V. D., Sukhin I. Yu., Gostyukhina O. B. et al.; applicant VNIRO. [In Russian].) <https://elibrary.ru/wnrnan>
- Патент № 2824043 C1.** Российская Федерация, МПК A01K 61/00. Способ интенсивного выращивания солоноватоводной коловратки с применением культур морских микроводорослей. Оpubл. 01.08.2024 / Л. А. Боцун, С. И. Масленников, Т. А. Геворгян и др.; заявитель ННЦМБ ДВО РАН. (Patent No. 2824043 C1. Russian Federation. Method for intensive cultivation of brackish-water rotifers using cultures of marine microalgae. Published 01.08.2024. Botsun L. A.,

- Maslennikov S. I., Gevorgyan T. A. et al.; applicant Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS. [In Russian.] <https://elibrary.ru/hwtiey>
- Пиневи́ч В. В., Верзи́лин Н. Н., Михайло́в А. А.** 1970. Изучение *Spirulina platensis* – нового объекта для высокоинтенсивного культивирования // *Физиология растений*. Т. 17, № 5. С. 1037–1046. (**Pinevich V. V., Verzhilin N. N., Mikhailov A. A.** 1970. Study of *Spirulina platensis* as a new object for high-intensity cultivation. *Plant Physiology* 17(5): 1037–1046. [In Russian].)
- Портная Т. В., Другакова А. Д.** 2018. Живые корма в стартовом кормлении молоди осетровых // *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. Т. 21, № 1. С. 180–186. (**Portnaya T. V., Drugakova A. D.** 2018. Live feeds in starter feeding of sturgeon juveniles. *Actual Problems of Intensive Livestock Development* 21 (1): 180–186. [In Russian].)
- Портная Т. В., Салтанов Ю. М.** 2015. Биотехнология в рыбоводстве. Выращивание живых кормов: методические указания к лабораторным занятиям. – Горки: БГСХА. 36 с. (**Portnaya T. V., Saltanov Yu. M.** 2015. *Biotechnology in fish farming. Cultivation of live feeds: guidelines for laboratory classes*. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy, 36 pp. [In Russian].)
- Пронина Г. И., Жигин А. В., Жогин И. М., Короченский И. А.** 2024. Опыт выращивания дафнии magna на основе хлореллы в емкостях с малым объемом стоячей воды // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. Вып. 6. С. 162–170. (**Pronina G. I., Zhigin A. V., Zhogin I. M., Korochen-sky I. A.** 2024. Experience of cultivating *Daphnia magna* using *Chlorella* in small-volume static water tanks. *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy* 6: 162–170. [In Russian].) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2024-6-162-170>, <https://elibrary.ru/rjpfva>
- Приморский океанариум:** [официальный сайт]. – Владивосток. URL: <https://primocean.ru> (дата обращения: 20.04.2026). (**Primorsky Aquarium:** [official website]. Vladivostok. URL: <https://primocean.ru> (accessed: 20.04.2026).)
- Рожнова В. О.** 2025. Коловратка *Brachionus plicatilis* как стартовый корм для перспективных объектов аквакультуры // *Морские технологии: проблемы и решения – 2025: сборник статей по материалам научно-практической конференции*. – Керчь. С. 392–396. (**Rozhnova V. O.** 2025. *Brachionus plicatilis* rotifer as a starter feed for promising aquaculture species. In: *Marine Technologies: Problems and Solutions – 2025*. Kerch, pp. 392–396. [In Russian].)
- Симонов А. А., Онищенко А. Г., Камардин А. И., Фадеев А. Е., Овчаренко А. Г.** 2022. Усовершенствование биотехнологических процессов выращивания хлореллы и дафний в качестве корма для рыб // *Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Бийск, 18–20 мая 2022 года*. – Бийск: Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. С. 293–297. (**Simonov A. A., Onishchenko A. G., Kamardin A. I., Fadeev A. E., Ovcharenko A. G.** 2022. Improvement of biotechnological processes for cultivation of *Chlorella* and *Daphnia* as fish feed. In: *Technologies and Equipment of Chemical, Biotechnological and Food Industry. Proceedings of the XV All-Russian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International Participation*. Bysk: Polzunov Altai State Technical University, pp. 293–297. [In Russian].) <https://elibrary.ru/swmshq>
- Спекторова Л. В., Паньков С. Л., Проскурина Е. С., Шершов С. В., Семик А. М.** 1986. Инструкция по массовому разведению морских одноклеточных водорослей и коловраток. – М.: ОНТИ ВНИРО. 64 с. (**Spektorova L. V., Pankov S. L., Proskurina E. S., Shershov S. V., Semik A. M.** 1986. *Guidelines for mass cultivation of marine unicellular algae and rotifers*. Moscow: ONTI VNIRO, 64 pp. [In Russian].)
- Тарасенко А. А.** 2016. Сравнительный анализ эффективности выращивания веслоноса на разных кормах в условиях ЧП «Жаров» Чугуевского района Харьковской области // *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. № 1. С. 11–19. (**Tarasenko A. A.** 2016. Comparative analysis of paddlefish rearing efficiency using different feeds under conditions of the “Zharov” private enterprise, Chuguev district, Kharkiv region. *Actual Problems of Intensive Livestock Development* 1: 11–19. [In Russian].)
- Шохалова В. С., Калугина Е. В., Кравец П. П.** 2023. Выращивание дафний (*Moina macrocopa*) как кормового объекта аквариумистики // *Проблемы Арктического региона: Труды XX Международной научной конференции студентов и аспирантов, Мурманск, 17–18 мая 2023 года*. – Апатиты: Кольский научный центр РАН. С. 32–37. (**Shokhalova V. S., Kalugina E. V., Kravets P. P.** 2023. Cultivation of *Moina macrocopa* as a live feed object in aquaristics. In: *Problems of the Arctic Region. Proceedings of the XX International Scientific Conference of Students and*

- Postgraduates. Apatity: Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, pp. 32–37. [In Russian.] <https://doi.org/10.37614/978.5.91137.510.2.004>, <https://elibrary.ru/prorwn>
- Arvind D., Sanjay H., Gopalkrishna, Archana P.** 2021. Aquaculture industry prospective from gut microbiome of fish and shellfish: An overview. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 106. <https://doi.org/10.1111/jpn.13619>
- Bengtson D. A., Léger P., Sorgeloos P.** 2018. Use of *Artemia* as a food source for aquaculture. In: *Artemia Biology*. CRC Press, pp. 255–286.
- Cheban L., Grynko O., Dorosh I.** 2018. Co-cultivation of *Daphnia magna* (Straus) and *Desmodesmus armatus* (Chodat) Hegewald in recirculating aquaculture system wastewater. *Fish and Aquatic Life* 26: 57–64. <https://doi.org/10.2478/aopf-2018-0007>
- Hamidreza A. M., Omid S., Mahsayeh L. B.** 2017. Evolution of digestive enzymes and bacterial changes of the gastrointestinal tract of *Artemia urmiana* during the growth period. *Invertebrate Survival Journal* 14 (1): 312–323.
- Hamre K., Yufera M., Rønnestad I.** 2013. Fish larval nutrition and feed formulation: knowledge gaps and bottlenecks for advances in larval rearing. *Reviews in Aquaculture* 5: 26–58.
- Kaprapu J.** 2018. Application of microalgae in aquaculture. *Phykos* 48 (1): 21–26.
- Lee S., Zhai S., Deng D. F.** 2022. Feeding strategies for adapting lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) larvae to formulated diets at early life stages. *Animals* 12: 3128. <https://doi.org/10.3390/ani12223128>
- Li X., Zhu Y., Ringo E.** 2018. Intestinal microbiome and its potential functions in bighead carp (*Aristichthys mobilis*) under different feeding strategies. *PeerJ* 6: e6000. <https://doi.org/10.7717/peerj.6000>
- Soni R. A., Sudhakar K., Rana R. S.** 2019. Comparative study on the growth performance of *Spirulina platensis* on modifying culture media. *Energy Reports* 5: 327–336. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.02.009>

УДК 57.084.1

https://doi.org/10.25221/2782-1978_2026_2_5

<https://elibrary.ru/qelzyf>

Адаптация и содержание гетеронемертины *Kulikovia alborostrata* (Takakura, 1898) в искусственных условиях

Мирослава Алексеевна Фоменко¹, Валерий Валерьевич Фоменко¹,
Тимур Юсифович Магарламов^{2✉}

¹Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация

²Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690041, Российская Федерация

✉ Автор-корреспондент, e-mail: biotimur@yandex.ru

Получена 11 февраля 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. Впервые успешно проведена адаптация гетеронемертины *Kulikovia alborostrata* (Takakura, 1898) к аквариумному содержанию. Установлено, что наиболее подходящим для *K. alborostrata* является аквариум с небольшим количеством естественного грунта. Подобрана диета и режим питания для данного вида. В лабораторных условиях немертины успешно питались живыми полихетами *Eulalia viridis* (Linnaeus, 1767) и ювенильными и взрослыми особями жаброногих ракообразных *Artemia salina* (Linnaeus, 1758). Показано, что вид *K. alborostrata* может стать перспективным объектом для морских экспозиций Приморского океанариума, других океанариумов и зоопарков.

Ключевые слова: гетеронемертина *Kulikovia alborostrata*, аквариумное содержание, адаптация, Приморский океанариум.

Acclimating and maintaining of the heteronemertean *Kulikovia alborostrata* (Takakura, 1898) in captivity

Miroslava A. Fomenko¹, Valeriy V. Fomenko¹, Timur Yu. Magarlamov^{2✉}

¹Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690017, Russian Federation

²A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russian Federation

✉ Corresponding author, e-mail biotimur@yandex.ru

Received February 11, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. This study reports the first successful acclimation of the heteronemertean *Kulikovia alborostrata* (Takakura, 1898) to aquarium conditions. It was determined that the aquarium containing a small amount of natural sediment was most suitable for *K. alborostrata*. A diet and feeding regimen were established for this species. Under laboratory conditions, the nemerteans fed on live polychaetes (*Eulalia viridis* (Linnaeus, 1767) and both juvenile and adult brine shrimps (*Artemia salina* (Linnaeus, 1758)). The findings indicate that *K. alborostrata* may become a promising candidate for display at the Primorsky Aquarium and in other public aquariums and zoos.

Keywords: heteronemertean *Kulikovia alborostrata*, aquarium maintenance, acclimation, Primorsky Aquarium.

Введение

Немертины представляют собой уникальную группу преимущественно морских червей, которые также встречаются в пресных водах и на суше. Некоторые виды могут быть симбионтами различных морских беспозвоночных (Чернышев 2011, 2020). Эти черви чаще всего ведут хищнический образ жизни и известны своей способностью выделять большое количество слизи (Kajihara et al. 2008; von Döhren 2015; Strand et al. 2019). Большинство немертин имеют хобот, используемый для

охоты (Jennings, Gibson 1969; McDermott 1976; Kem et al. 2002; Asakawa et al. 2003; Goransson et al. 2019; Melnikova, Magarlamov 2022; Malykin et al. 2025).

Гетеронемертина *Kulikovia alborostrata* (Takakura, 1898) первоначально описана как *Lineus alborostratus* (Takakura, 1898), а в 2017 г. в ходе таксономической ревизии получила современное название (Chernyshev et al. 2018). Представители этого вида имеют длинное (50–100 мм) тонкое (2–4 мм в диаметре) тело коричневато-фиолетового или красноватого цвета, с белой оконечной полосой на голове (рис. 1А). Исследуемые черви обитают в прибрежной зоне Японского, Внутреннего Японского (Сето-Накай) и Желтого морей, а также на побережье некоторых Курильских о-вов, островов Хоккайдо и Хонсю (Chernyshev et al. 2018).

В настоящее время опубликовано множество работ по кратковременному содержанию немертин в лабораторных условиях. Некоторые виды этих беспозвоночных были успешно адаптированы к искусственным условиям на срок до нескольких недель или даже месяцев. Так, Д. МакДермотт с соавторами содержали в лабораторных условиях несколько видов гоппонемертин в течение 6–25 суток для изучения особенностей их пищевого поведения (McDermott 1976, 1984; McDermott, Snyder 1988; McDermott 1993). С той же целью П. Рое около месяца содержала *Paranemertes peregrina* Сое, 1901 и несколько видов немертин рода *Carcinonemertes*, Сое 1902 (Рое 1970; 1984). Проводились эксперименты по пищевому поведению и выявлению предпочтительных объектов питания гетеронемертины *Lineus viridis* (Müller, 1774) в лабораторных условиях в течение 10–86 суток (Nordhausen 1988; Thiel 1998). Содержали в искусственных условиях и другие виды немертин: *Cephalothrix linearis* (Rathke, 1799) (около 40 суток), *Tortus tokmakovae* Chernyshev, 1991 (около 10 суток), *Kulikovia alborostrata* (Takakura, 1898) и *Kulikovia manchenkoi* Chernyshev, Polyakova, Turanov et Kajihara, 2017 (около 20 суток) (Ali 1990; Chernyshev 2000; Vlasenko et al. 2024). Единственными немертинами, которых содержали в течение длительного времени и проводили их кормление, были виды из комплекса *Cephalothrix simula* (Iwata, 1952). Так, в 2008 г. Х. Вэнг с соавторами содержали *C. simula* в течение восьми и более месяцев (Wang et al. 2008), а в 2025 г. Г. В. Малыкин с соавторами содержали *Cephalothrix mokievskii* (Korotkevich, 1982) в течение девяти месяцев (Malykin et al. 2025). Хотя в литературе описаны условия для искусственного

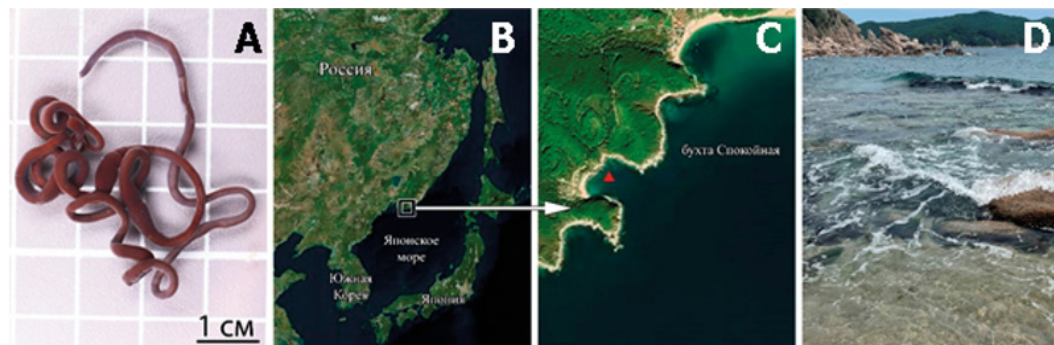


Рис. 1. Сбор немертин *Kulikovia alborostrata* в бухте Спокойная: А – образец *K. alborostrata*; В, С – географическое положение района отбора (красный треугольник); D – место обитания *K. alborostrata*.

Fig. 1. Area in Spokoynaya Bay where nemerteans *Kulikovia alborostrata* were collected: A: specimen of *K. alborostrata*; B, C: geographical location of the sampling area (red triangle); D: habitat of *K. alborostrata*.

содержания различных видов немертин, в современных экспозициях океанариумов и зоопарков эти беспозвоночные отсутствуют. Исключением является гетеронемертина *Parborlasia corrugata* (McIntosh, 1876), единственный экземпляр которой содержится в публичном аквариуме г. Нагоя (Япония) (Martin 2019).

K. alborostrata является одним из массовых видов немертин для Японского моря. Цель настоящей работы заключалась в подборе оптимальных условий для адаптации и содержания гетеронемертины *K. alborostrata* в искусственных условиях. Полученные данные важны в познании биологии немертин и имеют практическое значение для введения этих беспозвоночных в экспозиции Приморского океанариума.

Материалы и методы

Сбор немертин *K. alborostrata* (Takakura, 1898) осуществлялся на неохраняемой территории в бухте Спокойная (Японское море) в августе 2025 г. среди корневищ (ризоидов) бурых водорослей *Saccharina* sp. на глубине от 0.5 до 2 м (42°42'11.0304"N, 133°10'12.6840"E) (рис. 1В–С, рис. 2А). Собранные ризоиды размещали в аквариальном помещении Морской биологической станции «Восток» Национального научного центра морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН (ННЦМБ ДВО РАН) в ёмкостях с аэрированной морской водой температурой 16 °С. Замену воды осуществляли каждые 2–3 часа в течение трёх суток, до тех пор, пока из ризоидов не выходили немертину. Видовая идентификация *K. alborostrata* осуществлялась Т. Ю. Магарламовым на основе морфологических признаков.

Первоначально в течение семи суток проводили акклиматизацию животных к искусственным условиям содержания (рис. 2В). Физические параметры среды для акклиматизации были выбраны исходя из данных, полученных ранее Г. В. Малыкиным с соавторами для палеонемертины *Cephalothrix* cf. *simula* (Iwata, 1952) (Malykin et al. 2025). Наиболее важны температурный и световой режимы, концентрация

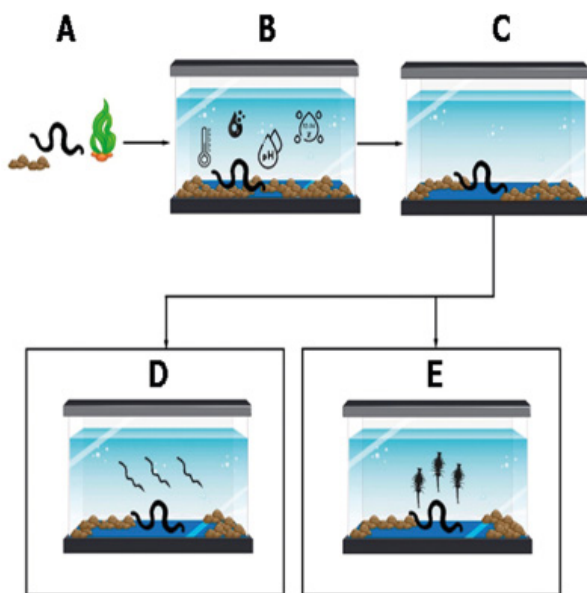


Рис. 2. Схема эксперимента: А – сбор немертин *Kulikovia alborostrata*; В – акклиматизация немертин в общем аквариуме при температуре 17 °С, pH 8.1–8.2, солёности 32–34‰, уровне кислорода ≥ 7.4 мг/л; С – подбор подходящего аквариума и грунта для искусственного содержания немертин; D – кормление полихетами *Eulalia viridis* для подбора режима питания *K. alborostrata*; E – кормление рачками *Artemia salina* для введения в экспозицию.

Fig. 2. Schematic diagram of the experiment set-up: A: collecting nemerteans *Kulikovia alborostrata*; B: acclimating nemerteans in an aquarium to a temperature of 17 °C, pH 8.1–8.2, salinity 32–34‰, oxygen level ≥ 7.4 mg/l; C: selecting an optimal aquarium and bottom sediment for keeping nemerteans; D: feeding *K. alborostrata* with polychaetes *Eulalia viridis* to adjust the diet; E: feeding *K. alborostrata* with brine shrimp (*Artemia salina*) to prepare it for moving to the display.

растворённого кислорода и солёность. Система аэрации состояла из аквариумного насоса мощностью 2.5 Вт, нагнетавшего воздух через аэрационный камень. Уровень кислорода составлял ≥ 7.4 мг/л, pH 8.1–8.2, солёность 32–34‰. После выхода животных из ризоидов немертин сразу помещали в акклиматизационный 20 л аквариум с кварцевым песчаным грунтом (диаметр песчинок составил 0.2–0.5 мм). Аквариум располагался в холодильнике со стеклянной дверью, что обеспечивало стабильную температуру воды (около 17 °C) и естественный суточный режим освещённости.

После периода акклиматизации в течение трёх суток проводился подбор оптимального аквариума и грунта для длительного и успешного содержания немертин в лабораторных условиях (рис. 2С). В правильно подобранных искусственных условиях поведение животных должно быть сходно с природным, то есть сохраняться двигательная активность и охотничье поведение. Нами были использованы: аквариум без грунта (рис. 3А), аквариум с равномерно распределённым по дну грунтом (рис. 3В); аквариум с грунтом, насыпанным только по периметру (рис. 3С). Пригодность контейнера для содержания определяли по положению животного в ней и его поведению. Если червь сворачивался клубком и находился в толще воды или лежал клубком на дне, то такая ёмкость считалась неподходящей (рис. 3А, В). Аквариум, в котором немертина свободно перемещалась по дну, считался подходящим (рис. 3С).

Был проведен эксперимент по изучению индивидуальной скорости питания для отдельных особей немертин (рис. 2Д). Для этого из общего акклиматизационного аквариума были случайным образом отобраны десять особей и отсажены в индивидуальные аквариумы. В первые две недели животных кормили один раз в 2–3 дня полихетами *Eulalia viridis* (Linnaeus, 1767), считающимися основной добычей немертин (Nordhausen 1988; Thiel 1998). В первые 10 дней эксперимента каждой особи *K. alborostrata* подсаживали по три полихеты. На третью и четвертую недели наиболее активно питающихся особей (№ 2, 4, 5, 8) кормили *E. viridis* дважды в неделю, остальных животных – один раз в неделю. С пятой недели и до конца эксперимента всех немертин кормили по одной полихете один раз в неделю.

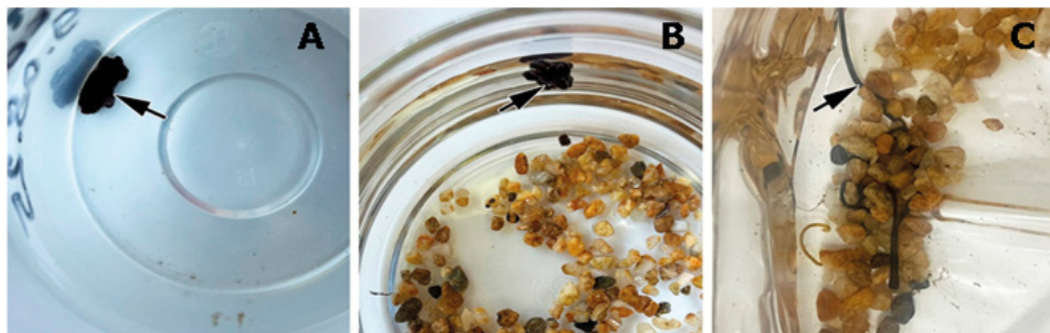


Рис. 3. Содержание *Kulikovia alborostrata* в искусственных условиях. А – в аквариуме без грунта немертина свернулась в клубок (указана стрелкой), В – в аквариуме с рыхло расположенным грунтом немертина находится в толще воды (указана стрелкой), С – в аквариуме с грунтом, расположенным по периметру (стрелкой указана немертина, свободно ползающая между камнями).

Fig. 3. Maintaining *Kulikovia alborostrata* in artificial environments. A: aquarium without substrate; the arrow indicates a nemertean curled into a ball; B: aquarium with loosely distributed substrate, a nemertean is in the water column (arrow); C: aquarium with rocky substrate located along the perimeter; the arrow indicates a nemertean crawling between the rocks.

После подбора условий и выяснения индивидуальной скорости питания особей *K. alborostrata* приступили к акклиматизации (рис. 2Е). Из общего акклиматизационного аквариума было отобрано две группы животных (по 7 и 8 особей), каждая из которых помещена в отдельный аквариум. Так как полихеты *E. viridis* не выращиваются в Приморском океанариуме, то необходимо было подобрать более доступный пищевой объект. В работе Г. В. Малыкина с соавторами показано, что немертины *Cephalothrix mokievskii* в искусственных условиях питаются жаброногими рачками *Artemia salina* (Linnaeus, 1758) (Malykin et al. 2025). Так как этот вид ракообразных успешно выращивается в океанариуме для кормления различных гидробионтов, *A. salina* была выбрана и для экспозиционного содержания *K. alborostrata*. Первой группе животных давали малоподвижных рачков, а второй группе – неподвижных, с предварительно повреждёнными конечностями для снижения двигательной активности и имитации павшего животного (Melnikova et al. 2025). Животных обеих групп кормили один раз в неделю в течение всего эксперимента.

