



ИССЛЕДОВАНИЕ ЗООБЕНТОСА МОРЕЙ РОССИИ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

МАТЕРИАЛЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
(г. Мурманск, 20-21 марта 2025 г.)



Мурманск
2025

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ»**

Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича)



ИССЛЕДОВАНИЯ ЗООБЕНТОСА МОРЕЙ РОССИИ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

**Материалы
всероссийской научно-практической конференции
(г. Мурманск, 20–21 марта 2025 г.)**

**Мурманск
2025**

УДК 574.5(063)

И 88 Исследования зообентоса морей России: прошлое, настоящее, будущее: материалы всероссийской научно-практической конференции (г. Мурманск, 20–21 марта 2025 г.) / Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича); научный редактор К.М. Соколов. – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2025. – 272 с.

ISBN 978-5-86349-302-2

Сборник подготовлен по материалам всероссийской конференции ученых и специалистов «Исследования зообентоса морей России: прошлое, настоящее, будущее». Организатор конференции – Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича).

Мероприятие посвящено 90-летию выполнения первой полномасштабной дночерпательной съемки Кольского залива судном «Персей». Одно из важных направлений гидробиологии – изучение бентоса как составляющей морских экосистем, чутко реагирующих на климатические изменения и антропогенное влияние в морях России.

В книге представлены результаты работ по следующим направлениям: история исследований морского зообентоса, зообентос как звено трофических взаимоотношений в морских экосистемах, структура и функционирование донных сообществ, зообентос губ и заливов морей России, теория и практика исследований донных сообществ, антропогенное воздействие, мониторинг хозяйственной деятельности, технология переработки и производства, влияние среды на донные сообщества в условиях изменяющегося климата.

Издание предназначено для специалистов, интересующихся различными аспектами решения проблем в изучении зообентосных сообществ морей Российской Федерации.

Научный редактор канд. биол. наук К.М. Соколов

Редакционная коллегия:

*А.В. Долгов, д-р биол. наук; И.Е. Манушин; Л.И. Пестрикова, канд. биол. наук;
Н.А. Стрелкова, канд. биол. наук; А.Г. Трофимов, канд. геогр. наук*

ISBN 978-5-86349-302-2

© «ПИНРО» им. Н. М. Книповича, 2025

FEDERAL AGENCY FOR FISHERIES

**STATE SCIENTIFIC CENTRE OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGETARY SCIENTIFIC INSTITUTION
«RUSSIAN FEDERAL RESEARCH INSTITUTE
OF FISHERIES AND OCEANOGRAPHY»**

Polar Branch of SSC RF FSBSI «VNIRO» («PINRO» named after N.M. Knipovich)



STUDIES OF ZOOBENTHOS IN THE RUSSIAN SEAS: PAST, PRESENT, FUTURE

**Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference
(Murmansk, 20–21 March 2025)**

**Murmansk
2025**

Studies of zoobenthos in the Russian seas: Past, Present, Future: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Murmansk, 20–21 March 2025) / Polar Branch of SSC RF FSBSI «VNIRO» («PINRO» named after N.M. Knipovich). Science Editor: Konstantin M. Sokolov. – Murmansk: «PINRO» named after N.M. Knipovich, 2025. – 272 p.

This collection of articles is adapted from the proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference “Studies of zoobenthos in the Russian seas: Past, Present, Future.”. The conference was arranged for scientists and specialists. It was held in the Polar Branch of RF SSC FSBSI “VNIRO” (“PINRO” named after N.M. Knipovich).

The conference was dedicated to the 90th anniversary of the first comprehensive bottom-dredge survey for the Kola Bay onboard the vessel "Persey". One of the important study areas in hydrobiology is to study benthos as a component in marine ecosystems that are very sensitive to climate changes and anthropogenic impacts in the Russian seas.

This book presents the results from the studies as follows: the history of studies on marine zoobenthos, zoobenthos as a component of trophic relations in marine ecosystems, benthic communities and their composition, zoobenthos in inlets and bays of the Russian seas, theoretical and practical studies on benthic communities, anthropogenic impacts, monitoring of anthropogenic activities, methods and techniques of processing and production, environmental impacts on benthic communities under climate changes.

The book is intended for specialists who are interested in various aspects of the issues related to the studies on zoobenthic communities in the seas of the Russian Federation.

Science Editor: Konstantin M. Sokolov, PhD (Biology)

Editorial Board:

*A.V. Dolgov, D.Sc. (Biology); I.E. Manushin; L.I. Pestrikova, Ph.D. (Biology);
N.A. Strelkova, Ph.D. (Biology); A.G. Trofimov, Ph.D. (Geography)*

ИССЛЕДОВАНИЯ ПИНРО МОРСКОГО БЕНТОСА: ПРОШЛОЕ И НАСТОЯЩЕЕ

И.Е. Манушин

*Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(«ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск*

Аннотация. В истории ПИНРО выделяются три этапа бентосных исследований: довоенный, послевоенный советский и современный. В каждый из этих этапов выполнялись тысячи дночерпательных и траловых станций, проводились бентосные съемки Баренцева моря. В сборе и обработке материала принимали участие десятки ученых, знаменитых и рядовых, а также приобретали первые профессиональные навыки студенты-биологи. Полученные на этих этапах данные о зообентосе используются в мониторинге состояния донных сообществ в районах антропогенного воздействия и влияния видов-вселенцев, а также в оценке воздействия климатических изменений на бентос Баренцева моря.

Ключевые слова: Баренцево море, зообентос, история исследований, ПИНРО.

ВВЕДЕНИЕ

С момента основания (и даже раньше – с момента основания организаций-предшественников) ПИНРО занимается изучением морского зообентоса. Именно в Полярном институте (ранее – Плавморнин, ГОИН) создавалась и совершенствовалась методика количественного учета организмов донной фауны на огромной морской акватории, а также разрабатывались методы выделения донных биоценозов [1, 5]. Первое советское научное судно «Персей» стало символом как Полярного института, так и в целом отечественной морской океанологии и биологии. Широко известен ставший классикой морской гидробиологии четвертый том «Трудов ВНИРО» под названием «50 рейсов экспедиционного судна «Персей».

История исследований морского зообентоса ПИНРО была неоднократно освещена в печати [2, 3, 6], однако всегда можно найти какие-то подробности и нюансы, которые дополняют ее, позволят взглянуть на исторические события с современной точки зрения и определить новые способы использования накопленного опыта.

МОМЕНТЫ ИСТОРИИ

Начало научной деятельности Полярного института неразрывно связано с двумя именами: Николай Михайлович Книпович и «Персей». Однако предтечей «Персея» был «Апостол Андрей Первозванный» (рис. 1). Именно это судно связано с Н.М. Книповичем началом своей судьбы: от

проектирования судна до первых рейсов по «Кольскому меридиану» и ихтиологических тралений. Судно было задумано как научно-промысловое (НПС) (первое в мире), целью его будущей работы были не только фундаментальные научные исследования, но и приложение их результатов к практике рыбных промыслов на Мурмане. Как научное судно оно проработало с 1899 по 1910 г., затем было переименовано в «Мурман» и передано военно-морскому флоту, в составе которого занималось гидрографическими работами. В отличие от прославленного «Персея» это судно пережило три войны (Первую и Вторую мировые и советско-финскую) и было списано только в 1959 г.

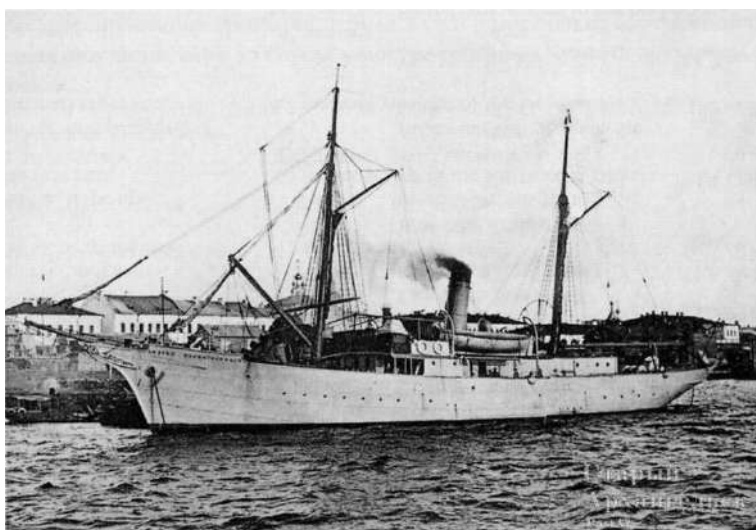


Рис. 1. Научно-промысловое судно «Апостол Андрей Первозванный»

Удивляет судьба судна «Апостол Андрей Первозванный». Созданное как НПС в Германии, имевшее все возможности для выполнения задач, поставленных Совнаркомом перед Плавморнином, это судно обратно науке не досталось. Уже в 1920 г. оно было передано в Архангельске военному министерству, а Плавморнин для своей работы в течение нескольких лет в том же порту искал, восстанавливал и оснащал заброшенную зверобойную шхуну, ставшую впоследствии НИС «Персей». Естественно, что по ходовым и научным параметрам новое судно уступало НПС «Апостол Андрей Первозванный». Вероятно, это свидетельствует о том, что любые интересы военных (судно могло выполнять только гидрографические работы, но не боевые действия) уже тогда стояли выше научных и, даже, продовольственной безопасности страны. Очевидно, несмотря на декларируемый страной Советов приоритет научных исследований, среди прочих приоритетов наука была не первой и снабжалась по остаточному принципу.

В отношении результатов работ прославленного «Персея» можно упомянуть следующий факт. В широко известном четвертом томе «Трудов ВНИРО» «50 рейсов экспедиционного судна «Персей» подробно описываются теория исследований на акватории Баренцева моря и методика отбора проб и классификации донных биоценозов, приводятся количественные данные о донной фауне и высказываются предположения о факторах, играющих роль в распределении бентосных сообществ. Рейсов на самом деле было гораздо больше. Порядковый номер 51 был присвоен рейсу, в котором осуществлялась съемка Кольского залива. Последний порядковый номер рейса «Персея», который есть в бентосной базе ПИНРО, – 80 (осень 1939 г.), но материалы этих рейсов не были тогда опубликованы и поэтому мало известны современным гидробиологам.

ЧТО, ГДЕ, КОГДА И КЕМ ВЫПОЛНЯЛОСЬ ПО ЗООБЕНТОСНОЙ ТЕМАТИКЕ

На основании анализа имеющихся в архиве ПИНРО бентосных данных условно можно выделить три этапа исследований морской донной фауны. Все они включают в себя тысячи сделанных станций, на каждом этапе выполнялась съемка макрозообентоса Баренцева моря. Станции можно разделить на количественные (выполнялись дночерпателем) и качественные/полуколичественные (выполнялись тралами и драгами). Использование обоих типов орудий лова имеет свои преимущества и недостатки, они дополняют друг друга.

Исторически сложилось, что зоной ответственности ПИНРО являются западная часть Арктики и Северная Атлантика. На протяжении трех этапов бентосных исследований эти акватории изучались неравномерно.

В первый, довоенный этап изучения морского зообентоса (включая дореволюционные станции) происходили отработка методики, фаунистическое исследование донной фауны, картирование количественных характеристик и описание полученных результатов. Акватория исследований была ограничена в основном Баренцевым морем и сопредельными водами (рис. 2). Небольшое количество станций, выполненных в Белом и Карском морях, объясняется малой востребованностью рыбной отраслью знаний об этих морях.

В научных рейсах этого этапа приняли участие выдающиеся отечественные ученые: Л.Л. Россолимо, Л.А. Зенкевич, В.К. Солдатов, А.Д. Старостин, Р.Г. Лейбсон, Н.Н. Зубов, И.И. Месяцев, В.А. Броцкая, З.А. Филатова, В.И. Зацепин и др. О многих из них мы хорошо знаем, но всегда хочется рассказать о человеке, чья судьба увлекла тебя именно сейчас, – это Вера Александровна Броцкая (рис. 3).

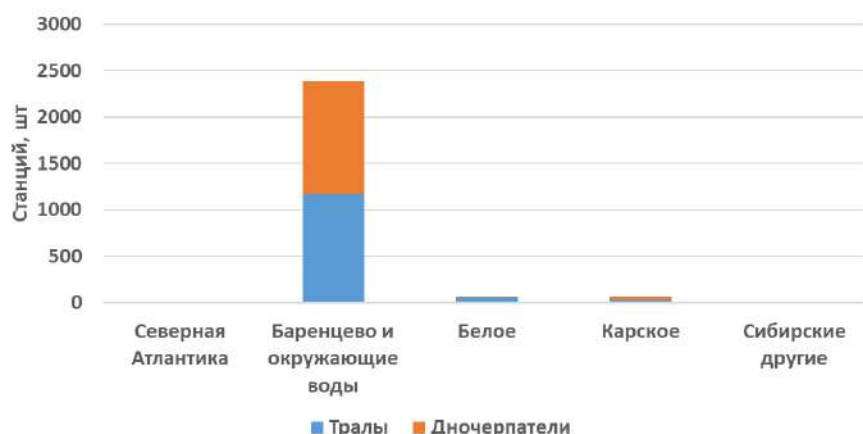


Рис. 2. Количество бентосных станций, выполненных в зоне ответственности ПИНРО с 1903 по 1940 г.

Вера Александровна родилась 9 февраля 1903 г. в Москве [4]. В 1919 г. после окончания школы поступила на естественное отделение физико-математического факультета МГУ. Еще до его окончания, в 1921 г. стала сотрудницей только что созданного Плавморнина. Принимала участие в 12 рейсах этого института, в том числе на ледокольном пароходе «Малыгин» и НИС «Персей». В 1924 г. закончила университет по кафедре зоология. Кроме работы в Плавморнине, по совместительству полтора года трудилась ассистентом на кафедре в МГУ.



Рис. 3. Вера Александровна Броцкая (1903–1962 гг.)

В 1934 г., когда «Персей» завершил те самые «50» рейсов, вышла замуж и уехала жить на родину мужа – в Баку. В 1936–1938 гг. заведовала лабораторией биологии моря Азербайджанской научной рыбохозяйственной станции ВНИРО. Параллельно (в соавторстве с Л.А. Зенкевичем) готовила

знаменитую статью для четвертого тома «Трудов ВНИРО». Но счастливая семейная и научная жизнь в Баку была недолгой. В 1938 г., за несколько месяцев до своего ареста, муж отправил беременную Веру Александровну с двумя детьми обратно в Москву. Больше они не виделись, он был приговорен к «10 годам без права переписки».

Вернувшуюся в Москву Веру Александровну сразу приняли на работу ассистентом на кафедру в МГУ. В том же 1938 г. она стала кандидатом биологических наук, в 1943 г. – доцентом кафедры зоологии и сравнительной анатомии беспозвоночных. Во время войны вместе с основным штатом университета ей пришлось уехать в Ашхабад (по дороге ее сняли с поезда в Ташкенте с тяжелейшим брюшным тифом, а дети с няней поехали дальше). Из Ашхабада университет переехал в Свердловск. Там, помимо работы на кафедре, Вера Александровна была заместителем декана биологического факультета и ученым секретарем Института зоологии.

В.А. Броцкая занималась количественным учетом донной фауны и вопросами биологической продуктивности бентоса. Ей принадлежит заслуга введения в практику индексов наполнения кишечника, которые и поныне используют при изучении питания рыб. Она возглавляла работы по комплексному изучению литорали Кандалакшского залива Белого моря как кормовой базы для промысловых птиц и рыб. Вера Александровна стала пионером исследования беломорской мейофауны.

Вера Александровна была выдающимся педагогом и научным руководителем. Все силы души она отдавала работе со студентами. На кафедре не было лучшего руководителя курсовых и дипломных работ. Она вела Малый практикум, спецкурс «Фауна моря», раздел Большого практикума «Простейшие», ежегодно проводила морскую практику у студентов третьего курса кафедры, была начальником Комплексной беломорской экспедиции (сначала и практика, и научная работа проходили на базе Кандалакшского заповедника, а с 1952 г. – на ББС МГУ). Помимо педагогической и исследовательской работы, Вера Александровна была бессменным секретарем кафедры, вела студенческий научный кружок, ставший одним из лучших на факультете, была руководителем, а правильнее сказать, душой кафедрального научного коллоквиума, на который собирались зоологи и гидробиологи всей Москвы.

Вера Александровна знала английский, французский, немецкий, испанский и скандинавские языки. Много лет она была внештатным редактором ВИНТИ. Принимала участие в составлении и редактировании всех книг Л.А. Зенкевича: это и двухтомная монография «Фауна и биологическая продуктивность моря», и разделы в «Руководстве по зоологии» и многое другое. Характеризуя Веру Александровну, заведующий кафедрой зоологии и сравнительной анатомии беспозвоночных

Л.А. Зенкевич заметил: «Обычно вся основная повседневная работа кафедр ложится всей тяжестью на одного-двух человек. Именно таким сотрудником на моей кафедре всегда была В.А. Броцкая».

Умерла Вера Александровна от рака 27 апреля 1962 г. в возрасте 59 лет.

Второй этап зообентосных исследований начался седьмым рейсом НИС «Кашалот» в феврале 1945 г. и длился по 1989 г. Основные исследования проводились преимущественно в Баренцевом море и сопредельных водах (рис. 4). В частности, в 1968–1970 гг. была проведена вторая съемка макрозообентоса Баренцева моря. Почти триста станций, большей частью траловых, были выполнены в Северной Атлантике. Эти исследования были связаны с необходимостью улучшить питание советских граждан, увеличив потребление белка. Так как сельское хозяйство СССР, ослабленное реформами, не могло справиться с этой задачей, было принято решение накормить население морской рыбой, направив огромные дотации в морское рыбное хозяйство. Морские рыбохозяйственные институты, благодаря целевому заказу, получили возможность вести масштабные исследования и нашли достаточную сырьевую базу для отечественного океанического флота. К сожалению, после введения 200-мильных экономических зон многие районы донного промысла в Северной Атлантике оказались недоступны для отечественного флота, и исследования зообентоса на этой акватории были прекращены.

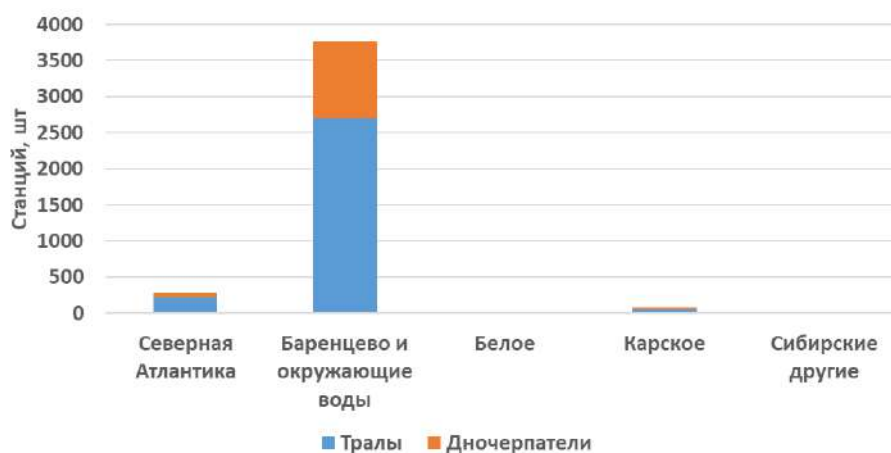


Рис. 4. Количество бентосных станций, выполненных в зоне ответственности ПИНРО с 1945 по 1989 г.

На этом этапе в съемках и обработке материала принимали участие такие видные ученые, как К.Н. Несис, Е.А. Павштикс, А.П. Алексеев, Н.С. Гринкевич, В.И. Зацепин, Л.А. Риттих, А.Д. Старостин, В.Ф. Брызгин, Т.В. Антипова.

В морских бентосных исследованиях участвовали студенты биологических факультетов различных вузов страны. Такие работы служат практикой для учащихся и одновременно помощью исследователям в сборе и обработке большого объема материала. Так, в двух рейсах под руководством Зинаиды Ивановны Кобяковой в 1954–1955 гг. у берегов Норвегии, Исландии, Фарерских и Шетландских о-вов принимали участие студенты ЛГУ Л.С. Богданова, З.И. Шитова, Л.И. Щербакова и Н.Л. Цветкова. Последняя на материалах рейса написала дипломную работу по теме «Состав и распределение бентоса у северо-восточного побережья Исландии», впоследствии став гидробиологом и специалистом по Amphipoda. Вьетнамские студенты Фан Тхи Нгог Чам и Нгуен Тхи Бик Лиен под руководством З.И. Кобяковой написали дипломные работы по иглокожим Баренцева моря. В сборе и обработке бентоса в этих рейсах принимали участие и нынешние сотрудники института – А.М. Сенников (со студенческой скамьи) и В.Б. Матюшкин.

Третий этап зообентосных исследований ПИНРО начался в 2003 г., когда было принято решение провести очередную съемку макрозообентоса Баренцева моря, и продолжается до сих пор. От предыдущих двух этапов его отличает наличие ежегодной российско-норвежской траловой съемки мегабентоса Баренцева моря. Благодаря результатам этой съемки впервые в режиме реального времени стало возможным отследить изменения, происходящие в донных сообществах на огромной акватории. Кроме того, вследствие развития политических, экономических и социальных условий, а также из-за потепления Арктики увеличилось количество исследований на востоке зоны ответственности ПИНРО (рис. 5).

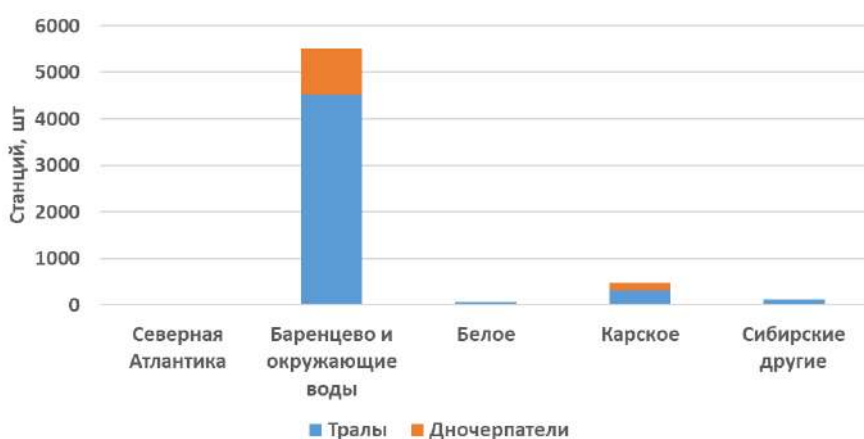


Рис. 5. Количество бентосных станций, выполненных в зоне ответственности ПИНРО с 2003 по 2024 г.

На современном этапе продолжается традиция привлечения студентов-биологов к бентосным исследованиям. За более чем 20-летнюю

историю в рейсах и камеральной обработке бентоса приняли участие учащиеся вузов Санкт-Петербурга, Казани, Воронежа и Мурманска. Некоторые с тех пор связали свою судьбу с морской гидробиологией и зообентосом. Например, Н.Е. Журавлева (Епифанова) и Д.В. Захаров работают в лаборатории морских исследований ЗИН РАН, С.В. Клинушкин – в Магаданском филиале ВНИРО, А.В. Голиков – в Казанском федеральном университете, а В.С. Вязникова, Д.Ю. Блинова (Лазарева), К.С. Рольская (Хачетурова), А.С. Брыкина (Цветкова), А.А. Ломака, В.П. Сивкова и Н.Е. Моисеева продолжили рабочий путь в Полярном филиале ФГБНУ «ВНИРО».

По завершении бентосной съемки Баренцева моря 2003–2008 гг. дночерпательные исследования донной фауны проводятся преимущественно в рамках мониторинга состояния донных сообществ в районах антропогенного воздействия и влияния видов-вселенцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В многолетней истории ПИНРО можно выделить три этапа бентосных исследований: довоенный, послевоенный советский и современный. В каждый из этих этапов выполнялись тысячи станций (дночерпательных и траловых) и проводились бентосные съемки Баренцева моря. Полученные данные о зообентосе используются в мониторинге состояния донных сообществ в районах антропогенного воздействия и влияния видов-вселенцев, а также в оценке воздействия климатических изменений на бентос Баренцева моря.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Броцкая, В.А. Количественный учет донной фауны Баренцева моря / В.А. Броцкая, Л.А. Зенкевич // Труды ВНИРО. – Т. 4. – 1939. – С. 5–126.
2. Бентосные исследования в ПИНРО: люди и пароходы / Д.В. Захаров, И.Е. Манушин, Н.А. Стрелкова [и др.] // Мат. XXIII науч. семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина». – СПб.: КопиСервис, 2022. – С. 46–56.
3. Вековой период гидробиологических исследований Полярного института / Д.В. Захаров, И.Е. Манушин, Н.А. Стрелкова, П.А. Любин // Полярные чтения – 2019. Арктика: вопросы управления: материалы седьмой научно-практической конференции... – М.: Паулсен, 2020. – С. 502–511. – (Библиотека «Совкомфлота»).
4. Извекова, Э.И. Вера Александровна Броцкая / Э.И. Извекова // Труды Беломорской биологической станции (Материалы VI

Международной конференции 10 августа 2001 г.). – М.: Русский университет, 2002. – Т. 8. – С. 6–11.

5. Лейбсон, Р.Г. Количественный учет донной фауны Мотовского залива / Р.Г. Лейбсон // Труды ВНИРО. – Т. 4. – 1939. – С. 127–198.

6. Стрелкова, Н.А. Бентосные исследования / Н.А. Стрелкова, Д.В. Захаров, И.Е. Манушин // ПИНРО. Путь к столетию / Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича); сост. Л.И. Пестрикова; отв. ред. В.А. Мухин; – 2-е изд., перераб. и доп. – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2021. – С. 237–247.