Все эксперименты с питанием проводили в ночное время: полихет добавляли в 9 часов вечера, а подсчет несъеденных пищевых объектов производили в 9 утра следующего дня.

Фотографии немертин и объектов питания были получены с использованием репроустановки, включающей Kaiser Copy Stand RS2 XA (Kaiser Fototechnik GmbH & Co., Buchen, Germany), 2 галогеновых светильника и фотоаппарат Canon EOS6D Mark II (Canon Inc., Tokyo, Japan).

Результаты

На этапе подбора условий (рис. 2С) для искусственного содержания *K. alborostrata* в аквариумах без грунта и с равномерно распределённым по дну грунтом, немертины находились в толще воды или лежали свернутые клубком на дне и не питались (рис. 3 А, В). В аквариуме с расположенным по периметру грунтом немертину закармывалась днём, активно ползала в темное время суток и питалась (рис. 3С).

На этапе определения режима кормления (рис. 2D) объектом питания немертин *K. alborostrata* были полихеты *E. viridis*. В первые две недели эксперимента немертины № 2, 4, 5, 8 питались наиболее активно, немертины № 6, 7, 9, 10 питались редко (съели по 1 полихете каждая), немертины № 1 и 3 не питались вовсе. На третьей и четвертой неделях эксперимента была съедена только одна полихета животным № 4. Остальные особи в этот период не питались (табл. 1). С пятой недели и до конца эксперимента немертину № 1 съела две полихеты, по одной полихете было съедено немертнами № 3 и № 6. Остальные особи не питались (табл. 1). Таким образом, в среднем немертины съедали одну полихету *E. viridis* в течение месяца.

Эксперименты по введению *K. alborostrata* в экспозицию (рис. 2Е) показали, что первая группа немертин, включающая семь животных, съели за весь период наблюдения (56 суток) всего 6 интактных особей рачков *A. salina*, а немертины второй группы, включающей 8 особей, – 32 особи рачков *A. salina* с предварительно нанесенными повреждениями (табл. 2).

Обсуждение

Большинство немертин являются засадными хищниками (von Döhren 2015; Göransson et al. 2019; Melnikova et al. 2025). Хотя известно, что гетеронемертины питаются преимущественно живыми полихетами, отмечено, что они способны также питаться и падалью (Jennings, Gibson 1969; McDermott 1976, 1984; Roe 1976, 1984, 1970; von Dassow et al. 2022; Melnikova et al. 2025). В текущем исследовании

Табл. 1. Питание *Kulikovia alborostrata* в индивидуальных аквариумах: «+» успешное поедание *Eulalia viridis*, «-» отсутствие поедания *Eulalia viridis*.

Table 1. Diet of *Kulikovia alborostrata* in the individual aquarium: “+” indicates successful consumption of *Eulalia viridis*, “-” indicates no consumption of *Eulalia viridis*.

Дата Date	Объект питания (<i>Eulalia viridis</i>), штуки Food item (<i>Eulalia viridis</i>), number of pieces	№ немертины Nemertean No.									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
06.09.2025	3	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
08.09.2025	3	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-
10.09.2025	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.09.2025	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14.09.2025	3	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
16.09.2025	3	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
18.09.2025	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.09.2025	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.09.2025	1	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
29.09.2025	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02.10.2025	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
06.10.2025	1	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13.10.2025	1	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
20.10.2025	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28.10.2025	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03.11.2025	1	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-
10.11.2025	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17.11.2025	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Табл. 2. Питание *Kulikovia alborostrata* первой и второй группы животных. Указано количество съеденных рачков *Artemia salina*.

Table 2. Diet of *Kulikovia alborostrata* in the first and second groups showing the number of brine shrimps consumed.

Дата Date	Группа 1 Group 1	Группа 2 Group 2
22.09.2025	0	3
29.09.2025	1	5
06.10.2025	3	1
13.10.2025	0	4
20.10.2025	0	3
28.10.2025	0	4
03.11.2025	0	4
10.11.2025	0	4
17.11.2025	2	4

гетеронемертина *K. alborostrata* питалась живыми подвижными полихетами *E. viridis* и рачками *A. salina*. Нами впервые выявлена возможность кормления немертин мелкими ракообразными, причем предпочтительнее – особями с повреждёнными конечностями (имитирование падали) (табл. 2). Рачки *A. salina* просты в разведении, что облегчает кормление немертин в искусственных условиях содержания. Таким образом, *K. alborostrata* является достаточно неприхотливым объектом для

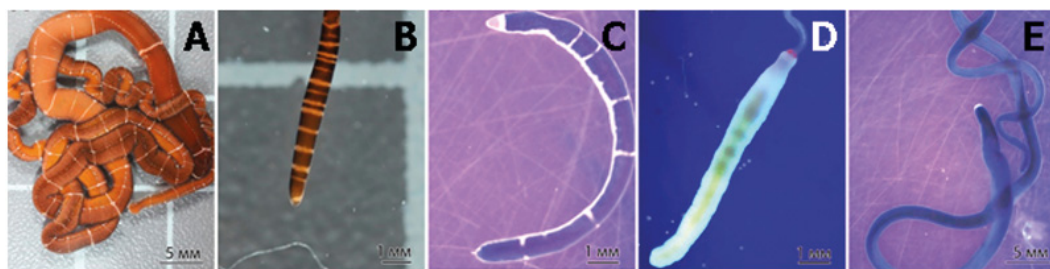


Рис. 4. Немертины зал. Петра Великого при дневном освещении (А, В) и в ультрафиолетовом свете (С–Е): А – *Tubulanus punctatus*; В – *Oerstedia* sp.; С – *Micrura bella*, темная форма; D – *Micrura bella*, светлая форма; Е – *Kulikovia alborostrata*.

Fig. 4. Nemerteans from Peter the Great Bay in the daylight (A, B) and under UV light (C–E): A: *Tubulanus punctatus*; B: *Oerstedia* sp.; C: *Micrura bella*, dark variety; D: *Micrura bella*, light variety; E: *Kulikovia alborostrata*.

экспонирования, и каждую особь можно кормить раз в неделю по 1–2 особи *A. salina* с предварительно нанесёнными повреждениями.

В заливе Петра Великого Японского моря обитает более 70 видов немертин (Чернышев 2020). Одни виды крупные, достигающие 40 и более см (рис. 4А), другие имеют небольшие размеры и отчетливо видны только под биноклем (рис. 4В). Некоторые из дальневосточных немертин обладают способностью светиться в ультрафиолетовом освещении (рис. 4С–Е).

Согласно опубликованным данным и нашим исследованиям, возможно рекомендовать для экспонирования и другие виды немертин, некоторые из которых имеют яркую окраску и крупные размеры (Roe 1970, 1984; McDermott 1976, 1984; McDermott, Snyder 1988; McDermott 1993; Nordhausen 1988; Thiel 1998; Ali 1990; Chernyshev 2000; Wang et al. 2008; Vlasenko et al. 2024; Malykin et al. 2025). Проведённое исследование обеспечивает возможность эффективно вводить немертин в экспозиции как Приморского океанариума, так и других подобных учреждений.

Заключение

В ходе настоящего исследования показано, что немертины способны легко адаптироваться к условиям искусственного содержания и могут быть рекомендованы для демонстрации в океанариумах. При создании экспозиции особое внимание следует уделять созданию условий, максимально близких к природным, поскольку благополучие животных напрямую зависит от качества среды обитания. В текущем исследовании отражено, что для успешного содержания *K. alborostrata* подходит аквариум с грунтом, насыпанным по периметру. В таком аквариуме животное имеет возможность зарываться днём и свободно охотиться в тёмное время суток. Определены подходящая для искусственного содержания диета и режим питания данного вида. Для кормления немертин успешно использовались живые полихеты *E. viridis* и обездвиженные рачки *A. salina*. В подобранных экспериментальным путём условиях адаптация *K. alborostrata* к аквариумному содержанию прошла успешно.

Благодарности

Авторы выражают благодарность акад. РАН В. В. Богатову за научное редактирование и ценные советы по структурированию текста.

Работа частично выполнена на базе ЦКП «Приморский океанариум». Авторы подтверждают соблюдение этических стандартов при работе с живыми объектами.

Литература (References)

- Чернышев А. В.** 2011. Сравнительная морфология, систематика и филогения немертин. – Владивосток: Дальнаука, 309 с. (**Chernyshev A. V.** 2011. Comparative morphology, systematics and phylogeny of the Nemerteans. Vladivostok: Dalnauka, 309 pp. [In Russian].)
- Чернышев А. В.** 2020. Немертины Дальневосточных морей // *Биология моря*. Т. 46 № 3. С. 141–153 (**Chernyshev A. V.** 2020. Nemerteans from the Far Eastern Seas of Russia. *Russian Journal of Marine biology*. 46(3): 141–153. [In Russian]. <https://doi.org/10.1134/S1063074020030049>)
- Ali A. E., Arakawa O., Noguchi T., Miyazawa K., Shida Y., Hashimoto K.** 1990. Tetrodotoxin and related substances in a ribbon worm *Cephalothrix linearis* (Nemertean). *Toxicon* 28: 1083–1093
- Asakawa M., Toyoshima T., Ito K. et al.** 2003. Paralytic toxicity in the ribbon worm *Cephalothrix* species (Nemertea) in Hiroshima Bay, Hiroshima Prefecture, Japan and the isolation of tetrodotoxin as a main component of its toxins. *Toxicon* 41(7): 747–753. [https://doi.org/10.1016/s0041-0101\(03\)00009-6](https://doi.org/10.1016/s0041-0101(03)00009-6).
- Chernyshev A. V.** 2000. Food and feeding behavior of the nemertean *Tortus tokmakovae*. *Russian Journal of Marine biology* (26). 120–123. <https://doi.org/10.1007/BF02759525>.
- Chernyshev A. V., Polyakova N. E., Turanov S., Kajihara H.** 2018. Taxonomy and phylogeny of *Lineus torquatus* and allies (Nemertea, Lineidae) with descriptions of a new genus and a new cryptic species. *Systematics and Biodiversity* 16: 55–68. <https://doi.org/10.1080/14772000.2017.1317672>.
- Chernyshev A. V., Polyakova N. E.** 2022. Nemerteans collected in the Bering Sea during the research cruises aboard the R/V Akademik M. A. Lavrentyev in 2016, 2018, and 2021 with an analysis of deep-sea heteronemertean and hoplonemertean species. *Deep-Sea Research II*: 199: 105081. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2022.105081>
- Chernyshev A. V.** 2024. Nemerteans in Vostok Bay: 40 years of study. *Russian Journal of Marine biology* 50(1): 35–47. <https://doi.org/10.1134/S1063074024700512>
- Folmer O., Black M., Hoeh W., Lutz R., Vrijenhoek R.** 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial Cytochrome C oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular marine biology and biotechnology* 3: 294–299.
- Göransson U., Jacobsson E., Strand M., Andersson H. S.** 2019. The toxins of nemertean worms. *Toxins* 11(2): 120. <https://doi.org/10.3390/toxins11020120>
- Jennings J. B., Gibson R.** 1969. Observations on the nutrition of seven species of rhynchocoelan worms. *The Biological Bulletin* 136(3): 405–433. <https://doi.org/10.2307/1539685>
- Kajihara H., Chernyshev A. V., Sun S.-C., Sundberg P., Crandall F. B.** 2008. Checklist of nemertean genera and species published between 1995 and 2007. *Species Divers* 13 (4): 245–274. <https://doi.org/10.12782/specdiv.13.245>
- Kem W. R.** 2002. Nemertine Toxins. In *Handbook of Neurotoxicology*: Vol. I. Totowa, NJ (USA): Humana Press, pp. 573–593.
- Malykin G. V., Velansky P. V., Melnikova D. I., Magarlamov T. Yu.** 2023. Tetrodotoxins in larval development of ribbon worm *Cephalothrix* cf. *simula* (Palaeonemertea, Nemertea). *Marine Biotechnology* 25: 918–934. <https://doi.org/10.1007/s10126-023-10249-w>
- Malykin G. V., Velansky P. V., Magarlamov T. Y.** 2025. Levels and profile of tetrodotoxins in spawning *Cephalothrix mokievskii* (Palaeonemertea, Nemertea): assessing the potential toxic pressure on marine ecosystems. *Toxins* 17: 25. <https://doi.org/10.3390/toxins17010025>
- Martin H.** 2019. *Creepy moment bizarre 27-inch-long 'wrinkle ribbon worm' that looks disturbingly like human intestine devours a fish whole.* 2019. <https://www.dailymail.co.uk/news/article-7280189/Creepy-moment-bizarre-27-inch-long-wrinkle-ribbon-worm-devours-fish-whole.html>
- McDermott J. J.** 1976. Observations on the food and feeding behavior of estuarine nemertean worms belonging to the order Hoplonemertea. *The Biological Bulletin* 150(1): 57–68. <https://doi.org/10.2307/1540589>
- McDermott J. J.** 1984. The feeding biology of *Nipponnemertes pulcher* (Johnston) (Hoplonemertea), with some ecological implications. *Ophelia* 23(1): 1–21. <https://doi.org/10.1080/00785236.1984.10426601>
- McDermott J. J., Snyder, R. L.** 1988. Food and feeding behavior of the hoplonemertean *Oerstedia dorsalis* *Hydrobiologia* 156: 47–51. <https://doi.org/10.1007/BF00027977>
- McDermott J. J.** 1993. Nemertea inhabiting the Haploops (Amphipoda) community of the northern Øresund with special reference to the biology of *Nipponnemertes pulcher* (Hoplonemertea). *Hydrobiologia* 266: 15–28. <https://doi.org/10.1007/BF00013356>
- Melnikova D. I., Magarlamov T. Y.** 2022. An overview of the anatomical distribution of tetrodotoxin in animals. *Toxins* 14(8): 576. <https://doi.org/10.3390/toxins14080576>

- Melnikova D. I., Chernyshev A. V., Magarlamov T. Yu.** 2025. DNA metabarcoding to assess the diet of a highly toxic ribbon worm *Cephalothrix* cf. *simula* (Nemertea: Palaeonemertea). *Invertebrate Biology* 144(2). <https://doi.org/10.71161/ivb.144.2.2025.00010>
- Nordhausen W.** 1988. Impact of the nemertean *Lineus viridis* on its Polychaete prey on an intertidal sandflat. *Hydrobiologia* 156: 39–46. <https://doi.org/10.1007/BF00027976>
- Roe P.** 1970. The nutrition of *Paranemertes peregrina* (Rhynchocoela: Hoplonemertea). Studies on food and feeding behavior. *The Biological Bulletin* 139(1): 80–91. <https://doi.org/10.2307/1540128>
- Roe P.** 1976. Life history and predator-prey interactions of the nemertean *Paranemertes peregrina* Coe. *The Biological Bulletin* 150(1): 80–106. <https://doi.org/10.2307/1540591>
- Roe P.** 1984. Laboratory studies of feeding and mating in species of *Carcinonemertes* (Nemertea: Hoplonemertea). *The Biological Bulletin* 167(2): 426–436. <https://doi.org/10.2307/1541287>
- Vlasenko A. E., Kuznetsov V. G., Malykin G. V., Pereverzeva A. O., Velansky P. V., Yakovlev K. V., Magarlamov T. Yu.** 2021. Tetrodotoxins secretion and voltage-gated sodium channel adaptation in the ribbon worm *Kulikovia alborostrata* (Takakura, 1898) (Nemertea). *Toxins* 13(9): 1–13. <https://doi.org/10.3390/toxins13090606>
- Vlasenko A. E., Pereverzeva A. O., Velansky P. V., Magarlamov T. Yu.** 2024. Tetrodotoxins in tissues and cells of different body regions of ribbon worms *Kulikovia alborostrata* and *K. manchenkoi* from Spokoinaya Bay, Sea of Japan. *Toxins* 16(4): 186. <https://doi.org/10.3390/toxins16040186>
- Wang H., Sun S., Li Q.** 2008. Laboratory observations on the feeding behavior and feeding rate of the nemertean *Procephalothrix simulus*. *The Biological Bulletin* 214(2): 166–175. <https://doi.org/10.2307/25066673>
- von Dassow G., Mendes C. B., Robbins K., Andrade S. C. S., Maslakova S. A.** 2022. Hoplonemertean larvae are planktonic predators that capture and devour active animal prey. *Invertebrate Biology* 141(1): 123–163. <https://doi.org/10.1111/ivb.12363>
- von Döhren J.** 2015. Nemertea. In: A. Wanninger (ed.). *Evolutionary developmental biology of invertebrates*. Vol. 2. Wien: Springer-Verlag, pp. 155–192. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1871-9_8

Роль размерно-весовых зависимостей в мониторинге и оптимизации содержания рыб (опыт Приморского океанариума)

Арте́м Петро́вич Степа́нков

Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация

E-mail: fossa7@mail.ru

Получена 3 февраля 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. В настоящей работе выполнены очистка и анализ эмпирических данных по стандартной длине и массе рыб, полученных в условиях замкнутых систем, и реализована процедура объединения видов в группы со сходными размерно-весовыми зависимостями «длина–масса». На основе попарной количественной оценки сходства индивидуальных регрессионных моделей сформировано 14 устойчивых групп, включающих от 2 до 7 видов. Для каждой группы построены обобщённые размерно-весовые зависимости на основе объединённых наблюдений. Показано, что полученные групповые кривые характеризуются высокой степенью перекрытия индивидуальных регрессий и отражают специфику условий содержания в Приморском океанариуме. Данные зависимости позволяют сократить число используемых рабочих формул и обеспечивают устойчивые оценки массы в широком диапазоне размеров, что повышает точность расчёта биомассы и практическую применимость моделей при нормировании кормления и оценке биомассы.

Ключевые слова: размерно-весовая зависимость, длина–масса, биомасса, оценка массы, океанариум, групповые регрессии, нормирование кормления.

The role of length–weight relationships in monitoring and optimizing fish maintenance: insights from the Primorsky Aquarium

Artem P. Stepankov

Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690017, Russian Federation

E-mail: fossa7@mail.ru

Received February 3, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. In this study, empirical data on standard length and body weight of fish maintained in closed recirculating systems were cleaned and analyzed. Species with similar length–weight relationships were grouped through the protocol specifically developed for the Primorsky Aquarium facilities. Based on pairwise quantitative assessment of similarity among individual regression models, 14 stable groups were formed, each comprising 2 to 7 species. For each group, generalized length–weight relationships were constructed using pooled observations. The resulting group curves exhibited a high degree of overlap with individual regressions and reflected specific maintenance conditions at the Primorsky Aquarium. The derived relationships reduce the number of operational formulas and provide robust body weight estimates across a wide size range, improving biomass calculation accuracy and practical applicability for establishing feeding standards, as well as for biomass monitoring.

Keywords: length–weight relationship, length–weight, biomass, biomass estimation, aquarium, group regressions, feeding standards.

Введение

Регулярный мониторинг длины и массы рыб в экспозиционных системах является ключевым инструментом оценки роста, состояния и биомассы рыб. В условиях океанариума прямое взвешивание особей зачастую затруднено или невозможно, что делает размерно-весовые зависимости основным практическим методом оценки массы на основе линейных измерений (Froese 2006; Huntingford et al. 2006).

Корректная оценка биомассы имеет принципиальное значение для расчёта рационов, так как нормы кормления в практике содержания рыб, как правило, задаются в процентах от массы тела и варьируют в зависимости от трофической группы, физиологического состояния и условий содержания (Jobling 2011; Tacon and Cowey 1985). Использование формул, не адаптированных к конкретным условиям и популяциям, может приводить к систематическим ошибкам в оценке массы и, как следствие, к перекорму или хроническому недокорму рыб (Masó et al. 2025; Roh et al. 2020; Tosin et al. 2022; Wood et al. 2019).

В условиях природных популяций сезонные колебания температуры и доступности корма являются важными факторами, влияющими на темпы роста и соотношение длины и массы у рыб (Jobling 1994). В условиях замкнутых рециркуляционных систем сезонные колебания факторов среды выражены слабо, режим кормления относительно стабилен, а вариабельность массы при заданной длине может быть в большей степени обусловлена межвидовой конкуренцией, особенностями доступа к корму и различиями в индивидуальном росте. В таких условиях линии регрессии, как правило, характеризуются высокой устойчивостью, однако индивидуальные размерно-весовые зависимости отдельных видов часто основываются на ограниченных выборках и узком диапазоне размеров.

В этой связи объединение видов со сходными размерно-весовыми зависимостями позволяет формировать прикладные обобщённые рабочие кривые, охватывающие более широкий диапазон длин и обеспечивающие более устойчивые оценки массы. Такой подход фактически заменяет экстраполяцию индивидуальных зависимостей на интерполяцию по обобщённой форме кривой, подтверждённой данными нескольких видов со сходными размерно-весовыми зависимостями. Дополнительным практическим преимуществом является сокращение числа используемых рабочих формул, что упрощает интеграцию размерно-весовых зависимостей в системы учёта и расчёта рационов и снижает риск ошибок, связанных с выбором и применением большого количества индивидуальных моделей. При этом индивидуальные видовые зависимости остаются предпочтительными при наличии достаточного объёма данных и широкого диапазона размеров, а групповые модели рассматриваются как рабочий компромисс для видов с ограниченными выборками и для прикладных расчётов, требующих непрерывных оценок массы.

Целью настоящей работы является разработка и апробация прикладного алгоритмического подхода к объединению, очистке и использованию эмпирических размерно-весовых зависимостей рыб, полученных в условиях океанариума, для повышения точности оценки биомассы и формирования обоснованной базы для расчёта кормовых рационов и долгосрочного мониторинга длины и массы рыб.

Материалы и методы

Данные по длине и массе рыб получены в ходе плановых измерений в процессе содержания и учёта в экспозиционных системах океанариума. Для каждого наблюдения учитывались значения стандартной длины (см) и массы тела (г). В анализ включались только наблюдения с положительными и конечными значениями обоих параметров. Под стандартной длиной (SL) в настоящей работе понимается используемая в системе учёта линейная длина тела, измеряемая до основания хвостового плавника; данный показатель применяется последовательно во всех расчётах. Данные хранились и предварительно обрабатывались в системе управления базами данных MariaDB. Статистический анализ, построение размерно-весовых регрессий

и кластеризация моделей выполнялись в среде R (R Core Team) с использованием пакетов tidyverse, broom, igraph и базовых средств линейного моделирования. На этапе предварительной очистки из набора данных исключались записи с некорректными значениями (отрицательные, нулевые, отсутствующие или нечисловые). Для каждого вида рыб применялись только данные, прошедшие процедуру очистки и верификации.