ЕСТЕСТВОИСПЫТАТЕЛИ КАЗАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ИЗУЧЕНИИ ЗООБЕНТОСА МОРЕЙ РОССИИ

Р.М. Сабиров, А.В. Голиков

Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), г. Казань

Аннотация. Описано участие естествоиспытателей Казанского университета в изучении зообентоса морей России с первой половины XIX в. до настоящего времени: Э.А. Эверсмана, Н.П. Вагнера, Г.А. Клюге, И.П. Забусова, Н.А. Ливанова, В.Л. Вагина, Н.А. Порфирьевой и других исследователей. Показаны сборы морского зообентоса, хранящиеся в фондах кафедры зоологии и общей биологии, Зоологического музея и гербария имени Э.А. Эверсмана КФУ, в том числе голотипы и паратипы видов из арктических морей России.

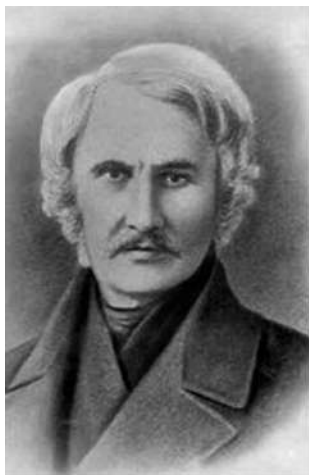
Ключевые слова: Казанский университет, естествоиспытатели, изучение зообентоса, моря России.

ВВЕДЕНИЕ

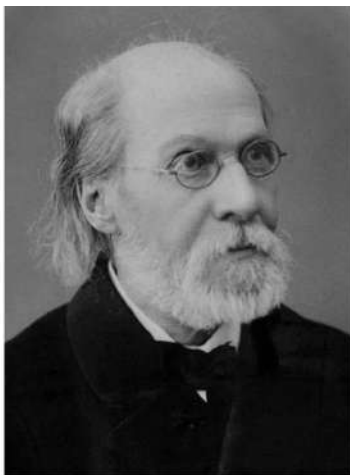
Море вошло в историю Казанского университета в 1829 г., когда профессор кафедры естественной истории (ботаники и зоологии) Э.А. Эверсман (рис. 1) организовал экспедицию в Волго-Уральские степи, в задачи которой входило изучение фауны, флоры и геоморфологии Каспийского моря. Экспедиция работала в районе г. Гурьева, в том числе на о-ве Большой Мокрый (очевидно, современный о-в Большой Пешной). Отчеты об экспедиции Э.А. Эверсман опубликовал в «Казанском вестнике» (1830–1832 гг.) и в Германии (1831 г.) [1]. Однако в фондах кафедры зоологии и общей биологии (далее – кафедра) и Зоологического музея и гербария имени Э.А. Эверсмана (далее – зоологический музей) Казанского федерального университета (далее – КФУ) сборы этой экспедиции не сохранились [5]. С тех пор география морских исследований значительно расширилась, что объективно определялось гигантской территорией Казанского учебного округа, простиравшегося от Волги до Дальнего Востока. Север Российской империи формально в границы округа не входил, но участие казанских ученых в изучении северных морей России было заметным. Цель данной работы – анализ и обобщение сведений об изучении зообентоса морей России естествоиспытателями Казанского университета в историческое время и современный период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом послужили архивные документы (фотографии, рукописи) и фонды экспедиционных сборов зоологического материала в морях России кафедры, каталоги и фонды зоологического музея КФУ, а также литературные источники.



Эверсман
Эдуард Александрович
1794 - 1860



Вагнер
Николай Петрович
1829 - 1907



Забусов
Ипполит Петрович
1872 - 1917



Ливанов
Николай Александрович
1876 - 1974



Тимофеев
Сергей Игнатьевич
1884 - 1964



Порфирьева
Нина Александровна
1920 - 2014

Рис. 1. Профессора и доценты Казанского университета, возглавлявшие в разные годы научные экспедиции по изучению зообентоса морей России (фото из архива кафедры КФУ)

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Научные экспедиции и индивидуальные поездки исследователей Казанского университета по изучению морской фауны российских морей становятся регулярными начиная с последней трети XIX в. В 1863 г. Н.П. Вагнер (см. рис. 1) совершил поездку с научными целями на Черное море. Ее результаты были опубликованы в «Ученых записках Императорского Казанского университета», а собранная коллекция зообентоса передана в архив Национального музея литературы, «Фонд Н.П. Вагнера» (г. Прага) [6]. С 1871 г. Н.П. Вагнер становится профессором Императорского Санкт-Петербургского университета. В 1882 г. по его инициативе основана Соловецкая биологическая станция, а в 1885 г. Н.П. Вагнер опубликовал монографию «Беспозвоочные Белого моря», обобщив накопленные к тому времени знания о беломорской фауне. Соловецкая биологическая станция просуществовала до 1899 г., в этот период на ней работали сотрудники и студенты различных университетов России, в том числе и Казанского [6]. Среди казанских исследователей были приват-доцент И.П. Забусов (с 1916 г. профессор) и студент естественного отделения физико-математического факультета Н.А. Ливанов (см. рис. 1). В зоологическом музее сохранились экспонаты Cnidaria, Polychaeta, Bryozoa, Brachiopoda, Enteropneusta, Mollusca (Nudibranchia), Crustacea и другие, собранные ими в 1895, 1898 и 1899 гг. на Соловецкой биологической станции (рис. 2а-в, 3в-г) [4, 5].

Выпускник 1896 г. и приват-доцент Казанского университета Г.А. Ключе стал всемирно известным специалистом в изучении мшанок Bryozoa северных морей России, а в 1908 г. возглавил Мурманскую биологическую станцию, ставшую преемницей Соловецкой биологической станции. В казанский период Г.А. Ключе работал с пробами морских мшанок, привозимых из экспедиций сотрудниками кафедры [4]. Однако к настоящему времени в фондах кафедры и зоологического музея, к сожалению, не сохранились экспонаты, изготовленные Г.А. Ключе [5].

Начиная со второго десятилетия XX в. поездки казанских исследователей на моря России становятся регулярными. В 1910–1911 гг. организовывали экспедиции в Баренцево море приват-доцент Н.А. Ливанов, ассистент С.И. Тимофеев и другие (см. рис. 1, рис. 4а-в) [4, 5]. В 1917 г. на Дальний Восток (г. Владивосток) ездили А.А. Остроумов и Н.А. Ливанов [4]. В 1920–1922, 1924 и 1938 гг. было несколько экспедиций на Белое море под руководством профессора Н.А. Ливанова, в 1947 и 1964 гг. – доцентов кафедры З.И. Забусова и Н.А. Порфирьева (см. рис. 1) [3, 4]. Эти поездки, помимо научных, преследовали и образовательные цели для студентов-участников экспедиций. Н.А. Ливанов справедливо считал, что без знания

морской фауны не может сформироваться квалифицированный специалист-зоолог.



Рис. 2. Экспонаты беломорских Cnidaria в экспозиции зоологического музея



Рис. 3. Экспонаты Foraminifera и Spongia из арктических морей

Новая веха в изучении фауны северных морей России началась с переездом в 1957 г. в Казань из Ленинграда профессора В.Л. Вагина (рис. 6а). Он был приглашен ректором Казанского университета возглавить кафедру зоологии беспозвоночных.

Владимир Львович прибыл в Казань уже известным исследователем макрозообентоса арктических морей России. В 1930–1934 гг. он принимал участие в пяти крупных океанографических экспедициях на ледоколах «Владимир Русанов» (под руководством Р.Л. Самойловича), «Александр Сибиряков» и «Георгий Седов» (под руководством О.Ю. Шмидта).

В 1947 г. В.Л. Вагин участвовал в Курило-Сахалинской экспедиции АН СССР, в 1948 г. – в высокоширотной экспедиции Севморпути на ледоколе «Федор Литке» (см. рис. 6б), в 1950 г. – в океанографической экспедиции АН СССР в Берингово море и северную часть Тихого океана на легендарном судне «Витязь». В Казанский университет В.Л. Вагин привез часть сборов арктического макрозообентоса, которые хранятся в фондах кафедры и зоологического музея (рис. 3а-б) и используются в учебном

процессе [2]. Как и Н.А. Ливанов, В.Л. Вагин придавал важнейшее значение изучению морской фауны в формировании всесторонне образованного биолога, называя ее «живой книгой Догеля» (В.А. Догель – автор лучшего отечественного учебника по зоологии беспозвоночных). В.Л. Вагин стал организатором и научным руководителем легендарных рейсов на межвузовском учебно-научном судне «Батайск» (1960–1963 гг.) (см. рис. 6в-г) в Баренцево и другие северные моря. «Батайские» сборы зообентоса хранятся в фондах кафедры и зоологического музея (рис. 5а) и задействованы в учебном процессе в зоологических и гидробиологических курсах. В научной деятельности В.Л. Вагин сосредоточился на изучении мешкогрудых раков *Ascothoracida* (рис. 7) и олигомерных червей *Myzostomida*, став ведущим специалистом по этим группам животных. В 1976 г. в Казани выходит в свет монография В.Л. Вагина «Мешкогрудые раки *Ascothoracida*», ставшая завершением глубоких и разносторонних исследований данной группы низших ракообразных (класс *Crustacea*) [2].



Рис. 4. Экспонаты Cnidaria из Баренцева моря

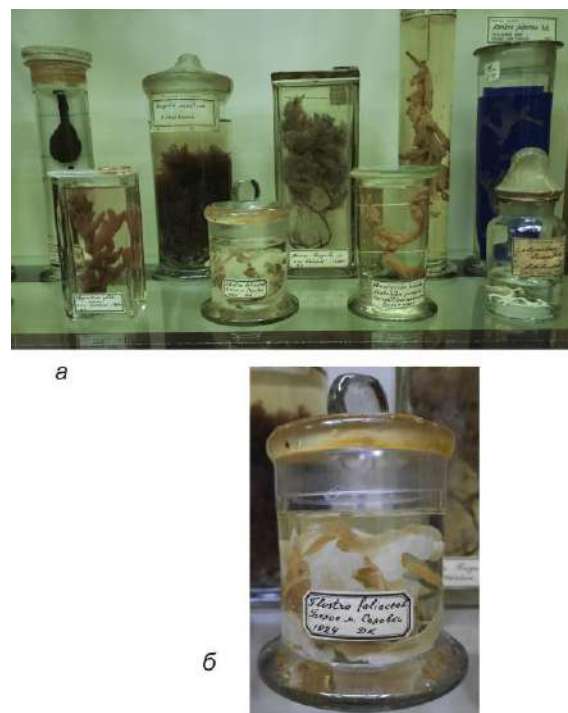


Рис. 5. Bryozoa из сборов на УНС «Батайск» и Белом море

Характеристика Владимира Львовича как преданного исследователя морского зообентоса, увлекающего своим энтузиазмом молодые поколения, будет не полной, если не упомянуть факт создания Беломорской станции Казанского университета. В 1977 г. по его инициативе на о-ве Средний в Кандалакшском заливе Белого моря (южнее 66°33'44" с.ш.) Северного

полярного круга у Казанского университета в составе Морской биологической станции Ленинградского университета (ныне Санкт-Петербургский) появился маленький стационар. Впоследствии он стал самостоятельной Учебно-научной базой «Беломорская» КФУ [2, 3]. Станция стала источником уникального материала для ультратонких микроскопических исследований организации разных групп морского зообентоса: Acoela, Turbellaria, Nemertini, Dinophilida, Polychaeta, Tardigrada и другие. По этим материалам были защищены десятки дипломных работ студентов, а также несколько кандидатских и докторских диссертаций.



Рис. 6. В.Л. Вагин на штурманском мостике (а), ледокол «Ф. Литке» (б), УНС «Батайск» (в), выборка донного трала на УНС «Батайск» (г)

На Беломорской станции КФУ проводили практику не только по биоразнообразию беломорской фауны, но и по гидробиологическим методам сбора, обработки и анализа морской фауны беспозвоночных (руководители Р.М. Сабиров, А.В. Беспятых, А.В. Голиков, А.Г. Порфирьев, Я.И. Заботин) (рис. 8). Беломорская станция дала старт в профессиональную морскую зоологию и гидробиологию целому ряду выпускников кафедры,

которые трудятся в филиалах Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО), региональных структурах по биоресурсам, других организациях.



Рис. 7. Экспонаты мешкогрудых раков Ascothoracida в зоологическом музее из сборов В.Л. Вагина в арктических морях (сохранены этикетки, написанные рукой В.Л. Вагина)

Начиная с 1980-х годов изучение морского зообентоса на кафедре зоологии и общей биологии продолжается в рамках научного сотрудничества с филиалами ВНИРО (ПИНРО им. Н.М. Книповича, АтлантНИРО, СахНИРО, МагаданНИРО и другие), институтами РАН (Мурманский морской биологический институт РАН, Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, Институт океанологии

им. П.П. Ширшова) в форме участия сотрудников, аспирантов и студентов кафедры в совместных проектах, грантах, экспедициях, обработке материала по зообентосу.

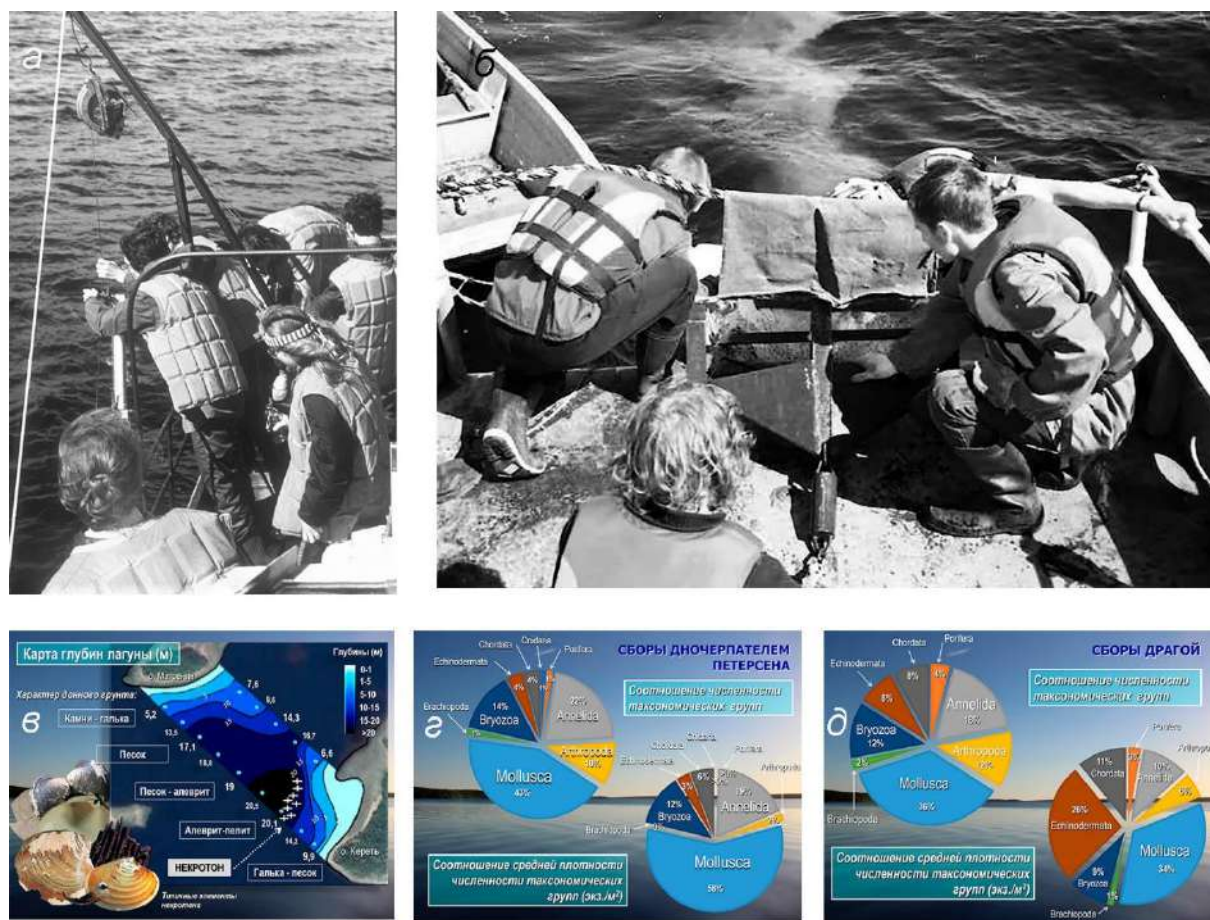


Рис. 8. Практика по морской зоологии и гидробиологии на УНБ «Беломорская КФУ»: а, б – отбор зообентоса дночерпателем и драгой; в-д – пример научной работы студентов по морскому зообентосу в лагуне между о-вами Матренин и Кереть

Исследуют преимущественно фауну арктической и субарктической зон, что особенно актуально в связи с происходящими глобальными климатическими изменениями. В настоящее время основные компоненты изучаемого зообентоса – головоногие моллюски (Cephalopoda), губки (Porifera), веслоногие раки семейства Canthocamptidae (Copepoda).

В ходе научных исследований арктического зообентоса сотрудниками кафедры описаны новые для науки виды:

– осьминог *Muusoctopus aegir* Golikov, Gudmundsson & Sabirov, 2023 из сборов в северной части Баренцева моря [7] (рис. 9);

– пять новых видов губок из сборов в Баренцевом море: *Craniella confirmata* Morozov & Anisimova, 2019; *Iophon koltuni* Morozov, Sabirov & Zimina, 2019; *Artemisina lundbecki* Morozov, Sabirov & Zimina, 2019; *Suberites*

cebriones Morozov, Sabirov & Zimina, 2019; *Halicnemia wagini* Morozov, Sabirov & Anisimova, 2018 [8];

– новые виды кантокампитид из сборов в море Лаптевых и Карском море: *Mesopsyllus glacialis* Novikov et Sharafutdinova, 2021; *Heteropsyllus spongiophilus* Novikov et Sharafutdinova, 2021; *Heteropsyllus spiridonovi* Novikov et Sharafutdinova, 2021 [9].

Голотипы и паратипы новых видов хранятся в фондах кафедры или фондах зоологического музея.



Рис. 9. Голотип и паратипы нового вида арктического осьминога *Muusoctopus aegir* в экспозиции зоологического музея КФУ

Изучение морского зообентоса, введенное в образовательный процесс для зоологов Н.А. Ливановым в первой половине XX в. и получившее развитие при В.Л. Вагине в 1960–70-х годах, продолжается и в настоящее время, став неотъемлемой частью образовательно-научного процесса по подготовке специалистов-биологов в Казанском университете.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

История исследований зообентоса морей России естествоиспытателями Казанского университета насчитывает два столетия. Можно выделить три периода в хронологии этих исследований.

Первый. 1829 г. – первое десятилетие XX столетия характеризовалось преимущественно индивидуальными поездками исследователей (Э.А. Эверсман, Н.П. Вагнер, И.П. Забусов, Г.А. Клюге, Н.А. Ливанов и другие). Из этих поездок в фондах кафедры и зоологического музея сохранились сборы в основном И.П. Забусова и Н.А. Ливанова.

Второй. 1910–80-е годы стали периодом организации планомерных экспедиций с широкими образовательно-научными целями (Н.А. Ливанов, С.И. Тимофеев, А.А. Остроумов, З.И. Забусова, Н.А. Порфирьева, В.Л. Вагин и другие). В этот же период была открыта стационарная биостанция Казанского университета на Белом море. Кафедра и зоологический музей располагают обширными фондами сборов в эти годы.

Третий. 1990-е годы по настоящее время – исследования морского зообентоса ведут в коллаборации с различными НИИ России, преимущественно в контексте с происходящими глобальными климатическими изменениями. Описаны новые для науки виды морского зообентоса. Заметным событием стало описание нового вида головоногих моллюсков – осьминога *Muusoctopus aegir* Golikov, Gudmundsson & Sabirov, 2023. Вид назван в честь древнескандинавского Бога моря Эгира. Следует отметить, что в последний раз новый вид арктических головоногих моллюсков был описан еще в 1930 г.: *Muusoctopus sibiricus* (Løuning, 1930) из норвежской полярной экспедиции на судне Maud [7].

Кафедра зоологии и общей биологии продолжает традиции изучения зообентоса морей России, заложенные поколениями естествоиспытателей Казанского университета и являющиеся важными отличительными особенностями образовательно-научного процесса по формированию будущих профессиональных исследователей-зоологов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаранин, В.И. Эдуард Александрович Эверсманн: 1794–1860 / В.И. Гаранин. – Казань: Изд-во Казанского университета, 2001. – 24 с.
2. Голубев А.И. Владимир Львович Вагин, 1907–1984 / А.И. Голубев, Р.М. Сабиров. – Казань: Изд-во Казанского университета, 2002. – 21, [2] с.; 20. – (Выдающиеся ученые Казанского университета).
3. Горяшко, А. Острова блаженных. История биологических станций Белого и Баренцева морей / А. Горяшко. – М.: Паулсен, 2022. – 432 с.
4. Ливанов, Н.А. Зоотомический кабинет КГУ / Н.А. Ливанов // Вопросы эволюционной морфологии животных. – Казань: Изд-во Казанского университета, 1979. – С. 24–44.
5. Систематический каталог коллекций и препаратов беспозвоночных животных Музея Зоотомического кабинета Императорского Казанского

Университета / Сост. Э. Мейер. – Казань: типо-литография Императорского ун-та, 1914. – 390 с.

6. Фокин, С.И. Николай Петрович Вагнер – жизнь и ипостаси талантливого человека. Часть I. Путь в науку и в науке / С.И. Фокин // Историко-биологические исследования. – 2024. – Т. 16, № 1. – С. 10–60.

7. A review of the genus *Muusoctopus* (Cephalopoda: Octopoda) from Arctic waters / A.V. Golikov, G. Gudmundsson, M.E. Blicher [et al.]. // Zoological Letters. – 2023. – Vol. 9. – Art. 21. – P. 1–39. – DOI 10.1186/s40851-023-00220-x.

8. Morozov, G. Sponge fauna of the New Siberian Shoal: biodiversity and some features of formation / G. Morozov, R.M. Sabirov, O. Zimina // Journal of Natural History. – 2019. – Vol. 52, № 47–48. – P. 2961–2992. – DOI 10.1080/00222933.2018.1554166.

9. Novikov, A. Two new Canthocamptidae (Copepoda, Harpacticoida) from sponges of the Kara and Laptev Seas / A. Novikov, D. Sharafutdinova // Zootaxa. – 2021. – Vol. 4948(3). – P. 336–362. – DOI 10.11646/zootaxa.4948.3.2.

БИОМАРКЕРЫ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОДЕЛЬНЫЕ ВИДЫ ДОННОГО СООБЩЕСТВА БЕЛОГО МОРЯ

Н.А. Березина

Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

Аннотация. Изучение биохимических параметров важно для понимания адаптивных реакций морских беспозвоночных на неблагоприятные условия среды. У рачков-амфипод, мидий и мий из Кандалакшского залива Белого моря были измерены уровни перекисного окисления липидов и активности ферментов, свидетельствующих о нейротоксических нарушениях и оксидативном стрессе в клетках. Было установлено, что эти животные, обитающие в эстуарии р. Нива и районе порта Кандалакша, находятся в состоянии постоянного стресса. Анализ главных компонент выявил два основных фактора, влияющих на их здоровье: 1 – речной сток, который снижает соленость воды и позволяет загрязняющим веществам попадать в море; 2 – локальное нефтяное загрязнение прибрежных районов маломерными судами. Полученные результаты подтверждают важность биомаркеров как индикаторов загрязнения или других неблагоприятных условий среды обитания и их пользу для мониторинга качества морской среды.

Ключевые слова: Белое море, Кандалакшский залив, амфиподы, двустворчатые моллюски, зообентос, условия среды.

ВВЕДЕНИЕ

Белое море – уникальная полузамкнутая морская акватория на северо-западе России, служащая транспортными воротами в Арктику. В последние десятилетия экосистема Белого моря, ранее считавшаяся незагрязненной и практически не затронутой деятельностью человека, претерпевает негативные изменения в результате усиления воздействия антропогенных загрязнителей при потеплении климата (возрастание температуры ускоряет скорость химических реакций). Биогенные и загрязняющие вещества, поступающие в морские экосистемы посредством прямого стока с диффузных источников на побережье, речного выноса и атмосферных выпадений, адсорбируются на взвешенных частицах, в водной толще и донных отложениях прибрежных районов, приводя к локальному загрязнению мест обитаний морских животных.

Донные беспозвоночные, населяющие прибрежные районы моря, могут быть адаптированы к кратковременному изменению (отклонению от оптимума) факторов окружающей среды благодаря их значительной

устойчивости к температуре, солености, питательным веществам и кислороду. Вместе с тем обитание в условиях, близких к критическим пределам экологической толерантности, может снижать адаптивные возможности таких организмов к дополнительным неблагоприятным воздействиям, в том числе к загрязнению. В настоящем исследовании изучены биохимические реакции трех видов беломорских беспозвоночных – съедобной мидии *Mytilus edulis*, песчаного моллюска *Mya arenaria* и океанического гаммаруса *Gammarus oceanicus* – в условиях градиента солености и локального загрязнения в Кандалакшском заливе [1].

Все виды, выбранные для данного исследования, обладают большим индикаторным потенциалом для использования в оценке состояния среды обитания. Мидии ведут прикрепленный образ жизни и используют фильтрационный способ питания, накапливая микроэлементы и органические вещества из водной среды, они широко применяются в биоиндикации качества придонной зоны моря. Мии (*Mya arenaria*) закапываются в грунт и, помимо фильтрации планктона, как и мидии, питаются также детритом. Амфиподы (*Gammarus oceanicus*) являются представителями донной инфауны, питающимися частичками донных отложений [1].