Дополнительно проводился контроль репрезентативности распределения наблюдений по диапазону стандартной длины с целью исключения выборок, охватывающих лишь узкий фрагмент потенциального диапазона размеров. Для анализа использовался интервал от минимально допустимой стандартной длины $L_{\min} = 3$ см до максимально возможной длины вида ($SL_{\max}$). Внутри данного интервала рассчитывались расстояния между: $L_{\min}$ и первой эмпирической точкой; всеми последовательными эмпирическими наблюдениями; последней эмпирической точкой и $SL_{\max}$. Максимально возможная стандартная длина вида ($SL_{\max}$) определялась на основе справочных данных (FishBase 2026) либо, в случаях явного несоответствия указанных значений многолетним наблюдениям в условиях океанариума, на основе эмпирических данных содержания. Корректировка справочных значений выполнялась для видов, у которых максимальные размеры, указанные для природных популяций, существенно превышали размеры, достижимые в экспозиционных системах в силу особенностей содержания, плотности посадки и целей формирования коллекции. В таких случаях $SL_{\max}$ отражала максимально зарегистрированные размеры особей в условиях океанариума и использовалась исключительно как операционный параметр для оценки полноты диапазона размеров, а не как биологический предел роста вида. Максимальный разрыв $G_{\max}$ нормировался на полную длину интервала:

$$R = \frac{G_{\max}}{L_{\max} - L_{\min}}$$

Если максимальный относительный разрыв превышал 45% полного диапазона ($R > 0,45$), выборка по данному виду исключалась из дальнейшего анализа как недостаточно репрезентативная по диапазону размеров. Данный фильтр позволял исключить случаи, при которых данные покрывали только начальные, конечные либо фрагментарные участки возможного диапазона размеров, что могло приводить к нестабильным и биологически некорректным регрессионным оценкам.

Для каждого вида, прошедшего этапы очистки, строилась индивидуальная размерно-весовая регрессия вида:

$$W = a \times L^b,$$

где W – масса тела, L – стандартная длина, a и b – параметры модели. Оценка параметров выполнялась в логарифмическом пространстве методом наименьших квадратов:

$$\log(W) = \log(a) + b \times \log(L).$$

Для каждого вида сохранялись: число наблюдений, минимальная и максимальная стандартная длина в выборке, максимально возможная длина вида ($SL_{\max}$), параметры a и b .

Модели с неустойчивыми или нечисловыми оценками параметров исключались из дальнейшего анализа. Для выявления групп видов со сходной формой размерно-весовой зависимости выполнялась попарная количественная оценка сходства индивидуальных регрессий. Для каждой пары моделей рассчитывались предсказанные

массы тела на равномерной сетке значений стандартной длины в диапазоне от 1 см до минимального из двух значений максимально возможной длины ($SL_{\max}$):

$$SL_{\max}^{(i,j)} = \min(SL_{\max,i}, SL_{\max,j}),$$

где $SL_{\max,i}$ и $SL_{\max,j}$ – максимально возможные длины для рассматриваемых видов i и j . Массы тела прогнозировались по степенной модели:

$$W_1(L) = a_1 L^{b_1}, W_2(L) = a_2 L^{b_2}.$$

Для каждой длины L рассчитывалось относительное расхождение массы двух видов $D(L)$, определяемое как отношение абсолютной разницы прогнозируемых масс к их среднему значению:

$$D(L) = \frac{|W_1(L) - W_2(L)|}{(W_1(L) + W_2(L))/2}.$$

Такая мера позволяет оценивать симметричное различие кривых размерно-весовой зависимости между видами независимо от того, какая модель выбрана первой. На основе распределения $D(L)$ рассчитывались следующие интегральные показатели: среднеквадратичное относительное расхождение (RMS) – усреднённая мера различия кривых по всему диапазону длины; отношение роста – показатель, отражающий различие форм кривых на больших размерах; длина L_{worst} , при которой наблюдается наибольшее расхождение – локализация наибольшей диспропорции между кривыми.

На основе этих показателей строилась матрица попарного сходства, которая использовалась для формирования неориентированного графа, где вершины соответствовали видам, а рёбра – парам моделей, удовлетворяющим критериям сходства. Компоненты связности графа интерпретировались как группы видов со статистически сходной формой размерно-весовой зависимости. Для окончательного объединения видов в группы применялись следующие критерии: минимальное количество наблюдений на вид – 10; максимальное среднеквадратичное относительное расхождение (RMS) – 10%; максимальное отношение размеров – 1.5. Выбранные пороговые значения носили операциональный характер и определялись эмпирически на основе предварительного анализа распределения различий между моделями и визуальной оценкой биологической сопоставимости кривых. Указанные значения обеспечивали компромисс между сохранением внутригрупповой однородности формы зависимостей и формированием статистически устойчивых групп достаточного объёма.

Объединение видов со сходной формой размерно-весовых зависимостей применялось для формирования обобщённых регрессионных моделей, пригодных для оценки массы в диапазонах размеров, недостаточно представленных в данных отдельных видов. Параметры групповой регрессии a и b оценивались непосредственно по объединённым наблюдениям всех видов, входящих в группу, и не являлись средними значениями индивидуальных параметров отдельных видов.

Принципиальное отличие используемого подхода от усреднения параметров отдельных видов схематически показано на рисунке 1. Групповая регрессия строилась непосредственно по объединённым наблюдениям с применением процедуры взвешивания и не являлась результатом усреднения индивидуальных параметров. Это обеспечило устойчивость аппроксимации в области максимальных значений. Весовые коэффициенты определялись на основе максимальной стандартной длины видов ($SL_{\max}$), входящих в группу. В качестве весового фактора использовалась кубическая функция максимальной длины ($L_{\max}^3$), нормированная внутри группы. Такой

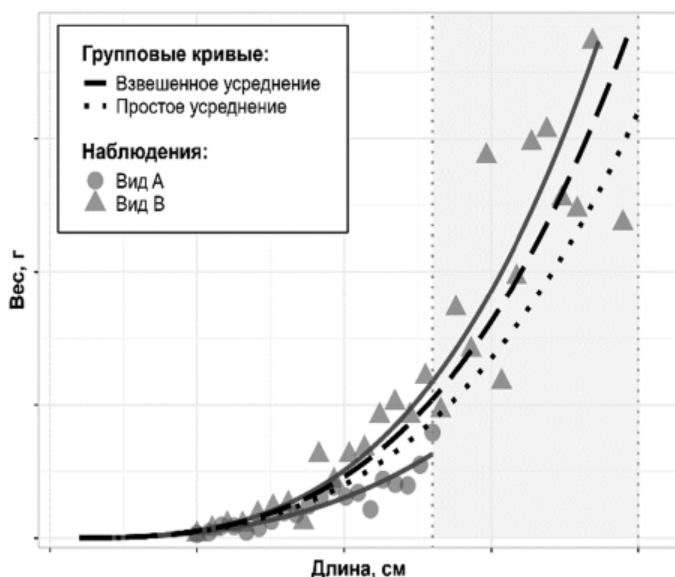


Рис. 1. Схематическая иллюстрация различий между усреднением параметров индивидуальных регрессий и построением групповой размерно-весовой зависимости по объединённым данным со взвешиванием.

Fig. 1. Schematic illustration of the differences between averaging parameters of individual regressions and constructing a group length–weight relationship at a group level using weighted pooled data.

выбор отражает аллометрический характер размерно-весовой зависимости у рыб ($W = a \cdot L^b$, где $b \approx 3$) и позволяет учитывать вклад каждого вида в формирование общего диапазона биомасс. Это предотвращало систематическое смещение модели в сторону мелких форм при численном доминировании коротких размерных рядов и обеспечивало корректное описание, как области малых размеров, так и поведения кривой вблизи максимальных длин.

Интерактивная реализация используемого алгоритма доступна по адресу: <https://fossa7.shinyapps.io/wlshiny>.

Результаты

В результате анализа 48 индивидуальных размерно-весовых зависимостей рыб, полученных в условиях океанариума, была выполнена процедура объединения видов в группы со статистически сходной формой кривых «длина–масса». На основании попарной оценки сходства регрессионных моделей и последующего анализа компонент связности графа было сформировано 14 устойчивых групп, включающих от 2 до 7 видов в каждой. Индивидуальные размерно-весовые зависимости видов, сгруппированных по сходству формы кривых, представлены на рисунке 2.

Каждая панель соответствует одной группе. Критерии включения видов в группы обеспечивали сходство прогнозируемых значений массы в диапазоне перекрывающихся длин, что делало акцент на форме зависимости, а не на численных значениях отдельных регрессионных коэффициентов.

Полученные групповые кривые представляли собой самостоятельные регрессионные модели и не являлись результатом усреднения индивидуальных коэффициентов

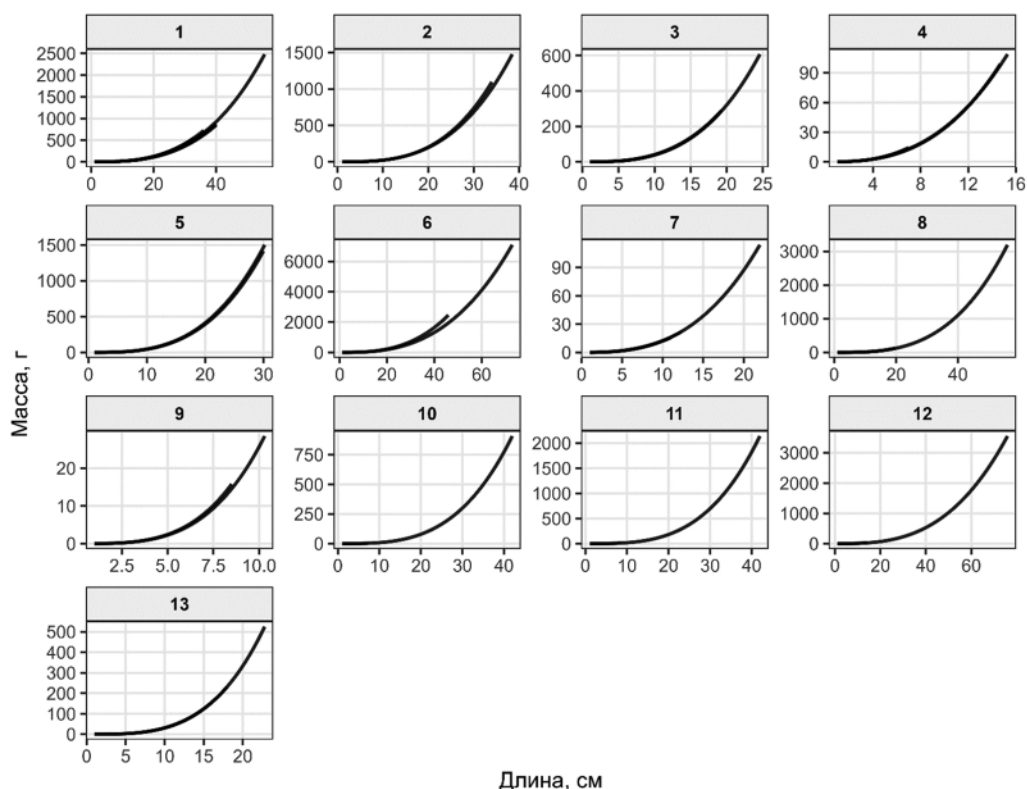


Рис. 2. Индивидуальные размерно-весовые зависимости видов, сгруппированных по сходству формы кривых «длина–масса». Каждая панель соответствует одной группе. Линии отражают индивидуальные регрессионные модели видов в пределах изученного диапазона стандартных длин без экстраполяции за его пределы.

Fig. 2. Individual length–weight relationships of species grouped by similarity as length–weight curves. Each panel corresponds to one group. Lines represent individual species regression models within the observed range of standard lengths, without extrapolation beyond this range.

а и b (рис. 2). Характеристика групп приведена в таблице. Диапазоны стандартных длин внутри групп охватывали как мелкие, так и крупные виды (минимальные значения от 1.6 до 8.4 см; максимальные промеры до 93.5 см), что демонстрирует применимость метода к широкому спектру таксонов и размерных классов. Регрессионные кривые строились исключительно для фактически зафиксированных диапазонов стандартных длин. Это позволило избежать необоснованной экстраполяции моделей за пределы имеющихся эмпирических данных.

Обсуждение

Полученные групповые зависимости отражают специфику условий содержания рыб в океанариуме, что согласуется с данными литературы о возможных отличиях размерно-весовых зависимостей в условиях неволи и подчёркивает необходимость использования адаптированных, эмпирически полученных зависимостей (Dias et al. 2014; Gumanao et al. 2016; Kamikawa et al. 2015).

Вариабельность массы при заданной длине, обусловленная различиями в режиме кормления, внутригрупповой конкуренцией и индивидуальными особенностями роста, уже учитывается на этапе формирования выборки и построения регрессионной модели. Применяемые процедуры очистки данных и допустимый уровень

Таблица. Характеристика сформированных групп видов, включая количество отобранных рыб (n), параметры LWR для видов (a_{species} и b_{species}), минимальную и максимальную длину (L_{min} и L_{max}), минимальный и максимальный наблюдаемый вес (W_{min} и W_{max}), максимальный размер вида (SL_{max}), номер группы (id_{gr}), количество видов в группе (n_{gr}), параметры LWR для групп (a_{group} и b_{group}).

Table. Characteristics of the formed species groups, including the number of sampled fish (n), LWR parameters for species (a_{species} and b_{species}), minimum and maximum length (L_{min} and L_{max}), minimum and maximum observed weight (W_{min} and W_{max}), maximum species size (SL_{max}), group ID (id_{gr}), number of species in each group (n_{gr}), and LWR parameters for groups (a_{group} and b_{group}).

№	Species	n	a_{species}	b_{species}	L_{min} (cm)	L_{max} (cm)	W_{min} (g)	W_{max} (g)	SL_{max}	id_{gr}	n_{gr}	a_{group}	b_{group}
1	<i>Blepistas cirrhus</i>	59	0.017052	2.901	4	15.2	1.1	43.3	20	1	7	0.015335	2.975
2	<i>Brachymystax lenok</i>	13	0.013944	3.01	9.8	55.5	11.5	2300	70				
3	<i>Hemibarbus labeo</i>	39	0.015279	2.961	8.5	40	10.3	828	67				
4	<i>Hexagrammos octogrammus</i>	9	0.017592	2.964	8.6	36	10.8	770	42				
5	<i>Romanogobio tenuicorpus</i>	17	0.022784	2.836	5.2	16.2	2.3	75	26	2	4	0.016824	3.129
6	<i>Tachysurus sinensis</i>	41	0.017441	2.962	3.5	33	0.7	564	34				
7	<i>Tribolodon brandtii</i>	33	0.016511	2.949	8.4	40	9	762	50				
8	<i>Ancistrus dolichopterus</i>	43	0.015395	3.185	3.5	10	0.8	22.6	15				
9	<i>Balantiocheilos melanopterus</i>	22	0.014374	3.188	5	34	2.2	985	35	3	4	0.035616	3.041
10	<i>Bero elegans</i>	27	0.01519	3.162	3.8	13.4	1	59.5	20				
11	<i>Myoxocephalus brandtii</i>	14	0.018624	3.09	4.4	38.5	1.7	1074	42				
12	<i>Chromis viridis</i>	55	0.024847	3.185	2.6	8.6	0.5	22	10				
13	<i>Osteogaster aenea</i>	22	0.030164	3.065	2.6	6.1	0.6	7.8	8	4	4	0.06263	2.743
14	<i>Cyphotilapia frontosa</i>	40	0.032097	3.075	4.8	24.6	4.3	590	33				
15	<i>Monodactylus argenteus</i>	95	0.043238	2.977	2.7	19.3	0.8	263.1	27				
16	<i>Labidochromis caeruleus</i>	36	0.056311	2.78	6.5	14.7	10.7	113	15				
17	<i>Melanochromis auratus</i>	19	0.069274	2.698	7.7	15.3	14.9	113	16	4	4	0.06263	2.743
18	<i>Pterapogon kauderni</i>	40	0.056477	2.803	2.1	6.9	0.4	12.1	8				
19	<i>Sphaeramia nematoptera</i>	17	0.059601	2.819	4.5	7	4.4	15	8				

Окончание табл.

№	Species	n	a _{species}	b _{species}	L _{min} (cm)	L _{max} (cm)	W _{min} (g)	W _{max} (g)	SL _{max}	id _{gr}	n _{gr}	a _{group}	b _{group}
20	<i>Amphilophus citrinellus</i>	64	0.030336	3.161	13.9	30	116	1234	33				
21	<i>Amphilophus trimaculatus</i>	69	0.034079	3.138	2	30.2	0.3	1253	37	5	3	0.032494	3.148
22	<i>Symphysodon aequifasciatus</i>	446	0.032006	3.156	1.5	14.5	0.1	172	16				
23	<i>Gnathanodon speciosus</i>	37	0.042272	2.804	24	73	341	7327	120				
24	<i>Phenacogrammus interruptus</i>	33	0.043901	2.821	4.8	7.5	3.8	14.7	8	6	3	0.041674	2.817
25	<i>Sebastes schlegelii</i>	57	0.039017	2.886	6.8	46	8.1	2620	65				
26	<i>Konosirus punctatus</i>	78	0.018115	2.83	7	22	4.7	98.7	32				
27	<i>Phoxinus tumensis</i>	15	0.025014	2.699	4.1	12.3	1.2	26.2	14	7	3	0.018796	2.815
28	<i>Pseudorasbora parva</i>	66	0.023177	2.717	3.2	11	0.6	19	12				
29	<i>Periophthalmus barbarus</i>	24	0.009608	3.168	3.7	14.3	0.7	46	15				
30	<i>Rhynchocypris lagowskii</i>	40	0.007538	3.262	2.4	19.8	0.2	149	24	8	3	0.009866	3.154
31	<i>Pleurogrammus azonus</i>	71	0.010024	3.148	16.8	56	73.2	3165	62				
32	<i>Astyanax mexicanus</i>	11	0.008227	3.533	6	8.5	4.3	18.6	12	9	2	0.008129	3.522
33	<i>Rhodeus sericeus</i>	187	0.008003	3.507	3	10.3	0.3	29.8	11				
34	<i>Chirolophis japonicus</i>	12	0.004163	3.289	13.4	42	20.1	1069	55	10	2	0.004165	3.289
35	<i>Pungitius sinensis</i>	117	0.00485	3.235	2.9	7.5	0.1	2.5	9				
36	<i>Cichla piquiti</i>	8	0.00841	3.33	18.5	42	128.5	2200	48	11	2	0.00839	3.331
37	<i>Trichopodus leerii</i>	27	0.007232	3.392	4.7	8.5	1.2	10.3	12				
38	<i>Engraulis japonicus</i>	52	0.012217	2.86	7.8	14.2	4.5	25.4	18	12	2	0.009231	2.969
39	<i>Silurus asotus</i>	12	0.009224	2.97	4.2	76	0.8	4600	130				
40	<i>Labeotropheus fuelleborni</i>	132	0.013149	3.381	5.5	18	3.4	233.6	30	13	2	0.011599	3.425
41	<i>Sargocentron rubrum</i>	7	0.01039	3.464	10	22.8	34	536.9	32				

отклонений обеспечивают включение в модель естественного диапазона изменчивости, сопоставимого с вариациями, наблюдаемыми в природных популяциях. Существенные отклонения от ожидаемых значений массы, выходящие за пределы этой вариабельности, могут свидетельствовать об изменении условий содержания и требуют либо корректировки параметров модели, либо пересмотра режима содержания. Таким образом, используемая модель описывает совокупный результат действия факторов среды, а не отдельные механизмы роста.

Для ряда групп различия между полученными и опубликованными зависимостями могут приводить к систематическим смещениям оценок массы при заданной длине при использовании формул, приведённых в литературных источниках. Такие смещения согласуются с представлениями о формировании «аквариумного» фенотипа и изменении энергетического баланса в условиях неволи (Huntingford et al. 2006).

Визуальный и количественный анализ индивидуальных размерно-весовых регрессий показал высокую степень их перекрытия внутри каждой группы, что подтверждает сходство формы кривых в рабочем диапазоне длин и обоснованность использования единой групповой зависимости. Это имеет прямое прикладное значение для расчёта биомассы экспозиционных групп рыб. В условиях океанариума использование «универсальных» формул без адаптации к конкретным популяциям и условиям содержания может приводить к систематическим смещениям, связанным с особенностями «аквариумного» фенотипа, режимами кормления, плотностью посадки и гидрохимическими параметрами. Выявленные различия между группами и расхождения между опубликованными и эмпирически полученными зависимостями указывают на необходимость использования адаптированных размерно-весовых моделей для повышения точности оценки массы.

Несмотря на то, что концепция размерной обусловленности биологических параметров и использование аллометрических зависимостей широко применялись в продукционной гидробиологии и биоэнергетических исследованиях водных организмов, включая работы отечественных авторов (Винберг 1956; Алимов 2000; Алимов и др. 2013), основной акцент в этих трудах делался на фундаментальных экологических закономерностях и оценке продукции сообществ. В отличие от них представленный подход ориентирован на прикладную задачу формирования устойчивых рабочих размерно-весовых моделей для условий замкнутых экспозиционных систем.

Объединение видов со сходной формой размерно-весовых зависимостей следует рассматривать как прикладной инструмент повышения устойчивости моделей в условиях ограниченных данных. Для многих видов объём наблюдений и диапазон размеров недостаточны, что приводит к неопределённости параметров или необходимости экстраполяции. Использование обобщённых групповых зависимостей позволяет расширить рабочий диапазон длин и обеспечить более стабильную оценку массы без нивелирования видовых различий.

Практическая значимость данного подхода заключается в возможности интеграции адаптированных размерно-весовых формул в системы учёта и управления, включая базы данных, используемые для расчёта рационов. Поскольку нормы кормления для различных трофических групп (хищные, всеядные, растительноядные виды) традиционно выражаются в процентах от массы тела, корректная оценка массы становится ключевым элементом управления кормлением и профилактики, как перекорма, так и хронического недокорма.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам службы формирования экспозиций и учета гидробионтов за содействие в ведении и сопровождении системы учета гидробионтов. Работа частично выполнена с использованием оборудования и инфраструктуры ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток).