Биомаркеры – это молекулярные, биохимические, клеточные и физиологические индикаторы стресса, вызванного загрязнением окружающей среды, измеряемые в организмах, которые подверглись воздействию в природе или эксперименте [1]. Биохимические показатели обладают более высокой чувствительностью и коротким временем отклика, чем другие индикаторы, и позволяют определять ранние стадии воздействия и оценивать способность организма адаптироваться в неблагоприятных условиях. Они считаются индикаторами раннего предупреждения стресса. Ферменты, осуществляющие биотрансформацию и регуляцию ксенобиотиков, имеют решающее значение для определения процессов антиоксидантной защиты и функционирования системы биотрансформации. Кatalаза (КАТ) – это биомаркер, отражающий защитную функцию системы антиоксидантной защиты, реагирующий на повышенную продукцию активных форм кислорода (АФК), т.е. окисление макромолекул. Глутатион-S-трансфераза (GST) – еще один широко используемый биомаркер, связанный с антиоксидантной защитой и играющий важную роль в детоксикации ксенобиотиков. Окисление макромолекул можно обнаружить путем измерения перекисного окисления липидов (ПОЛ), повышенный уровень которого свидетельствует о повреждении липидов в биологических мембранах. Ингибирование

ацетилхолинэстеразы (АХЭ) указывает на нейротоксическую реакцию у организма.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Кандалакшский залив – один из четырех наиболее крупных заливов Белого моря. Это солоноватая часть моря из-за значительного поступления пресной воды из многих рек, в том числе из самой крупной р. Нива. Район исследований – мелководная (максимальная глубина <20 м) часть залива, которая отделена от открытой части комплексом островов, что существенно смягчает волновое воздействие. Верхняя часть залива получила статус Рамсарских водно-болотных угодий международного значения. Р. Нива вытекает из оз. Имандра (Кольский п-ов, Мурманская область) и впадает в Кандалакшский залив недалеко от г. Кандалакша. На берегу реки расположен г. Полярные Зори, стоки которого могут быть источником загрязнения реки.

Моллюски *Mytilus edulis*, *Mya arenaria* и бокоплавы *Gammarus oceanicus* собраны в конце августа 2014 и 2015 гг. на шести разных участках залива в районе г. Кандалакша и у биостанции «Картеш». Подробное описание участков отбора животных и карта с расположением станций приведены в ранее опубликованной статье [1].

Амфипод (в анализе использовали самцов длиной тела 18–22 мм) и мидий (длина раковины 44–52 мм) собирали вручную в зоне фукусов на каменисто-песчаной литорали во время отлива, а мий (48–56 мм) – из грунта на глубинах 10–30 см при помощи лопаты.

Все анализы молекулярных биомаркеров выполняли на базе Лаборатории биомаркеров (Институт окружающей среды Финляндии, г. Хельсинки). У изучаемых видов моллюсков (мидий и мий) отбирали ткани (жабры и пищеварительные железы у моллюсков и мягкие ткани тела целиком у амфипод) для определения биомаркеров каталазы, глутатион-S-трансферазы и перекисного окисления липидов, в то время как ацетилхолинэстеразу определяли в жабрах моллюсков согласно методике, описанной ранее [1]. Все используемые химикаты и реагенты имели аналитическую степень чистоты и были приобретены напрямую у компании Sigma-Aldrich Chemicals (Германия), за исключением реагента Брэдфорда, который был приобретен у Bio-Rad Laboratories, Inc.

Анализ одной пробы для каждого молекулярного биомаркера проводили в четырех аналитических повторностях. Сравнение переменных между станциями и видами проводили с использованием критерия Краскела–Уоллиса. Проведен анализ главных компонент для выявления

основных факторов, влияющих на вариабельность всей совокупности переменных, с использованием статистического пакета Statistica 12.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительное изучение биохимических показателей морских беспозвоночных показало эффекты нейротоксического воздействия, состояние оксидативного стресса и функционирование системы биотрансформации у донных животных, обитающих в устье р. Нива и районе, приближенном к порту г. Кандалакша с видимым загрязнением воды нефтепродуктами.

В частности, наблюдались самые высокие уровни активности ферментов и повышенное перекисное окисление липидов у изученных моллюсков (*Mytilus edulis*, *Mya arenaria*) и рачков-амфипод (*Gammarus oceanicus*) в Кандалакшском заливе Белого моря под влиянием пониженной солености (в месте впадения реки) и загрязнения воды, что свидетельствует об окислительном стрессе в их организме.

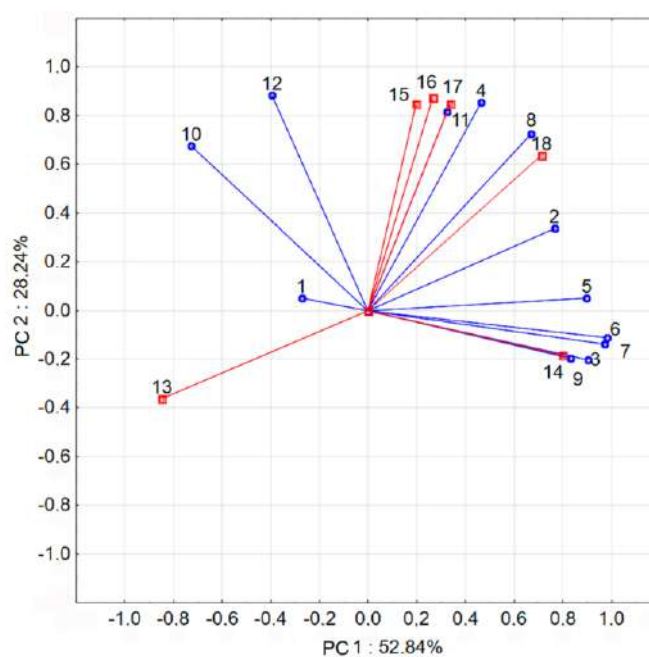
Активность каталазы у мидий на участках с распресненной водой была в 1,5–2,0 раза выше ($p < 0,05$), чем у мидий на типично морском фоновом участке (Терский берег). Кроме того, она отличалась от таковой для мидий с литорали у биостанции «Картеш», будучи там значительно ниже, чем в районе г. Кандалакша и на фоновом участке. Отличия активности каталазы у мий, отобранных на участках с морской водой стандартной солености, были незначимыми, но ее величины у мий из эстуарного участка были значительно выше, чем у первых. По этому показателю также различны и мидии, взятые из аквакультуры (т.е. искусственно выращенные на канатах в сублиторали) и литорали в одном и том же районе у биостанции «Картеш».

По сравнению с фоновым участком наблюдалось повышение уровней активности глутатион-S-трансферазы амфипод на 26 %, а мидий и мий – на 26–61 и 68–145 % соответственно. Различия между беспозвоночными всех видов, собранных на биостанции «Картеш» и фоновом участке у г. Кандалакша, были статистически незначимыми (все $p > 0,05$). Также не отличались по этому показателю мидии из литорали и аквакультуры («Картеш»).

Выявлено увеличение активности ПОЛ у этих беспозвоночных на одних и тех же участках моря, что свидетельствует о состоянии оксидативного стресса и компенсаторного ответа организма на действие неблагоприятных факторов среды. В то же время метаболические реакции у изученных видов различались. Например, повышение уровня ПОЛ у

амфипод и мий было следствием загрязнения воды нефтепродуктами, а у мидий – следствием опреснения и повышенных концентраций тяжелых металлов в воде.

Анализ главных компонент выявил две группы факторов (PC1 и PC2), объясняющих >80 % вариации изученных переменных (см. рисунок).



Распределение переменных в координатах первой и второй главных компонент (PC 1 и PC 2 соответственно): 1 – КАТ G.o.; 2 – КАТ M.e.; 3 – КАТ M.a.; 4 – GST G.o.; 5 – GST M.e.; 6 – GST M.a.; 7 – ПОЛ G.o.; 8 – ПОЛ M.e.; 9 – ПОЛ M.a.; 10 – АХЭ G.o.; 11 – АХЭ M.e.; 12 – АХЭЗ; 13 – соленость воды; 14 – нефтепродукты; 15 – Cu; 16 – Zn; 17 – Cd; 18 – Pb. Обозначения для видов: G.o. – амфипода *Gammarus oceanicus*; M.e. – мидия *Mytilus edulis*; M.a. – мия *Mya arenaria*

Основным фактором воздействия (PC1) на морских беспозвоночных были переменные, которые можно связать с влиянием реки, т.е. со снижающейся соленостью морской воды (до 12) и привнесением в море загрязняющих элементов (медь, цинк и свинец). Вторым важным фактором воздействия (PC2) было локальное загрязнение мест обитаний беспозвоночных нефтепродуктами (поступающими с моторных лодок и судов), что привело к изменению большинства биохимических показателей у моллюсков и амфипод. В порту исследования не проводили в связи с закрытой территорией, по-видимому, здесь следует ожидать еще большее влияние на биоту. Со вторым фактором были связаны изменения параметров, свидетельствующие о стрессовом состоянии организмов. GST у амфипод, ПОЛ и АХЭ у мидий были тесно связаны с содержанием

кадмия, свинца и соленостью воды и были объединены в одну группу (PC1). ПОЛ и АХЭ у амфипод, GST у мидий, а также КАТ, GST и ПОЛ у мий тесно коррелировали с содержанием в воде нефтепродуктов.

Концентрации микроэлементов в водной толще и донных отложениях Белого моря обычно соответствуют уровню таковых в незагрязненных морских акваториях. Однако в районе устья р. Нива были определены повышенные концентрации растворенных металлов (Cu, Zn и Pb). ПОЛ мидий и GST амфипод показывали стресс-реакцию при повышенных содержаниях тяжелых металлов и самой низкой солености воды. Другие исследования беспозвоночных в лабораторных и полевых условиях также показали, что воздействие различных металлов увеличивает внутриклеточную выработку АФК и может привести к окислительному стрессу [1]. Ким и соавторы [2] выяснили, что токсичность металлов для водных животных может быть связана с блокированием ими окислительного фосфорилирования, истощением запасов глутатиона и ингибированием антиоксидантной ферментативной активности.

Ингибирование АХЭ, фиксируемое у гаммаруса *G. oceanicus* и мий *M. arenaria* при действии нефтепродуктов, у мидий *M. edulis* не наблюдалось. Видоспецифичная разница в реакции на неблагоприятные факторы связана с рядом причин, включая различия в микросредах обитания, способе питания, уровне подвижности, а также чувствительности видов к различным типам загрязняющих веществ. Прикрепленные фильтраторы мидии подвергаются воздействию загрязняющих веществ, передающихся через воду в растворенной форме и частицы пищи через жабры. Закапывающиеся в грунт моллюски – мии – вытягивают сифон на поверхность осадка и питаются взвешенными частицами и детритом из придонного слоя, на поверхности которых могут накапливаться жирорастворимые загрязнители, такие как микроэлементы комплексов металлов и органические вещества. Известно, что мии, как и другие инфаунные виды моллюсков, питаются частицами, взвешенными в толще воды, но они также могут поглощать поверхностные отложения, имеющиеся на границе раздела вода–осадок [3]. В отличие от двустворчатых моллюсков, всеядные гаммарусы активно передвигаются в грунте и воде, поедая частицы детрита с поверхности, а также мелких беспозвоночных.

Повышенные величины ПОЛ гаммаруса и мии на участке с видимыми следами нефтепродуктов в воде и грунте свидетельствовали об усилении метаболизма ксенобиотиков и окислительном повреждении макромолекул. Кроме того, снижение уровня активности АХЭ у обоих

видов показывает нейротоксические эффекты при таких условиях. Активности КАТ и GST мии были гораздо выше на этом участке по сравнению с другими станциями. Накопление продуктов распада нефти происходит в осадках, к которым приурочены эти виды, что повышает их чувствительность к этому загрязнению по сравнению с мидиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биохимические показатели отражают изменения в обмене веществ организма, как правило, возникшие до момента появления физиологических отклонений от нормы, и позволяют определить начальную фазу воздействия и оценить границы адаптационных возможностей организма в неблагоприятных условиях. Отметим, что применение таких показателей может быть весьма перспективно для оценки эффектов загрязнения морской среды металлами и нефтепродуктами, но важно учитывать индикационный потенциал каждого вида, используемого в качестве тестового объекта, поскольку то, что отражают те или иные реакции организма, зависит от образа его жизни и индивидуальных физиологических особенностей.

Благодарность

Автор выражает благодарность К.К. Лехтонену (Институт окружающей среды Финляндии) за участие в сборе и препарировании животных, ценные советы в ходе работы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березина, Н.А. Биомаркеры стресса у массовых прибрежных амфипод и двустворчатых моллюсков в условиях градиента солености и загрязнения (Белое море) / Н.А. Березина // Журнал общей биологии. – 2024. – Т. 85, № 6. – С. 445–459. – DOI 10.31857/S0044459624060024.
2. Kim, Y.H. Invertebrate acetylcholinesterases: insights into their evolution and non-classical functions / Y.H. Kim, S.H. Lee // Journal of Asia-Pacific Entomology. – 2018. – Vol. 21. – P. 186–195. – DOI 10.1016/j.aspen.2017.11.0172018.
3. Kamermans, P. Similarity in food source and timing of feeding in deposit-and suspension-feeding bivalves / P. Kamermans // Marine Ecology Progress Series. – 1994. – Vol. 104 – P. 63–75. – DOI 10.3354/meps104063.

НЕКОТОРЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ДОННОЙ ФАУНЕ ГРЕБЕШКОВЫХ БАНОК БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ

Д.Ю. Блинова, И.Е. Манушин

Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича),
г. Мурманск

Аннотация. В уловах драг, кроме гребешка, отмечается значительное количество других донных беспозвоночных, обитающих совместно с гребешком и являющихся компонентами донных биоценозов. При проведении исследований гребешка на Святоносском поселении Баренцева моря и в Воронке Белого моря массово встречаются мидии *Mytilus edulis* и модиолусы *Modiolus modiolus*. За 8 лет отсутствия промысла гребешка ожидалось, что эти поселения восстановятся, однако съемки гребешка 2023 и 2024 гг. показали, что значительного пополнения не произошло, а в акватории Белого моря был выявлен новый доминант – мидия.

Ключевые слова: Баренцево море, Белое море, двустворчатые моллюски, трал Сигсби, приловы, мегазообентос.

ВВЕДЕНИЕ

Исландский гребешок (*Chlamys islandica*) встречается практически на всей акватории Баренцева моря на глубинах до 500 м, но наиболее крупные скопления образует на мелководьях [2]. Всего отмечено 23 крупных скопления, одним из наиболее значимых является Святоносское, суммарной площадью 2013 км², располагающееся в Восточном Прибрежном районе на глубинах от 65 до 105 м [3].

В Белом море отмечены три крупных скопления гребешка, из которых самое значимое поселение в Воронке Белого моря. Площадь этого поселения не превышает 300 км² [3].

Исследования морского гребешка названных акваторий были приостановлены в 2017 г., когда введен мораторий на промысел гребешка Святоносского поселения. Предполагалось, что отсутствие промысла положительно скажется на состоянии запаса гребешка, молодые гребешки достигнут промыслового размера, молодь осядет. В 2023 г. была проведена съемка в территориальных водах России на Святоносском поселении, а в 2024 г. – в Воронке Белого моря. Цель данной работы – регистрация изменений, которые произошли в донной фауне гребешковых банок Баренцева и Белого морей с 2016 по 2024 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы данные о видовом составе в уловах трала Сигсби при проведении съемок запасов исландского гребешка в Баренцевом

и Белом морях в 2016–2017 и 2023–2024 гг. на НИС «Профессор Бойко» и «Фритьоф Нансен». Из всего объема собранного материала были взяты данные об уловах, собранных в координатах 67°20'–69°20' с.ш. 38°40'–42°30' в.д. Всего в этой акватории было произведено 643 драгирования, из которых для сравнительного анализа отобраны данные 410 уловов драг в пределах территориальных и внутренних морских вод России. Съёмки проводились с помощью трала Сигсби, представляющего собой металлическую раму шириной 0,9 м с мешком из сетной дели с ячейей рубашки 30 мм и внутренней вставкой с ячейей 12 мм. Длительность драгирований составляла 2–10 мин, скорость – 2–3 уз.

Уловы гребешка и прилов макрозообентоса разбирали на борту судна непосредственно после драгирования. На каждой станции производились сортировка, подсчет, измерение размеров и массы донных животных. При больших объемах обрабатывался не весь улов, а его часть, затем осуществлялся пересчет биомассы и численности в соответствии с проанализированной долей улова. Данные о численности и биомассе пересчитывались на 1 м².

Расчет дистанции траления (м) производился по формуле:

$$L_T = \sqrt{((NN_H - NN_K) * 111120)^2 + \left((EE_H - EE_K) * \left(111300 * \cos\left(\frac{NN_H + NN_K}{2}\right)\right)\right)^2},$$

где NN_H – градус широты начала траления;

NN_K – градус широты конца траления;

EE_H – градус долготы начала траления;

EE_K – градус долготы конца траления.

Протраленная площадь вычислялась умножением длины дистанции траления на ширину рамы трала Сигсби. Плотность распределения и биомасса особей рассчитывались делением количества и массы особей в улове на протраленную площадь. Расчеты среднего производились с учетом нулевых значений. Коэффициент уловистости в отношении бентосных животных для трала Сигсби принимался равным 1.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ноябре 2016 г. на НИС «Фритьоф Нансен» сотрудниками Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» была произведена съёмка исландского гребешка, охватившая южные районы Баренцева моря – прибрежные районы от о-ва Харлов до м. Святой Нос, а также Воронку Белого моря [4]. В южной части поселения и Белом море исследование проводилось в 2017 г., по его итогам был рекомендован и установлен мораторий на промышленный лов гребешка. Исследования, исходя из предположения об

очень медленно протекающих процессах восстановления запаса, в 2017 г. были временно приостановлены и возобновлены в 2023 г. (рис. 1).

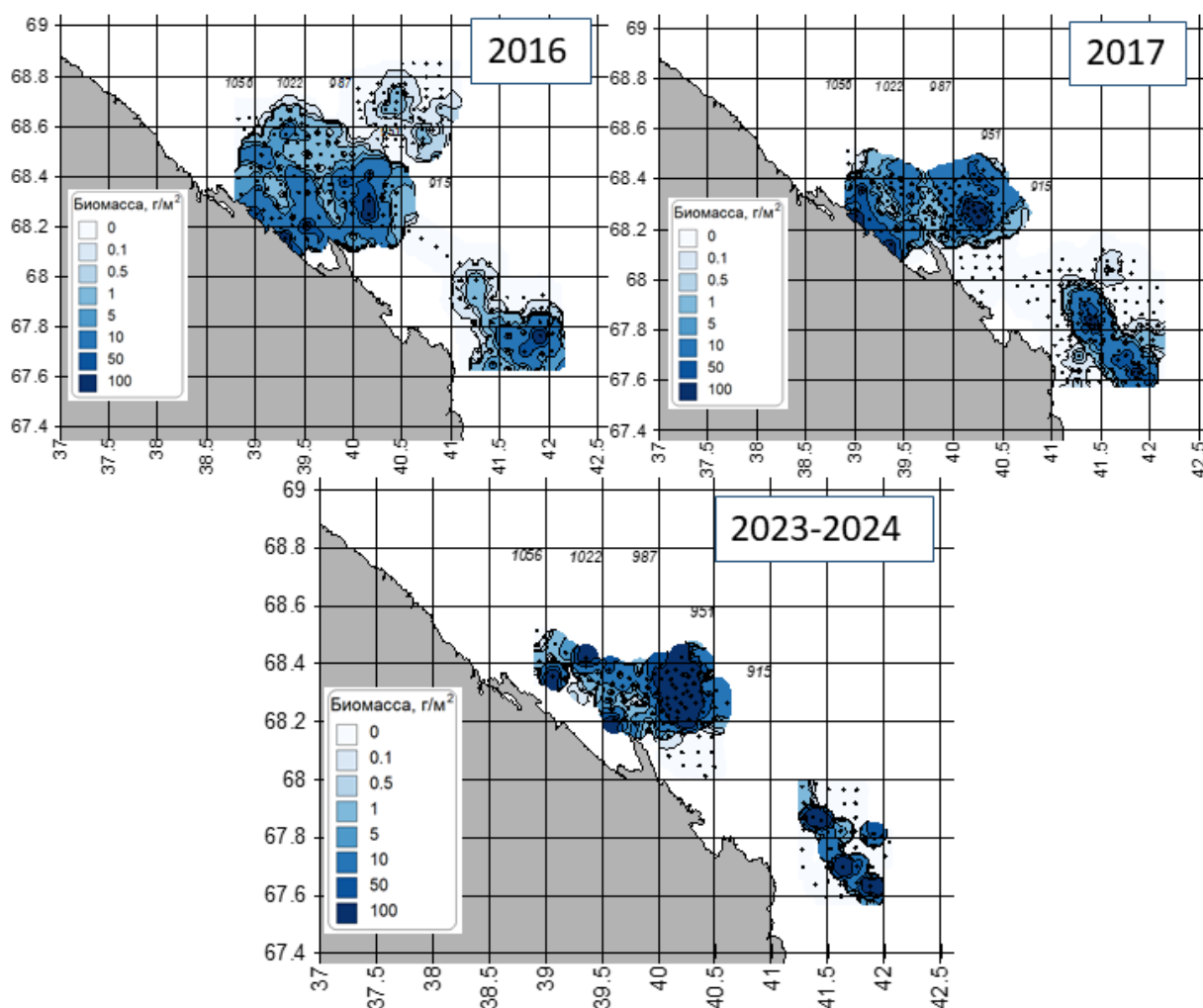


Рис. 1. Распределение биомассы исландского гребешка *Chlamys islandica* на Святоносском поселении Баренцева моря и в Воронке Белого моря в 2016, 2017 и 2023–2024 гг. Цифрами указаны номера промысловых квадратов

Минимальные значения биомассы показала съемка 2016 г. (табл. 1). Предполагается, что это могло быть связано с тем, что сетка станций охватывала обширную акваторию и в самой плотной части скопления – южной части Святоносского поселения – выполнено всего 51 траление, крупных скоплений гребешка здесь не удалось обнаружить. Через год, в 2017 г., в пределах той же акватории было сделано уже вдвое больше станций. Средняя биомасса возросла почти на треть, а максимальный улов – более чем в 3,5 раза. Доля результативных тралений практически не менялась. Значения плотности выросли: средняя плотность по скоплению увеличилась в 7 раз, максимальная – почти в 43 раза. Максимальный улов был отмечен в квадрате 952. Орудие лова в эти годы использовалось одно и

то же, поэтому предполагается, что «работало» оно одинаково как в 2016 г., так и в 2017 г.

Состояние биомассы гребешка беломорского скопления в 2016 г. также отмечалось на низком уровне. Спустя год, в 2017 г., в акватории Воронки Белого моря была проведена съемка, которая показала увеличение всех количественных показателей (см. табл. 1).

Таблица 1

Количественные характеристики учетных уловов *Chlamys islandica* на Святоносском поселении Баренцева моря и в Воронке Белого моря в 2016–2017 и 2023–2024 гг.

Параметр	Баренцево море			Белое море		
	2016 г.	2017 г.	2023 г.	2016 г.	2017 г.	2024 г.
Количество станций	51	116	107	46	45	45
Средняя биомасса и ошибка среднего, г/м ²	28,3 ± 7,3	36,2 ± 9,0	117,7 ± 25,0	9,8 ± 6,0	22,3 ± 10,0	35,5 ± 14,0
Максимальная биомасса, г/м ²	216,5	786,2	1094,6	269,38	335,7	416,7
Средняя плотность и ошибка среднего, экз./м ²	0,3 ± 0,1	2,1 ± 1,3	2,99 ± 0,70	0,2 ± 0,1	0,8 ± 0,5	0,7 ± 0,3
Максимальная плотность, экз./м ²	3,4	145,0	33,5	6,4	19,7	8,5
Доля результативных уловов, %	74,5	75,2	77,6	30,4	35,6	28,9

В 2023 г. были возобновлены исследования на Святоносском поселении в пределах территориальных вод России. Ожидалось, что за период отсутствия съемок скопление гребешка будет стабильно пополняться молодь, а особи возраста 2–4 лет достигнут промыслового размера. Однако итоги исследований не выявили значительного пополнения, о чем говорят незначительное увеличение средней плотности и четырехкратное снижение максимальной плотности.

В большинстве промысловых квадратов отмечено увеличение средней биомассы гребешка в уловах (табл. 2). Особенно значительно увеличилась биомасса в квадратах 951 и 952. Плотность сохранилась на незначительном уровне (менее 1 экз./м²) в промысловых квадратах 989 и 1023. Положительная динамика плотности отмечена в квадратах 951, 952 и 988. Вместе с тем средняя масса пойманных особей снизилась только в промысловом квадрате 988, что связано с увеличением здесь доли молоди в уловах, в остальных квадратах пополнение было незначительным.

В Воронке Белого моря исследования возобновились в 2024 г., и также было отмечено увеличение средней биомассы в 1,5 раза и максимального улова на четверть. Средняя плотность гребешка сохранилась на низком уровне и не превышала 0,7 экз./м², а максимальное значение плотности сократилось вдвое, сократилась и доля уловов, в которых встречался моллюск. Все это указывает на отсутствие достаточного пополнения поселения гребешка молодь.

Таблица 2

Биомасса (г/м²) и плотность (экз./м²) *Chlamys islandica* в различных промысловых квадратах Святоносского поселения Баренцева моря в 2016, 2017 и 2023 гг.

Промысловый квадрат	Параметр	2016 г.	2017 г.	2023 г.
951	Количество уловов	6	14	13
	Биомасса	21,8 ± 10,7	40,7 ± 11,4	155,0 ± 54,0
	Плотность	0,4 ± 0,2	1,0 ± 0,4	3,8 ± 2,4
	Средняя масса 1 особи	59,5	44,9	62,4
952	Количество уловов	15	31	26
	Биомасса	42,3 ± 18,5	84,4 ± 31,1	367,6 ± 9,7
	Плотность	0,5 ± 0,2	7,1 ± 4,7	80,3 ± 2,1
	Средняя масса 1 особи	118,3	17,3	37,6
988	Количество уловов	17	7	6
	Биомасса	13,2 ± 7,2	9,4 ± 4,8	36,2 ± 16,9
	Плотность	0,06 ± 0,03	0,06 ± 0,03	0,4 ± 0,2
	Средняя масса 1 особи	209,8	147,7	99,6
989	Количество уловов	11	26	24
	Биомасса	27,4 ± 19,1	13,2 ± 5,9	16,3 ± 7,2
	Плотность	0,18 ± 0,12	0,17 ± 0,07	0,17 ± 0,07
	Средняя масса 1 особи	133,5	77,2	94,5
1023	Количество уловов	16	14	14
	Биомасса	11,4 ± 4,8	20,6 ± 11,6	31,1 ± 17,4
	Плотность	0,06 ± 0,02	0,3 ± 0,2	0,30 ± 0,17
	Средняя масса 1 особи	199,5	72,3	108,2

В уловах трала Сигсби, помимо исландского гребешка, массово встречаются мидии *Mytilus edulis*, модиолусы *Modiolus modiolus*, морские ежи, кукумария *Cucumaria frondosa* и морские звезды *Asterias rubens*, а также единично отмечены камчатские крабы *Paralithodes camtschaticus*.

Одним из основных конкурентов гребешка за питание и субстрат является мидия *Mytilus edulis*, массовое оседание личинок которой может привести к полной гибели как молодых, так и взрослых особей [1].

Вплоть до 2017 г. на Святоносском поселении мидии отмечались в уловах единично и довольно редко (табл. 3). В 2023 г. на этой акватории моллюск был пойман уже в каждом пятом улове. Мидии встречались массово в юго-восточной части исследуемой акватории, их биомасса достигала 150 г/м² (рис. 2).

В Воронке Белого моря мидии встречались почти в половине уловов. Их средняя биомасса в 2016 г. превышала биомассу гребешка в 2,5 раза, а в 2017 г. их значения были равны. В 2024 г. биомасса мидии в уловах возросла в среднем в 7 раз, а максимальное значение биомассы в улове превысило 2,2 кг/м². Уловы на 90 % состояли из особей одной возрастной группы. В самых крупных уловах встречались мидии 6–7 лет.

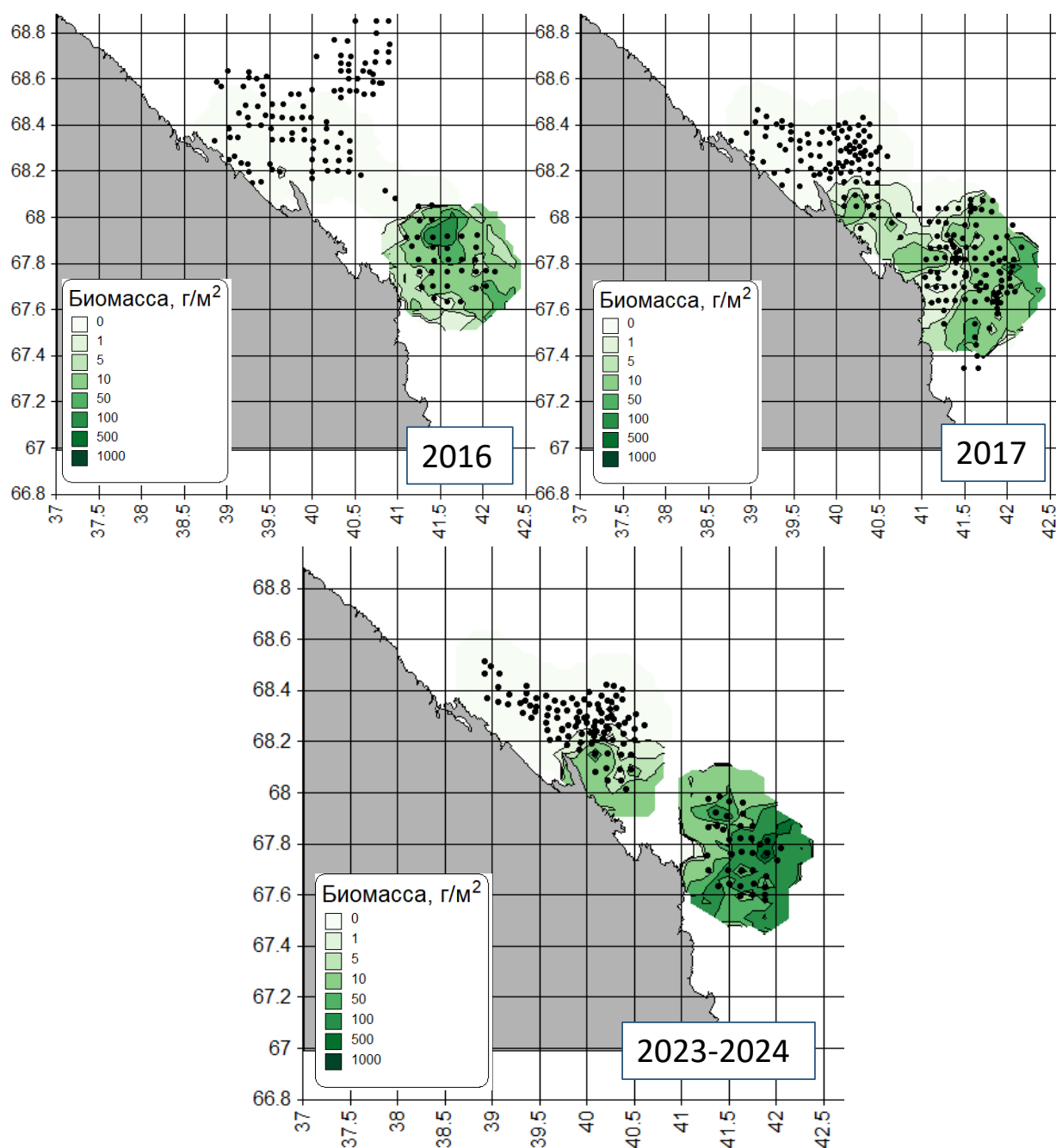


Рис. 2. Распределение биомассы *Mytilus edulis* на Святоносском поселении Баренцева моря и в Воронке Белого моря в 2016, 2017 и 2023–2024 гг.

Таблица 3

Количественные характеристики *Mytilus edulis* из учетных уловов на Святоносском поселении Баренцева моря и в Воронке Белого моря в 2016–2017 и 2023–2024 гг.

Параметр	Баренцево море			Белое море		
	2016 г.	2017 г.	2023 г.	2016 г.	2017 г.	2024 г.
Количество станций	51	116	107	46	45	45
Средняя биомасса и ошибка среднего, г/м ²	0,02 ± 0,02	0,0004 ± 0,0003	2,6 ± 1,5	25,2 ± 10,0	19,2 ± 7,9	132,1 ± 55,4
Максимальная биомасса, г/м ²	1,7	0,03	150,8	376,9	338,9	2270,5
Доля результативных уловов, %	1,2	1,9	20,5	47,8	53,3	48,9

Еще одним видом из отряда Mytilida, способным доминировать в прибрежной части моря, является модиолус *Modiolus modiolus* (рис. 3). Этот моллюск на исследуемых акваториях в 2017 г. встречался примерно в трети уловов, а в 2023–2024 гг. – уже в половине драгировок (табл. 4). Чаще всего в уловах были единичные крупные модиолусы массой 150–200 г, а в 2024 г. в Воронке Белого моря встречались в основном молодые особи массой 0,5–5 г, обнаруженные в уловах вместе с образующими друзы мидиями.

Таблица 4

Количественные характеристики *Modiolus modiolus* из учетных уловов на Святоносском поселении Баренцева моря и в Воронке Белого моря в 2016–2017 и 2023–2024 гг.

Параметр	Баренцево море			Белое море		
	2016 г.	2017 г.	2023 г.	2016 г.	2017 г.	2024 г.
Количество станций	51	116	107	46	45	45
Средняя биомасса и ошибка среднего, г/м ²	0,3 ± 0,1	1,0 ± 0,2	2,9 ± 0,7	3,5 ± 3,2	2,1 ± 0,9	20,3 ± 7,0
Максимальная биомасса, г/м ²	9,25	11,9	42,5	152,6	30,2	230,2
Доля результативных уловов, %	27,7	35,6	49,5	17,4	31,1	46,7

Еще одним фактором, сдерживающим восстановление гребешковых банок, является присутствие морской звезды *Asterias rubens*. В рацион этого хищника входят самые разнообразные бентосные организмы, в том числе мидии и гребешки [6].

Звезды *Asterias rubens* в уловах трала Сигсби на Святоносском поселении в 2023 г. начали встречаться в 3–5 раз чаще, чем в 2016–2017 гг., а их биомасса возросла более чем в 10 раз (табл. 5).

В 2017 г. в Воронке Белого моря было отмечено значительное увеличение количества морских звезд по сравнению с предыдущим годом. Максимальный улов *Asterias rubens* возрос в 100 раз по сравнению с уловом в 2016 г. В 2024 г. биомасса морских звезд была вдвое меньше, но все еще на высоком уровне.

Таблица 5

Количественные характеристики *Asterias rubens* из учетных уловов на Святоносском поселении Баренцева моря и в Воронке Белого моря в 2016–2017 и 2023–2024 гг.

Параметр	Баренцево море			Белое море		
	2016 г.	2017 г.	2023 г.	2016 г.	2017 г.	2024 г.
Количество станций	51	116	107	46	45	45
Средняя биомасса и ошибка среднего, г/м ²	0,01 ± 0,006	0,003 ± 0,001	0,06 ± 0,03	0,3 ± 0,2	19,3 ± 16,5	8,1 ± 7,7
Максимальная биомасса, г/м ²	0,35	0,1	3,3	7,6	735,2	340,2
Доля результативных уловов, %	7,1	4,0	19,6	15,2	17,9	6,7

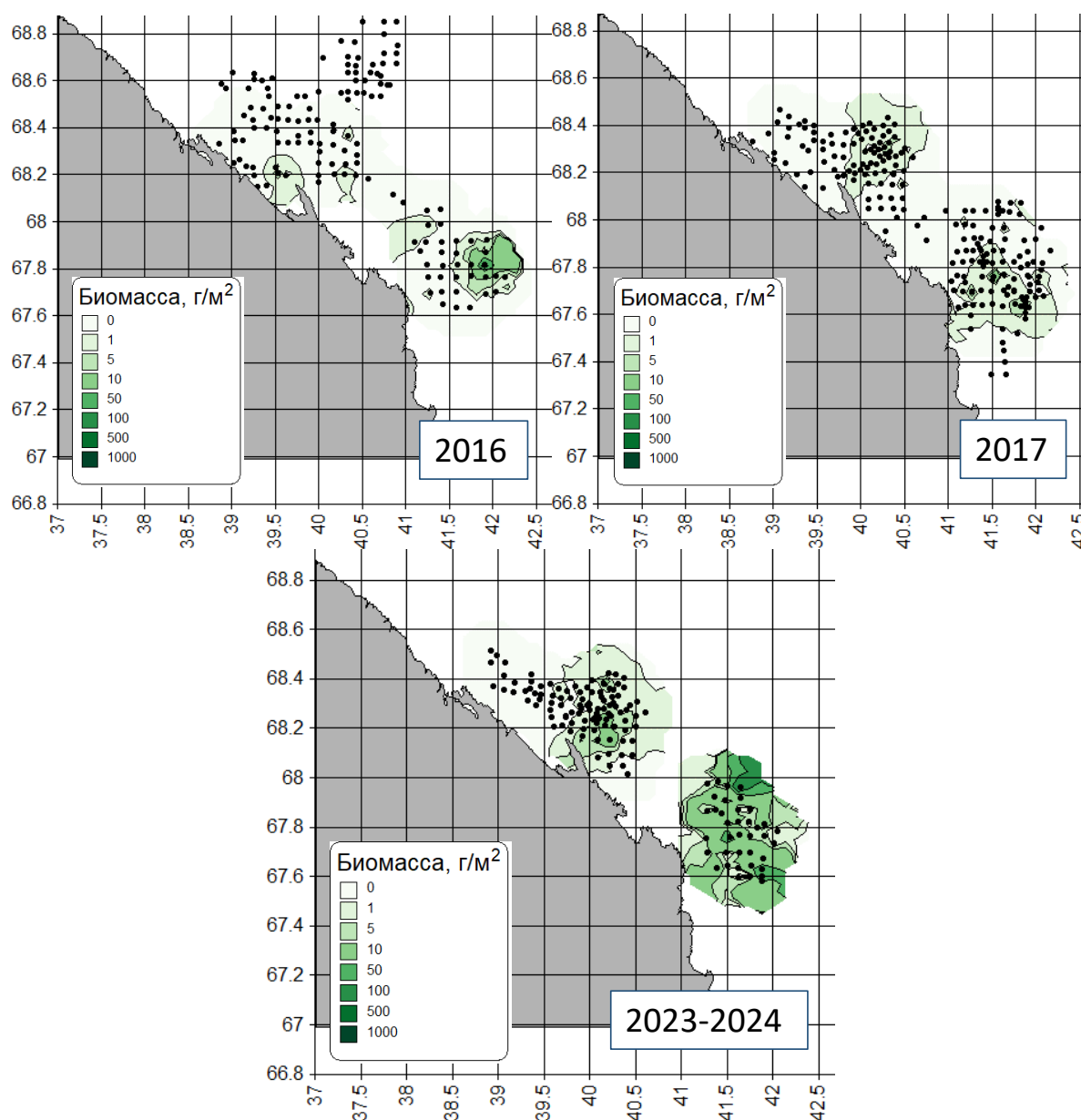


Рис. 3. Распределение биомассы *Modiolus modiolus* на Святоносском поселении Баренцева моря и в Воронке Белого моря в 2016, 2017 и 2023–2024 гг.

В литературе встречаются предположения, что способность крупных гребешков к передвижению позволяет им избежать встречи с хищными морскими звездами [5]. Исходя из этого, у молоди, прикрепленной к субстрату, шансов на выживание намного меньше, чем у взрослых особей.

Нашествия морских звезд на гребешковые банки могли оказать влияние на восстановление поселений гребешка, снизив численность молоди гребешка. В свою очередь, на численность *Asterias rubens* может воздействовать более крупный хищник, обитающий на мелководьях, — камчатский краб *Paralithodes camtschaticus*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доля молоди гребешка за период отсутствия промысла на акватории Святоносского поселения практически не увеличилась. Юго-восточную часть банки, где гребешки практически не встречаются из-за сильных течений, заняли мидии и модиолусы, распространение которых происходит в северо-западном направлении.

В Воронке Белого моря происходит уменьшение площади поселения гребешка за счет сокращения доли молоди в уловах. Гребешки промыслового размера стали встречаться в меньшем количестве, однако из-за отсутствия негативного воздействия биомасса гребешка возросла. Мидии встречались в половине уловов, вес уловов мидии возрос в 7 раз.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Габаев, Д.Д. Рост приморского гребешка *Patinopecten* (= *Mizuhopecten*) *yessoensis* на морских плантациях Приморского края / Д.Д. Габаев // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана. Материалы VII Международной научно-технической конференции. – Владивосток: Изд-во: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. – 2022. – С. 68–71.
2. Денисенко, С.Г. Экология и ресурсы исландского гребешка в Баренцевом море / С.Г. Денисенко. – Апатиты: КНЦ АН СССР, 1989. – 140 с.
3. Золотарев, П.Н. Биология и промысел исландского гребешка *Chlamys islandica* в Баренцевом и Белом морях / П.Н. Золотарев; отв. ред. К.М. Соколов; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2016. – 289 с.
4. Носова, Т.Б. Структура и многолетняя динамика сообществ зообентоса в районах поселений исландского гребешка у Кольского полуострова / Т.Б. Носова, И.Е. Манушин, Д.В. Захаров // Известия ТИНРО / ТИНРО-Центр. – Владивосток, 2018. – Т. 194. – С. 27–41. – DOI 10.26428/1606-9919-2018-194-27-41.
5. Briggs, C. A study of some sublittoral populations of *Asterias rubens* (1.) and their prey: PhD Thesis / C. Briggs. – University of Liverpool, 1983. – 193 p.
6. In-situ investigations on the echinoderm *Asterias rubens* as a predator of soft-bottom communities in the western Baltic Sea / K. Anger, U. Rogal, G. Schriever, C. Valentin // Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen. – 1977. – Vol. 29. – P. 439–459. – DOI 10.1007/BF01609982.

ПИТАНИЕ МОРСКОЙ КАМБАЛЫ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

А.В. Долгов^{1, 2}

¹Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича),
г. Мурманск

²Мурманский арктический университет (МАУ), г. Мурманск

Аннотация. Рассмотрены особенности питания морской камбалы в Баренцевом море в 2000-е годы. Приведены данные об общем составе пищи, его межгодовых и онтогенетических изменениях, а также о сезонной динамике откорма.

Ключевые слова: Баренцево море, морская камбала, питание, бентос.

ВВЕДЕНИЕ

Морская камбала является одним из ценных промысловых видов рыб в Баренцевом море, отечественный вылов ее в 2000–2022 гг. увеличился с 2–3 до 5–10 тыс. т, а в 2023–2024 гг. – до 11–18 тыс. т.

Исследования питания морской камбалы были начаты во второй половине 1940-х годов [1] и продолжены в 1970–80-е годы, когда были изучены особенности питания и пищевого поведения этого вида в естественных [2] и аквариальных [3, 4, 6, 7] условиях.

В то же время современные данные о питании этого вида отсутствуют, что не позволяет оценить его трофические адаптации в условиях появления в Баренцевом море двух новых видов крабов (камчатский и стригун опилио), оказывающих существенное влияние на бентосные сообщества, которые формируют кормовую базу рыб-бентофагов, в том числе и морской камбалы.

В связи с этим основной целью настоящей работы было изучить особенности питания морской камбалы в 2000-е годы и оценить возможные изменения по сравнению с данными предшествующего периода.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы данные количественно-массового анализа 11341 желудка морской камбалы, выполненного сотрудниками «ПИНРО» им. Н.М. Книповича в Баренцевом море в 2002–2023 гг. Ежегодно собиралось от 128 до 918 желудков (в среднем 515 в год), однако, несмотря на значительное количество исследованных желудков, процент пустых был очень высоким (от 25 до 92 %, в среднем 64 %).

В качестве показателей интенсивности питания использовали процент пустых желудков, а также средний балл и средний индекс наполнения желудков, в качестве показателя значения отдельных видов жертв – массовую долю (%m).

Следует отметить, что при анализе содержимого желудков морской камбалы в море обычно регистрировали отдельно полихет. Другие морские организмы с червеобразной формой тела (сипункулиды, немертины, эхиуриды) обычно регистрировались суммарно как «черви», при этом соотношение представителей этих таксонов не определялось.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2002–2023 гг. в желудках морской камбалы отмечались представители 59 таксонов. Основу питания составляли двустворчатые моллюски, полихеты и другие черви (сипункулиды, немертины и др.) – 44,9; 23,6 и 21,7 %m соответственно (рис. 1). Из двустворчатых моллюсков в желудках камбалы встречались промысловые или потенциально промысловые *Chlamys islandica* и *Serripes groenlandicus*, а также *Astarte* spp., *Clinocardium ciliatum*, *Nucula* spp., *Macoma calcarea* и *Yoldiella* spp. Значение остальных групп не превышало 1–3 %. В то же время следует отметить присутствие в ее питании декапод (*Pandalus borealis*, *Sabinea* spp., *Euragurus* spp., *Hyas* spp.) и рыб (мойвы и песчанки), хотя их значение было невелико (менее 0,1 %m).

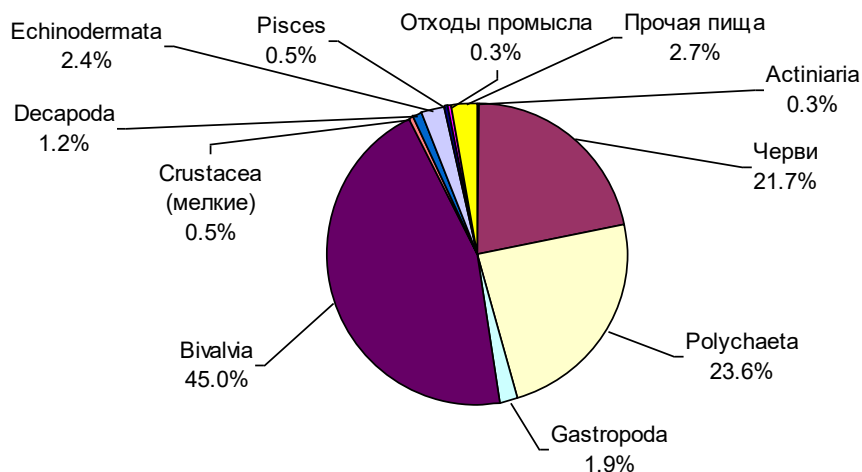


Рис. 1. Состав пищи морской камбалы в 2002–2023 гг., % от массы пищевого комка

В питании морской камбалы довольно четко были выражены изменения состава пищи по мере роста рыб. У особей длиной до 40 см в питании доминировали черви (сипункулиды, немертины и др.) и полихеты

(суммарно 50–100 %m), их значение у рыб длиной более 55 см постепенно снижалось до 13–20 %m. Одновременно отмечалось возрастание значения двустворчатых моллюсков: от 8 %m у рыб длиной менее 20 см до 30–40 %m у рыб длиной 29–45 см, а у рыб длиной более 55 см они составляли основу питания (53–69 %m).

Межгодовая динамика состава пищи морской камбалы была выражена преимущественно в изменениях соотношения основных компонентов ее питания – двустворчатых моллюсков, червей (сипункулиды, немертины и др.) и полихет (рис. 2). Однако четких закономерностей такой динамики выявить не удалось из-за с относительно небольшого количества проанализированного материала и высокой доли пустых желудков, а также из-за не вполне удовлетворительного сбора данных в различные сезоны года и локальных районах в разные годы. Можно лишь отметить существенное увеличение массовой доли полихет в 2010–2014 гг. при одновременном снижении значения двустворчатых моллюсков и прочих червей. Это могло быть обусловлено возросшей межвидовой конкуренцией с другим видом-бентофагом – пикшей, у которой в 2010–2011 гг. отмечался исторический максимум биомассы промыслового запаса, а также внутривидовой конкуренцией в связи с увеличением запаса морской камбалы [5].

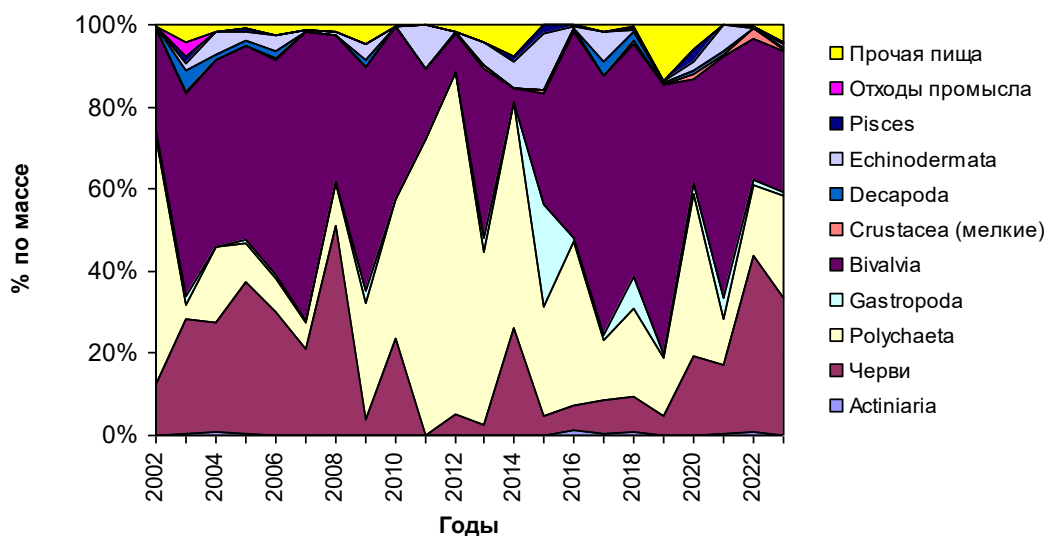


Рис. 2. Межгодовая динамика состава пищи морской камбалы в 2002–2023 гг., % от массы пищевого комка

Интенсивность питания морской камбалы характеризовалась четкой сезонной изменчивостью. Сезон откорма приходился на теплый период года – с мая по сентябрь. Несмотря на значительные межгодовые

вариации, в эти месяцы регистрировалось минимальное количество рыб с пустыми желудками – 14–37 %, причем самые низкие значения этого показателя наблюдались в июне–июле (14–15 %). Средний балл наполнения в период откорма варьировал от 1,3 до 2,0 баллов, средний индекс наполнения снижался от 96–103 ‰ в мае–июне до 54–57 ‰ в августе–сентябре. В октябре–ноябре интенсивность питания резко снижалась (49–68 % пустых желудков, балл наполнения – 0,6–0,8, индекс наполнения – 18–34 ‰), и с декабря по апрель камбала практически не питалась (86–93 % пустых желудков, балл наполнения – 0,1–0,5, индекс наполнения – 0,1–0,5 ‰).