Литература (References)

- Алимов А. Ф.** 2000. Элементы теории функционирования водных экосистем. – СПб: Наука. 147 с. (Alimov A. F. 2000. Elements of the theory of functioning of aquatic ecosystems. Saint Petersburg: Nauka, 147 pp. [In Russian].)
- Алимов А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М.** 2013. Продукционная гидробиология. – СПб: Наука. 342 с. (Alimov A. F., Bogatov V. V., Golubkov S. M. 2013. Production Hydrobiology. Saint Petersburg: Nauka, 342 pp. [In Russian].)
- Винберг Г. Г.** 1956. Интенсивность обмена и пищевые потребности рыб. – Минск: Изд-во Белорусского государственного университета. 253 с. (Vinberg G. G. 1956. Rate of metabolism and food requirements of fishes. Minsk: Izdatel'stvo Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta, 253 pp. [In Russian].)
- Dias J., Fernandez W., dos Santos Schmidt T. C.** 2014. Length weight relationship of 73 fish species caught in the southeastern inner continental shelf region of Brazil. *Latin American Journal of Aquatic Research* 42: 127–136. <https://doi.org/10.3856/vol42-issue1-fulltext-10>
- FishBase.** 2026. <https://www.fishbase.se/> (accessed on 2 January 2026) <https://doi.org/10.3390/ani10091499>
- Froese R.** 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationship: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology* 22: 241–253. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Gumanao G., Cardoza M. M., Mueller B., Bos A.** 2016. Length–weight and length–length relationships of 139 Indo-Pacific fish species (Teleostei) from the Davao Gulf, Philippines. *Journal of Applied Ichthyology* 32: 377–385. <https://doi.org/10.1111/jai.12993>
- Huntingford F. A., Adams C., Braithwaite V. A., Kadri S., Pottinger T. G., Sandøe P., Turnbull J. F.** 2006. Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology* 68: 332–372. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2006.001046.x>
- Jobling M.** 1994. Fish Bioenergetics. Dordrecht: Springer Netherlands, 310 pp.
- Jobling M.** 2011. National Research Council (NRC): Nutrient requirements of fish and shrimp. *Aquaculture International* 20: 601–602. <https://doi.org/10.1007/s10499-011-9480-6>
- Kamikawa K., Cruz E., Essington T., Hospital J., Brodziak J., Branch T.** 2015. Length-weight relationships for 85 fish species from Guam. *Journal of Applied Ichthyology* 31: 1171–1174. <https://doi.org/10.1111/jai.12877>
- Masó G., García-Berthou E., Merciai R., Latorre D., Vila-Gispert A.** 2025. Effects of captive-breeding conditions on metabolic and performance traits in an endangered, endemic cyprinodontiform fish. *Current Zoology* 71: 14–24. <https://doi.org/10.1093/cz/zoae018>
- Roh H., Park J., Kim A., Kim N., Lee Y., Kim B. S., Vijayan J., Lee M. K., Park C.-I., Kim D.-H.** 2020. Overfeeding-Induced Obesity Could Cause Potential Immuno-Physiological Disorders in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals* 10(9): 1499. <https://doi.org/10.3390/ani10091499>
- Tacon A. G. J., Cowey C. B.** 1985. Protein and Amino Acid Requirements. In: Tytler P., Calow P. (eds), Fish Energetics. Dordrecht, Netherlands: Springer, pp. 155–183. https://doi.org/10.1007/978-94-011-7918-8_6
- Tosin O. V., Mohamed A. A., Ariffin N. A., Chowdhury A. J. K., Bolong A.-M. A.** 2022. Morphological Variation between Hatchery Bred and Wild Caught *Anabas testudineus* in Malaysia. *Tropical Life Sciences Research*. 33, 201–214. <https://doi.org/10.21315/tlsr2022.33.1.12>

УДК 597.4

https://doi.org/10.25221/2782-1978_2026_2_7

<https://elibrary.ru/kwafoy>

Эффективность использования живых кормов при выращивании молоди селекционной формы Параиба Пиной обыкновенной скалярии *Pterophyllum scalare* (Schultze, 1823) (Perciformes: Cichlidae)

Диана Эдуардовна Радченко

Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии
им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация
E-mail: diana.radchenko26@mail.ru

Получена 5 марта 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. Для проведения эксперимента по эффективности использования кормов отобраны мальки обыкновенной скалярии *Pterophyllum scalare* (Schultze, 1823) (селекционная форма Параиба Пиной) в возрасте 25 дней средней промысловой длиной 1.85–1.87 см и средней массой 0.3–0.39 г. Методом аналогов сформирована контрольная и экспериментальная группы по 94 особи в каждой, продолжительность эксперимента составила 6.5 месяцев. Средняя длина молоди скалярий контрольной группы, получавшей гранулированный корм, изменялась от 1.85 ± 0.02 до 4.27 ± 0.01 см, экспериментальной, получавшей живой корм – от 1.87 ± 0.01 до 4.14 ± 0.02 см. Средняя масса контрольной группы скалярий увеличилась от 0.33 ± 0.008 до 1.56 ± 0.033 г, экспериментальной – от 0.39 ± 0.01 до 1.45 ± 0.01 г. Наиболее высокие показатели скорости роста отмечены для молоди в возрасте 3–3.5 и 5 месяцев. Результаты могут использоваться для подбора полноценного рациона молоди скалярий при выращивании в искусственных условиях.

Ключевые слова: молодь скалярий, Приморский океанариум, живые корма, размерный и массовый состав, темпы роста.

Efficiency of live feed use in rearing juvenile angelfish *Pterophyllum scalare* (Schultze, 1823) (Perciformes: Cichlidae), Pinoy Paraiba variety

Diana E. Radchenko

Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine
Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, 690017, Russian Federation
E-mail: diana.radchenko26@mail.ru

Received March 5, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. The juveniles of the freshwater angelfish *Pterophyllum scalare* (Schultze, 1823), Pinoy Paraiba variety, were selected for the experiment aimed at evaluating feed efficiency. The fry selected (age 25 days; mean fork length 1.85–1.87 cm; mean body weight 0.3–0.39 g) were assigned to a control group and an experimental group (n = 94 per group) using the analogue method. The experiment lasted for 6.5 months. The mean length of juveniles in the control group, which received pelleted food, grew from 1.85 ± 0.02 cm to 4.27 ± 0.01 cm, whereas that of the experimental group, which received live feed, increased from 1.87 ± 0.01 cm to 4.14 ± 0.02 cm. Mean body weight rose from 0.33 ± 0.008 g to 1.56 ± 0.033 g in the control group and from 0.39 ± 0.01 g to 1.45 ± 0.01 g in the experimental group. The highest growth rates were observed for juveniles aged 3–3.5 and 5 months. These results can be used in formulating a balanced diet for juvenile angelfish reared in captivity.

Keywords: juvenile angelfish, Primorsky Aquarium, live feeds, length–weight composition, growth rates.

Введение

В XXI веке наблюдается быстрое развитие декоративного рыбоводства – совершенствуется аквариальное оборудование, появляются новые высококачественные корма, разрабатываются современные технологии разведения аквариумных рыб. В последние годы в России благодаря развитию научно-просветительской

аквариумной индустрии открылись более десяти крупных океанариумов, самым масштабным из которых является Приморский океанариум на о-ве Русский.

Потребность в здоровых, адаптированных к неволе декоративных тропических рыбах стимулирует исследования по развитию, росту и питанию личинок и молоди с целью улучшить воспроизводство этих рыб в искусственных условиях. Поколение рыб, выращенных в аквариальных, обладает несомненным рядом преимуществ: оно более жизнестойкое, не подвергавшееся стрессу, и с первых дней адаптировано к аквариуму и искусственным кормам. Важным фактором является отсутствие болезней, вирусов и паразитарной фауны, характерных для рыб тропического бассейна. Учитывая это, можно ожидать высокую продолжительность жизни и хорошее самочувствие культивируемых декоративных рыб при оптимальных условиях содержания. Благодаря содержанию рыб в аквариумах возможно сохранить генофонд исчезающих видов.

Одно из основных условий оптимального содержания рыб – их правильное и полноценное питание (Aquarium Fish Market Report 2025; Лавренова 2024). Рост является обобщенным показателем, отражающим совокупность факторов искусственной среды и степень полноценности кормления рыб. С этим связана цель работы: оценить эффективность использования живых кормов при выращивании молоди обыкновенной скалярии *Pterophyllum scalare* (Schultze, 1823) (селекционная форма Параиба Пиной) в условиях Приморского океанариума по показателям роста.

Материалы и методы

Исследование проходило в Научно-адаптационном корпусе Приморского океанариума. Для осуществления эксперимента по кормлению были отобраны мальки обыкновенной скалярии *Pterophyllum scalare* селекционной формы Параиба Пиной (рис. 1) в возрасте 25 дней средней промысловой длиной 1.85–1.87 см и средней массой 0.33–0.39 г. Методом аналогов была сформирована контрольная и экспериментальная группы по 94 особи в каждой. Выращивали молодь в аквариумах ёмкостью 270 л. Показатели параметров среды в аквариумах в течение периода проведения аквариальных опытов составляли: температура 25–27 °C, pH 6.91–7.36. Световой период был отрегулирован: восход 8:30, заход 16:30. Продолжительность эксперимента составила 6.5 месяцев – с декабря 2024 по май 2025 гг.

Контрольная группа получала полноценный гранулированный корм (ГК) «TetraCichlid Granules», специально разработанный для всех африканских и южноамериканских цихлид. Экспериментальную группу кормили живыми мелкими ракообразными (артемия, дафния). В дополнение 2–4 раза в месяц экспериментальная группа получала личинок хирономид. В начале эксперимента мальков кормили 4 раза в день – в 10, 12, 14 и в 16 часов. Подросших рыб



Рис. 1. Скалярия в аквариуме Приморского океанариума, фото А. А. Кауфман, 30.10.2024.

Fig. 1. Angelfish in one of the aquariums at the Primorsky Aquarium, photo by A. A. Kaufman, November 30, 2024.

кормили 2 раза в день – в 11 и в 15 часов. Ежедневное количество корма составляло в среднем 30 г.

В ходе эксперимента проводилось измерение длины и массы мальков 5 и 20 числа каждого месяца. Фотоснимки и измерения фиксировали с помощью камеры ZEISS AxioCam, подключаемой к микроскопу ZEISS Stemi 305. Взвешивали на лабораторных весах SHIMADZU Uni Bloc AUW 220D (min = 1 мг, max = 220 г, с погрешностью 1 мг).

Для описания интенсивности массового роста использовали показатели абсолютного, относительного и среднесуточного прироста массы, а также коэффициента конверсии корма (Karadall et al. 2019).

Оформление и статистическая обработка данных производилась с применением пакета программ MS Word и MS Excel.

Результаты и обсуждение

В Приморском океанариуме в качестве основного корма для выращивания молоди и взрослых скалярий используют гранулированный корм «TetraCichlid Granules». Это полноценный корм высокого качества, специально разработанный для здорового и сбалансированного питания всех африканских и южноамериканских цихлид (Tetra Cichlid Granules). В качестве живых кормов в аквакультуре и аквариумистике выступают инфузории *Ciliata*, нематоды *Nematoda*, коловратки *Rotatoria*, олигохеты *Oligochaeta*, мелкие ракообразные (артемия *Artemia*, дафнии *Daphnia*, моины *Moina*), насекомые (личинки хирономид *Chironomus*) (Маликова 1956; Богатова 1980).

Суточную норму корма рассчитывали по общепринятой методике, с учетом температуры воды и массы рыбы (Ильин 1968).

Для характеристики интенсивности роста мы использовали показатели абсолютного, относительного и среднесуточного приростов, а также коэффициент конверсии корма (табл. 1, 2).

Анализируя полученные данные, можно сказать, что рост был интенсивный в течение всего периода исследования. Небольшой спад относительного прироста наблюдался только на второй неделе выращивания.

На рисунке 2 показаны результаты линейного и массового роста скалярий из опытной и контрольной групп. По росту в длину в начале эксперимента лидировали рыбы, питающиеся живыми кормами, но с февраля их стала опережать контрольная группа на диете ГК (рис. 2А). По массе также первоначально лидировала экспериментальная группа, а с конца января произошел резкий скачок увеличения массы у рыб из контрольной группы (рис. 2В). Общий прирост массы при кормлении сухим кормом составил 1.23 г, а при кормлении живым кормом – 1.06 г. Таким образом, скалярии, питавшиеся ГК, показали несколько лучший рост и набор массы, однако существенных различий не наблюдалось. В марте показатели у обеих групп почти выровнялись.

Сходства и различия по рыбоводно-биологическим показателям также были незначительны. С 20 декабря по 5 февраля наблюдалось доминирование средней длины в экспериментальной группе, но затем начинала лидировать контрольная группа. Характер массового роста в обеих группах являлся сходным, однако с 20 января по 20 февраля скорость в контрольной группе была выше. В марте у обеих групп показатели практически выровнялись, но в итоге и по длине, и по массе лидировали рыбы контрольной группы.

Табл. 1. Показатели прироста массы.
Table 1. Indicators of weight gain.

Дата (число месяц, год) Date (month, year)	Абсолютный прирост массы, г/сут. Absolute weight gain, g/day		Относительный прирост массы, % Relative weight gain, %		Скорость роста (сред- несуточный прирост массы), % Growth rate (average daily weight gain), %	
	Контроль Control	Опыт Experimen	Контроль Control	Опыт Experiment	Контроль Control	Опыт Experiment
05.12.2024	-	-	-	-	-	-
20.12.2024	0.0006	0	3	0	2	0
05.01.2025	0.001	0.002	5.8	7.6	3.6	0.5
20.01.2025	0.002	0.002	8.3	9.5	5.3	0.6
05.02.2025	0.03	0.02	128	65.2	5.2	3.2
20.02.2025	0.02	0.016	33	31.5	21.1	1.8
05.03.2025	0.0006	0.014	0.8	21	0.5	1.2
20.03.2025	0.001	0.001	1	1.6	1.1	0.1
05.04.2025	0.02	0.01	24.6	15.4	1.4	0.9
20.04.2025	0.0006	0.0006	0.7	0.7	0.04	0.04
05.05.2025	0.001	0.002	1.3	2	0.09	0.14
20.05.2025	0.0006	0.003	0.6	3.6	0.04	0.2

Табл. 2. Коэффициент конверсии корма.
Table 2. Feed conversion rate.

Показатели Indicators	Опыт Experiment	Контроль Control
Начальная масса, г Initial weight, g	0.39	0.33
Конечная масса, г Final weight, g	1.45	1.56
Общий абсолютный прирост массы, г Total absolute weight gain, g	1.06	1.23
Общее потребление корма, г Total feed consumption, g	54.7	54.7
Коэффициент конверсии корма Feed conversion ratio	51.6	44.4

В процессе исследования была изучена динамика размерного и массового состава растущей молоди обыкновенной скалярии *Pterophyllum scalare* (селекционная форма Параиба Пиной) в контрольной и экспериментальной группах в течение 6.5 месяца.

Размерный состав

В возрасте 1.5 месяца в контрольной группе длина мальков скалярии варьировалась от 1.6 см до 2.25 см при среднем значении 1.95 ± 0.02 см, в экспериментальной – от 1.7 см до 2.5 см при среднем значении длины 2.07 ± 0.01 см (табл. 3). В контрольной группе скалярий около 36% приходилось на долю мальков длиной от 1.5 до 1.8 см, мальки длиной более 1.8 см составили более 60%. В то же время, в экспериментальной группе доля мелкоразмерной молоди была меньше (27%), а крупная молодь длиной более 1.8 см составила 72% выборки.

Таким образом, у молоди скалярий возрастом 1.5 и 2.5 месяца в экспериментальной группе доля крупноразмерных рыб была выше, чем в контрольной. К возрасту 3.5

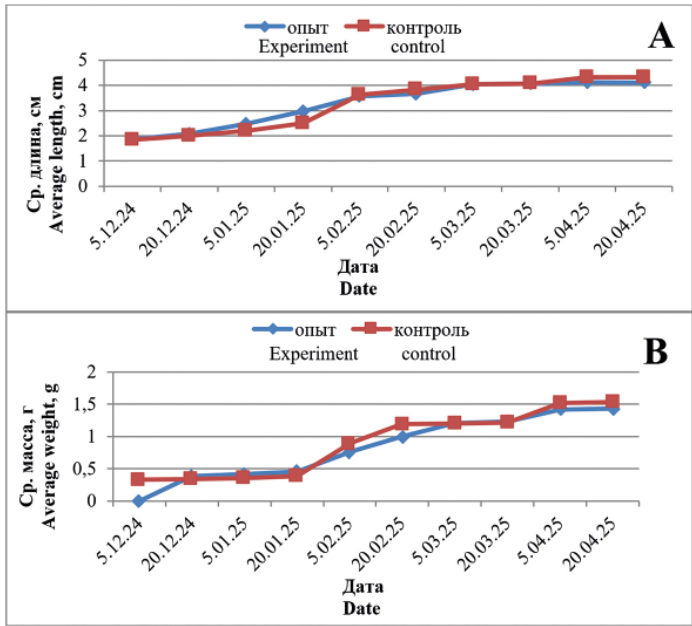


Рис. 2. Показатели роста скалярии *Pterophyllum scalare*: линейный рост (А); массовый рост (В).

Fig. 2. Growth rates of *Pterophyllum scalare*: growth in length (А); growth in weight (В).

и 4.5 месяца в контрольной выборке наблюдаются большие значения длины по сравнению с экспериментальной, что свидетельствует о снижении скорости линейного роста у молоди скалярий, питающихся в эксперименте живым кормом.

Массовый состав

В возрасте 1.5 месяца в контрольной группе масса мальков скалярий изменялась от 0.15 до 0.51 г при среднем значении 0.33 ± 0.008 г, в экспериментальной – от 0.21 до 0.69 г, среднее значение массы – 0.39 ± 0.01 г. В контрольной группе основу выборки составила молодь с массой 0.21–0.4 г (77%), и 8% пришлось на рыбок с массой 0.41–0.6 г. В экспериментальной выборке молодь с массой 0.21–0.4 г составила только 58%, остальные имели вес 0.41–0.7 г (табл. 4).

Табл. 4. Статистические параметры массы молоди скалярий.

Table 4. Statistical parameters of the mass of juvenile angelfish.

Дата Date	Возраст (месяц) Age (month)	Масса, г Weight, g					
		Контроль control			Опыт experiment		
		$X_{\min}$, г (g)	$X_{\max}$, г (g)	$\bar{x}$, г (g)	$X_{\min}$, г (g)	$X_{\max}$, г (g)	$\bar{x}$, г (g)
20.12.2024	1.5	0.15	0.51	0.33 ± 0.008	0.21	0.69	0.39 ± 0.01
20.01.2025	2.5	0.2	0.56	0.38 ± 0.008	0.28	0.76	0.46 ± 0.01
20.02.2025	3.5	1.0	1.36	1.18 ± 0.008	0.82	1.3	1.0 ± 0.01
20.03.2025	4.5	1.04	1.4	1.22 ± 0.008	1.04	1.52	1.23 ± 0.01
20.04.2025	5.5	1.34	1.71	1.49 ± 0.008	1.24	1.73	1.43 ± 0.01
20.05.2025	6.5	1.37	1.74	1.52 ± 0.008	1.26	1.75	1.45 ± 0.01

Таким образом, при экспериментальном кормлении к возрасту 6.5 месяца в выборке доминировали рыбы с большей массой, чем в контрольной группе.

Также необходимо отметить, что подобные исследования с похожими результатами проводились учеными из Ирана, Мексики и Турции (Abdolbaghian et al. 2010; Karadall et al. 2019; Kasiri et al. 2012).

Заключение

Массовый рост оценен по показателям абсолютного, относительного и среднесуточного прироста массы, а также коэффициента конверсии корма. Средняя длина молоди скалярий контрольной группы, получавшей гранулированный корм, изменялась от 1.85 ± 0.02 до 4.27 ± 0.01 см, экспериментальной, получавшей живой корм – от 1.87 ± 0.01 до 4.14 ± 0.02 см. Средняя масса контрольной группы скалярий увеличилась с 0.33 ± 0.008 до 1.56 ± 0.033 г, экспериментальной – с 0.39 ± 0.01 до 1.45 ± 0.01 г. В контрольной группе общий прирост массы и коэффициент конверсии корма составили 1.23 г и 44.4; в экспериментальной – 1.06 г и 51.6, соответственно. Темпы роста длины и массы молоди в контрольной и экспериментальной группах были нестабильными. Наиболее высокие показатели скорости роста отмечены для молоди в возрасте 3–3.5 и 5 месяцев. Максимальные показатели абсолютного, относительного и среднесуточного прироста массы в контрольной группе составили 0.5 г, 128% и 21% в сутки, в экспериментальной – 0.3 г, 65.2% и 3.2% в сутки, соответственно. Сделан вывод, что использование в рационе молоди скалярий только живых кормов не является эффективным, требуется дополнительная разработка оптимального рациона и режима питания.

Благодарности

Работа выполнена в Центре коллективного пользования «Приморский океанариум» ННЦМБ ДВО РАН (г. Владивосток).

Литература (References)

- Богатова И. Б.** 1980. Рыбоводная гидробиология. – М.: Пищевая промышленность, 168 с. (Bogatova I. B. 1980. Fish breeding hydrobiology. Moscow: Food Industry, 168 pp. [In Russian].)
- Ильин М. Н.** 1968. Аквариумное рыбоводство. – М.: Издательство Московского университета, 400 с. (Ilyin M. N. 1968. Aquarium fish farming. Moscow: Moscow University Press, 400 pp. [In Russian].)
- Лавренова В.** 2024. Аквариумистика набирает обороты // *ZooMedVed*, № 8 (325). С. 6–9. (Lavrenova V. 2024. Aquarium keeping is gaining momentum. *ZooMedVed* 8: 6–9. In Russian.)
- Маликова Е. М.** 1956. Пищевая ценность некоторых беспозвоночных как корма для рыб // *Биохимия*. Т. 21 (2). С. 173–181. (Malikova E. M. 1956. Nutritional value of some invertebrates as fish food. *Biochemistry* 21 (2): 173–181. [In Russian].)
- Обыкновенная скалярия*. 2022. ([Angelfish]. 2022 [In Russian]) <https://zoomag.info/aquarium-fish/tpost/dkm81p9zu1-obiknovennaya-skalyariya> (accessed on 16 March 2025).
- Abdolbaghian S., Jamili S., Matinfar A.** 2010. The effect of temperature and diet on the degrees of specific growth rate percentage (SGR%) and weight growth (WG %) of angel fish fry (*Pterophyllum scalare*). *Journal of Fisheries and Aquatic Science* 5: 311–315.
- Aquarium Fish Market Report*. 2025. <https://www.cognitivemarketresearch.com/aquarium-fish-market-report> (accessed on 20 January 2025).
- Karadall O., Güroy D., Türkmen I.** 2019. Effects of Feed Type and Feeding Frequency on Growth Performance, Reproductive Efficiency and Skin Coloration of Auratus Cichlids (*Melanochromis auratus*). *Aquaculture Studies* 18(2): 135–144. https://doi.org/10.4194/2618-6381-v18_2_07
- Tetra Cichlid Granules*. <https://www.tetra.net/ru-ru/produkty/tetra-cichlid-granules-1> (accessed on 4 April 2025).
- Kasiri M., Farahi A., Sudagar M.** 2012. Growth and reproductive performance by different feed types in fresh water angelfish (*Pterophyllum scalare* Schultz, 1823). *Veterinary Research Forum* 3 (3): 175–179.

Клинические проявления и особенности течения криптокарионоза у морских рыб в условиях аквариумного содержания

Артём Петрович Степаньков

Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация

E-mail: fossa7@mail.ru

Получена 8 апреля 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. В работе представлены результаты наблюдений за протеканием паразитарного заболевания, вызванного *Cryptocaryon irritans* Brown, 1951 у морских рыб в условиях замкнутых аквариумных систем. На основании клинических данных и микроскопического анализа выделены две формы заболевания, различающиеся по локализации паразита, клиническим проявлениям и характеру течения: типичная (кожная) и жаберная. Показано, что типичная форма характеризуется длительным персистированием и относительно низкой летальностью, тогда как жаберная форма сопровождается поражением эпителия жаберных ламелл, нарушением дыхательной функции и может приводить к быстрой гибели рыб. Анализ литературных данных подтверждает, что случаи с жаберной локализацией паразита редко рассматриваются как отдельный клинический вариант. Полученные результаты указывают на необходимость диагностики жаберной формы криптокарионоза и выбора тактики лечения, особенно при содержании в экспозиционных системах.

Ключевые слова: паразитарное заболевание, *Cryptocaryon irritans*, морские рыбы, жаберная локализация, клинические проявления, диагностика, Приморский океанариум.

Clinical manifestations and patterns of progression of cryptocaryonosis in marine fish under aquarium conditions

Artem P. Stepankov

Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,

Vladivostok, 690017, Russian Federation

E-mail: fossa7@mail.ru

Received April 8, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. This study presents observations of a parasitic disease caused by *Cryptocaryon irritans* Brown, 1951 in marine fish maintained in closed aquarium systems. Based on clinical assessment and microscopic examination, two forms of the disease were identified, a typical (cutaneous) form and a gill-associated form, differing in parasite localization, clinical manifestation, and disease progression. The typical form was characterized by prolonged persistence and relatively low mortality, whereas the gill-associated form involved parasite localization within the epithelium of the gill lamellae, impaired respiratory function, and caused rapid mortality. Analysis of published data indicates that cases with predominant gill involvement have been reported, but are rarely considered as a distinct clinical form. The findings highlight the importance of including gill examination in diagnostic protocols, particularly in public aquarium systems.

Keywords: parasitic disease, *Cryptocaryon irritans*, marine fish, gill-associated infection, clinical manifestations, diagnostics, Primorsky Aquarium.