Наши данные за 2002–2023 гг. полностью соответствуют результатам предыдущих исследований питания этого вида в Баренцевом море.

Так, по материалам А.И. Булычевой [2], основу питания морской камбалы в Баренцевом море составляли двустворчатые моллюски (*Macra elliptica* и *Cyprina islandica*), полихеты (*Onuphis conchilega*) и рак-отшельник *Eupagurus pubescens*. В 1970-е годы, по данным Т.В. Антиповой и М.В. Ковцовой [1], в питании морской камбалы по частоте встречаемости доминировали двустворчатые моллюски и черви (суммарно полихеты и сипункулиды). Каких-либо значительных изменений в составе пищи и особенностях откорма морской камбалы в Баренцевом море по сравнению с предшествующим периодом выявлено не было.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Морская камбала относится к типичным бентофагам с преобладанием в питании двустворчатых моллюсков, червей (сипункулиды, немертины и др.) и полихет. Состав пищи и особенности питания этого вида в 2002–2023 гг. косвенно свидетельствуют об удовлетворительном состоянии кормовой базы рыб-бентофагов и отсутствии значительного негативного воздействия новых инвазийных камчатского краба и краба-стригуна опилио на бентосные сообщества южной части Баренцева моря.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипова, Т.В. Суточные, сезонные и годовые изменения питания и упитанности морской камбалы Баренцева моря / Т.В. Антипова, М.В. Ковцова // Экология и промысел донных рыб Северо-Европейского бассейна. – Мурманск, 1982. – С. 43–56.

2. Булычева, А.И. Материалы по питанию камбаловых рыб Восточного Мурмана / А.И. Булычева // Труды МБС АН СССР. – 1948. – Т. 1. – С. 261–275.
3. Карамушко, Л.И. Биоэнергетика рыб северных морей / Л.И. Карамушко. – М.: Наука, 2007. – 253 с.
4. Поздняков, Ю.Ф. Элективность питания камбал Баренцева моря в экспериментальных условиях / Ю.Ф. Поздняков // Труды ММБИ. – 1967. – Вып. 15/19. – С. 90–96.
5. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2024 г. / А.С. Амелькина, М.Ю. Анциферов, Ю.И. Бакай [и др.]; отв. ред. К.М. Соколов; Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2024. – 170 с.
6. Чинарина, А.Д. Пищевое поведение баренцевоморской камбалы в экспериментальных и естественных условиях / А.Д. Чинарина, Н.В. Трошичева. – М.: ИЭМЭЖ, 1983. – С. 36–46.
7. Чинарина, А.Д. Питание и пищевое поведение морской камбалы при зрительной и обонятельной дерцептации / А.Д. Чинарина, Н.В. Трошичева // Морфо-физиологические аспекты изучения рыб и беспозвоночных Баренцева моря. – Апатиты, 1982. – С. 68–74.

ПОТРЕБЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП БЕНТОСА МАССОВЫМИ ДОННЫМИ РЫБАМИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

А.В. Долгов^{1, 2}

¹Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича),
г. Мурманск

²Мурманский арктический университет (МАУ), г. Мурманск

Аннотация. Выполнена оценка потребления донными рыбами-бенитофагами полихет, двусторчатых и брюхоногих моллюсков, иглокожих и других групп бентоса в Баренцевом море. Проведено сравнение оценок выедания бентоса различными донными рыбами, а также инвазийными видами крабов.

Ключевые слова: Баренцево море, бентос, бентосоядные рыбы, потребление, выедание, камчатский краб, краб-стригун.

ВВЕДЕНИЕ

В трофической цепи Баренцева моря важную роль играют донные бентосоядные рыбы, среди которых второй по биомассе запаса вид – пикша, а также другие промысловые виды (зубатки, морская камбала, камбала-ерш и др.). Вселение в Баренцево море камчатского краба [2], резко увеличившего свою численность в конце 1990-х годов, и появление в 2000-е годы краба-стригуна опилио [4], которые также питаются донными беспозвоночными, могли оказать значительное влияние на состояние донных сообществ и условия откорма местных видов, в том числе рыб-бенитофагов. Степень такого влияния неоднократно обсуждалась, предлагались различные оценки – от практически полного выедания местного бентоса камчатским крабом в прибрежных районах до отсутствия каких-либо значительных последствий для бентоса.

В связи с этим основной целью настоящей работы было оценить потребление различных групп бентоса донными рыбами Баренцева моря и сравнить с имеющимися оценками потребления бентоса камчатским крабом и крабом-стригуном опилио.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы материалы количественно-массового анализа желудков донных рыб за 2002–2023 гг. – пикши (98993 экз.), камбалы-ерша (31901 экз.), морской камбалы (11341 экз.), полосатой (1277 экз.), пятнистой (2440 экз.) и синей (877 экз.) зубаток, звездчатого (5517 экз.) и

круглого (147 экз.) скатов, лиманды (1181 экз.) и полярной камбалы (271 экз.). Для рыб большинства видов количество собранных желудков сильно варьирует по годам, сезонам и локальным районам, кроме того, у особей многих видов велика доля пустых желудков. Это не позволяет получить надежные данные о межгодовой изменчивости питания для большинства видов, кроме пикши.

В данной работе мы рассматривали 11 наиболее важных для питания рыб бентосных таксонов – актинии, полихеты, прочие черви (немертины, сипункулиды, эхиуриды и пр.), брюхоногие и двустворчатые моллюски, мелкие донные ракообразные (гаммариды, кумовые, мизиды и пр.), крупные донные декаподы (креветки, крабы), морские звезды, офиуры, морские ежи и голотурии.

Исследования питания и пищевого поведения донных рыб Баренцева моря в аквариальных условиях, выполненные в Мурманском морском биологическом институте, позволили оценить величины поддерживающих (т.е. при которых масса тела остается постоянной) рационов, в том числе для рыб-бентофагов (например, [3] и др.), однако специальных методов расчета рационов для рыб большинства видов разработано не было. Для расчетов потребления пищи рыбами этих видов использовали среднегодовые величины общих суточных рационов в размере 1 % от массы тела.

Ежегодные величины биомассы общего запаса пикши были взяты из материалов Российско-норвежской группы по арктическому рыболовству (JRN-AFWG) [7], остальных донных рыб-бентофагов – из материалов донных съемок, выполненных Полярным филиалом ФГБНУ «ВНИРО» в Баренцевом море.

В связи с тем, что удовлетворительный сбор данных о питании с относительно равномерным пространственно-временным покрытием выполнялся только по пикше, потребление пищи рыбами этого вида рассчитывали отдельно для каждого года. Для рыб остальных видов такие расчеты проводили на основе среднего состава пищи и средней биомассы запаса рыб данного вида за весь период исследований в целом за год.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные о составе пищи десяти наиболее многочисленных в Баренцевом море видов рыб-бентофагов показали, что доля бентоса в их питании значительно варьировала. Бентос в среднем за год составлял 14–21 % от массы пищевого комка у синей зубатки и звездчатого ската, 30–34 % у камбалы-ерша и пятнистой зубатки, 55–57 % у полосатой зубатки и пикши, 73–78 % у лиманды и круглого ската и 83–97 % у полярной и

морской камбал. Необходимо учитывать, что в питании наиболее крупных особей пикши, камбалы-ерша, синей и пятнистой зубаток и звездчатого ската значение бентоса снижалось и возрастала доля другой пищи (рыбы, отходы промысла и пр.).

В 2002–2023 гг. общая биомасса потребленного бентоса рыбами этих видов ежегодно составляла в среднем 2431,5 тыс. т. Наиболее интенсивно рыбы выедали офиур и двустворчатых моллюсков (551 и 511 тыс. т соответственно), а также полихет (440 тыс. т), червей (392 тыс. т) и в меньшей степени декапод (141 тыс. т). Потребление остальных групп было существенно меньше – от 51 до 76 тыс. т.

Вполне ожидаемо, что общее потребление бентоса рыбами различных видов было обусловлено составом их пищи и в большей степени величиной их запаса. Максимальная биомасса бентоса выедалась наиболее многочисленными видами бентофагов в Баренцевом море – пикшей (в среднем 1475 тыс. т в год), камбалой-ершом (453 тыс. т) и морской камбалой (354 тыс. т). Зубатки, звездчатый скат и лиманда ежегодно выедали от 20 до 41 тыс. т, полярная камбала и круглый скат – 1,5–4,6 тыс. т (рис. 1).

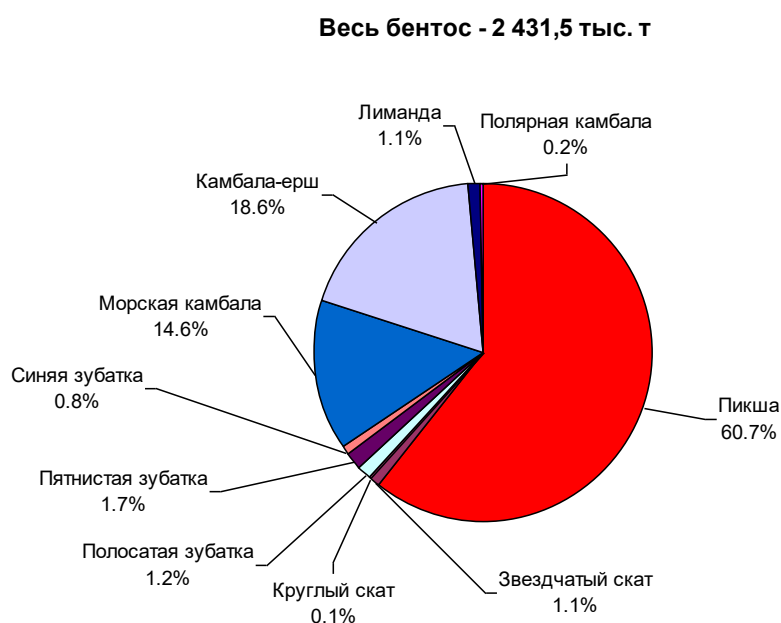
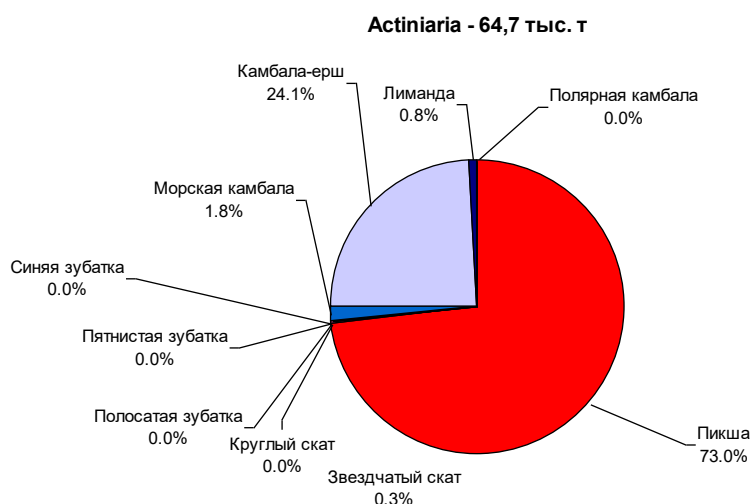


Рис. 1. Соотношение общего потребления бентоса различными видами донных рыб-бентофагов в Баренцевом море в среднем за год за 2002–2023 гг.

В то же время воздействие рыб на различные группы бентоса было неодинаковым (рис. 2). Так, актинии, мелкие донные ракообразные, морские звезды и офиуры потреблялись преимущественно пикшей и в меньшей степени камбалой-ершом. Черви, полихеты и двустворчатые

моллюски также выедались в основном пикшей, вторыми по значимости хищниками были морская камбала и камбала-ерш. Потребление брюхоногих моллюсков и морских ежей формировалось главным образом пикшей (50 %) и затем в относительно равных долях другими видами рыб. Декапод потребляли в основном камбала-ерш, пикша и в меньшей степени звездчатый скат. При этом следует отметить, что из декапод рыбы-бенитофаги потребляли в том числе инвазийных камчатского краба и краба-стригуна опилио, хотя их доля и была невелика. Голотурии потреблялись почти исключительно пикшей.

При оценке воздействия бентосоядных рыб на состояние бентосных сообществ необходимо также учитывать небольшие размеры рта у рыб большинства таких видов (за исключением зубаток), что обеспечивает выедание главным образом небольших по размеру организмов, в том числе молоди промысловых и потенциально промысловых видов (например, морского гребешка, серрипеса, краба-стригуна опилио и др.).



Черви - 392,0 тыс. т

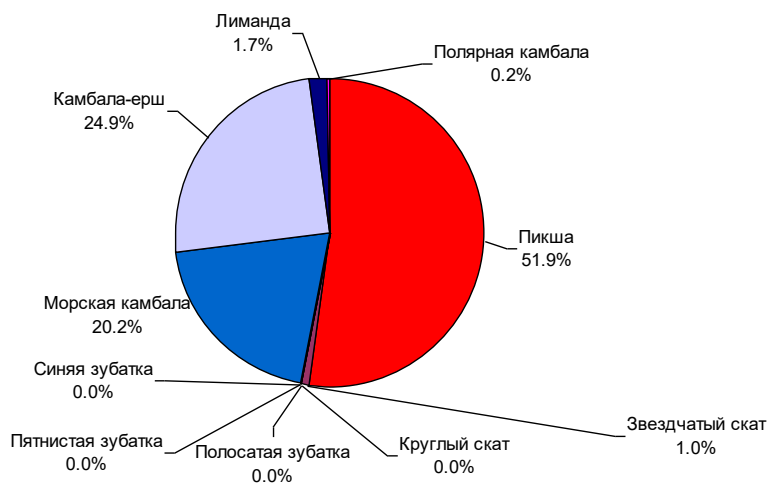
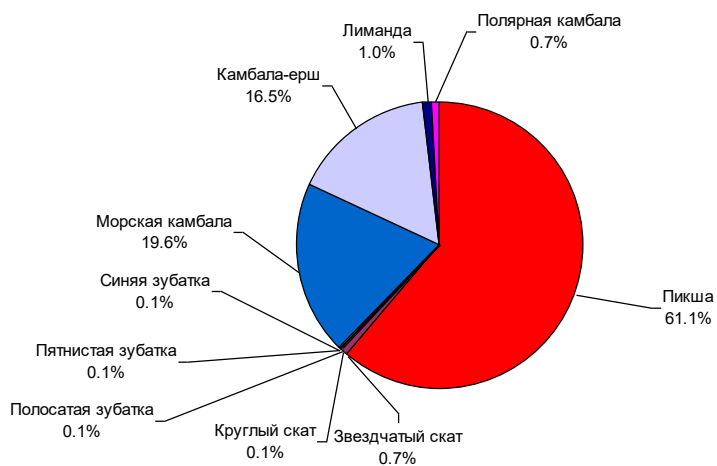
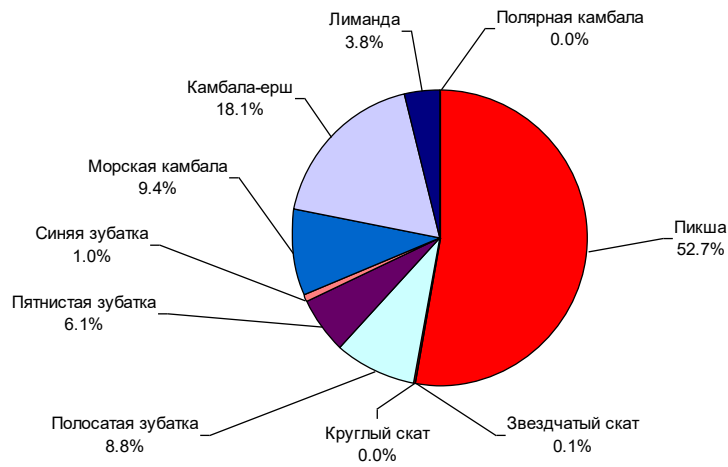


Рис. 2. Соотношение потребления различных групп бентоса донными рыбами-бенитофагами в Баренцевом море в среднем за год за 2002–2023 гг.

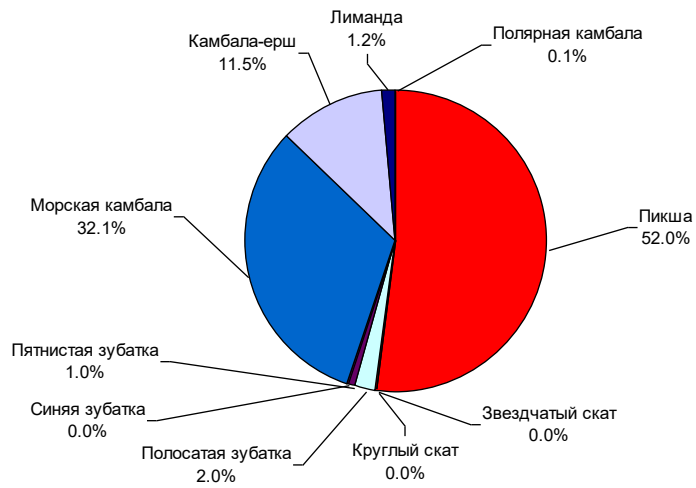
Polychaeta - 440,3 тыс. т



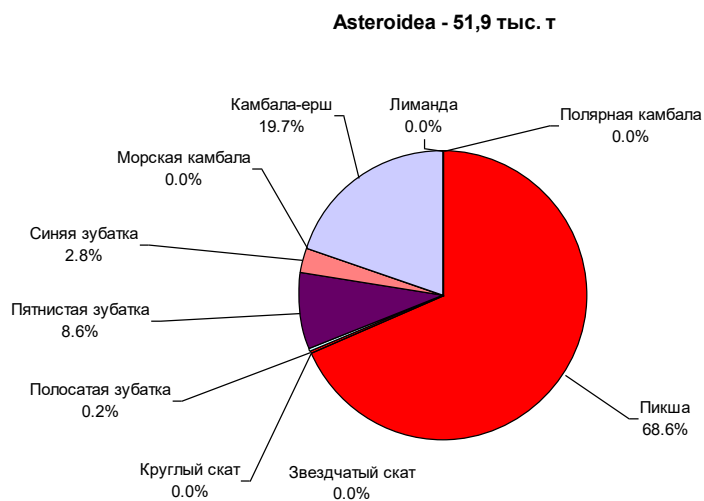
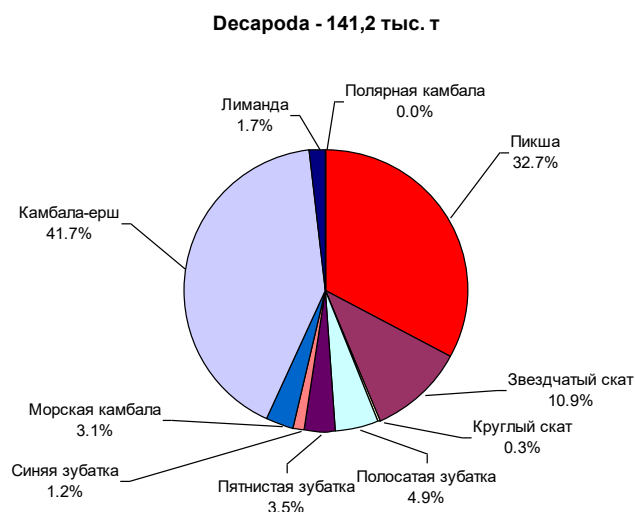
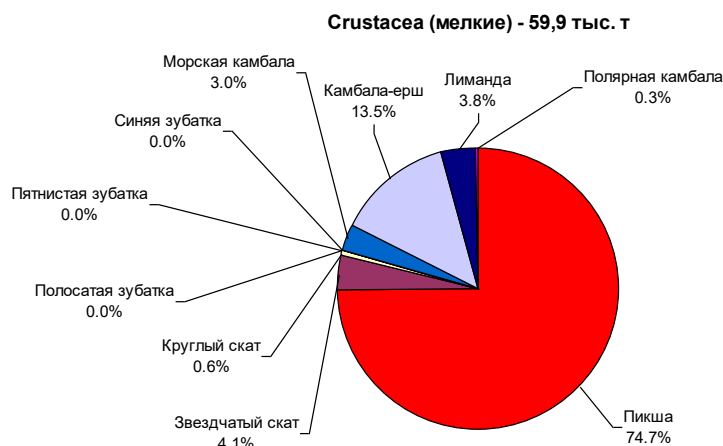
Gastropoda - 72,0 тыс. т



Bivalvia - 510,9 тыс. т

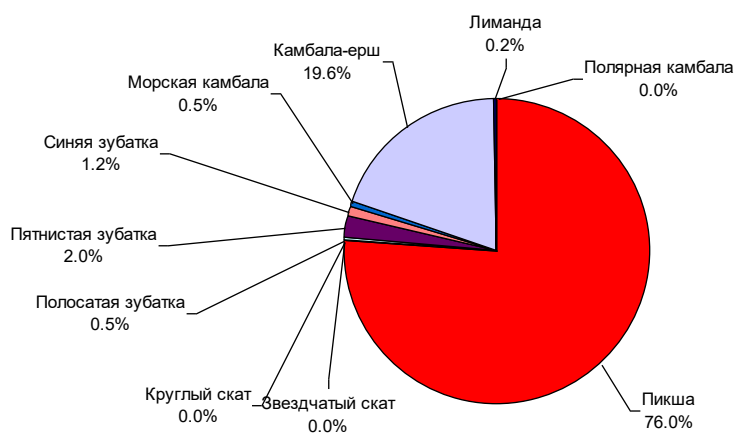


Продолжение рис. 2

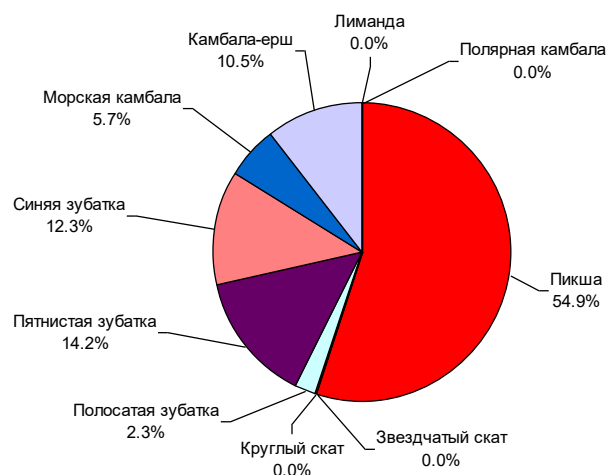


Продолжение рис. 2

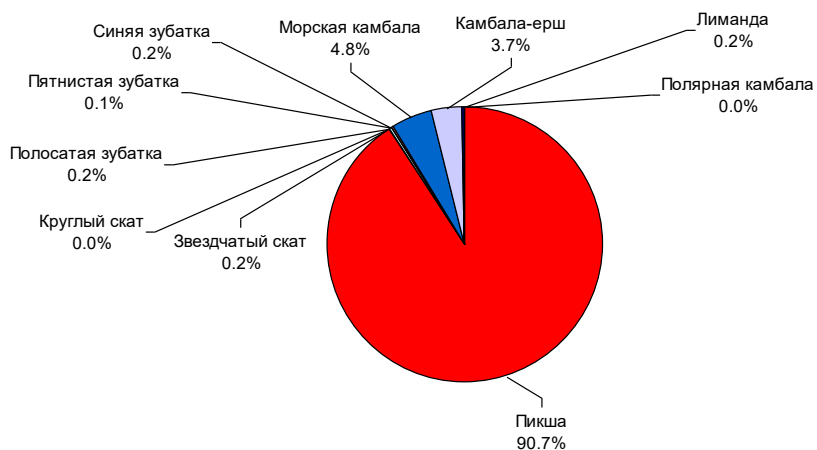
Ophiuroidea - 551,0 тыс. т



Echinoidea - 76,1 тыс. т



Holothuroidea - 71,5 тыс. т



Окончание рис. 2

Биомассы бентоса, потребленные донными рыбами-бентофагами, были сравнены с аналогичными оценками потребления пищи инвазийными крабами.

Оценки выедания пищи крабом-стригуном опилио показали, что потребляемая им биомасса пищи в Баренцевом море увеличивалась с 249–670 т в 2005–2006 гг. и в 2012–2014 гг. составляла 48–80 тыс. т в год [5]. По другим оценкам, в 2008–2017 гг. потребленная биомасса бентоса была меньше – от 2,3 до 26 тыс. т [1]. Ежегодное потребление бентоса камчатским крабом существенно выше – от 116 до 311 тыс. т в 2011–2018 гг., а с учетом элиминированного (т.е. уничтоженного, но не съеденного) – от 233 до 622 тыс. т [6].

Сравнение величин потребления бентоса донными рыбами и инвазийными крабами показало, что хищничество камчатского краба и краба-стригуна оказывает существенно меньшее воздействие на состояние бентосных сообществ Баренцева моря, чем наиболее массовый вид бентофагов – пикша. В то же время величины потребления бентоса камчатским крабом, камбалой-ершом и морской камбалой довольно близки, а потребление бентоса крабом-стригуном превышает или сравнимо с его выеданием звездчатым скатом, зубатками и лимандой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были получены оценки потребления различных групп бентоса наиболее массовыми донными видами рыб-бентофагов Баренцева моря в 2000-е годы. Наиболее интенсивно рыбы потребляли червей, полихет, двустворчатых моллюсков и офиур. Большая часть потребленной биомассы бентоса выедается видами с наиболее высокой биомассой запаса – пикшей, камбалой-ершом и морской камбалой. Состояние бентосных сообществ подвержено преимущественно хищничеству со стороны пикши и в меньшей степени камбалы-ерша и морской камбалы, воздействие инвазийных видов крабов существенно меньше, хотя и достаточно велико и сравнимо с влиянием камбалы-ерша и морской камбалы. Полученные данные будут способствовать более глубокому пониманию современного состояния экосистемы Баренцева моря с учетом трофических связей между ее основными компонентами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров, Д.В. Характеристика кормовой базы и питание краба-стригуна опилио в Баренцевом море / Д.В. Захаров, И.Е. Манушин, Н.А. Стрелкова [и др.] // Труды ВНИРО. – 2018. – Т. 172. – С. 70–90.