Введение

Cryptocaryon irritans Brown, 1951 (Ciliophora: Prostomatea) – облигатная паразитическая инфузория, поражающая различных морских костистых рыб и вызывающая криптокарионоз. Заболевание традиционно ассоциируется с кожной формой инвазии, проявляющейся в виде белых узелков. В условиях замкнутых аквариумных систем инвазия может принимать массовый характер с быстрым нарастанием паразитарной нагрузки и высокой летальностью, что подтверждается наблюдениями как

в аквариумных, так и в экспериментальных условиях (Yambot et al. 2003; Colorni and Burgess 1997; Nigrelli and Ruggieri 1966).

Вместе с тем в клинической практике отмечается вариабельность проявлений инвазии, включая формы с преимущественным поражением жаберного аппарата. Такие различия могут быть связаны с особенностями взаимодействия паразита и хозяина или условиями содержания и имеют принципиальное значение для интерпретации клинической картины в замкнутых аквариумных системах, где своевременная диагностика и выбор тактики лечения определяют исход заболевания.

Несмотря на наличие отдельных описаний поражения жаберного аппарата, такие случаи, как правило, не рассматриваются как самостоятельный клинический вариант и остаются в рамках общего описания криптокариоза. В то же время особенности течения заболевания при преимущественной жаберной локализации паразита, включая быстрое развитие дыхательной недостаточности и высокую летальность, указывают на необходимость их отдельного рассмотрения.

Целью настоящей работы является анализ клинических проявлений криптокариоза у морских рыб в условиях аквариумного содержания с выделением и сопоставлением различных вариантов течения заболевания на основании данных клинического наблюдения и микроскопического исследования.

Материал и методы

Исследование носит описательный характер и основано на анализе случаев выявления криптокариоза у морских рыб, содержащихся в Приморском океанариуме. Наблюдения проводились в условиях экспозиционных и карантинных систем с контролируемыми параметрами среды (температура, солёность, гидрохимические показатели), при стандартных режимах кормления и содержания. Оценка клинического состояния рыб включала визуальный осмотр с фиксацией поведенческих реакций, характера дыхания и наличия внешних патологических изменений. Наблюдения охватывали случаи криптокариоза у представителей различных таксономических групп морских рыб (Chaetodontidae, Acanthuridae, Pomacentridae, Labridae, Tetraodontidae, Ostraciidae и др.). При описании морфологии и локализации паразита в настоящей работе использованы материалы по видам *Chaetodon rafflesii* Bennett, 1830, *Heniochus acuminatus* (Linnaeus, 1758) и *Pterocaesio digramma* (Bleeker, 1868). Диагностика криптокариоза осуществлялась с использованием световой микроскопии. Материал для исследования получали методом соскобов с поверхности тела и жаберных ламелл. Препараты исследовали в нативном состоянии методом световой микроскопии без гистологической верификации при увеличении, достаточном для идентификации инфузорий по морфологическим признакам.

В рамках анализа выделяли две клинические формы заболевания: типичную (кожную) – при наличии визуально определяемых узелков на поверхности тела и подтверждении наличия трофонтов в эпидермисе; жаберную – при отсутствии или слабой выраженности кожных проявлений, но с выявлением трофонтов в жаберной ткани при микроскопии.

Идентификация *C. irritans* проводилась на основании совокупности морфологических признаков, характерных для данного вида, в соответствии с общепринятыми описаниями и диагностическими критериями, применяемыми в рутинной ихтиопатологической практике (Colorni, Burgess 1997; Brown 1951). Количественная оценка встречаемости (экстенсивности инвазии) у разных видов рыб не входила в задачи настоящего исследования.

Результаты

В ходе наблюдений за случаями криптокариоза у морских рыб в условиях замкнутых аквариумных систем были выделены два клинических варианта течения заболевания, различающиеся по локализации паразита, клиническим проявлениям и характеру течения (рисунок).

Типичная форма криптокариоза проявлялась наличием визуально определяемых белых узелков на поверхности тела и плавников, соответствующих трофонтам, локализованным в эпидермисе (рисунок, А). Помимо кожных проявлений, отмечались умеренные изменения со стороны жаберного аппарата, включая гиперемию, гиперсекрецию слизи и расширение капилляров. В отдельных случаях наблюдались участки геморрагий и признаки воспаления. Заболевание, как правило, протекало хронически, с длительным персистированием в системе и без значимой гибели рыб, несмотря на выраженность клинических проявлений. Размеры трофонтов при типичной форме составляли 80–520 мкм и включали крупные формы, характерные для поздних стадий развития паразита.

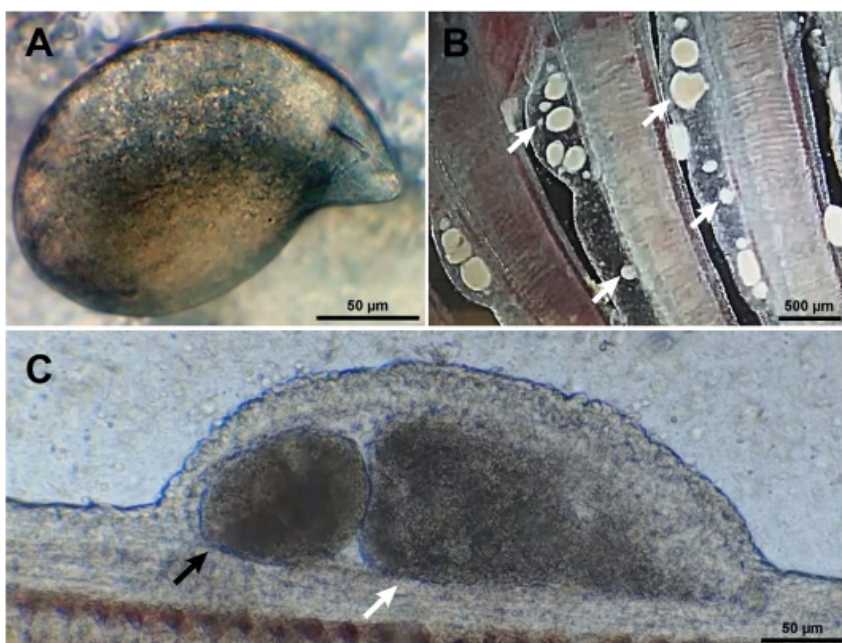


Рисунок. Морфология и локализация *C. irritans* в тканях морских рыб: типичный трофонт (*Chaetodon rafflesii*) (А); множественная локализация трофонтов в эпителии жаберных ламелл (*Heniochus acuminatus*) (В), стрелками обозначены трофонты; трофонты, локализованные в эпителии жаберных ламелл (*Pterocaesio digramma*) (С), наблюдаются две тесно прилежащие структуры: меньшая подвижная (чёрная стрелка) и более крупная неподвижная (белая стрелка).

Figure. Morphology and localization of *C. irritans* in the gill tissues of different marine fishes: typical trophont (*Chaetodon rafflesii*) (А); multiple trophonts located within the epithelium of the gill lamellae (*Heniochus acuminatus*) (В), arrows indicate trophonts; trophonts located within the epithelium of the gill lamellae (*Pterocaesio digramma*) (С), two closely apposed structures are observed: a smaller motile structure (black arrow) and a larger non-motile structure (white arrow).

Жаберная форма характеризовалась отсутствием или минимальной выраженностью кожных проявлений при преимущественном поражении жаберного аппарата. Клиническая картина сопровождалась признаками дыхательной недостаточности, включая учащённое дыхание и поведенческие реакции, указывающие на гипоксию. Микроскопическое исследование выявляло множественную локализацию трофонтов в эпителии жаберных ламелл (рисунок, В–С), сопровождающуюся гиперплазией, гиперемией и участками некроза. Паразиты были представлены формами размером 60–280 мкм, обладающими выраженной подвижностью, при этом в жаберной ткани одновременно присутствовали многочисленные трофонты различного размера в пределах одного очага поражения. При этом выявление трофонтов при микроскопическом исследовании не представляло затруднений, тогда как макроскопические признаки поражения жаберного аппарата в этот период, как правило, отсутствовали. В клинической практике переход к выраженному поражению жабр зачастую не фиксировался и проявлялся как внезапное развитие тяжёлого состояния с высокой плотностью паразитов в жаберной ткани.

В ряде наблюдений отмечались структуры, интерпретируемые как возможные дочерние клетки, ассоциированные с крупными трофонтами (рисунок, С). Динамика этих структур и особенности движения трофонтов представлены в дополнительных видеоматериалах. Заболевание протекало остро: массовая гибель рыб наступала в течение 1–3 суток после появления первых клинических признаков. Отмечалась высокая плотность паразитов в поражённой ткани.

Наблюдения охватывали случаи криптокариоза, зарегистрированные в аквариумных системах, начиная с 2021 года. Жаберная форма выявлялась у представителей различных таксономических групп морских рыб и характеризовалась сходным клиническим течением. В рамках проведённого анализа зависимость между видом хозяина и формой заболевания не выявлена.

Обсуждение результатов

Анализ литературных данных (таблица) показывает, что случаи с преимущественной жаберной локализацией паразита не рассматриваются как проявления различных вариантов заболевания и остаются недостаточно систематизированными. Основное внимание уделяется кожной форме, тогда как случаи с преимущественной жаберной локализацией паразита описываются фрагментарно и без детального анализа. Такое ограниченное внимание к данной форме заболевания может приводить к недооценке тяжести патологического процесса и снижению эффективности терапии.

Представленные данные позволяют сопоставить опубликованные описания криптокариоза с точки зрения локализации паразита и характера клинических проявлений (таблица).

Первоначально *C. irritans* рассматривался как паразит, поражающий преимущественно кожный покров морских рыб (Brown 1951), что определило классическое представление о заболевании как о форме с выраженными внешними проявлениями. В дальнейшем появились сообщения о случаях с преимущественным поражением жаберного аппарата. Была описана локализация паразита в жаберной ткани, сопровождающаяся выраженными воспалительными и деструктивными изменениями (Nigrelli, Ruggieri 1966; Kaige, Miyazaki 1985). Однако эти наблюдения рассматривались как вариации течения заболевания, а не как проявления различий в биологии паразита.

Таблица. Сравнительный анализ описаний криптокарионоза в литературных источниках с учётом локализации паразита и характера клинических проявлений.

Table. Comparative analysis of published descriptions of cryptocaryonosis with respect to parasite localization and clinical manifestation.

№	Литературный источник / Reference	Виды рыб / Fish species	Описание признаков (по данным источника) / Description	Предполагаемая форма / Presumed form
1	2	3	4	5
1	Nigrelli & Ruggieri 1966	<i>Holocentrus ascensionis</i> <i>Stenotomus chrysops</i>	Фотографии гистологических препаратов. № 1 и № 7 – мелкие трофонты в жаберном эпителии (для обоих видов).	Жаберная
2	Kaige & Miyazaki 1985	<i>Paralichthys olivaceus</i>	Паразит проникает в межламельное пространство, вызывая гиперплазию эпителиальных клеток и слизистых клеток.	Жаберная
3	Chong & Chao 1986	не указано в источнике	Жабры рыб поражаются <i>Cryptocaryon irritans</i> , что может приводить к нарушению их функции. Пример некротических изменений жаберной ткани приведён на рисунке.	Жаберная
4	Diamant et al. 1991	<i>Sparus aurata</i>	Тяжёлое поражение жаберного аппарата с высокой плотностью трофонтов. Паразиты локализуются в эпителии жабр. Размеры трофонтов достигают 220–250 мкм. Заболевание сопровождается острым течением и высокой смертностью (до 75% в течение 48 часов).	Жаберная
5	Colorni & Burgess 1997	<i>Sparus aurata</i>	Трофонты локализуются в эпителии, имеют сферическую или грушевидную форму, достигают размеров до 452 мкм, активно вращаются и питаются тканевой жидкостью, клетками и детритом. Развитие завершается выходом паразита из эпителия через 3–7 суток.	Типичная
6	Jee et al. 2001	<i>Paralichthys olivaceus</i>	Множественные белые точечные образования на коже, плавниках и жабрах. Паразиты локализуются в эпителии. Размер трофонтов 300–700 мкм.	Типичная
7	Yambot et al. 2003	<i>Epinephelus</i> sp.	Множественные белые точечные образования на коже и жабрах. Паразиты локализуются в эпителии, в том числе между жаберными ламеллами, с формированием эпителиальных капсул. Размер трофонтов 290–401 мкм.	Типичная

1	2	3	4	5
8	Dan et al. 2006	<i>Trachinotus ovatus</i>	Крупные трофонты на коже и жабрах. В жаберном эпителии отсутствуют выраженные деструктивные изменения. Отмечается отсутствие острой летальности, заболевание допускает проведение контрольных мероприятий.	Типичная
9	Aquatic Animal Health (онлайн-ресурс)	<i>Rachycentron canadum</i>	Массовая локализация крупных трофонов в жабрах с высокой плотностью инвазии и нарушением структуры жаберного аппарата.	Жаберная
10	Chong 2015	<i>Epinephelus</i> sp.	Иллюстративный материал демонстрирует выраженное поражение жаберного аппарата, однако сопровождающее текстовое описание основано на типичных представлениях о кожной форме криптокариоза и не соответствует наблюдаемой морфологии.	Жаберная
11	Cardoso et al. 2019	<i>Zebrasoma xanthurum</i>	Множественные белые точечные образования на коже, плавниках и жабрах. Паразиты локализуются в эпителии. Характерно постепенное течение с возможностью контроля.	Типичная
12	Jose Priya et al. 2023	<i>Amphiprion percula</i> (Lacépède, 1802)	Относительно крупные трофонты на поверхности жаберных ламелл без выраженных деструктивных изменений. Гибель, вероятно, связана с нарушением газообмена и гиперсекрецией слизи.	Типичная

Примечание. В отдельных случаях отнесение наблюдений к типичной (кожной) или жаберной форме выполнено автором настоящей работы в рамках сравнительного анализа на основании текстового описания и иллюстративного материала, поскольку исходные авторы не всегда проводили явного разграничения форм заболевания.

Note. In some cases, the forms of the infection were classified by the author as either cutaneous or gill-associated through analyzing the descriptions and illustrations provided, as the original publications did not explicitly distinguish between the disease forms.

Существенный вклад в пересмотр этих представлений внесли исследования, в которых описана эпизоотия с преимущественным поражением жабр и высокой летальностью (Diamant et al. 1991). Авторы предположили, что наблюдаемый паразит может отличаться от типичного *C. irritans* по ряду характеристик. Для сопоставления подобных наблюдений был проведён сравнительный анализ опубликованных данных (таблица). Экспериментальные работы, посвящённые жизненному циклу *C. irritans*, описывают течение инвазии, при котором заболевание не сопровождается быстрой гибелью рыб и допускает проведение контрольных мероприятий (Luo et al. 2007; Dan et al. 2006; Yambot et al. 2003; Burgess and Matthews 1994), что плохо

согласуется с клинической картиной при преимущественном поражении жаберного аппарата. При этом в доступной литературе преобладают исследования, ориентированные на жизненный цикл паразита и методы лечения криптокариоза, тогда как клинические описания с детальной характеристикой локализации паразита и иллюстративным материалом представлены ограниченно.

Полученные данные в сочетании с анализом литературных источников указывают на наличие по меньшей мере двух различающихся вариантов течения криптокариоза, отличающихся по локализации паразита, клинической картине и характеру взаимодействия с тканями хозяина.

Ключевым отличием является локализация трофонтов. При типичной форме паразит располагается на поверхности эпителия (преимущественно кожи и частично жабр) и не вызывает выраженного повреждения ткани, что позволяет рыбам длительное время сохранять жизнеспособность. В противоположность этому, при жаберной форме трофонты локализуются в эпителии жаберных ламелл и сопровождаются выраженными структурными изменениями ткани, включая гиперплазию и деструкцию, что приводит к нарушению функции жабр и развитию дыхательной недостаточности.

Особого внимания заслуживают выявленные морфологические структуры, интерпретируемые как возможные дочерние клетки, ассоциированные с крупными трофонтами. Подобные образования ранее описаны у *C. irritans* в контексте формирования дочерних структур перед палинтомическим делением (Jee et al. 2001). Однако их наблюдение непосредственно в тканях хозяина, вне цисты, не позволяет однозначно интерпретировать их как аналогичный механизм. Тем не менее их наличие при высокой плотности паразитов и их распределении в ткани жаберных ламелл позволяют предположить возможность особенностей репродукции паразита в тканях хозяина. В частности, не исключено, что при жаберной локализации отдельные стадии развития могут протекать без формирования типичной цисты, что потенциально может способствовать быстрому увеличению паразитарной нагрузки и острому течению заболевания.

Дополнительным наблюдением является одновременное присутствие многочисленных трофонтов различного размера в пределах одного участка жаберной ткани. Такая картина создаёт впечатление нахождения паразитов на различных стадиях развития одновременно и, в сочетании с их высокой плотностью, может указывать на быстрое нарастание паразитарной нагрузки. В отличие от типичной формы, при которой развитие паразита связано с чередованием стадий и образованием цисты, при жаберной локализации наблюдаемая динамика заболевания характеризуется отсутствием чётко прослеживаемой переходной стадии и клинически проявляется как внезапное развитие тяжёлого состояния.

Жаберная форма заболевания может протекать без выраженных внешних признаков и оставаться нераспознанной при визуальной диагностике. В этих условиях традиционные подходы, основанные на осмотре кожного покрова и исследовании поверхностных соскобов, оказываются недостаточно информативными. Отсутствие характерных кожных проявлений может приводить к ошибочной интерпретации состояния как бактериальной или иной патологии, что затрудняет своевременную постановку диагноза.

Большинство используемых методов (включая обработку воды биоцидными веществами) направлены на свободноживущие стадии паразита. При преимущественной локализации паразита в жаберной ткани эффективность таких подходов

может снижаться, что, вероятно, связано с ограниченной доступностью паразита для действующего вещества.

Клинические наблюдения показывают, что при жаберной локализации криптокариоза заболевание нередко развивается быстрее по сравнению с типичной формой и сопровождается гибелью рыб в короткие сроки после появления первых признаков. Это, по-видимому, обусловлено как первостепенным значением жаберного аппарата в обеспечении газообмена, так и характером поражения ткани при высокой плотности паразита.

В совокупности полученные данные подтверждают необходимость пересмотра диагностических подходов к криптокариозу. Ориентация исключительно на кожные проявления заболевания может приводить к пропуску случаев с преимущественной жаберной локализацией. В связи с этим при наличии признаков дыхательной недостаточности показано обязательное микроскопическое исследование смыва с жаберного аппарата даже при отсутствии характерных кожных изменений.

Несмотря на выявленные различия, представленные данные не являются достаточными для таксономического разделения наблюдаемых форм и, вероятно, отражают внутривидовую изменчивость паразита или существование популяций, различающихся по патогенезу и клиническому проявлению. Такая интерпретация соответствует современным данным, согласно которым изоляты *Cryptocaryon irritans* могут различаться по биологическим свойствам и патогенности (Matsuoka et al. 2026). Дальнейшие исследования, включая молекулярные и экспериментальные подходы, необходимы для уточнения природы выявленных различий.

Полученные данные имеют практическое значение для систем с высокой плотностью посадки, где скорость развития патологического процесса критична.

Выводы

В условиях аквариумного содержания выявлены два устойчиво различающихся клинических варианта протекания криптокариоза: типичная (с преимущественным поражением кожного эпителия) и жаберная (с локализацией паразита в жаберной ткани). Жаберная форма может протекать без выраженных кожных проявлений, что существенно затрудняет её выявление при визуальной диагностике.

Наблюдаемые различия в клинической картине, локализации и морфологических особенностях трофантов допускают существование биологически различных вариантов паразита, однако не являются достаточными для их таксономического разделения.

Для повышения эффективности диагностики криптокариоза необходимо учитывать возможность жаберной локализации паразита и использовать микроскопическое исследование жабр у рыб с признаками дыхательной недостаточности.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам службы формирования экспозиций и учета гидробионтов за содействие в ведении и сопровождении системы учета гидробионтов. Работа частично выполнена с использованием оборудования и инфраструктуры ЦКП «Приморский океанариум».

Приложение (Supplement)

Дополнительные материалы (видео), иллюстрирующие локализацию и движение трофантов *C. irritans* в жаберной ткани, представлены как оригинальные данные настоящего исследования и доступны в репозитории Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19435180>.

Supplementary video illustrating the localization and movement of *C. irritans* trophonts in gill tissue is provided as original data from the present study and is available in the Zenodo repository: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19435180>.

Литература (References)

- Aquatic Animal Diseases*. <https://aquahealth.wordpress.com/2013/12/08/cryptocarryon-irritans-the-most-dangerous-killer-of-marine-fish-2/> (accessed on 07 April 2026)
- Brown E. M.** 1951. *Cryptocaryon irritans* gen. et sp. n. In: Agenda and Abstracts of the Scientific Meetings of the Zoological Society of London, 1950, pp. 1–2.
- Burgess P. J., Matthews R. A.** 1994. *Cryptocaryon irritans* (Ciliophora): photoperiod and transmission in marine fish. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 74: 535–542. <https://doi.org/10.1017/S0025315400047652>
- Chong R.** 2015. Part 5 – Parasitic diseases. In: Pathology of Cultured Fish in Hong Kong. Hong Kong, China: Agriculture, Fisheries and Conservation Department, pp. 145–146.
- Cardoso P. H. M., Soares H. S., Martins M. L., Balian S. de C.** 2019. *Cryptocaryon irritans*, a ciliate parasite of an ornamental reef fish yellowtail tang *Zebrasoma xanthurum*. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária* 28: 750–753. <https://doi.org/10.1590/S1984-29612019033>
- Chong Y. C., Chao T. M.** 1986. Protozoal diseases. In: Common diseases of marine foodfish. Singapore: Primary Production Dept., Ministry of National Development, pp. 11–13.
- Colorni A., Burgess P.** 1997. *Cryptocaryon irritans* Brown 1951, the cause of ‘white spot disease’ in marine fish: an update. *Aquarium Sciences and Conservation* 1: 217–238. <https://doi.org/10.1023/A:1018360323287>
- Dan X. M., Li A. X., Lin X. T., Teng N., Zhu X. Q.** 2006. A standardized method to propagate *Cryptocaryon irritans* on a susceptible host pompano *Trachinotus ovatus*. *Aquaculture* 258: 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.026>
- Diamant A., Issar G., Colorni A., Paperna I.** 1991. A pathogenic *Cryptocaryon*-like ciliate from the Mediterranean Sea. *Bulletin of The European Association of Fish Pathologists* 11: 122–124.
- Jee B., Kim K., Park S., Kim Y.** 2001. A new strain of *Cryptocaryon irritans* from the cultured olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *Diseases of Aquatic Organisms* 43: 211–215. <https://doi.org/10.3354/dao043211>
- Jose Priya T. A., Karunakaran C., Nath A., Kappalli S.** 2023. Transcriptomic variation of *Amphiprion percula* (Lacepède, 1802) in response to infection with Brown, 1951. *Marine Biotechnology* 25(6): 858–890. <https://doi.org/10.1007/s10126-023-10246-z>
- Kaige N., Miyazaki T.** 1985. A histopathological study of white spot disease in Japanese flounder. *Fish Pathology* 20: 61–64. <https://doi.org/10.3147/jsfp.20.61>
- Luo X.-C., Xie M.-Q., Zhu X.-Q., Li A.-X.** 2007. Protective immunity in grouper (*Epinephelus coioides*) following exposure to or injection with *Cryptocaryon irritans*. *Fish & Shellfish Immunology* 22: 427–432. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2006.04.011>
- Matsuoka H., Iwatsuki T., Kotake M., Honryo T., Shirakashi S., Itoh N., Watanabe Y.** 2026. Intraspecific variation in the characteristics of *Cryptocaryon irritans* isolated in Japan. *Journal of Fish Diseases*: e70177. <https://doi.org/10.1111/jfd.70177>
- Nigrelli R. F., Ruggieri G. D.** 1966. Enzootics in the New York Aquarium caused by *Cryptocaryon irritans* Brown, 1951 (= *Ichthyophthirius marinus* Sikama, 1961), a histophagous ciliate in the skin, eyes and gills of marine fishes. *Zoologica: scientific contributions of the New York Zoological Society* 51: 97–102. <https://doi.org/10.5962/p.203286>
- Yambot A., Song Y.-L., Sung H.-H.** 2003. Characterization of *Cryptocaryon irritans*, a parasite isolated from marine fishes in Taiwan. *Diseases of Aquatic Organisms* 54: 147–156. <https://doi.org/10.3354/dao054147>

УДК 57.084.1

https://doi.org/10.25221/2782-1978_2026_2_9

<https://elibrary.ru/hvcacq>

Пингвины Гумбольдта *Spheniscus humboldti* Meyen, 1834: успехи содержания и воспроизводства редкого вида в Приморском океанариуме

Мирослава Алексеевна Фоменко¹, Владислава Алексеевна Крещеновская¹,
Тимур Юсифович Магарламов^{2✉}

¹Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии
им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация

²Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, 690041, Российская Федерация

✉ Автор-корреспондент, e-mail: biotimur@yandex.ru

Получена 12 марта 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. Методами прямого наблюдения и видеофиксации изучены краткосрочные показатели адаптации *Spheniscus humboldti* Meyen, 1834, включающие пищевую активность, поведенческие реакции и особенности линьки, а также долгосрочные параметры, характеризующие успешность содержания и воспроизводства вида в неволе. Выявлена важная роль социального взаимодействия и условий среды обитания в ускорении адаптации и повышении репродуктивного успеха. На основании анализа оригинальных данных разработаны рекомендации по эффективному содержанию и разведению *S. humboldti* в зоопарках и океанариумах, что имеет важное значение для сохранения этого вида и поддержания устойчивых групп в искусственных условиях.