2. Камчатский краб в Баренцевом море / А.В. Стесько, И.Е. Манушин, С.В. Баканев [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во ВНИРО, 2021. – 712 с.
3. Карамушко, Л.И. Биоэнергетика рыб северных морей / Л.И. Карамушко. – М.: Наука, 2007. – 253 с.
4. Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях / К.М. Соколов, В.А. Павлов, Н.А. Стрелкова [и др.]; отв. ред. К.М. Соколов; ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2016. – 242 с.
5. Манушин, И.Е. Потребление пищи крабом-стригуном опилио в Баренцевом и Карском морях / И.Е. Манушин // Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях / ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2016. – С. 146–149.
6. Манушин, И.Е. Потребление пищи камчатским крабом / И.Е. Манушин // Камчатский краб в Баренцевом море / А.В. Стесько, И.Е. Манушин, С.В. Баканев [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во ВНИРО, 2021. – Гл. 2.7. – С. 337–346.
7. Joint Russian-Norwegian Working Group on Arctic Fisheries (JRN-AFWG) [et al.]. – 2024. – 305 p. (IMR/PINRO Joint Report Series; no. 7/2024).

**СТРУКТУРА СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА
СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ КАРСКОГО МОРЯ
И СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ
ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИИ ARCTIC CENTURY В 2021 г.**

**Н.Е. Журавлева¹, С.Ю. Гагаев¹, Д.В. Захаров¹,
О.Л. Зими́на^{1,2}, Н.Ю. Иванова¹, А.В. Смирнов¹,
Е.В. Солдатенко¹, Е.А. Стратаненко¹, Е.М. Чабан¹**

¹Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

²Мурманский морской биологический институт РАН (ММБИ РАН), г. Мурманск

Аннотация. Исследование макрозообентоса, собранного в северной части Карского моря и северо-западной части моря Лаптевых в 2021 г., показало большое разнообразие донных биотопов, в то время как видовое разнообразие беспозвоночных оказалось достаточно небольшим. Основу донных сообществ составляли бореально-арктические виды, которые формируют различные экологические и трофические группы с преобладанием детритофагов.

Ключевые слова: Карское море, море Лаптевых, Северная Земля, желоб Святой Анны, желоб Воронина, макрозообентос, структура сообществ, биотоп.

ВВЕДЕНИЕ

Фауна арктических морей давно привлекает внимание исследователей. В настоящее время в связи с климатическими изменениями и растущей антропогенной нагрузкой интерес к ней возрастает, стали необходимыми мониторинг состояния экосистем и работы по сохранению биологического разнообразия.

История изучения Карского моря не столь длительна, как соседствующего с ним Баренцева, тем не менее зообентос в акватории Карского моря считается хорошо изученным. В течение последних десятилетий данных о зообентосе этого моря стало значительно больше в связи с увеличением количества экспедиций, но в основном их проводят в южной части, где более благоприятная для работы ледовая обстановка. Поэтому северные районы Карского моря по-прежнему остаются мало исследованными. Слабо изучена и северо-западная часть моря Лаптевых, поскольку частое присутствие льдов в районе арх. Северная Земля, расположенном на границе этих двух морей, не позволяет осуществлять интенсивные исследования в этом районе.

Целью настоящей работы является изучение фауны донных беспозвоночных в труднодоступных районах Карского моря и моря

Лаптевых, а также выяснение ее топоческой, трофической и биогеографической структур на основе материалов, собранных в комплексной морской научной экспедиции Arctic Century в 2021 г.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках совместного проекта России (ААНИИ), Германии (ГЕОМАР) и Швейцарии (Швейцарский полярный институт) была организована экспедиция Arctic Century в северные районы Карского моря и моря Лаптевых на НЭС «Академик Трешников» (рис. 1) с 6 августа по 6 сентября 2021 г. Для сбора материала использовали дночерпатель ван Вина (3 пробы на станцию), Voxcorer (30×50 см) и Multicorer (цилиндры диаметром 10 см, 6 повторностей на пробу). Пробы отбирали на 16 станциях (см. рис. 1). Промывали донный осадок забортной водой через два последовательно установленных конических сита (1,0 и 0,5 мм). Фиксировали бентосный материал 4 %-ным нейтрализованным раствором формальдегида (две пробы на каждой станции в случае трехкратного отбора и при отборе дночерпателем Voxcorer) и 75 %-ным этиловым спиртом (каждая третья проба на станции в случае 3-кратного отбора). В качестве буфера использовали тетраборат натрия. Обработку проб осуществляли в лабораторных условиях. Таксономическую сортировку материала до уровня типа и видовую идентификацию проводили с помощью бинокля МБС-9 и микроскопов «Биолам М-3», Bresser BioScience Trino. Влажную массу фиксированного материала определяли с точностью до 0,001 г.

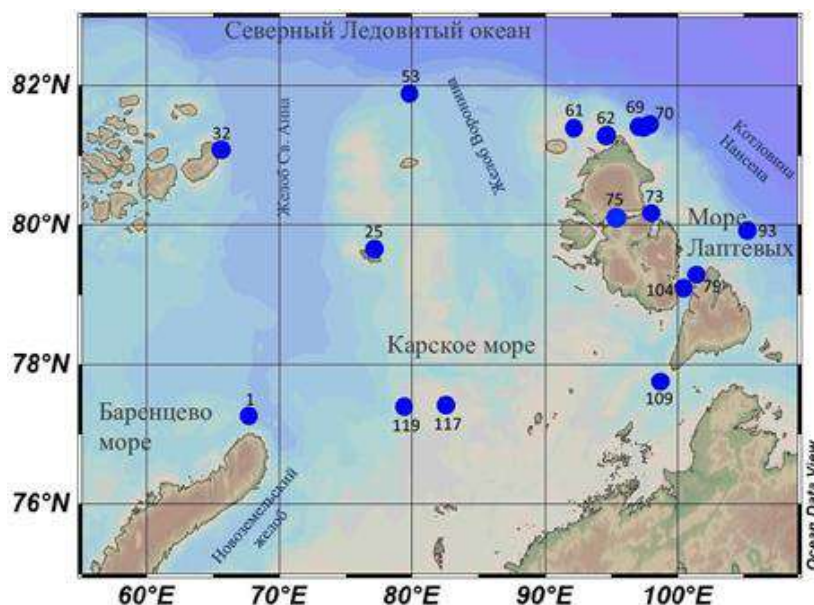


Рис. 1. Точки отбора проб в августе–сентябре 2021 г. Расположение станций отмечено синими точками с номерами станций

При биогеографическом анализе использована система биогеографической градации ареалов, применявшаяся для фауны Чукотского моря [8].

Карты строили посредством компьютерных GIS-пакетов OceanDataView 5.0 и MapViewer v.8.7.752 Golden Software.

Для сопоставления сходства основных биотопов зообентоса исследуемого района в программе Statistica 8 был выстроен неориентированный граф сходства основных биотопов, EM-алгоритм кластеризации (максимального правдоподобия).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате обработки собранного материала выявлено 280 видов донных беспозвоночных, относящихся к 135 семействам, 57 отрядам, 22 классам и 13 типам. Обнаружено, что фауна бентоса исследованных районов неоднородна по биомассе и численности в биогеографических, экологических и трофических группах. Точки сбора материала располагались в трех районах: 1 – вокруг желоба Святой Анны (четыре станции); 2 – вдоль берегов и в проливах арх. Северная Земля (девять станций); 3 – в центральной и восточной частях Карского моря (три станции). Внутри этих районов усредненные показатели биомассы и количества видов зообентоса составили 102,63; 42,08; 363,75 г/м² и 51; 31; 35 соответственно на станцию. Наибольшее количество видов (105) отмечено на ст. 62, расположенной восточнее желоба Воронина у северной оконечности арх. Северная Земля (рис. 2а). Также на ст. 32 у о-ва Грeэм-Белл – 85 видов, на ст. 79 на выходе из прол. Шокальского – 66 видов, на ст. 117 в центре материковой отмели – 58 видов и на ст. 25 у о-ва Визе – 45 видов. На остальных станциях их было меньше – от 4 до 40.

На всех станциях, характеризующихся высоким видовым богатством, доминировали Polychaeta, немногим им уступали Crustacea и Mollusca. На ст. 62 и вокруг желоба Святой Анны было зарегистрировано большое разнообразие Bryozoa (см. рис. 2а). Таксономическая представленность других ключевых систематических групп (Porifera, Cnidaria, Echinodermata) оказалась достаточно незначительной. Следует отметить, что губки присутствовали всего на двух станциях (25 – 1 вид и 53 – 5 видов).

В отличие от таксономического разнообразия количественные показатели биомассы макрозообентоса демонстрировали несколько иную закономерность. Наибольшие величины биомассы поселения моллюсков *Serripes groenlandicus* (Mohr, 1786) были зарегистрированы на ст. 117. Моллюски, преимущественно двустворчатые, также лидировали на ст. 32, 79 и 117, а полихеты – на ст. 1, 25, 62, 79 и 109. На ст. 61 биомасса полихет

и мшанок была почти равна. Мшанки сформировали высокие показатели биомассы на ст. 1 и 25, а на ст. 75 их доля превышала 50 % от общей биомассы зообентоса. В восточной части прол. Красной Армии, а также на кромке шельфа к северо-востоку от арх. Северная Земля (ст. 70 и 73) обнаружены крупные представители Cnidaria, которые составляли до 80 % от общей биомассы зообентоса. Доминирование иглокожих по биомассе отмечено на ст. 104, расположенной в прол. Шокальского, и на ст. 69 к северо-востоку от о-ва Комсомолец. Губки превалировали по биомассе над остальными группами макрозообентоса на ст. 53. Спиккулы из грунта на этой станции принадлежат к неидентифицированному виду или группе видов стеклянных губок, а ювенильные особи диаметром менее 1 мм, найденные в поверхностном 4-сантиметровом слое пробы, отнесены к роду *Geodia*. Представители этого рода характерны для районов, расположенных вблизи шельфового склона. Ранее, в 1995 г. [1], сотрудниками ММБИ на материковом склоне восточнее желоба Воронина обнаружили сообщество, в составе которого были два вида рода *Geodia*. Их биомасса невелика по сравнению с биомассой поселений губок на шельфовом склоне участка между северным побережьем Норвегии и арх. Шпицберген, однако обнаруженная нами молодь может свидетельствовать о существовании поселений взрослых особей *Geodia* вблизи ст. 53. Верхние 10 см грунта на этой станции густо заселены представителями Polychaeta, Bryozoa и Sipuncula, вероятно, благодаря хорошей аэрации.

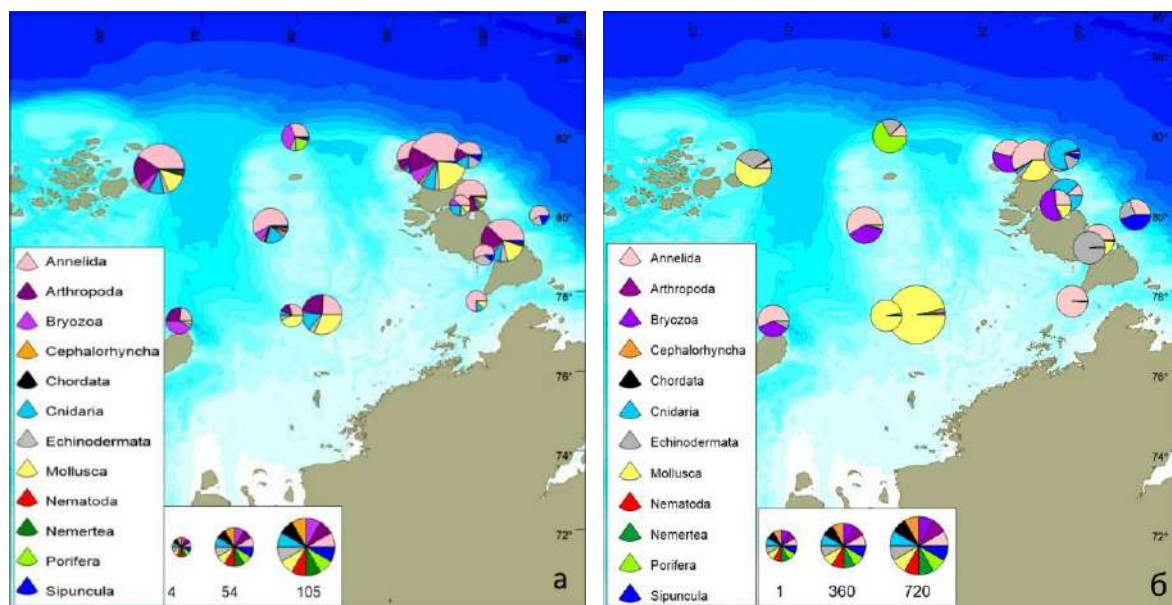


Рис. 2. Соотношение количества видов (а) и биомассы (б) крупных таксонов макрозообентоса на станциях в Карском море и море Лаптевых в 2021 г.

Распределение трофических группировок в исследованном районе (рис. 3) хорошо согласуется с распределением представителей эпи- и инфауны (рис. 4). Доля сестонофагов-фильтраторов в общей биомассе макрозообентоса во многих точках сбора высокая (ст. 1, 25, 32, 53, 61, 75, 117 и 119), а в некоторых случаях превышает таковую остальных трофических группировок. Отмеченное превалирование сестонофагов-фильтраторов на станциях, расположенных в районе склонов отмелей, прибрежной зоне островов и на кромке шельфа, может рассматриваться как следствие интенсивного водообмена в данном районе. На ст. 61, 62, 69, расположенных на границе с морем Лаптевых и в непосредственной близости от его акватории в прол. Шокальского (ст. 79 и 104), наблюдается частичная смена трофических группировок, в наибольшей степени прослеживаемая по показателям биомассы (см. рис. 3б), в соответствии с которыми доминирующими становятся детритофаги и плотоядные организмы. На большей части исследуемых точек сбора грунтоеды занимают весомые доли от общего состава зообентоса как в отношении количества видов, так и значений биомассы. Однако на мелководьях у северной оконечности арх. Новая Земля, между желобами Святой Анны и Воронина и в центральной части Карского моря их доля становится заметно меньше, что, вероятно, связано с малым содержанием органического вещества в донных осадках.

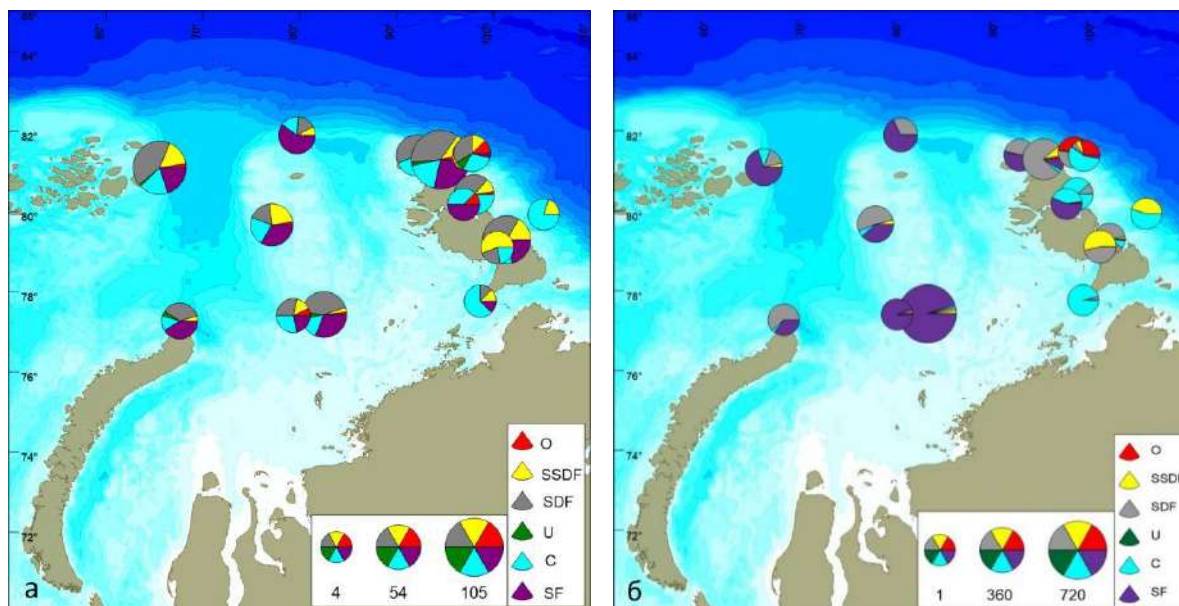


Рис. 3. Соотношение количества видов (а) и биомассы (б) представителей макрозообентоса с разным типом питания на станциях в Карском море и море Лаптевых в 2021 г.: SF – сестонофаг; SDF – детритофаг-собирающий; SSDF – детритофаг-грунтоед; С – плотоядный; О – всеядный; U – неопределенный

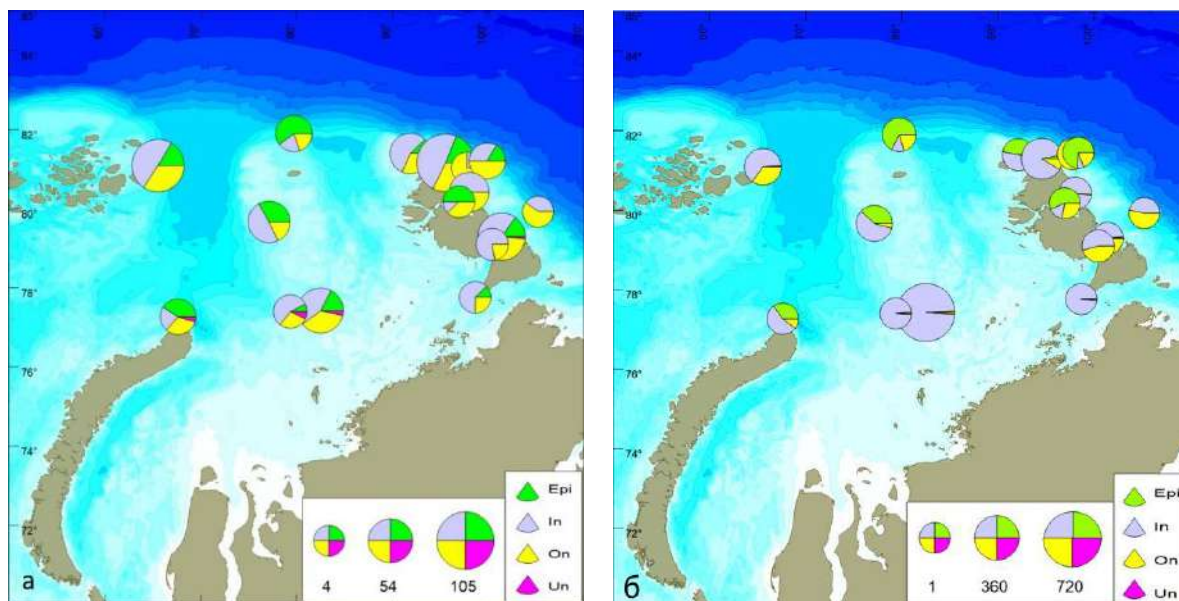


Рис. 4. Соотношение количества видов (а) и биомассы (б) представителей макрозообентоса разных топических групп на станциях в Карском море и море Лаптевых в 2021 г.: Epi – эпифауна; In – инфауна; On – онфауна; Un – неопределенный

В районе арх. Новая Земля донные осадки представлены серой плотной глиной, крупным гравием, камнями с песком и небольшим наилком. Между желобами основу осадков составляет спиккулярный мат, включающий в себя небольшой слой органического осадка. Такие субстраты значительно снижают количество видов (см. рис. 4а), но на большей части станций немалую долю от этих видов и биомассы всего макрозообентоса составляют представители инфауны.

Обилие детритофагов позволяет предположить наличие интенсивного осадконакопления в данных местообитаниях, а высокий процент плотоядных форм (преимущественно падальщиков) может свидетельствовать о неустойчивом функциональном состоянии поселений зообентоса, связанном с каким-либо спонтанным воздействием внешней среды, например, слишком большой вариацией температуры или солености. Это косвенно подтверждается возрастанием роли хищников и некрофагов с увеличением глубины в Карском море на примере *Polychaeta* [3].

Биогеографическая структура анализируемого макрозообентоса указывает на сложную структуру водных масс исследуемых районов. Так, бореально-арктические виды, представленные детритофагами и падальщиками, встречались повсеместно и доминировали над представителями других биогеографических групп как по количеству видов, так и по биомассе (рис. 5), что позволяет рассматривать их в качестве фонообразующих форм.

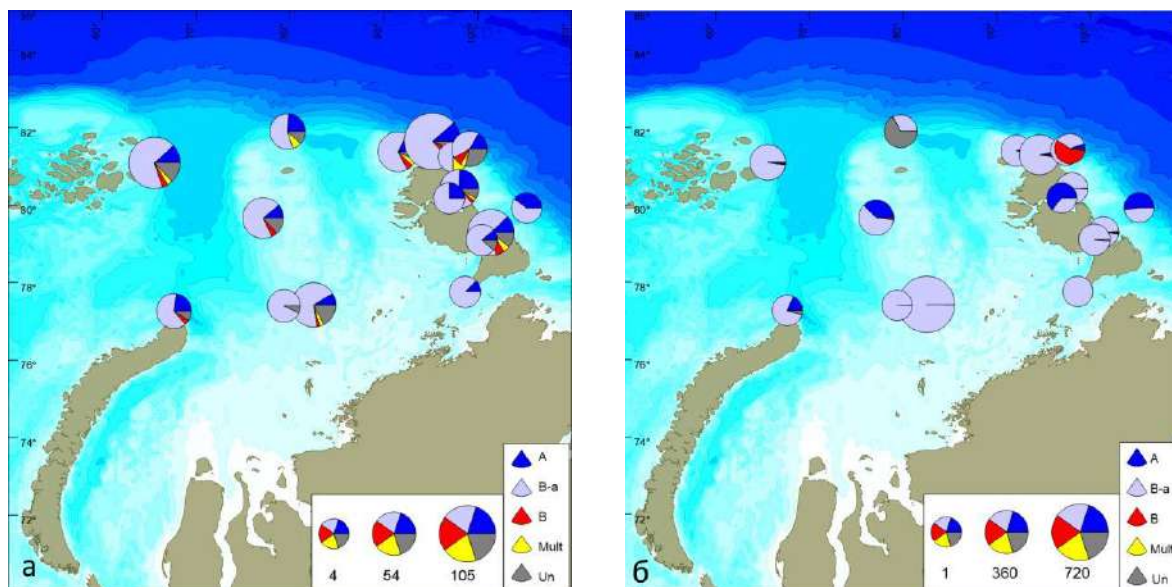


Рис. 5. Соотношение количества видов (а) и биомассы (б) представителей макрозообентоса разных биогеографических групп на станциях в Карском море и море Лаптевых в 2021 г.: А – арктические; В-а – бореально-арктические; В – бореальные; Mult – мультizonальные; Un – неопределенные

Представители и бореальной, и арктической фаун также отмечены во всех трех рассматриваемых районах, но по количеству видов арктическая фауна более разнообразная, чем бореальная. Показатели биомассы бореальных видов преобладали только на ст. 70, где отмечали тепловодный мягкий коралл *Duva florida* (Rathke, 1806), а биомассы арктических – в прол. Красной Армии на ст. 75 и 93. На ст. 75 биомасса в основном сформирована мшанками и полихетами, а на ст. 93 – иглокожими и полихетами. Почти повсеместно встречались паноксанические и космополитные виды, однако их доля в общей биомассе незначительна и не влияет на общую картину количественного распределения макрозообентоса.

Предположения об обусловленности характера распределения таксономического состава, биогеографических и функциональных группировок зообентоса в районе исследований подтверждаются результатами построения неориентированного графа сходства основных биотопов зообентоса на выполненных станциях (рис. 6). Обособленность ст. 53, 69, 70, 75 и 93, формирующих сравнительно компактный блок, хорошо объясняется особенностями внешней среды в каждой из исследованных локаций. Ст. 73, 75, 79, 104 и 109 находятся в проливах, но район ст. 75 отличается от такового ст. 73 (в прол. Красной Армии) тем, что редко освобождается ото льда. Несмотря на то что ст. 79, 104 и 109 относятся к акватории прол. Шокальского, каждая из них находится в отличных друг от друга условиях, но сходных с условиями в других точках сбора, это хорошо отражено графом сходства. Ст. 53, 69, 70 и 93 расположены на материковом

склоне в области смешения нескольких типов водных масс, ст. 70 и 93 выделяются более высокими показателями придонной температуры и солености ($-0,66$ и $-0,36$ °C; 34,75 и 34,78 соответственно). На других станциях (61, 62, 73, 75, 79, 104 и 109) вокруг архипелага температура придонного слоя воды варьирует от $-1,08$ до $-1,59$ °C, а соленость – от 34,36 до 34,62, что обособляет эти локации от всех остальных в районе арх. Северная Земля. Ст. 1, 25, 32, 61 и 62 находятся в прибрежье островов. Наиболее близкие из них на графе локации 1 и 32 располагаются в зоне прямого воздействия атлантических охлажденных вод, а ст. 25, 61 и 62 – на границе смешения арктических и трансформированных атлантических водных масс. Зообентос в проливах и на материковом склоне наиболее беден как в видовом отношении, так и по количественным показателям (исключая ст. 53), которые формируются вследствие заметного влияния плотоядных форм донных беспозвоночных.