Ключевые слова: пингвины Гумбольдта, *Spheniscus humboldti*, искусственные условия содержания, адаптация, Приморский океанариум.

Humboldt penguins, *Spheniscus humboldti* Meyen, 1834: rare species being successfully maintained and bred at the Primorsky Aquarium

Miroslava A. Fomenko¹, Vladislava A. Kreschenovskaya¹, Timur Yu. Magarlamov^{2✉}

¹Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine
Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, 690017, Russian Federation

²A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russian Federation

✉ Corresponding author, e-mail biotimur@yandex.ru

Received March 12, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. Using direct observation and video recording, the study examined short-term indicators showing the adaptation of *Spheniscus humboldti* Meyen, 1834 to the Primorsky Aquarium environment, including their feeding activity, behavioral responses, and moulting patterns, as well as long-term parameters reflecting the success of captive maintenance and reproduction of the species. The results highlight the important role of social interaction and environmental conditions in accelerating acclimation and enhancing reproductive success. The original data obtained from the research were used to develop recommendations for effective maintenance and breeding of *S. humboldti* in public aquariums and zoos, which is of significant importance for the conservation of this species and the maintenance of sustainable populations in artificial environments.

Keywords: Humboldt penguin, *Spheniscus humboldti*, husbandry, acclimation, Primorsky Aquarium.

Введение

Пингвин Гумбольдта *Spheniscus humboldti*, Meyen 1834, с одной стороны, является особо охраняемым видом (BirdLife International, 2020), а с другой, одним из наиболее распространённых объектов экспозиции океанариумов и зоопарков по всему миру. Исследования этого вида нелетающих птиц в естественной среде

обитания вследствие особенностей их биологии представляются весьма затруднительными. Изучение биологии пингвинов Гумбольдта преимущественно проводится в неволе на больших группах птиц (Todd 1978; Schneider et al. 2014; Marshall et al. 2016). К крупнейшим искусственно сформированным группам пингвинов Гумбольдта в России относится стая из 40 особей, содержащаяся в Приморском океанариуме с 2018 г. В данном случае океанариум выступает не только местом экспонирования *S. humboldti* для широкой публики, но и важной научной площадкой, предоставляющей возможность проведения исследований данного вида в разных направлениях.

В период с 2018 по 2025 гг. в Приморском океанариуме были выполнены исследования, посвящённые особенностям содержания и размножения пингвинов Гумбольдта (Сабуцкая, Крещеновская 2024; Сабуцкая 2024; Сабуцкая 2025а; Fomenko, Magarlamov 2026). В 2022 г. была разработана и апробирована методика определения пола данного вида птиц с использованием молекулярно-генетических методов (Сабуцкая, Крещеновская 2024). С 2025 г. данная услуга предоставляется на базе Центра коллективного пользования «Приморский океанариум». В 2024–2025 гг. были разработаны и реализованы образовательные проекты, посвящённые изучению пингвинов Гумбольдта и направленные на вовлечение школьников в биологические исследования и популяризацию науки (Сабуцкая 2025б).

В настоящей работе представлены результаты комплексных исследований пингвинов Гумбольдта, проведённых на базе Приморского океанариума в период с 2018 по 2025 год. В рамках выполненных работ были реализованы этологические, молекулярно-генетические и образовательные проекты, что позволило получить новые данные об особенностях содержания, размножения и поведения данного вида в искусственных условиях.

Результаты и их обсуждение

1. Адаптация и содержание пингвинов Гумбольдта

Пингвины Гумбольдта были приобретены в питомнике «Nature Resource Network» (Чешская Республика) и доставлены в Приморский океанариум двумя партиями: в феврале и декабре 2018 года. В феврале была доставлена первая партия из 6 особей (3 самки и 3 самца в возрасте 7–20 месяцев), в декабре – вторая партия из 8 особей (4 самки и 4 самца в возрасте 8–12 месяцев). Согласно общепринятым требованиям к содержанию животных, птицы проходили карантин в специализированных помещениях научно-адаптационного корпуса (далее – НАК) в течение не менее 30 суток (Schneider et al. 2014). Для контроля возможных изменений массы тела сразу после прибытия птицы были взвешены. Средняя масса особей составила 3.57 ± 0.121 кг и варьировала от 2.9 до 4.64 кг.

В настоящее время пингвины Гумбольдта содержатся в просторном вольере главного корпуса Приморского океанариума, оборудованном большим бассейном с широкой береговой зоной (рис. 1А). В НАК предусмотрены дополнительные помещения для временного содержания птиц в карантинном режиме, а также уличная площадка для их выгула (рис. 1В, С). Для облегчения идентификации на левое крыло каждой птице закреплены хомуты разных цветов (рис. 1D). В обоих зданиях поддерживаются климатические условия, установленные регламентом: температура воды составляет 10–13 °С, температура воздуха – 14–17 °С.

Успешность адаптации пингвинов к новым условиям искусственного содержания оценивали по нескольким ключевым параметрам, разделённым на две группы: (1) краткосрочные и (2) долгосрочные. К показателям первой группы были отнесены

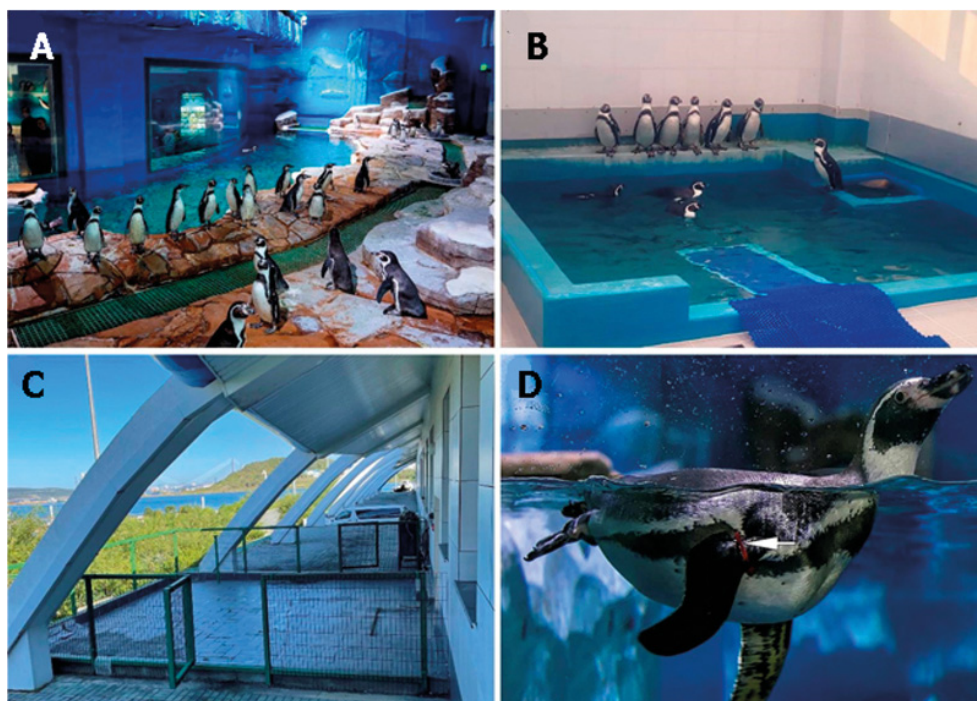


Рис. 1. Содержание пингвинов Гумбольдта в Приморском океанариуме: вольер в главном корпусе (А); вольер и площадка для выгула в НАК (В, С); пингвин с идентификационным хомутом на крыле (указан стрелкой) в вольере главного корпуса (D).
Fig. 1. Husbandry techniques for Humboldt penguins at the Primorsky Aquarium: enclosure in the Main (Exhibition) Building (A); enclosure and walking area in the Science and Acclimation Building (B, C); penguin with an identification band on the flipper (arrow) in the Main Building enclosure (D).

пищевая и поведенческая активность, степень освоения вольера и характер линьки. Их анализ проводили в течение первого года после поселения птиц. Параметры второй группы – наличие или отсутствие заболеваний, характерных для пингвинов в неволе, проявление социального поведения, формирование пар и репродуктивная успешность – оценивали спустя год после приобретения птиц. Анализ перечисленных параметров позволил комплексно оценить степень соответствия созданных условий физиологическим и поведенческим потребностям пингвинов.

Одним из первых показателей успешной адаптации животных к новым условиям содержания является высокая пищевая активность. Кроме того, интенсивный обмен веществ у птиц требует регулярного кормления. По результатам исследований особенностей адаптаций *S. humboldti*, проведённых в 2018–2019 гг., установлено, что в первые двое-трое суток после транспортировки у пингвинов наблюдается снижение аппетита (Сабуцкая, Крещеновская 2024; Сабуцкая 2024). Вызванный транспортировкой стресс закономерно приводит к уменьшению пищевой активности, поэтому в первые дни птиц кормили меньшими порциями, но с более высокой частотой. Пингвинам первой партии первоначально предлагали свежемороженную мелкую мойву *Mallotus villosus* (Pennant, 1784) и корюшку малоротую *Hypomesus japonicus* (Brevort, 1856) четыре раза в день с интервалом 2–3 часа. В первые сутки птицы в среднем съедали около 500 г рыбы, на вторые сутки – до 750 г на особь, что соответствует норме для взрослых пингвинов Гумбольдта (Schneider et al. 2014). По мере

восстановления аппетита количество кормлений постепенно сокращали, одновременно увеличивая объём рыбы на одно кормление. К девятому дню птиц кормили три раза в день с интервалом около четырех часов. На данный момент такая схема трёхразового кормления является стандартной, хотя в большинстве океанариумов и зоопарков пингвинов обычно кормят два раза в день. После завершения карантина пингвинов первой партии перевели в экспозицию главного корпуса. После переселения у птиц отмечалось кратковременное снижение пищевой активности, однако аппетит восстанавливался к началу третьих суток пребывания в новом вольере. Таким образом, нормализация пищевого поведения пингвинов происходила в течение первых нескольких суток после транспортировки и переселения, что указывает на высокую адаптационную способность птиц.

Ещё одним важным показателем успешной адаптации *S. humboldti* является поведенческая активность птиц и степень освоения ими вольера (Сабуцкая 2024). В течение первых трёх суток карантина в НАК пингвины обеих партий большую часть времени проводили в бассейне, который, вероятно, воспринимался ими как более безопасная среда. Позднее птицы начали выходить на берег и постепенно проводили всё больше времени на суше. На освоение вольера Главного корпуса пингвинам первой партии потребовалось больше времени по сравнению с особями второй поставки. В течение первых восьми суток они преимущественно находились в бассейне. Из всей площади вольера птицы первой партии выбрали для себя участок с трёхъярусными скальными декорациями общей площадью около 20 м². Вторая партия пингвинов адаптировалась к условиям главного корпуса быстрее – в течение трёх суток. Полное освоение вольерного пространства птицами обеих партий продолжалось около полугода (Сабуцкая 2024). Наиболее активное использование береговой зоны *S. humboldti* наблюдалось в период формирования пар. После объединения обеих групп птицы спокойно взаимодействовали друг с другом. Пингвины объединённой группы проявляли интерес к сотрудникам отдела орнитологии и свободно перемещались по всей береговой зоне вольера. Вероятно, это связано с тем, что пингвины этого вида, будучи социальными животными, более комфортно чувствуют себя в больших группах сородичей.

Известно, что важным признаком успешной адаптации пингвинов Гумбольдта служит ежегодная полная линька. Процесс смены перьев у всех пингвинов физиологически напряжённый, поскольку происходит одновременная замена всего оперения (Schneider et al. 2014). С началом линьки у птиц, как правило, резко снижается аппетит. Некоторые особи в этот период полностью отказываются от пищи, тогда как другие потребляют лишь 50–100 г рыбы в сутки, что соответствует поведению в естественной среде, где линька происходит на суше, и птицы не имеют доступа к корму. Пингвины, изъятые из природы или недавно поступившие в другое учреждение, могут пропускать линьку в первый год содержания в неволе или при смене вольера (Todd 1978; Schneider et al. 2014).

В Приморском океанариуме в первый год после заселения в вольер птицы обеих партий своевременно вступили в период линьки и успешно завершили его в сроки, соответствующие норме для пингвинов Гумбольдта (около 21 суток) (Schneider et al. 2014). Ежегодная полноценная смена оперения у *S. humboldti* свидетельствует о соответствии условий искусственного содержания природным физиологическим ритмам вида и, следовательно, об успешной адаптации к условиям Приморского океанариума.

На основании полученных данных установлено, что адаптация пингвинов Гумбольдта в условиях Приморского океанариума прошла успешно, а созданные условия содержания соответствуют биологическим потребностям вида. Об этом свидетельствует регулярная ежегодная линька у всех особей, стабильная масса тела, высокая пищевая активность, а также формирование устойчивых репродуктивных пар.

2. Размножение пингвинов Гумбольдта

Вследствие естественных и антропогенных угроз, резких колебаний численности и фрагментированного распределения популяций пингвин Гумбольдта включён в Красный список МСОП (IUCN Red List), а также внесён в Приложение I к CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora). В настоящее время законодательно запрещено изъятие особей данного вида из дикой природы для содержания в зоопарках и океанариумах (Paredes et al. 2003; McGill et al. 2021). Данная мера направлена на сохранение оставшихся диких популяций и предотвращение их дальнейшего сокращения (McGill et al. 2021). В связи с этим океанариумы и зоопарки вынуждены формировать экспозиционные группы исключительно за счёт особей, содержащихся в неволе. Важной задачей становится создание и поддержание устойчивых групп этого вида с целью повышения их репродуктивного успеха и сохранения генетического разнообразия, что является критически значимым для программ восстановления вида (Boersma 1991).

Одним из ключевых показателей благоприятных условий искусственного содержания животных считается их успешное размножение. В ряде наших исследований подробно рассмотрены особенности репродуктивного периода пингвинов Гумбольдта и разработаны практические рекомендации по их разведению в неволе (Сабуцкая, Крещеновская 2024; Сабуцкая 2024, Fomenko, Magarlamov 2026). Согласно полученным данным птицы исследуемой группы демонстрировали гнездовое поведение в течение всего года. Наиболее интенсивная яйцекладка отмечалась в периоды с апреля по июль и с октября по декабрь (Сабуцкая, Крещеновская 2024).

В ходе пятилетнего мониторинга размножения пингвинов Гумбольдта было показано, что успех репродукции зависит не только от условий содержания и квалификации специалистов-орнитологов, но и от численности и структуры исходной группы (Fomenko, Magarlamov 2026). Для эффективного содержания и разведения пингвинов Гумбольдта в искусственных условиях рекомендуется формировать стартовую группу численностью не менее 14 особей при равном соотношении полов; использовать гнёзда закрытого типа (например, норы); а также обеспечивать присутствие в группе опытных размножающихся пар, служащих моделью брачного поведения для молодых особей. Соблюдение указанных условий способствует повышению репродуктивного успеха *S. humboldti* в условиях неволи.

Кормление пингвинов искусственно сформированных групп и их птенцов имеет ряд особенностей. В условиях океанариумов и зоопарков каждая особь *S. humboldti* должна быть приучена к приёму цельной рыбы из рук специалиста. Соответственно, каждого вылупившегося птенца в условиях искусственного содержания необходимо обучить самостоятельному приёму корма из рук человека (метод «раскорма»), предварительно изолировав его от родителей. Ранее описана разработка оптимальной схемы раскорма птенцов пингвинов Гумбольдта: выяснено, что на эффективность и скорость формирования данного навыка существенно влияет возраст отъёма молодых птиц от родителей; установлено, что быстрее (в среднем за 16 суток) навык

самостоятельного приёма рыбы из рук специалиста формировался у птенцов, изъятых из колонии для раскорма в возрасте 25–36 суток (Сабуцкая 2025а).

Поддержание генетического разнообразия в закрытых искусственных группах – критически важно для обеспечения их долгосрочного благополучия и здоровья. Помимо предотвращения близкородственного скрещивания, одним из эффективных методов повышения генетической гетерогенности является введение или обмен особями между различными коллекциями. Данный процесс способствует снижению уровня инбридинга и увеличению числа аллельных вариантов в популяции за счёт интеграции новых генетических линий (Frankham et al. 2002). В результате повышается общий уровень генетического разнообразия, что снижает риск проявления наследственных заболеваний и увеличивает адаптивный потенциал группы в условиях ограниченного генофонда. В этой связи формирование программ обмена особями между учреждениями представляет собой перспективное направление, особенно для зоопарков и океанариумов, содержащих уязвимые виды, такие как пингвин Гумбольдта.

Создание обменных фондов в зоологических коллекциях невозможно без наличия полной и достоверной информации о каждой особи. Помимо базовых данных о дате и месте рождения, родителях и сроках линьки, необходимо точное определение пола животных в пределах каждой коллекции. Хотя самцы несколько крупнее самок, считается, что пингвины Гумбольдта не обладают выраженным половым диморфизмом, и достоверное определение пола только на основании внешних признаков затруднено. В ряде работ показано, что морфометрические параметры, такие как длина клюва, а также размеры головы и ступней, могут быть использованы для определения пола этих птиц (Hull 1996; Renner, Davis 1999; Bertelloti 2002; Alvin et al. 2004; Wallace et al. 2008). В этой связи нами была предпринята попытка применения морфометрического подхода для определения пола как одного из наиболее неинвазивных методов, не требующих специализированного оборудования и сложной подготовки персонала. Были проанализированы следующие параметры: (1) длина клюва в трёх вариантах измерения – двух, ранее описанных в литературе (Hull 1996; Renner, Davis 1999; Bertelloti 2002; Alvin et al. 2004; Wallace et al. 2008), и предложенном нами (длина клюва от ноздри); (2) длина дорсальной части крыла; (3) масса тела самцов и самок исследуемой группы. В результате установлено, что наиболее информативны для определения пола пингвинов общая длина клюва (рис. 2А) и крыла (рис. 2В), что подтверждает возможность использования данных признаков для предварительной половой диагностики пингвинов Гумбольдта в условиях зоопарков и океанариумов (Сабуцкая 2022).

Использованный нами корреляционный анализ для определения пола имеет ряд ограничений в точности и вследствие различий в темпах роста особей и других физиологических факторов не обеспечивает надёжной идентификации пола у птенцов. Это обусловило необходимость поиска альтернативных неинвазивных, но более точных методов определения пола. В связи с этим была разработана и внедрена методика на основе полимеразной цепной реакции (ПЦР), основанная на амплификации участка гена CHD1 (chromosome-helicase DNA binding protein), локализованного на половых хромосомах птиц. Ген CHD1 представлен аллельными вариантами CHD1Z и CHD1W на половых хромосомах Z и W, различающимися по длине интронных участков (Griffiths et al. 1998; Fridolfsson, Ellegren 1999; Cerit, Avanus 2007; Morinha et al. 2012; Purwaningrum et al. 2019). У пингвинов Гумбольдта амплифицированные фрагменты различаются по длине: у самцов (ZZ) выявляется один

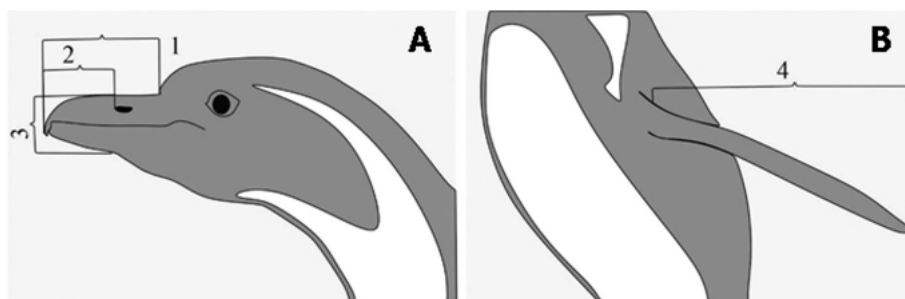


Рис. 2. Морфометрические параметры для гендерной идентификации пингвинов Гумбольдта (по Сабуцкая 2022): промеры клюва (А); промер крыла (В).

Fig. 2. Morphometric parameters for sex identification in Humboldt penguins (after Sabutskaya 2022): bill length (А); wing measurement (В).

ампликон длиной 370 п. н., тогда как у самок (ZW) – два ампликона длиной 370 и 380 п. н., соответственно (Costantini et al. 2008). Методика была валидирована на особях с заранее известным полом, первоначально полученных из питомника Nature Resource Network. Для повышения точности и качества визуализации результатов ПЦР в ходе гель-электрофореза использовались как агарозные, так и полиакриламидные гели. Применение молекулярно-генетических методов определения пола пингвинов Гумбольдта позволило сформировать обменный фонд данного вида в Приморском океанариуме. В 2025 г. 16 особей из коллекции были переданы в экспозиции Воронежского океанариума, зоопарка «Лимпопо» (Нижний Новгород) и одного из зоопарков Москвы.

Заключение

В России, помимо Приморского океанариума, пингвины Гумбольдта содержатся еще в 12 зоологических организациях. Группа *S. humboldti* в Приморском океанариуме является крупнейшей в стране и в отдельные периоды насчитывает 60 и более особей при исходной численности 14 птиц. Исследования пингвинов Гумбольдта в Приморье проводятся с 2018 г. и включают молекулярно-генетические, этологические и образовательные направления (Сабуцкая 2025б). В результате выполненных работ разработаны рекомендации по успешному содержанию и разведению *S. humboldti* в искусственных условиях (Fomenko, Magarlamov 2026), а также практические подходы к эффективному выкармливанию птенцов (Сабуцкая 2025б). Показано, что численность и половое соотношение в исходной группе оказывают существенное влияние на успех разведения пингвинов Гумбольдта в условиях неволи. Также установлено, что наличие опытных размножающихся пар способствует формированию стабильного репродуктивного поведения у молодых особей, впервые вступающих в размножение (Fomenko, Magarlamov 2026).