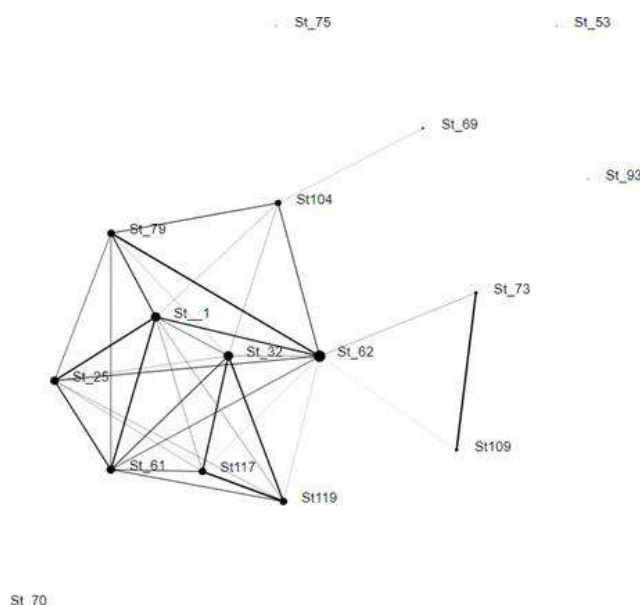


Рис. 6. Неориентированный граф сходства основных биотопов макрзообентоса исследуемого района (диаметр кружков определяет количество связей между биотопами, а сила этих связей (Chord > 55 %) соответствует толщине линий)

Разные участки этого района уже обследовали в других экспедициях. Так, в ходе работ на НИЛ Polarstern в 1995 г. [1] были получены данные со станции у желоба Воронина, расположенной на континентальном склоне на глубине 90 м. Зообентос в этой локации показывает определенное сходство со ст. 61, где по количеству видов и биомассе доминируют Polychaeta, однако в сборах с глубины 124 м обнаружены также представители Bryozoa и Cnidaria, которые не отмечены в материалах в 1995 г. Кроме того, группа иглокожих в нашем материале представлена офиурами и ежами, а не

морскими лилиями. Вероятно, это обусловлено разными глубинами взятия проб.

Станции, расположенные в северо-западной части моря Лаптевых, отличаются достаточно низкими показателями по количеству видов и биомассы, среди которых значительную долю составляют офиуры и полихеты. Данные, полученные в экспедиции Polarstern на тех же локациях, демонстрируют более высокие значения биомассы, но с теми же доминантами [7]. Последнее позволяет заключить, что выявленный в 1993 г. пояс с доминированием офиур и полихет, а также с участием губок, книдарий и двустворчатых моллюсков по-прежнему продолжает существовать, но зарегистрированное снижение биомассы может свидетельствовать о нестабильности сообществ в настоящее время. Заметно более низкие показатели видового разнообразия были отмечены авторами [11], обобщившими результаты исследований нескольких экспедиций в Карское море и море Лаптевых. Наблюдаемое уменьшение может быть связано с климатическими сдвигами, влияющими на структурно-функциональные характеристики донных сообществ.

Данные о макрозообентосе проливов арх. Северная Земля неизменно малочисленны, однако известно, что со стороны моря Лаптевых в проливах формируются сообщества с участием офиур [9]. Последнее не противоречит и нашим результатам, но в целом имеющийся материал демонстрирует несомненное доминирование многощетинковых червей по количеству видов. Различия между фаунами проливов в отношении биомассы могут быть объяснены географическим положением и глубиной. При одинаковых гидрологических параметрах проливов Белоброва, Красной Армии и Шокальского наибольшее фаунистическое сходство демонстрируют проливы Шокальского и Белоброва, которые более мелководны и открыты, чем прол. Красной Армии. Данное заключение подтверждается результатами построения неориентированного графа сходств биотопов, где ст. 75, расположенная в глубине архипелага, оказалась обособленной (см. рис. 6). В биогеографическом отношении фауна проливов представлена в значительной мере бореально-арктическими видами, однако их биомасса ниже таковой арктических видов. Фонообразующим видом по показателям биомассы на ст. 75 является арктический вид мшанок *Alcyonidium pachydermatum* Denisenko, 1996.

Что касается биогеографического разнообразия донной фауны, следует обратить внимание на локацию около северной оконечности арх. Новая Земля, о-вов Визе, Грезм-Белл (арх. Земли Франца-Иосифа) и Шмидта (арх. Северная Земля), расположенных вокруг желоба Святой Анны. Там отмечены виды, характерные для баренцевоморской фауны, что согласуется с исследованиями течений этого района [10, 6]. В центральной

части Карского моря – на восточном отроге желоба Святой Анны на ст. 119 – были встречены только виды бореально-арктической группы, явными доминантами среди которых являются двустворчатые моллюски и многощетинковые черви. На ст. 117 при сохранившейся ведущей роли *Bivalvia* и *Polychaeta* в сообществе прослеживаются элементы фаун арктической и бореальной групп. Судя по данным, полученным С.В. Галкиным с соавторами [5], со станций, расположенных юго-западнее нашей ст. 117, ожидаемыми доминантами должны быть офиуры *Ophiocten sericeum* (Forbes, 1872). Многощетинковые черви *Nothria hyperborea* (Hansen, 1878) на ст. 119, по мнению авторов, характерны для Баренцева моря и зафиксированы ими на разрезе, расположенном значительно западнее, ближе к северной части арх. Новая Земля. В нашем материале *N. hyperborea* встречена на ст. 109, 93, 79, 73 и 62, что свидетельствует о постепенном расширении баренцевоморской фауны в Карском море в юго-восточном направлении. Собранные сведения о доминировании иглокожих и моллюсков около о-ва Грэм-Белл соответствуют результатам, полученными Г.В. Лихачевой с соавторами [4]. Анализ зообентоса из северо-восточной части Карского моря, проведенный В.С. Вязниковой и Н.А. Анисимовой [2], хорошо согласуется с нашими данными в этом районе, несмотря на использование разных орудий лова. Различия в видовых списках по районам исследований могут быть связаны как с высокой степенью мозаичности распределения зообентоса, так и с методикой обработки материала. Тем не менее в распределении зообентоса в одних и тех же районах по материалам разных исследований прослеживаются общие закономерности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Макробентос в северных районах Карского моря и моря Лаптевых, собранный в 2021 г. в ходе экспедиции Arctic Century, в целом не отличается высоким видовым разнообразием, но характеризует большое количество биотопов. Полученные данные свидетельствуют о фонообразующей роли бореально-арктических видов как в отношении количества видов, так и биомассы, которые в различных местах обитания представлены разными экологическими и трофическими группами, с доминированием грунтоедной инфауны. Арктическая фауна встречена почти на каждой станции, однако заметного развития биомассы она достигает лишь в прол. Красной Армии, на склоне шельфа в море Лаптевых, у о-ва Визе и около северной оконечности арх. Новая Земля.

Элементы баренцевоморской фауны становятся наиболее заметными в юго-восточной части Карского моря.

Обилие детритофагов в зообентосе района исследований, по-видимому, обусловлено не только интенсивным осадконакоплением, но и выбором местоположения станций отбора проб, а также лавинно-сезонной седиментацией первичной продукции в районах наиболее продолжительного ледового покрова.

Для центральной части Карского моря (ст. 117), находящейся под влиянием Обь-Енисейского течения, характерны высокие показатели биомассы главным образом благодаря скоплениям моллюсков *Serripes groenlandicus* (Mohr, 1786). На ст. 119, расположенной в зоне влияния Ямальского течения, биомасса значительно ниже, поскольку сообщества представлены более мелкими видами *Bivalvia*. Большая биомасса детритофагов-собирателей и сестонофагов на ст. 117, а также видовой состав фауны макрозообентоса указывают на высокую первичную продуктивность местных вод за счет интенсивного поступления биогенных элементов с материковым стоком.

Благодарность

Авторы благодарят С.Г. Денисенко и Н.В. Денисенко за участие в таксономической идентификации фаунистического материала (*Bivalvia* и *Bryozoa*) и конструктивные критические замечания при подготовке настоящей публикации.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЗИН РАН 125012800918-9 и международного проекта Arctic Century (совместный проект России (ААНИИ), Германии (ГЕОМАР) и Швейцарии (Швейцарский полярный институт)).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Видовой состав и количественное распределение макробентоса в районе желоба Воронина и на прилегающей части континентального склона / Н.А. Анисимова, Е.А. Фролова, П.А. Любин [и др.] // Фауна беспозвоночных Карского, Баренцева и Белого морей (информатика, экология, биогеография) / отв. ред. Г.Г. Матишов. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. – Гл. 2.4.1. – С. 79–92.

2. Вязникова, В.С. Бентос северо-восточной части Карского моря по результатам исследований ПИНРО 2009 г. / В.С. Вязникова, Н.А. Анисимова // Комплексные исследования природы Шпицбергена: материалы междунар. науч. конф. (Мурманск, 27–30 окт. 2010 г.). – М.: Геос, 2010. – Вып. 10: Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики. – С. 40–49.

3. Гагаев, С.Ю. Полихеты (Annelida: Polychaeta) Карского моря / С.Ю. Гагаев // Труды Зоологического института РАН. – 2021. – Т. 325, № 2. – С. 183–196. – DOI 10.31610/trudyzin/2021.325.2.183.
4. Количественное распределение макрозообентоса желоба Святой Анны (Карское море) / Г.В. Лихачева, П.П. Лепихина, П.А. Кузнецов [и др.] // Труды X международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)». – Тверь: ПолиПресс, 2021. – Т. 2 (III). – С. 228–231.
5. Макробентос южной части желоба Святой Анны и прилежащих районов Карского моря / С.В. Галкин, А.А. Веденин, К.В. Минин [и др.] // Океанология. – 2015. – Т. 55, № 4. – С. 677–686.
6. Особенности гидрохимической структуры Карского моря в летний период 2012 г. / О.Ф. Морозова, А.В. Весман, Е.Д. Добротина [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2013. – № 1(95). – С. 61–71.
7. Материалы экспедиционных исследований. Отчет экспедиций на Таймырский полуостров и в море Лаптевых, летом 1993 г. на г/с «Иван Киреев» и л/к «Polarstern» по программе российско-германского сотрудничества. – СПб.: Изд-во ААНИИ, 1993. – 284 с.
8. Сиренко, Б.И. Типы ареалов видов, обитающих в Северном Ледовитом океане (Исследование фауны морей) / Б.И. Сиренко, С.В. Василенко, В.В. Петряшов // Фауна и зоогеография бентоса Чукотского моря. – СПб.: ЗИН РАН, 2008. – Т. 61(69). – С. 221–231.
9. Stratanenko, E.A. Biodiversity and distribution of brittle stars (Echinodermata, Ophiuroidea) in the Kara Sea / E.A. Stratanenko, N.A. Strelkova, I.S. Smirnov // Proceedings of the Zoological Institute RAS. – 2021. – Vol. 325, № 2. – P. 235–247. – DOI 10.31610/trudyzin/2021.325.2.235.
10. Structure and circulation of Atlantic water masses in the St. Anna trough in the Kara Sea / A. Osadchiev, K. Viting, D. Frey [et al.] // Front. Mar. Sci. – 2022. – Vol. 9. – Art. 915674. – P. 1–14. – DOI 10.3389/fmars.2022.915674.
11. Unraveling the effects of environmental drivers and spatial structure on benthic distribution patterns in Eurasian-Arctic seas (Barents, Kara and Laptev Seas) / M.L.S. Hansen, D. Piepenburg, D. Pantiukhin [et al.] // Polar Biology. – 2020. – 43(11). – P. 1693–1705. – DOI 10.1007/s00300-020-02737-9.

УТОЧНЕНИЕ БИОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ПРИ ПОМОЩИ ДАННЫХ ОБ ИХ УСЛОВИЯХ ОБИТАНИЯ

**Д.В. Захаров^{1, 2}, И.Е. Манушин³, Н.А. Стрелкова³, О.Л. Зимина^{1, 4},
К.С. Рольская³, Д.Ю. Блинова³, В.С. Вязникова³, А.С. Кудряшова³,
Л.Л. Йоргенсен⁵, А.В. Голиков⁶**

¹Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

²Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена (РГПУ им. А.И. Герцена), г. Санкт-Петербург

³Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск

⁴Мурманский морской биологический институт РАН (ММБИ РАН), г. Мурманск

⁵Бергенский институт морских исследований (БИМИ), г. Тромсё

⁶Центр океанических исследований им. Гельмгольца, г. Киль

Аннотация. На основе данных о зообентосе, собранных в Северной Атлантике и Арктике в 1921–2023 гг., приводятся усредненные характеристики условий обитания (температура, соленость и глубина) для массовых видов донных беспозвоночных. Приведенные материалы о средней температуре, солености и глубине обитания изучаемых видов будут полезны для уточнения их биогеографических характеристик.

Ключевые слова: Северная Атлантика, Арктика, зообентос, биогеография, температура, соленость, глубина.

ВВЕДЕНИЕ

Разделение животных на зоогеографические группы на основании представленности их популяций в разных биогеографических областях широко используется для описания территориального (биогеографического) статуса вида, изучения влияния климата на распределение биоты, реконструкции расселения организмов и истории формирования фаун.

Зоогеографическая (биогеографическая) характеристика, как правило, дается гидробионту на основании доступных данных о распределении вида донных беспозвоночных в водах Мирового океана. В некоторых случаях привлекаются материалы о температуре, солености и глубине обитания изучаемого вида. Целью данной работы является анализ соотношения усредненных показателей обитания массовых видов донных беспозвоночных и их зоогеографических характеристик.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для данной работы послужили сборы зообентоса с 1921 по 2023 г. в Северной Атлантике (у восточных берегов Америки, Исландии, Фарерских о-вов, побережья Норвегии) и Арктике (Девисов пролив, море Баффина и Лабрадор, Гренландское, Норвежское, Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское моря, Северный Ледовитый океан) в рамках научных рейсов ПИНРО, ММБИ, ЗИН и БИМИ. Кроме этого, привлечены данные, находящиеся в свободном доступе, например, в научной литературе и на сайте проекта Пангея [4]. В работе использована информация из 18 тыс. точек отбора бентосных проб, выполненных дночерпателями, тралами, драгами и другими орудиями лова. Было проанализировано около 450 тыс. записей о регистрации донных беспозвоночных, из них 350 тыс. имели данные о температуре, солености и глубине. Материал собран в диапазоне температур – от 2 до 12 °С, солености – от 0,6 до 36,1 и глубин – от 2 до 1385 м. Большинство проб получены в весенне-осенний период, но также присутствуют данные зимнего периода. Из приведенного в таблице списка видов убраны паразитические и планктонные формы, а также виды, зарегистрированные менее чем в 100 пробах, и виды, имеющие стандартную ошибку для средней температуры более 0,25 °С. Все отмеченные в работе зоогеографические характеристики взяты из литературных источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Приведенные в таблице данные в общих чертах отражают закономерное распределение арктических видов донных беспозвоночных в области пониженных температур, а бореальных – более высоких. Однако отмечен ряд видов, значительно выпадающих из нее, что может указывать на их неточную биогеографическую характеристику; например, бореальные *Astarte crebricostata*, *Duva florida* и арктический *Clymenura polaris*. Сложнее обстоит ситуация с бореально-арктическими видами. Предполагается, что они имеют более широкий температурный диапазон и ареал. Однако, как следует из представленной таблицы, у ряда бореально-арктических видов средняя температура обитания ниже температуры арктических или выше температуры бореальных. У некоторых видов это объясняется распространением преимущественно на малых глубинах; например, *Diastylis sulcata*, у которого средняя температура обитания выше 3 °С, но при этом встречающийся при пониженной солености на глубинах до 30 м или, например, крабы *Hyas araneus* и *H. coarctatus*, имеющие разный характер распространения в Баренцевом море [1]. Первый вид краба в основном обитает в северной и восточной частях моря, на мелководьях,

подверженных зимнему выхолаживанию; второй встречается в западной части моря и маркирует теплые воды атлантического происхождения. Согласно одной из последних сводок о фауне свободноживущих беспозвоночных евразийских морей, эти виды характеризуются как бореальный и арктический соответственно [2], в то время как по приведенным нами данным (см. таблицу) и распределению [1], они должны быть отнесены к группе бореально-арктических и бореальных видов.

Таких случаев достаточно много, поскольку не для всех видов можно найти в литературе биогеографическую характеристику, а зачастую она устарела и требует уточнения. Ситуацию усложняют ошибочные определения видов и их внесение в открытые базы данных [3]. Примером этого могут быть такие виды брюхоногих моллюсков, как *Mohnia simplex* и *Colus pubescens*. Данные виды моллюсков описаны для северо-западной части Атлантики, и скорее всего их регистрация в Баренцевом море основана на неправильной видовой идентификации.

При использовании для биогеографической характеристики только пространственного распределения часто возникает проблема с оценкой ареала вида. Применение усредненных данных об условиях обитания может позволить избежать этих проблем, так как для массовых представителей даже десятки его неверных определений не смогут значительно изменить средние значения температуры, солености и глубины обитания вида гидробионта. Естественно, при условии, что набран достаточно обширный материал о виде.

Список видов донных беспозвоночных с биогеографической характеристикой и усредненными данными об их условиях обитания (температура, соленость и глубина) (данные отсортированы по увеличению значения температуры)

Тип*	Вид	BG**	Кол-во	Температура, °C		Средняя соленость	Средняя глубина, м
				средняя	медиана		
Mol	<i>Portlandia arctica</i>	A	128	0,10 ± 0,19	-0,98	31,7 ± 0,4	97,7 ± 8,0
Art	<i>Haploops laevis</i>	БА	164	-0,42 ± 0,12	-0,89	34,1 ± 0,2	122,8 ± 5,6
Art	<i>Saduria sibirica</i>	A	138	0,50 ± 0,22	-0,73	31,2 ± 0,3	57,0 ± 6,8
Ech	<i>Ocnus glacialis</i>	БА	115	0,22 ± 0,19	-0,7	32,4 ± 0,3	72,9 ± 6,5
Mol	<i>Yoldiella frigida</i>	БА	258	-0,21 ± 0,08	-0,45	34,8 ± 0,1	191,9 ± 4,7
Ann	<i>Paraninoe minuta</i>	БА	170	0,53 ± 0,15	-0,39	34,8 ± 0,1	193,3 ± 7,2
Ech	<i>Molpadia arctica</i>	A	337	0,02 ± 0,07	-0,22	34,7 ± 0,1	253,6 ± 6,6
Art	<i>Cleippides quadricuspis</i>	A	105	0,24 ± 0,17	-0,2	34,9 ± 0,1	498,2 ± 25,7
Ann	<i>Ampharete finmarchica</i>	БА	467	0,41 ± 0,09	-0,2	34,7 ± 0,1	193,2 ± 4,6
Cni	<i>Umbellula encrinus</i>	БА	271	0,04 ± 0,08	-0,19	34,8 ± 0,1	410,1 ± 12,6
Ann	<i>Sphaerodorum gracilis</i>	БА	155	0,25 ± 0,14	-0,16	34,4 ± 0,1	123,5 ± 7,5
Mol	<i>Buccinum angulosum</i>	БА	150	0,22 ± 0,14	-0,14	34,5 ± 0,1	105,9 ± 4,2
Ech	<i>Ophiocten sericeum</i>	БА	1630	0,34 ± 0,04	-0,13	34,7 ± 0,1	205,2 ± 3,0
Ech	<i>Ophiopleura borealis</i>	БА	1367	-0,03 ± 0,03	-0,12	34,8 ± 0,1	267,1 ± 3,5
Ech	<i>Bathyiaster vexillifer</i>	БА	108	0,26 ± 0,14	-0,12	34,9 ± 0,1	542,3 ± 26,5
Art	<i>Byblis gaimardii</i>	БА	291	0,59 ± 0,11	-0,06	34,3 ± 0,1	121,5 ± 4,6

Продолжение

Тип*	Вид	BG**	Кол- во	Температура, °C		Средняя солёность	Средняя глубина, м
				средняя	медиана		
Ech	<i>Gorgonocephalus arcticus</i>	A	1544	0,12 ± 0,03	–0,05	34,7 ± 0,1	251,7 ± 3,2
Cni	<i>Hormathia digitata parasitica</i>	БА	615	0,27 ± 0,07	–0,03	34,5 ± 0,1	217,5 ± 4,9
Ann	<i>Golfingia margaritacea</i>	K	608	0,47 ± 0,08	–0,02	34,7 ± 0,1	170,1 ± 3,5
Ech	<i>Heliogeton glacialis</i>	БА	1589	0,10 ± 0,03	–0,01	34,7 ± 0,1	215,3 ± 2,6
Mol	<i>Nuculana pernula</i>	БА	1722	0,55 ± 0,05	–0,01	34,5 ± 0,1	148,5 ± 2,1
Mol	<i>Frigidoalvania cruenta</i>	A	118	0,34 ± 0,13	0,01	34,7 ± 0,1	158,3 ± 7,5
Art	<i>Aceroides latipes</i>	БА	119	0,66 ± 0,18	0,01	33,8 ± 0,3	173,1 ± 10,4
Art	<i>Diastylis edwardsii</i>	A	110	0,36 ± 0,16	0,02	34,3 ± 0,1	118,8 ± 8,5
Art	<i>Colossendeis proboscidea</i>	A	255	0,22 ± 0,1	0,04	34,3 ± 0,1	227,2 ± 11,3
Art	<i>Saduria sabini</i>	A	1396	0,27 ± 0,04	0,06	34,3 ± 0,1	249,5 ± 3,5
Art	<i>Photis tenuicornis</i>	БА	120	0,49 ± 0,16	0,06	34,4 ± 0,1	111,0 ± 7,3
Ech	<i>Gorgonocephalus eucnemis</i>	БА	812	0,23 ± 0,05	0,07	34,8 ± 0,1	250,3 ± 4,8
Art	<i>Diastylis goodsiri</i>	БА	551	0,36 ± 0,07	0,07	34,7 ± 0,1	201,9 ± 4,0
Mol	<i>Cylichnoides scalptus</i>	БА	209	0,77 ± 0,17	0,09	34,6 ± 0,1	182,8 ± 6,3
Art	<i>Stegocephalus inflatus</i>	БА	753	0,34 ± 0,05	0,12	34,8 ± 0,1	236,0 ± 4,8
Ann	<i>Gattyana cirrhosa</i>	БА	131	0,91 ± 0,21	0,12	34,3 ± 0,1	109,0 ± 7,1
Cho	<i>Ciona intestinalis</i>	БА	312	0,17 ± 0,07	0,13	34,8 ± 0,1	265,8 ± 7,0
Ech	<i>Eupyrus scaber</i>	БА	395	0,47 ± 0,09	0,14	34,7 ± 0,1	211,9 ± 4,3
Ech	<i>Hymenaster pellucidus</i>	A	699	0,53 ± 0,06	0,15	34,8 ± 0,1	291,6 ± 6,2
Mol	<i>Yoldia hyperborea</i>	БА	687	0,67 ± 0,08	0,15	34,0 ± 0,1	109,0 ± 3,3
Ann	<i>Scalibregma inflatum</i>	БА	573	0,68 ± 0,08	0,15	34,4 ± 0,1	149,7 ± 4,1
Ech	<i>Amphiura sundevalli</i>	БА	387	0,56 ± 0,10	0,16	34,6 ± 0,1	152,6 ± 5,3
Mol	<i>Chaetoderma nitidulum</i>	БА	221	0,53 ± 0,13	0,18	34,9 ± 0,1	220,3 ± 5,9
Por	<i>Polymastia thielei</i>	A	112	0,68 ± 0,19	0,18	34,8 ± 0,1	261,9 ± 10,4
Art	<i>Acanthostepheia malmgreni</i>	A	480	0,65 ± 0,10	0,2	34,4 ± 0,1	212,7 ± 5,7
Ech	<i>Lophaster furcifer</i>	БА	713	0,33 ± 0,05	0,21	34,8 ± 0,1	228,9 ± 4,2
Ech	<i>Solaster syrtensis</i>	БА	255	0,5 ± 0,1	0,21	34,8 ± 0,1	216,7 ± 6,1
Art	<i>Chionoecetes opilio</i>	БА	1661	0,57 ± 0,04	0,21	34,6 ± 0,1	200,3 ± 2,3
Mol	<i>Frigidoalvania janmayeni</i>	A	361	0,51 ± 0,08	0,22	34,9 ± 0,1	247,7 ± 3,6
Mol	<i>Margarites costalis</i>	БА	524	0,54 ± 0,08	0,22	34,5 ± 0,1	120,7 ± 3,0
Ann	<i>Aglaophamus malmgreni</i>	БА	585	0,58 ± 0,07	0,22	34,5 ± 0,1	233,9 ± 4,0
Ann	<i>Scoletoma tetraura</i>	БА	127	1,40 ± 0,19	0,23	34,7 ± 0,1	204,5 ± 7,5
Art	<i>Sclerocrangon ferox</i>	БА	1780	0,35 ± 0,03	0,24	34,8 ± 0,1	261,1 ± 2,8
Art	<i>Ektonodistylis nimia</i>	A	110	0,59 ± 0,14	0,24	34,7 ± 0,1	223,3 ± 9,0
Art	<i>Akanthophoreus gracilis</i>	БА	243	1,02 ± 0,16	0,24	34,2 ± 0,1	129,0 ± 6,5
Ech	<i>Psolus phantapus</i>	БА	842	0,80 ± 0,08	0,28	34,8 ± 0,1	176,9 ± 2,6
Cni	<i>Gersemia fruticosa</i>	БА	862	0,60 ± 0,06	0,29	34,6 ± 0,1	216,9 ± 3,7
Art	<i>Eualus gaimardii</i>	БА	914	0,76 ± 0,07	0,3	34,3 ± 0,1	120,9 ± 2,9
Art	<i>Diastylis scorpioides</i>	A	131	0,36 ± 0,15	0,31	34,2 ± 0,1	119,1 ± 6,4
Mol	<i>Astarte acuticostata</i>	БА	114	0,33 ± 0,09	0,33	34,9 ± 0,1	247,2 ± 9,3
Mol	<i>Margarites olivaceus</i>	БА	137	0,77 ± 0,18	0,33	34,3 ± 0,1	143,7 ± 7,7
Mol	<i>Mya truncata</i>	БА	374	0,94 ± 0,12	0,33	34,0 ± 0,1	96,1 ± 3,8
Mol	<i>Colus sabini</i>	A	1823	0,55 ± 0,03	0,34	34,8 ± 0,1	257,9 ± 2,7
Art	<i>Boreonymphon abyssorum</i>	A	290	0,61 ± 0,08	0,34	34,8 ± 0,1	260,8 ± 8,4
Mol	<i>Lepeta caeca</i>	БА	942	0,84 ± 0,07	0,35	34,6 ± 0,1	155,8 ± 2,4
Ech	<i>Myriotrochus rinkii</i>	БА	741	0,58 ± 0,06	0,38	34,2 ± 0,1	190,5 ± 4,1
Pri	<i>Priapululus caudatus</i>	БА	402	0,93 ± 0,11	0,39	34,0 ± 0,1	121,6 ± 4,3
Ech	<i>Ophiacantha bidentata</i>	БА	4591	0,71 ± 0,03	0,4	34,8 ± 0,1	228,0 ± 1,5
Art	<i>Rabilimis mirabilis</i>	БА	133	0,86 ± 0,14	0,4	34,6 ± 0,1	208,1 ± 8,1
Cni	<i>Ptychogena crocea</i>	БА	122	0,61 ± 0,15	0,41	34,9 ± 0,1	240,1 ± 7,0
Pri	<i>Priapulopsis bicaudatus</i>	БА	251	0,77 ± 0,10	0,42	34,8 ± 0,1	235,1 ± 6,7
Mol	<i>Colus turgidulus</i>	БА	197	0,66 ± 0,12	0,44	34,9 ± 0,1	308,4 ± 10,1