В рамках этологических исследований изучены особенности адаптации пингвинов к искусственным условиям содержания, а также составлена этологическая характеристика, включающая использование пространства, территориальное поведение, колониальность и другие аспекты социальной организации (Сабуцкая 2024; Сабуцкая 2025б; Fomenko, Magarlamov 2026). Выяснено, что активность пингвинов и степень освоения вольера зависят от численности группы (Сабуцкая 2024). Птицы формируют устойчивые пары и, как правило, сохраняют постоянные места гнездования. Особи, занимающие соседние норы, проявляют кооперативное поведение и совместно защищают гнездовые участки, как от других особей, так

и от внешнего вмешательства, включая присутствие исследователей (Fomenko, Magarlamov 2026). Рассмотрено обогащение среды, под которым понимается внесение в среду содержания элементов, повышающих поведенческую активность животных. Пингвины проявляли интерес к подвижным объектам и замороженному корму, помещённому в бассейн. Подобная активность положительно влияла на поведенческое благополучие и общее состояние животных (Сабуцкая 2025б). В перспективе планируется изучение когнитивных способностей пингвинов Гумбольдта, включая оценку элементов самовосприятия и различения себя и элементов окружающей среды.

В рамках молекулярно-генетических исследований отработана и внедрена методика определения пола пингвинов Гумбольдта на основе анализа гена CHD1 (Сабуцкая 2024, Fomenko, Magarlamov 2026). Дальнейшие исследования будут направлены на изучение генетической изменчивости и структуры популяции в искусственных группах, а также на выявление случаев внепарного спаривания, что позволит уточнить репродуктивную стратегию вида в условиях неволи. Полученные данные могут быть использованы для разработки рекомендаций по управлению искусственными популяциями с целью поддержания их генетической устойчивости и адаптивного потенциала.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам отдела орнитологии Приморского океанариума за помощь и ценные советы при обработке данных наблюдений, а также акад. РАН В. В. Богатову за редакторскую поддержку и ценные советы по структурированию статьи.

Работа выполнена на базе ЦКП «Приморский океанариум» ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток).

Литература (References)

- Сабуцкая М. А. 2022. Гендерная идентификация пингвинов Гумбольдта на основе морфометрических признаков // *Самарский научный вестник*. Т. 11, № 4. С. 110–114. (Sabutskaya M. A. 2022. Gender identification in Humboldt penguins using morphometric analysis. *Samara Journal of Science* 11(4): 110–114. [In Russian].)
- Сабуцкая М. А. 2024. Пингвины Гумбольдта в Приморском Океанариуме – содержание, разведение, научные исследования // Актуальные вопросы зоологии, экологии и охраны природы. Вып. 6. – М.: ГАУ «Московский зоопарк», СОЗАР, ЕАРАЗА, «Академия Принт». С. 275–279. (Sabutskaya M. A. 2024. Humboldt penguins in the Primorsky Aquarium – keeping, breeding, scientific research. In: *Topical issues of zoology, ecology and nature conservation*. Issue 6. Moscow: State Autonomous Institution “Moscow Zoo”, SOZAR, EARAZA, “Print Academy”, pp. 275–279. [In Russian].)
- Сабуцкая М. А., Крещеновская В. А. 2024. Опыт экспонирования и разведения пингвинов Гумбольдта в Приморском океанариуме // Проблемы аквакультуры (аквариология и аквариумные экспозиции). Вып. 7. – М.: ООО «Лого Инжиниринг», ГАУ «Московский зоопарк», ЕАРАЗА, СОЗАР. С. 237–240. (Sabutskaya M. A., Kreschenovskaya V. A. 2024. *Aquaculture problems (aquariology and aquarium exhibits)* V. 7. Moscow: LLC “Aqua Logo Engineering”, State Autonomous Institution “Moscow Zoo”, EARAZA, SOZAR, pp. 237–241. [In Russian].)
- Сабуцкая М. А. 2025а. Формирование навыков самостоятельного питания у птенцов пингвина Гумбольдта (*Spheniscus humboldti*) в Приморском океанариуме // Проблемы зоокультуры и экологии. Вып. 9. – М.: ЕАРАЗА, СОЗАР. С. 86–91. (Sabutskaya M. A. 2025a. Self-feeding skills formation of Humboldt penguin (*Spheniscus humboldti*) chicks in the Primorsky Aquarium // *Problems of Zoocultures and Ecology*. Issue 9. . Moscow: EARAZA, SOZAR, pp. 86–91. [In Russian].)
- Сабуцкая М. А. 2025б. Пингвины Гумбольдта – популяризаторы науки в Приморском океанариуме // Биологическое разнообразие и современные проблемы. Материалы международной научной конференции. – Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия». С. 278–282 (Sabutskaya M. A. 2025b. Humboldt penguins – the scientific ambassadors of the Primorsky Aquarium. In: *Biological diversity and modern problems*. Proceedings of the international scientific. Voronezh: Digital Polygraphy Publishing House, pp. 278–282. [In Russian].)

- Alvin N. S., Darby J. T., Lambert D. M. 2004. The use of morphometric measurements to sex Yellow-eyed penguins. *Waterbirds* 27 (1): 96–101. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2004\)027\[0096:TUOMMT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2004)027[0096:TUOMMT]2.0.CO;2)
- Blay N., Cote I. M. 2001. Optimal conditions for Humboldt penguin breeding. *Zoo Biology* 20: 545–555. <https://doi.org/10.1002/zoo.10002>
- Bertelotti M., Tella J. L., Godoy J. A., Blanco G., Forero M. G., Donázar J. A., Ceballos O. 2002. Determining sex of Magellanic penguins using molecular procedures and discriminant functions. *Waterbirds* 25(4): 479–484. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2002\)025\[0479:DSOMPU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2002)025[0479:DSOMPU]2.0.CO;2)
- BirdLife International. 2020. *Spheniscus humboldti*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T22697817A182714418. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T22697817A182714418.en>
- Boersma D. P. 1991. Status of wild and captive penguin populations. *Trends in Ecology and Evolution* 6(12): 381–382. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(91\)90157-S](https://doi.org/10.1016/0169-5347(91)90157-S). PMID: 21232515.
- Cerit H., Avanus K. 2007. Sex identification in avian species using DNA typing methods. *World's Poultry Science Journal* 63: 91–99. <https://doi.org/10.1017/S0043933907001316>
- Costantini V., Guaricci A. C., Laricchiuta P., Rausa F., Lacalandra G. M. 2008. DNA sexing in Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*) from feather samples. *Animal Reproduction Science* 106: 162–167. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2007.12.013>
- Fomenko M. A., Magarlamov T. Yu. 2026. Captive breeding of Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*, Meyen 1834): reproductive features and practical recommendations. *Russian Journal of Marine Biology* 52(2): 126–131 <https://doi.org/10.1134/S1063074026700069>
- Frankham R., Ballou J. D., Briscoe D. A. 2002. Introduction to Conservation Genetics. New York: Cambridge University Press, 617 pp. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511808999>
- Fridolfsson A.-K., Ellegren H. 1999. A simple and universal method for molecular sexing of non-ratite birds. *Journal of Avian Biology* 30: 116–121. <https://doi.org/10.2307/3677252>
- Griffiths R., Double M. C., Orr K., Dawson R. J. 1998. A DNA test to sex most birds. *Molecular Ecology* 7(8): 1071–1075. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294x.1998.00389.x>
- Hull C. L. 1996. Morphometric indices for sexing adult Royal *Eudyptes schlegeli* and Rockhopper *E. chrysocome* penguins at Macquarie Island. *Marine Ornithology* 24: 23–27. <https://doi.org/10.5038/2074-1235.24.1.356>
- Marshall A. R., Deer, N. J., Little H. A., Snipp R., Goulder J., Mayer-Clarke S. 2016. Husbandry and enclosure influences on penguin behavior and conservation breeding. *Zoo Biology* 3: 385–397. <https://doi.org/10.1002/zoo.21313>
- McGill P., Reyes J., Baker A., Lacy R., Paredes R., Rodriguez J., Tieber A., Wallace R. 2021. Humboldt penguin (*Spheniscus humboldti*) population and habitat viability assessment. Workshop final report. *IUCN SSC Conservation Planning Specialist Group* 28(5): 503–510.
- Morinha F., Cabral J. A., Bastos E. 2012. Molecular sexing of birds: A comparative review of polymerase chain reaction PCR-based methods. *Theriogenology* 78 (4): 703–714. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.04.015>
- Paredes R., Zavalaga C. B., Battistini Gt., Majluf P., McGill P. 2003. Status of the Humboldt Penguin in Peru, 1999–2000. *Waterbirds* 26(2): 129–138. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2003\)026\[0129:sothpi\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2003)026[0129:sothpi]2.0.co;2)
- Purwaningrum M., Nugroho H. A., Asvan M., Karyanti K. 2019. Molecular techniques for sex identification of captive birds. *Vet World* 9: 1506–1513. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2019.1506-1513>
- Renner M., Davis L. S. 1999. Sexing Little Penguins *Eudyptula minor* from Cook Strait, New Zealand using discriminant function analysis. *Emu* 99(1): 74–79. <https://doi.org/10.1071/MU99009C>
- Schneider T., Olsen D., Dykstra C. et al. 2014. AZA Penguin Taxon Advisory Group. Penguin (*Spheniscidae*) Care Manual. Silver Spring; Association of Zoos and Aquariums, 143 pp.
- Todd F. S. 1978. Penguin husbandry and breeding at Sea World, San Diego. *International Zoo Yearbook* 18: 72–77.
- Wallace R. S., Dubach J., Michaels M. G., Keuler N. S., Diebold E. D., Grzybowski K., Teare J. A., Willis M. J. 2008. Morphometric determination of gender in adult Humboldt penguins (*Spheniscus humboldti*). *Waterbirds* 31(3): 448–453. <https://doi.org/10.1675/1524-4695-31.3.448>

УДК 575.174.015.3

https://doi.org/10.25221/2782-1978_2026_2_10

<https://elibrary.ru/eifeuz>

Генетическая изменчивость в искусственной популяции белухи *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776) Приморского океанариума

Виктория Дмитриевна Ягодина^{1,2✉}, Наталья Михайловна Батищева²,
Дарья Николаевна Каменская²

¹Приморский океанариум, филиал Национального научного центра морской биологии
им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, 690017, Российская Федерация

²Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, 690041, Российская Федерация

✉ Автор-корреспондент, e-mail: iagodinavd@gmail.com

Получена 11 мая 2026 г.; принята к публикации 1 июня 2026 г.

Аннотация. Генетическое управление в проектах по разведению морских млекопитающих имеет ключевое значение для предотвращения инбридинга и обеспечения жизнеспособности популяций *ex situ*. В настоящей работе исследован генетический состав группы из шести белух (*Delphinapterus leucas*), содержащихся в научно-образовательном комплексе «Приморский океанариум». Группа характеризуется сложной структурой и включает репродуктивное ядро (одна самка и один самец), двух дополнительных взрослых самцов и двух полнородных сибсов (детёнышей), впервые в России рождённых в условиях неволи. На основе анализа восьми полиморфных микросателлитных локусов предложен экономичный протокол генетического мониторинга. Результаты выявили умеренный уровень изменчивости: среднее число аллелей на локус составило 3.125 ± 0.295 , наблюдаемая гетерозиготность ($H_o = 0.688 \pm 0.097$) превысила ожидаемую ($H_e = 0.591 \pm 0.069$). Отрицательный коэффициент инбридинга свидетельствует об избытке гетерозигот и отсутствии близкого родства между взрослыми особями, сформировавшими группу. Наличие в выборке сибсов позволило экспериментально подтвердить высокую разрешающую способность панели: расчётный показатель PI_{sibs} стремится к нулю, что обеспечило гарантированную индивидуальную идентификацию даже близкородственных животных. Кумулятивная вероятность исключения ($PE > 0.99$) подтвердила эффективность метода для верификации отцовства и материнства. Предложенный подход позволяет реконструировать родословные при отсутствии достоверных племенных книг и может быть использован для долгосрочного планирования программ разведения белух в океанариумах.

Ключевые слова: белуха, *Delphinapterus leucas*, микросателлиты, генетическое разнообразие, океанариум.

Genetic variation in the captive population of beluga whales *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776) at the Primorsky Aquarium

Viktoriia D. Yagodina^{1,2✉}, Natalia M. Batishcheva², Daria N. Kamenskaya²

¹Primorsky Aquarium, branch of the A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine
Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Vladivostok, 690017, Russian Federation

²A. V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch of the
Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690041, Russian Federation

✉ Corresponding author, e-mail: iagodinavd@gmail.com

Received May 11, 2026; accepted June 1, 2026

Abstract. Genetic management in animal breeding programs is crucial for ensuring long-term survival, preserving species, and mitigating negative impacts of inbreeding. This study examines the genetic composition of a group of six beluga whales (*Delphinapterus leucas*) housed at the Primorsky Aquarium (Vladivostok, Russia). The group under study features a complex social structure, consisting of a breeding core (one female and one male), two additional adult males, and two full siblings, the first beluga calves born under human care in Russia. We propose a simple and cost-effective protocol for the genetic management of captive *D. leucas* based on the analysis of eight polymorphic microsatellite loci. The analysis results revealed a moderate level

of genetic variation: the mean number of alleles per locus was 3.125 ± 0.295 . The observed heterozygosity ($H_o = 0.688 \pm 0.097$) exceeded the unbiased expected heterozygosity ($H_e = 0.591 \pm 0.069$), while the negative inbreeding coefficient indicates an excess of heterozygotes and a lack of relatedness among the founding adults. The presence of siblings in the sample allowed for an empirical validation of the panel's discriminatory power. The calculated probability of identity for siblings PI_{sibs} approached zero, ensuring reliable individual identification even among closely related animals. Furthermore, the cumulative probability of exclusion ($PE > 0.99$) confirmed the method's effectiveness for paternity verification in groups with multiple potential sires. This genotyping approach is particularly valuable for establishing and maintaining genetic diversity *ex situ*, especially when reliable studbook data are unavailable.

Keywords: beluga whale, *Delphinapterus leucas*, microsatellites, genetic diversity, aquarium.

Введение

Современная концепция функционирования научно-образовательных комплексов и океанариумов ставит приоритетной задачей сохранение глобального морского биоразнообразия. Это реализуется через создание благоприятной среды обитания для содержащихся в неволе гидробионтов и строгое управление процессами их воспроизводства. В настоящее время в крупнейших мировых океанариумах и зоопарках экспонируются представители самых разных таксонов морских млекопитающих: от ластоногих (моржи, морские котики, пятнистые нерпы, морские львы) до китообразных. Однако само по себе наличие животных в бассейнах не гарантирует сохранения вида. Ключевым индикатором успеха деятельности подобных организаций является формирование самоподдерживающихся популяций *ex situ*, что требует глубокого понимания генетических процессов, протекающих в малых группах.

Для поддержания генетически здоровых популяций в искусственной среде критически важно обладать точными сведениями о происхождении каждой особи. Традиционно управление разведением опирается на данные племенных книг. Сотрудники океанариумов используют эти записи, чтобы минимизировать вероятность спаривания близкородственных особей и обеспечить селекцию генетически пригодных кандидатов. Однако создание и ведение племенных книг – процесс, требующий колоссальных временных и финансовых вложений. Более того, в научной литературе всё чаще появляются сообщения о критических ошибках в родословных записях. Например, исследование С. Майти с соавторами, проведённое на содержащихся в неволе тиграх, наглядно демонстрирует, что даже при строгом контроле фактическое отцовство может не совпадать с зафиксированным в документах (Maity et al. 2022). Отсутствие достоверной информации или наличие системных ошибок в записях неизбежно ведёт к неконтролируемому инбридингу. Близкородственное скрещивание представляет собой одну из главных угроз для малых популяций. В дикой природе генетическое разнообразие поддерживается за счёт естественного отбора, миграций, широкого расселения молоди и этологических механизмов избегания скрещивания близких родственников. Однако по мере сокращения и фрагментации природных ареалов дикие популяции начинают терять вариабельность с пугающей скоростью. В условиях же неволи животные находятся в полностью контролируемой среде и представлены малым числом особей, что лишает их естественных способов обновления генофонда. Потеря генетического разнообразия и накопление генетического груза приводят к снижению репродуктивного потенциала, повышению восприимчивости к инфекционным заболеваниям и утрате способности адаптироваться к меняющимся условиям среды. Как отмечает П. Пандей, генетический менеджмент является обязательным условием выживания видов в зоопарках (Pandey et al. 2021).

Достижения молекулярной генетики предоставили учёным мощный вспомогательный инструмент для верификации племенных записей. Одним из наиболее

эффективных методов является анализ микросателлитной ДНК (STR – short tandem repeats). Микросателлиты характеризуются высокой скоростью мутаций и кодоминантным наследованием, что делает их идеальными маркерами для установления отцовства и анализа структуры популяций как в дикой природе, так и в неволе (Burton 2002; Dobson et al. 2018; Armada-Tapia et al. 2023). Применение этих инструментов уже доказало свою эффективность в управлении колониями пингвинов (Lee et al. 2018), где были обнаружены случаи внепарного спаривания, которые невозможно было отследить только путём визуальных наблюдений.

Среди морских млекопитающих особое место в исследованиях занимают белые киты, или белухи *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776). Этот представитель семейства нарваловых относится к видам, «близким к уязвимому положению», и находится под защитой международного и национального законодательства, включая Закон США о защите морских млекопитающих (Marine Mammal Protection Act). Понимание биологии и моделей поведения белух в условиях *ex situ* служит отправной точкой для изучения их диких собратьев (Smith 2019). Это особенно актуально на фоне продолжающегося сокращения численности ключевых популяций, таких как белухи эстуария реки Святого Лаврентия и залива Кука на Аляске, которые официально признаны вымирающими (Smith 2019). История разведения белух в океанариумах берёт своё начало в 1981 г. (O'Brien et al. 2008). Значительный прогресс был достигнут в начале 2000-х гг., когда североамериканские зоопарки объединили свои разрозненные коллекции в единую популяцию для совместного управления (Robeck et al. 2005). Тем не менее накопленного опыта оказалось недостаточно для полной автономии популяций в неволе. Статистика последних десятилетий неутешительна: из семнадцати белух, родившихся в океанариумах США за 30 лет, только восемь пережили младенческий возраст. Общая выживаемость новорождённых не превышает 50% (Boyd 2019; Kilborn 1994). Основной причиной «провала» программ разведения считается отсутствие достоверной генетической информации об отцовстве. Без точного знания родословной невозможно отобрать качественных кандидатов для воспроизводства, что вынуждает западные институты постоянно искать приток «новой крови» из дикой природы.

Долгое время Россия выступала основным экспортёром белух для мировых океанариумов. Сегодня наша страна переходит от экспорта к самостоятельному воспроизводству. Научно-образовательный комплекс (НОК) «Приморский океанариум» во Владивостоке стал флагманом в этой области. Здесь не только содержится самая многочисленная в стране стая пингвинов Гумбольдта, но и регулярно фиксируются случаи рождения морских млекопитающих, включая ларгу *Phoca largha* Pallas, 1811. В 2021 г. в дельфинарии океанариума произошло знаковое событие – первый в России случай успешного рождения белухи в неволе. В данный момент в комплексе содержится группа из четырёх взрослых особей (одна самка – Джессика и три самца – Лер, Нил, Мий) и двух родившихся в океанариуме детёнышей (полнородных сибсов – Калина и Дея, родителями сибсов являются Джессика и Лер). Изучение изменчивости микросателлитных локусов белух имеет прочную научную базу. Ранее подобные исследования проводились как на природных популяциях (Buchanan et al. 1996; Valsecchi, Amos 1996), так и на животных, содержащихся в искусственной среде (Rosenbaum et al. 1995). Однако специфика Приморского океанариума, где в одной социальной группе присутствуют три потенциальных отца, требует разработки локального, но универсального протокола идентификации. Целью данного исследования является оценка генетической изменчивости, степени инбридинга

и фактического родства в группе белух НОК «Приморский океанариум». Мы ставили задачу разработать и апробировать панель из восьми микросателлитных маркёров, которая обеспечит максимальную мощность индивидуальной идентификации. Полученные данные позволят не только подтвердить происхождение уже рождённых детёнышей, но и заложить основу для научно обоснованного планирования будущих спариваний, обеспечивая адаптивную и репродуктивную приспособленность последующих поколений белух вне естественной среды обитания.

Материал и методы

Выделение ДНК, ПЦР, фрагментный анализ

Кровь для проведения молекулярно-генетического анализа отбирали добровольно из вен хвостового плавника в пробирки с КЗЭДТА в качестве антикоагулянта (Минимед, Россия). ДНК каждой белухи была выделена из крови с помощью набора ExtractDNA Blood & Cells (Евроген, Россия). Качество экстрагированной ДНК было проверено на спектрофотометре NanoDrop™ 2000 (Thermo Fisher Scientific, США), а также посредством электрофореза тотальной ДНК в однопроцентном агарозном геле.

Для проведения ПЦР применяли праймеры для микросателлитных локусов белух и афалин, выбранных из литературных данных и представленных в таблице 1. К 5'-концу каждого прямого праймера была добавлена флюоресцентная метка. Амплификацию для каждого образца проводили дважды с целью предотвращения ошибок генотипирования.

Амплификация была проведена в реакционной смеси объёмом 12 мкл, содержащей следующие компоненты: 5x ScreenMix-HS (Евроген, Россия), 10 mM прямого и обратного праймера (каждого); 20–40 нг тотальной ДНК, деионизированную воду. Условия ПЦР следующие: начальная денатурация при 95 °C в течение 5 мин, далее для 40 циклов: денатурация при 95 °C – 30 сек., отжиг (с оптимальной температурой для каждого праймера, см. таблицу 1) – 30 сек., элонгация при 72 °C – 45 сек.; финальная элонгация при 72 °C – 10 мин.

Продукты ПЦР визуализировали в двухпроцентном агарозном геле. Далее готовили смесь из ПЦР-продуктов, меченных разными флюоресцирующими красителями. ПЦР-смесь добавляли в смесь для генотипирования, содержащую формамид и маркёр молекулярного веса СД-450 (Синтол, Россия), и затем подвергали электрофорезу на генетическом анализаторе ABI 3500xL (Applied Biosystems, США). Длину фрагментов в полученных ПЦР-продуктах определяли с помощью программы GeneMapper 5.0 (Applied Biosystems, США).

Статистический анализ

Тест на соответствие ожиданиям Харди-Вайнберга (P) с использованием метода цепей Маркова и проверка на неравновесие по сцеплению для всех пар локусов были выполнены в программе Genepop 4.7.0 (Rousset 2008).

Для определения мощности подобранной микросателлитной панели были рассчитаны кумулятивная вероятность исключения (Probability of Exclusion, PE) и значения вероятности совпадения генотипов (Probability of Identity, PI). Число аллелей на локус (N_a), число эффективных аллелей, значения наблюдаемой (H_o) и ожидаемой (H_e) гетерозиготности, информационный индекс Шеннона (I) были определены в программе GenAIEx 6.5.1 (Peakall, Smouse 2012). Коэффициент инбридинга (F_{is}) получен в программе Cervus 3.0.7 (Kalinowski et al. 2007).

Табл. 1. Праймеры для микросателлитных локусов белух и афалин, использованные для анализа генетической изменчивости.

Table 1. Primers for beluga whales' microsatellite loci used for genetic variability analysis.

№ No	Название Name	Последовательность Sequence	Темпе- ратура отжига Annealing temperature (°C)	Источник Reference
1	DlrFCB3	/FAM/ CAA GTG CCT ATC AGT AGA TGA ATG CTT GTA TCT ATA ACT CTG GTT ATG G	57	Buchanan et al. 1996
2	DlrFCB4	/ROX/ CCT GTC AGG AGA ATT GAG GTA TCC GGA TAA GGC CAT TAG CCT CCA CC		
3	DlrFCB5	/TAMRA/ CTC CTC ATG GTC AGA CTC CCA G GTA CAT TTA CCC ATT CAG AAC TTT GG	54	
4	DlrFCB6	/FAM/ GTA CCC TTG GAC TTG TCA CCC TC ACT GCC TAT ATT AGT CAG GGT TCT C		
5	DlrFCB11	/R6G/ TTT CCC ATG TTG TTC TAA CGA AGA C GCC AGC CCA GAG CTG TAG TCC	56	
6	DlrFCB16	/ROX/ TCA CAC CCT ATC TTT TCA TCA TAG C TGA TAA TTC TGC ATG GTA TAA TCG C	58	
7	DlrFCB17	/TAMRA/ TCA GCC TCT ATA ACG TCC TGA GC ATG GGG ACT GCC TAT ATT AGT CAG		
8	EV37Mna and b	/FAM/ AGC TTG ATT TGG AAG TCA TGA TAG TAG AGC CGT GAT AAA GTG C TAG TAG AGC CGT GAT AAA GTG C	56	Valsecchi, Amos 1996

Результаты

Для оценки разрешающей способности выбранной панели из восьми микросателлитных локусов была рассчитана кумулятивная вероятность исключения (PE). Суммарное значение PE для первого и второго родителя приблизилось к 1.0 ($PE > 0.99$), что подтверждает высокую статистическую достоверность используемых маркеров для идентификации родственных связей внутри исследуемой группы (рис. 1А). Также для определения надёжности индивидуальной идентификации животных были рассчитаны кумулятивные значения вероятности совпадения генотипов (PI). Значение PI для особей достигает порога значимости уже при использовании 2–3 локусов (рис. 1В).

В связи с наличием родственных связей внутри группы критическим показателем является PIsibs (probability of identity for siblings – одинаковые генетические профили у полных сибсов). На графике видно (рис. 2), что при объединении всех восьми локусов значение PIsibs стремится к нулю, это доказывает высокую разрешающую способность выбранной панели. Анализ распределения аллельных частот показал наличие полиморфизма во всех восьми исследованных локусах. Число аллелей на локус варьирует от двух (локусы FCB11, FCB16) до четырёх (локус FCB6, EV37), что свидетельствует об умеренном уровне генетического разнообразия внутри группы белух океанариума. Локусы FCB6 и EV37 характеризуются наиболее равномерным распределением частот, что делает их наиболее информативными для задач индивидуальной идентификации. Напротив, в локусах FCB11 и FCB16 наблюдается

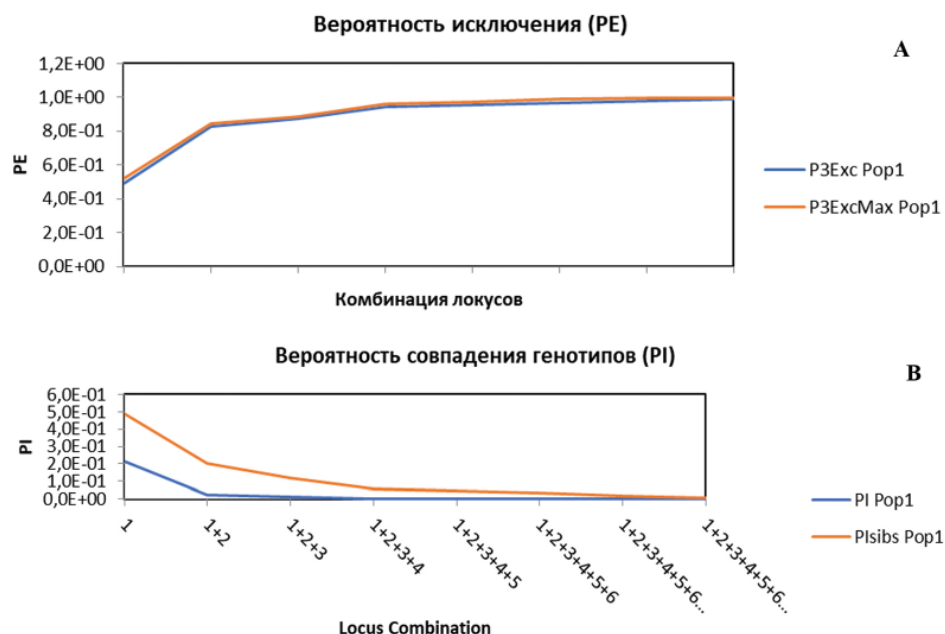


Рис. 1. Графики разрешающей способности микросателлитной панели для белух: кумулятивная вероятность исключения (probability of exclusion, PE) (A); кумулятивные значения вероятности совпадения генотипов (probability of identity, PI) (B).
Fig. 1. Resolution plots of the microsatellite loci panel for beluga whales: probability of exclusion, PE (A); probability of identity, PI (B).

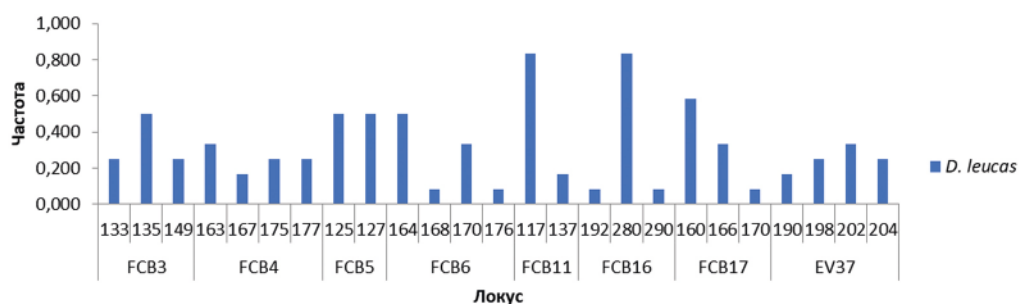


Рис. 2. Распределение частот аллелей по восьми микросателлитным локусам у исследуемой группы белух.
Fig. 2. Allele frequencies of the eight microsatellite loci of beluga whales.

выраженное доминирование одного аллеля, что снижает их расчётную гетерозиготность, но фиксирует уникальный генетический профиль данной группы.

Анализ основных популяционно-генетических параметров (табл. 2) показал наличие высокого уровня генетического разнообразия в исследуемой группе белух. Среднее число аллелей на локус составило 3.125 ± 0.295 . Наиболее информативными оказались локусы FCB4, FCB6 и EV37, продемонстрировавшие наибольшие значения индекса Шеннона ($I > 1.1$). Особый интерес представляет сравнение показателей гетерозиготности. Средняя наблюдаемая гетерозиготность ($H_o = 0.688 \pm 0.097$) превышает несмещённую ожидаемую гетерозиготность ($H_e = 0.591 \pm 0.069$). Отрицательное значение коэффициента инбридинга ($F_{is} = -0.248 \pm 0.054$) свидетельствует об избытке гетерозигот в выборке. Такое распределение типично для малых сформированных

Табл. 2. Показатели генетической изменчивости для исследуемой группы белух *D. leucas*.**Table 2.** Values of genetic variability for the studied group of beluga whales *D. leucas*.

Локус	<i>N</i>	<i>Na</i>	<i>Ne</i>	<i>I</i>	<i>Ho</i>	<i>He</i>	<i>Fis</i>	<i>P</i>
FCB3	6.000	3.000	2.667	1.040	0.833	0.682	-0.333	1.000
FCB4	6.000	4.000	3.789	1.358	1.000	0.803	-0.358	1.000
FCB5	6.000	2.000	2.000	0.693	0.667	0.545	-0.333	1.000
FCB6	6.000	4.000	2.667	1.127	0.833	0.682	-0.333	0.795
FCB11	6.000	2.000	1.385	0.451	0.333	0.303	-0.200	1.000
FCB16	6.000	3.000	1.412	0.566	0.333	0.318	-0.143	1.000
FCB17	6.000	3.000	2.182	0.888	0.500	0.591	0.077	1.000
EV37	6.000	4.000	3.789	1.358	1.000	0.803	-0.358	1.000
Среднее	6.000	3.125	2.486	0.935	0.688	0.591	-0.248	
SE	0.000	0.295	0.332	0.122	0.097	0.069	0.054	

Примечание. *N* – число особей, *Na* – число аллелей на локус, *Ne* – эффективное число аллелей, *I* – информационный индекс Шеннона, *Ho* – наблюдаемая гетерозиготность, *He* – ожидаемая гетерозиготность, *Fis* – коэффициент инбридинга, *P* – значение теста на соответствие ожиданиям Харди-Вайнберга, *SE* – стандартная ошибка.

Note. *N*: number of individuals, *Na*: number of alleles per locus, *Ne*: effective number of alleles, *I*: Shannon diversity index, *Ho*: observed heterozygosity, *He*: expected heterozygosity, *Fis*: inbreeding coefficient, *P*: value of departure from Hardy-Weinberg equilibrium, *SE*: standard error.

групп животных, где отсутствуют близкородственные связи, что делает данную группу ценным генетическим резерватом для программ искусственного разведения.

Наибольшие значения эффективного числа аллелей отмечены для локусов FCB4 ($Ne = 3.789$) и EV37 ($Ne = 3.789$), где этот показатель практически совпадает с фактическим числом аллелей ($Na = 4.000$). Это свидетельствует о высокой степени полиморфизма и сбалансированной частоте встречаемости аллельных вариантов в данных локусах. Напротив, в локусах FCB11 и FCB16 наблюдается существенное снижение эффективного числа аллелей (1.385 и 1.412, соответственно) относительно общего числа обнаруженных аллелей. Это объясняется наличием выраженных мажорных аллелей (частотой более 0.800), которые вносят основной вклад в генотип группы, снижая общую информативность данных участков ДНК в текущей выборке.

Обсуждение

Результаты оценки генетической изменчивости в группе белух *Delphinapterus leucas* Приморского океанариума выявили среднее число аллелей на локус $Na = 3.125 \pm 0.295$ и эффективное число аллелей ($Ne = 2.486 \pm 0.332$). В сравнении с данными по крупным природным популяциям Охотского моря и Арктики, где *Na* может достигать 12–17 (Meschersky et al. 2013; Shpak et al. 2019), наши показатели закономерно ниже, что обусловлено малым размером выборки ($n = 6$). Однако ключевым индикатором является наблюдаемая гетерозиготность ($Ho = 0.688 \pm 0.097$). Этот показатель сопоставим со значениями для диких популяций Белого моря ($Ho = 0.719$) и Западной Гренландии ($Ho = 0.734$), зафиксированными в работе Г. О’Корри-Кроу (G O’Corry-Crowe) с соавторами (O’Corry-Crowe et al. 2010). Значительное превышение наблюдаемой гетерозиготности над ожидаемой ($He = 0.591 \pm 0.069$) и отрицательный коэффициент инбридинга указывают на отсутствие близкородственного скрещивания среди основателей. Это резко контрастирует с ситуацией в изолированных

природных группах, таких как в заливе Якутат, где $H_o = 0.580$, и наблюдается дефицит гетерозигот из-за высокого уровня родства (O’Corry-Crowe et al. 2015). Таким образом, текущий состав белух Приморского океанариума характеризуется более высоким адаптивным потенциалом, чем некоторые реликтовые дикие популяции.

Для долгосрочного существования малых групп критически важно выявление скрытого родства между особями-основателями. Животные, изъятые из одного географического региона (о-в Чкалова), могут быть родственниками из-за высокой филопатрии вида (O’Corry-Crowe et al. 2020). В ходе первичного анализа родства нами было выявлено, что самка Джессика и самец Мий являются полнородными сибсами (Yagodina, Batishcheva 2026). Без учёта этих данных случайное скрещивание брата и сестры привело бы к резкому росту инбридинга и проявлению генетического груза. Как отмечал М. Е. Бойд, именно накопление вредных рецессивных аллелей стало причиной смертности до 50% детёнышей в первые годы жизни в программах разведения белух в США (Boyd 2019). Текущий отрицательный коэффициент инбридинга в исследуемой группе свидетельствует о том, что родительская пара (Джессика + Лер) была генетически оправдана и обеспечила рождение здорового потомства.

Одной из наиболее сложных задач в управлении коллекциями морских млекопитающих является установление родства в группах с несколькими потенциальными самцами-производителями. Традиционная модель социальной организации белух как строго матрилинейной была пересмотрена Г. О’Корри-Кроу с соавторами, которые доказали существование сложных социальных связей, не ограничивающихся материнским родством, включая устойчивые «союзы самцов» (O’Corry-Crowe et al. 2020).

В условиях Приморского океанариума наличие трёх взрослых самцов (Лер, Нил и Мий) при одной самке (Джессика) создает уникальную модель социального взаимодействия. Применение восьмилokusной панели микросателлитных маркеров позволило со 100% достоверностью подтвердить биологическое отцовство двух рождённых детёнышей. Как было установлено нами ранее (Yagodina, Batishcheva 2026), отцом обоих сибсов является один доминантный самец, что подтверждает иерархическую структуру мужских групп и наличие репродуктивной монополии даже в условиях неволи. Это согласуется с данными Э. Кацуматы о том, что, несмотря на сезонную полиэстричность белух, социальные факторы играют решающую роль в успехе спаривания (Katsumata 2010). Как отмечают Дж. Ситта с соавторами и С. Майти с соавторами, генетическая верификация исключает ошибки племенных книг, которые в мировой практике могут достигать 20%, и позволяет точно оценить генетический вклад каждого самца в будущее поколение (Citta et al. 2018; Maity et al. 2022).

Рождение впервые в России двух полнородных сибсов (детёныши Калина и Дея) позволило провести эмпирическую проверку мощности метода. Рассчитанный показатель вероятности совпадения генотипов сибсов стремится к нулю уже при использовании семи локусов. Практическое генотипирование подтвердило, что, несмотря на разделение 50% генов по происхождению, каждый детёныш обладает уникальным аллельным профилем.

Это имеет фундаментальное значение для паспортизации. В условиях океанариума, где молодые животные со временем становятся внешне трудноотличимы, генетический паспорт обеспечивает абсолютную точность идентификации. Это соответствует принципам «генетической метки» (genetic mark-recapture), описанным в работе Дж. Ситта с соавторами (Citta et al. 2018), и позволяет гарантированно отслеживать судьбу каждого животного при возможных обменах между учреждениями.

Заключение

Совокупный анализ текущих данных и результатов многолетнего мониторинга подтвердил возможность успешного размножения в неволе, отсутствие инбридинга и высокий уровень генетического здоровья группы белух Приморского океанариума. Разработанный протокол на основе восьми микросателлитных локусов доказал свою эффективность в решении задач верификации отцовства и идентификации скрытого родства среди основателей. Полученные результаты являются необходимым условием для долгосрочного планирования программ разведения белух в России, обеспечивая сохранение биологического разнообразия морских млекопитающих.

Благодарности

Авторы выражают признательность директору Приморского океанариума О. Г. Шевченко и руководителю службы по работе с морскими млекопитающими А. Е. Брыкову за предоставление материалов и реактивов для проведения исследования. Также благодарим ведущего специалиста ветеринарного отдела В. А. Ячмень за сбор биологического материала.

Исследование проведено на площадке ЦКП «Приморский океанариум», ИЦМБ ДВО РАН.

Литература (References)

- Armada-Tapia S., Castillo-Geniz J. L., Victoria-Cota N., Arce-Valdés L. R., Enríquez-Paredes L. M. 2023. First evidence of multiple paternity in the blue shark (*Prionace glauca*). *Journal of Fish Biology* 102(2): 528–531. <https://doi.org/10.1111/jfb.15272>
- Boyd M. E. 2019 The beginning of the end for belugas in captivity in the United States. *Animal Law Review* 25(2): 93–123.
- Buchanan F. C., Friesen M. K., Littlejohn R. P., Clayton J. W. 1996. Microsatellites from the beluga whale *Delphinapterus leucas*. *Molecular Ecology* 5(4): 571–575. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.1996.00109.x>
- Burton C. 2002. Microsatellite analysis of multiple paternity and male reproductive success in the promiscuous snowshoe hare. *Canadian Journal of Zoology* 80(11): 1948–1956. <https://doi.org/10.1139/z02-187>
- Citta J. J., O’Corry-Crowe G., Quakenbush L. T., Bryan A. L., Ferrer T., Olson M. J., Hobbs R. C., Potgieter B. 2018. Assessing the abundance of Bristol Bay belugas with genetic mark-recapture methods. *Marine Mammal Science* 34(3): 666–686. <https://doi.org/10.1111/mms.12472>
- Dobson F. S., Abebe A., Correia H. E., Kasumo C., Zinner B. 2018. Multiple paternity and number of offspring in mammals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 285(1891): 20182042. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.2042>
- Kalinowski S. T., Taper M. L., Marshall T. C. 2007. Revising how the computer program CERVUS accommodates genotyping error increases success in paternity assignment. *Molecular Ecology* 16(5): 1099–1106. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03089.x>
- Katsumata E. 2010. Study on reproduction of captive marine mammals. *Journal of Reproduction and Development* 56(1): 1–8. <https://doi.org/10.1262/jrd.09-212E>
- Kilborn S. S. 1994. Object carrying in a captive beluga whale (*Delphinapterus leucas*) as a possible surrogate behavior. *Marine Mammal Science* 10: 496–501. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.1994.tb00510.x>
- Lee L., Tirrell N., Burrell C., Chambers S., Vogel S., Domyan E. T. 2018. Genetic tests reveal extra-pair paternity among Gentoo penguins (*Pygoscelis papua ellsworthii*) at Loveland Living Planet Aquarium: Implications for ex situ colony management. *Zoo Biology* 37(4): 236–244. <https://doi.org/10.1002/zoo.21432>
- Maity S., Singh S. K., Yadav V. K., Chandra K., Sharma, L. K., Thakur M. 2022. DNA matchmaking in captive facilities: A case study with tigers. *Molecular Biology Reports* 49(5): 4107–4114. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07376-3>
- Meschersky I. G., Shpak O. V., Litovka D. I., Glazov D. M., Borisova E. A., Rozhnov V. V. 2013. A genetic analysis of the beluga whale *Delphinapterus leucas* (Cetacea: Monodontidae) from summer aggregations in the Russian Far East. *Russian Journal of Marine Biology* 39(2): 125–135. <https://doi.org/10.1134/S1063074013020065>

- O'Brien J. K., Steinman K. J., Schmitt T., Robeck T. R. 2008. Semen collection, characterization and artificial insemination in the beluga (*Delphinapterus leucas*) using liquid-stored spermatozoa. *Reproduction, Fertility and Development* 20(7): 770–783. <https://doi.org/10.1071/RD08031>
- O'Corry-Crowe G., Lydersen C., Heide-Jørgensen M. P., Hansen L., Mukhametov L. M., Dove O., Kovacs K. M. 2010. Population genetic structure and evolutionary history of North Atlantic beluga whales (*Delphinapterus leucas*) from West Greenland, Svalbard and the White Sea. *Polar Biology* 33(9): 1179–1194. <https://doi.org/10.1007/s00300-010-0807-y>
- O'Corry-Crowe G., Lucey W., Archer F. I., Mahoney B. 2015. The genetic ecology and population origins of the beluga whales, *Delphinapterus leucas*, of Yakutat Bay. *Marine Fisheries Review* 77(1): 47–58. <https://doi.org/10.7755/MFR.77.1.5>
- O'Corry-Crowe G., Suydam R., Quakenbush L., Smith T. G., Lydersen C., Kovacs K. M., Orr J., Harwood L., Litovka D., Ferrer T. 2020. Group structure and kinship in beluga whale societies. *Scientific Reports* 10: e11462. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67314-w>
- Pandey P., Hyun J. Y., Yu M., Lee H. 2021. Microsatellite characterization and development of unified STR panel for big cats in captivity: a case study from a Seoul Grand Park Zoo, Republic of Korea. *Molecular biology reports* 48(2): 1935–1942. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-06202-6>
- Peakall R. O. D., Smouse P. E. 2012. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update. *Bioinformatics* 28(19): 2537–2539. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>
- Robeck T. R., Monfort S. L., Calle P. P., Dunn J. L., Jensen E., Boehm J. R., Young S., Claret S. T. 2005. Reproduction, growth and development in captive beluga (*Delphinapterus leucas*). *Zoo Biology: Published in affiliation with the American Zoo and Aquarium Association* 24(1): 29–49. <https://doi.org/10.1002/zoo.20037>
- Rosenbaum H. C., Calle P. P., Cook R. A., Amato G. 1995 Paternity assessments for a captive breeding group of beluga whales // International Association for Aquatic Animal Medicine Conference Proceedings. <https://www.vin.com/doc/?id=3981304> (accessed on 03 May 2026)
- Rousset F. 2008. Genepop'007: a complete re-implementation of the Genepop software for Windows and Linux. *Molecular ecology resources* 8(1): 103–106. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2007.01931.x>
- Shpak O. V., Meschersky I. G., Glazov D. M., Litovka D. I., Kuznetsova D. M., Rozhnov V. V. 2019. Structure and assessment of beluga whale, *Delphinapterus leucas*, populations in the Russian Far East. *Marine Fisheries Review* 81(3–4): 72–86. <https://doi.org/10.7755/MFR.81.3-4.3>
- Smith K. 2019. First thirty days of life: examining calf behavioral development in beluga whales (*Delphinapterus leucas*) and Pacific white-sided Dolphins (*Lagenorhynchus obliquidens*) at one zoological facility. Master's Theses, University of Southern Mississippi. https://aquila.usm.edu/masters_theses/606 (accessed on 03 May 2026)
- Valsecchi E., Amos W. 1996. Microsatellite markers for the study of cetacean populations. *Molecular Ecology* 5(1): 151–156. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1996.tb00301.x>
- Yagodina V., Batishcheva N. 2026 Paternity determination for two captive beluga whales born at the Primorsky Aquarium, Russia. *Thalassas* 42: e83. <https://doi.org/10.1007/s41208-026-01105-4>

БИОТА И СРЕДА ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

BIOTA AND ENVIRONMENT OF NATURAL AREAS

ISSN 2782-1978

НАУЧНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

Главный редактор – академик РАН Виктор Всеволодович Богатов

Издающие организации: ФГБУ «Дальневосточное отделение Российской академии наук»;
ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии»

Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес редколлегии: г. Владивосток, 690022, проспект 100-летия Владивостока, д. 159,
ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН

E-mail: biota@biosoil.ru

Адрес сайта журнала: <http://www.biosoil.ru/biota-environ/>

Адрес страницы журнала в eLIBRARY.ru:

https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=77981

*

2026

Том 14, № 2

*

Редакторы номера: В. В. Богатов, Л. А. Прозорова, Д. Л. Питрук

Номер утверждён в печать на заседании редколлегии

Вёрстка и корректура выполнены в издательстве «ДАЛЬНАУКА»

Фото на обложке:

Белуха Джессика и ее родившийся в Приморском океанариуме детёныш Калина.

Фото Н. А. Хоревой, 03.09.2021.

Выход в свет 30.06.2026 г.

Формат 70х108/16. Усл. п. л. 9,6. Уч.-изд. л. 8,6.

Тираж 50 экз. Заказ 33009.

Издательство ООО «Дальнаука»

690106, г. Владивосток, пр. Красного Знамени, 10, каб. 20.

Тел. +7 9242630160. E-mail: naukadv2000@mail.ru. <https://dalnaukadv.ru>

Отпечатано в ООО «Типография ПСП95»

г. Владивосток, ул. Русская, 65, корпус 10