Тип*	Вид	BG**	Кол- во	Температура, °C		Средняя соленость	Средняя глубины, м
				средняя	медиана		
Ech	<i>Ophioscolex glacialis</i>	БА	1904	0,72 ± 0,03	0,44	34,9 ± 0,1	277,0 ± 2,5
Mol	<i>Piliscus commodus</i>	Б	116	0,78 ± 0,14	0,44	34,7 ± 0,1	189,7 ± 11,0
Ann	<i>Nereis zonata</i>	БА	270	1,08 ± 0,15	0,44	34,2 ± 0,2	153,9 ± 6,5
Ech	<i>Icasterias panopla</i>	А	2048	0,63 ± 0,03	0,46	34,8 ± 0,1	242,9 ± 1,9
Ech	<i>Urasterias lincki</i>	БА	2878	0,68 ± 0,03	0,46	34,6 ± 0,1	209,6 ± 1,6
Ech	<i>Poliometra prolixa</i>	А	170	0,69 ± 0,12	0,46	34,7 ± 0,1	242,5 ± 12,2
Ech	<i>Poraniomorpha tumida</i>	А	753	0,60 ± 0,05	0,47	34,8 ± 0,1	273,5 ± 4,8
Mol	<i>Buccinum hydrophanum</i>	А	1065	0,68 ± 0,04	0,47	34,9 ± 0,1	238,7 ± 2,9
Mol	<i>Astarte borealis</i>	БА	993	0,95 ± 0,07	0,47	34,0 ± 0,1	91,1 ± 2,1
Ann	<i>Aricidea nolani</i>	БА	263	1,09 ± 0,15	0,47	34,2 ± 0,1	144,8 ± 6,5
Cni	<i>Drifa glomerata</i>	БА	1326	0,80 ± 0,04	0,48	34,8 ± 0,1	249,9 ± 3,5
Ann	<i>Artacama proboscidea</i>	БА	186	0,62 ± 0,12	0,49	34,3 ± 0,1	139,6 ± 7,7
Ann	<i>Enipo torelli</i>	БА	134	0,95 ± 0,20	0,49	34,3 ± 0,1	160,6 ± 8,5
Mol	<i>Astarte crebricostata</i>	Б	224	0,80 ± 0,12	0,5	34,8 ± 0,1	207,5 ± 5,1
Mol	<i>Thyasira gouldii</i>	БА	451	1,09 ± 0,11	0,5	34,1 ± 0,1	127,2 ± 4,5
Art	<i>Anonyx nugax</i>	БА	386	0,76 ± 0,08	0,51	34,5 ± 0,1	179,1 ± 8,5
Art	<i>Sabinea septemcarinata</i>	БА	4484	0,80 ± 0,02	0,52	34,6 ± 0,1	200,4 ± 1,6
Ann	<i>Ampharete borealis</i>	БА	162	0,81 ± 0,13	0,52	34,5 ± 0,1	172,2 ± 8,1
Art	<i>Colossendeis angusta</i>	БА	141	1,18 ± 0,17	0,54	34,7 ± 0,1	284,3 ± 15,9
Mol	<i>Macoma calcarea</i>	БА	1366	1,18 ± 0,07	0,54	34,1 ± 0,1	100,9 ± 1,8
Art	<i>Megamoera dentata</i>	БА	120	1,31 ± 0,22	0,55	34,0 ± 0,1	61,7 ± 4,2
Art	<i>Eudorella emarginata</i>	БА	463	1,08 ± 0,10	0,56	34,5 ± 0,1	165,4 ± 4,6
Mol	<i>Yoldiella lenticula</i>	БА	911	0,96 ± 0,07	0,58	34,8 ± 0,1	217,9 ± 2,6
Art	<i>Brachydiastylis resima</i>	БА	232	1,31 ± 0,17	0,58	33,9 ± 0,1	100,2 ± 5,6
Mol	<i>Musculus niger</i>	БА	300	1,33 ± 0,16	0,58	33,7 ± 0,1	92,7 ± 4,0
Art	<i>Boreonymphon robustum</i>	БА	197	0,81 ± 0,13	0,59	34,8 ± 0,1	286,3 ± 13,7
Ann	<i>Maldane sarsi</i>	БА	1841	0,85 ± 0,04	0,59	34,6 ± 0,1	184,5 ± 2,3
Art	<i>Leucon nasica</i>	БА	275	0,96 ± 0,12	0,59	34,3 ± 0,1	159,1 ± 6,6
Ann	<i>Apistobranchus tullbergi</i>	БА	192	1,09 ± 0,17	0,59	34,0 ± 0,1	107,0 ± 6,3
Mol	<i>Ciliatocardium ciliatum</i>	БА	1971	0,89 ± 0,04	0,61	34,6 ± 0,1	150,1 ± 2,0
Ech	<i>Pontaster tenuispinus</i>	БА	3349	0,98 ± 0,03	0,61	34,9 ± 0,1	271,8 ± 2,0
Cni	<i>Cerianthus lloydii</i>	БА	146	0,98 ± 0,17	0,61	33,9 ± 0,2	108,6 ± 7,2
Cni	<i>Gersemia rubiformis</i>	БА	1120	0,90 ± 0,05	0,62	34,6 ± 0,1	220,0 ± 3,2
Art	<i>Nymphon helleri</i>	А	113	0,91 ± 0,16	0,62	34,9 ± 0,1	244,2 ± 7,5
Mol	<i>Onchidiopsis glacialis</i>	БА	117	0,93 ± 0,15	0,62	34,8 ± 0,1	243,5 ± 10,1
Mol	<i>Yoldiella nana</i>	БА	843	0,96 ± 0,07	0,63	34,8 ± 0,1	222,4 ± 2,9
Mol	<i>Neptunea denselirata</i>	А	169	0,93 ± 0,12	0,65	34,8 ± 0,1	249,2 ± 9,8
Art	<i>Leucon acutirostris</i>	БА	195	1,04 ± 0,15	0,65	34,6 ± 0,1	191,7 ± 6,6
Mol	<i>Cuspidaria arctica</i>	БА	900	0,86 ± 0,05	0,66	34,9 ± 0,1	258,5 ± 2,5
Mol	<i>Buccinum fragile</i>	БА	542	0,99 ± 0,07	0,66	34,8 ± 0,1	179,7 ± 3,7
Art	<i>Lebbeus polaris</i>	БА	1545	1,30 ± 0,06	0,66	34,8 ± 0,1	225,9 ± 3,5
Cni	<i>Duva florida</i>	Б	560	0,88 ± 0,07	0,68	34,9 ± 0,1	242,3 ± 4,5
Ech	<i>Crossaster papposus</i>	БА	1665	1,11 ± 0,05	0,68	34,7 ± 0,1	209,3 ± 3,2
Mol	<i>Parathyasira equalis</i>	БА	1053	0,95 ± 0,06	0,69	34,7 ± 0,1	209,0 ± 2,8
Art	<i>Paramphithoe hystrix</i>	БА	370	1,02 ± 0,09	0,69	34,8 ± 0,1	238,2 ± 6,9
Ann	<i>Cistenides hyperborea</i>	БА	1285	0,99 ± 0,06	0,7	34,4 ± 0,1	176,0 ± 2,9
Ann	<i>Lysippe labiata</i>	БА	751	1,02 ± 0,07	0,7	34,5 ± 0,1	156,3 ± 3,5
Art	<i>Nymphon hirtum</i>	Б	113	1,26 ± 0,20	0,7	34,8 ± 0,1	216,6 ± 7,6
Cho	<i>Cnemidocarpa rhizopus</i>	БА	102	1,29 ± 0,24	0,7	34,1 ± 0,2	176,2 ± 9,9
Ann	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	БА	3156	0,90 ± 0,03	0,71	34,8 ± 0,1	226,8 ± 1,6
Mol	<i>Solariella varicosa</i>	БА	449	1,20 ± 0,11	0,71	33,9 ± 0,1	78,2 ± 2,6
Ech	<i>Ctenodiscus crispatus</i>	БА	5792	0,94 ± 0,02	0,72	34,8 ± 0,1	232,3 ± 1,2
Ech	<i>Pteraster militaris</i>	БА	1105	1,18 ± 0,06	0,74	34,8 ± 0,1	236,2 ± 3,7
Mol	<i>Murex pullus</i>	БА	151	1,07 ± 0,13	0,75	34,9 ± 0,1	259,4 ± 8,8
Mol	<i>Turrisipho lachesis</i>	А	525	1,08 ± 0,07	0,75	34,9 ± 0,1	311,3 ± 6,1

Тип*	Вид	BG**	Кол- во	Температура, °C		Средняя соленость	Средняя глубина, м
				средняя	медиана		
Mol	<i>Ennucula tenuis</i>	БА	1322	1,32 ± 0,07	0,75	34,1 ± 0,1	132,4 ± 2,5
Mol	<i>Dacrydium vitreum</i>	БА	886	1,12 ± 0,07	0,76	34,8 ± 0,1	210,2 ± 2,8
Ech	<i>Molpadia borealis</i>	БА	1890	1,16 ± 0,04	0,76	34,9 ± 0,1	290,1 ± 2,3
Mol	<i>Bathypolypus arcticus</i>	А	369	1,45 ± 0,10	0,76	34,9 ± 0,1	338,2 ± 9,3
Ann	<i>Lumbriclymene minor</i>	Б	325	1,06 ± 0,10	0,77	34,8 ± 0,1	229,8 ± 4,3
Ann	<i>Golfingia v. vulgaris</i>	БА	349	1,06 ± 0,10	0,77	34,8 ± 0,1	202,6 ± 5,3
Ann	<i>Chaetozone setosa</i>	К	627	1,28 ± 0,09	0,77	34,0 ± 0,1	122,0 ± 4,0
Mol	<i>Thyasira sarsii</i>	БА	202	1,55 ± 0,16	0,77	34,2 ± 0,1	120,6 ± 7,5
Art	<i>Arrhis phyllonyx</i>	БА	232	1,17 ± 0,13	0,78	34,8 ± 0,1	220,7 ± 6,1
Mol	<i>Astarte montagui</i>	БА	937	1,58 ± 0,09	0,78	33,4 ± 0,1	77,4 ± 2,0
Por	<i>Polymastia grimaldii</i>	БА	865	1,09 ± 0,06	0,79	34,8 ± 0,1	259,9 ± 3,1
Art	<i>Spirontocaris spinus</i>	БА	962	1,30 ± 0,07	0,8	34,7 ± 0,1	148,3 ± 2,5
Mol	<i>Rossia palpebrosa</i>	БА	901	1,42 ± 0,06	0,81	34,9 ± 0,1	254,9 ± 2,8
Mol	<i>Euspira pallida</i>	БА	1201	1,25 ± 0,06	0,82	34,4 ± 0,1	175,7 ± 3,0
Cni	<i>Hormathia digitata nodosa</i>	БА	154	1,23 ± 0,15	0,83	34,8 ± 0,1	206,9 ± 8,8
Ann	<i>Bradabyssa villosa</i>	БА	276	1,11 ± 0,13	0,84	34,1 ± 0,1	155,4 ± 6,4
Ann	<i>Pista maculata</i>	БА	218	1,33 ± 0,16	0,84	34,6 ± 0,1	166,2 ± 6,1
Mol	<i>Musculus discors</i>	БА	326	1,58 ± 0,15	0,84	34,1 ± 0,1	88,8 ± 5,1
Art	<i>Haploops tubicola</i>	БА	369	0,92 ± 0,10	0,87	34,6 ± 0,1	181,3 ± 5,0
Mol	<i>Similipecten greenlandicus</i>	А	1529	1,09 ± 0,04	0,87	34,8 ± 0,1	257,1 ± 2,6
Mol	<i>Cuspidaria glacialis</i>	Б	151	1,11 ± 0,14	0,87	34,8 ± 0,1	251,4 ± 6,0
Ech	<i>Strongylocentrotus pallidus</i>	БА	2004	1,34 ± 0,05	0,88	34,8 ± 0,1	201,4 ± 2,6
Art	<i>Actinocythereis dunelmensis</i>	БА	135	1,13 ± 0,18	0,9	34,5 ± 0,1	164,7 ± 7,3
Ann	<i>Terebellides stroemii</i>	К	1215	1,15 ± 0,06	0,9	34,3 ± 0,1	159,8 ± 2,8
Art	<i>Ampelisca eschrichtii</i>	БА	490	0,93 ± 0,07	0,91	34,7 ± 0,1	194,9 ± 4,1
Ann	<i>Myriochele heeri</i>	БА	408	1,16 ± 0,10	0,91	34,7 ± 0,1	204,1 ± 4,6
Mol	<i>Margarites groenlandicus</i>	БА	369	1,51 ± 0,13	0,91	34,4 ± 0,1	113,8 ± 4,5
Ann	<i>Brada inhabilis</i>	БА	1283	1,10 ± 0,04	0,93	34,9 ± 0,1	245,9 ± 2,9
Ann	<i>Pherusa plumosa</i>	БА	269	1,12 ± 0,12	0,94	34,7 ± 0,1	171,9 ± 4,9
Ech	<i>Solaster endeca</i>	БА	516	1,32 ± 0,08	0,95	34,8 ± 0,1	172,2 ± 3,4
Ann	<i>Scoletoma fragilis</i>	БА	1086	1,19 ± 0,06	0,97	34,6 ± 0,1	175,8 ± 3,1
Mol	<i>Dendronotus robustus</i>	БА	152	1,01 ± 0,14	0,98	34,6 ± 0,1	164,1 ± 8,3
Ann	<i>Pholoe longa</i>	А	313	1,35 ± 0,12	0,98	34,4 ± 0,1	133,3 ± 5,8
Art	<i>Haploops tenuis</i>	Б	144	1,00 ± 0,15	0,99	34,9 ± 0,1	238,4 ± 6,8
Ech	<i>Leptasterias groenlandica</i>	БА	193	1,01 ± 0,14	0,99	33,2 ± 0,2	97,5 ± 5,4
Ann	<i>Nephtys paradoxa</i>	БА	538	1,31 ± 0,09	1	34,6 ± 0,1	197,3 ± 4,0
Ech	<i>Stegophiura nodosa</i>	БА	506	1,85 ± 0,13	1	32,6 ± 0,1	51,1 ± 2,1
Mol	<i>Astarte elliptica</i>	БА	321	1,46 ± 0,14	1,01	34,2 ± 0,1	98,5 ± 3,6
Bry	<i>Alcyonidium gelatinosum</i>	БА	1022	1,22 ± 0,06	1,02	34,4 ± 0,1	171,7 ± 3,4
Art	<i>Rhachotropis aculeata</i>	БА	344	1,23 ± 0,09	1,02	34,7 ± 0,1	220,2 ± 6,6
Mol	<i>Limneria undata</i>	БА	235	1,44 ± 0,14	1,03	34,5 ± 0,1	204,7 ± 7,5
Art	<i>Nymphon hirtipes</i>	А	877	1,37 ± 0,06	1,04	34,8 ± 0,1	231,2 ± 3,5
Mol	<i>Cylichna alba</i>	БА	697	1,58 ± 0,1	1,06	34,1 ± 0,1	141,2 ± 4,0
Mol	<i>Colus islandicus</i>	БА	819	1,38 ± 0,06	1,07	34,9 ± 0,1	244,5 ± 3,9
Ann	<i>Hamingia arctica</i>	А	484	1,44 ± 0,08	1,07	34,8 ± 0,1	288,0 ± 5,7
Ech	<i>Thyonidium drummondii</i>	Б	116	1,51 ± 0,17	1,07	34,8 ± 0,1	197,3 ± 7,0
Art	<i>Diastylis spinulosa</i>	А	210	1,03 ± 0,12	1,1	34,8 ± 0,1	221,1 ± 6,0
Mol	<i>Curtitoma trevelliana</i>	БА	108	1,35 ± 0,20	1,11	34,3 ± 0,3	181,5 ± 9,2
Art	<i>Pandalus borealis</i>	БА	5681	1,47 ± 0,02	1,11	34,9 ± 0,1	268,9 ± 1,4
Ech	<i>Ophiura robusta</i>	БА	1342	1,39 ± 0,07	1,12	34,6 ± 0,1	150,3 ± 2,5
Mol	<i>Hiatella arctica</i>	БА	1334	1,68 ± 0,07	1,12	34,5 ± 0,1	131,1 ± 2,4
Ech	<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	Б	1469	1,43 ± 0,06	1,15	34,7 ± 0,1	163,6 ± 2,5
Mol	<i>Yoldiella intermedia</i>	БА	1045	1,23 ± 0,06	1,16	34,9 ± 0,1	248,6 ± 2,2
Mol	<i>Volutopsius norwegicus</i>	БА	465	1,39 ± 0,07	1,16	34,9 ± 0,1	232,8 ± 4,8
Ann	<i>Heteromastus filiformis</i>	БА	730	1,44 ± 0,08	1,16	34,4 ± 0,1	179,0 ± 3,9

Тип*	Вид	BG**	Кол- во	Температура, °C		Средняя соленость	Средняя глубина, м
				средняя	медиана		
Mol	<i>Buccinum glaciale</i>	БА	334	1,45 ± 0,11	1,17	34,4 ± 0,1	87,1 ± 2,6
Mol	<i>Admete viridula</i>	БА	494	1,50 ± 0,11	1,17	34,3 ± 0,1	135,7 ± 4,3
Bry	<i>Cystisella saccata</i>	БА	159	1,31 ± 0,16	1,18	34,6 ± 0,1	156,6 ± 6,7
Mol	<i>Batharca glacialis</i>	БА	1884	1,29 ± 0,04	1,2	34,9 ± 0,1	276,8 ± 2,3
Mol	<i>Praephilina finmarchica</i>	БА	471	1,29 ± 0,08	1,2	34,8 ± 0,1	228,5 ± 4,7
Ann	<i>Scoloplos armiger</i>	К	623	1,78 ± 0,11	1,2	33,3 ± 0,1	91,3 ± 3,3
Art	<i>Caecognathia elongata</i>	БА	385	1,21 ± 0,10	1,21	34,8 ± 0,1	198,9 ± 4,0
Ann	<i>Nephasoma a. abyssorum</i>	БА	155	1,26 ± 0,15	1,21	34,8 ± 0,1	229,3 ± 6,6
Ann	<i>Aricidea hartmani</i>	БА	223	1,28 ± 0,12	1,21	34,7 ± 0,1	198,9 ± 5,8
Ann	<i>Brada granulosa</i>	БА	488	1,30 ± 0,06	1,21	34,9 ± 0,1	247,0 ± 4,3
Ann	<i>Euchone papillosa</i>	БА	243	1,30 ± 0,13	1,22	34,8 ± 0,1	234,3 ± 5,3
Ann	<i>Praxillura longissima</i>	БА	296	1,32 ± 0,10	1,22	34,7 ± 0,1	222,4 ± 5,9
Mol	<i>Buccinum scalariforme</i>	БА	820	1,38 ± 0,07	1,22	34,5 ± 0,1	128,4 ± 2,5
Mol	<i>Mendicula ferruginosa</i>	БА	670	1,36 ± 0,08	1,23	34,8 ± 0,1	231,2 ± 3,3
Ann	<i>Terebellides gracilis</i>	А	242	1,21 ± 0,13	1,25	34,7 ± 0,1	195,6 ± 6,3
Ann	<i>Sosane wireni</i>	Б	122	1,31 ± 0,15	1,25	34,8 ± 0,1	246,1 ± 6,7
Art	<i>Philomedes globosus</i>	БА	361	1,43 ± 0,12	1,25	34,5 ± 0,1	159,1 ± 4,3
Mol	<i>Oenopota pyramidalis</i>	БА	129	1,58 ± 0,21	1,25	34,4 ± 0,2	135,6 ± 10,2
Ann	<i>Harmothoe imbricata</i>	БА	287	1,88 ± 0,16	1,25	33,8 ± 0,2	92,6 ± 5,2
Ann	<i>Eteone longa</i>	БА	291	1,73 ± 0,17	1,27	33,7 ± 0,2	121,1 ± 5,6
Mol	<i>Neptunea ventricosa</i>	БА	292	1,89 ± 0,14	1,27	33,8 ± 0,1	69,4 ± 2,7
Mol	<i>Astarte crenata</i>	БА	3123	1,47 ± 0,03	1,28	34,8 ± 0,1	220,3 ± 1,6
Ann	<i>Ophelina cylindrica</i>	БА	196	1,48 ± 0,14	1,28	34,7 ± 0,1	225,9 ± 6,5
Ann	<i>Spio limicola</i>	БА	414	1,55 ± 0,11	1,28	34,3 ± 0,1	124,3 ± 4,5
Mol	<i>Solariella obscura</i>	БА	607	1,75 ± 0,10	1,28	33,7 ± 0,1	86,4 ± 3,2
Ann	<i>Praxillella gracilis</i>	БА	500	1,48 ± 0,09	1,3	34,7 ± 0,1	214,7 ± 4,1
Art	<i>Syrrhoe crenulata</i>	БА	105	1,54 ± 0,21	1,3	34,3 ± 0,1	122,1 ± 9,4
Art	<i>Nymphon stroemi</i>	БА	561	1,61 ± 0,08	1,3	34,9 ± 0,1	256,1 ± 5,5
Ann	<i>Aricidea quadrilobata</i>	БА	231	1,47 ± 0,14	1,31	34,5 ± 0,1	202,3 ± 6,4
Ech	<i>Ophiopholis aculeata</i>	БА	3447	1,69 ± 0,04	1,31	34,8 ± 0,1	208,6 ± 1,9
Cho	<i>Boltenia echinata</i>	БА	226	1,65 ± 0,15	1,32	33,9 ± 0,1	64,5 ± 2,8
Mol	<i>Cryptonatica affinis</i>	БА	1600	1,73 ± 0,06	1,32	34,3 ± 0,1	156,5 ± 3,0
Art	<i>Hyas araneus</i>	БА	2088	1,79 ± 0,05	1,32	34,4 ± 0,1	135,2 ± 2,2
Mol	<i>Ariadnaria borealis</i>	БА	126	1,4 ± 0,2	1,34	34,3 ± 0,1	127,6 ± 7,6
Por	<i>Polymastia mamillaris</i>	БА	239	1,54 ± 0,1	1,34	34,9 ± 0,1	266,2 ± 6,0
Ann	<i>Owenia assimilis</i>	А	230	1,36 ± 0,14	1,35	34,5 ± 0,1	173,3 ± 7,9
Ann	<i>Cossura longocirrata</i>	БА	255	1,65 ± 0,15	1,35	34,3 ± 0,1	143,7 ± 6,6
Ann	<i>Galathowenia oculata</i>	БА	1811	1,59 ± 0,05	1,36	34,4 ± 0,1	170,9 ± 2,4
Ann	<i>Euchone analis</i>	БА	361	1,71 ± 0,13	1,37	34,5 ± 0,1	163,7 ± 5,7
Ann	<i>Phascolion s. strombus</i>	К	1574	1,35 ± 0,05	1,39	34,8 ± 0,1	228,8 ± 2,5
Ann	<i>Leaena ebranchiata</i>	БА	182	1,40 ± 0,15	1,39	34,5 ± 0,1	151,0 ± 7,0
Ann	<i>Polyphysia crassa</i>	БА	101	1,46 ± 0,18	1,4	34,8 ± 0,1	213,6 ± 8,5
Ann	<i>Spiophanes kroyeri</i>	БА	350	1,48 ± 0,09	1,4	34,8 ± 0,1	236,7 ± 4,1
Ann	<i>Chone murmanica</i>	А	368	1,61 ± 0,11	1,4	34,7 ± 0,1	194,0 ± 5,2
Art	<i>Idunella aeqvicornis</i>	А	120	1,24 ± 0,14	1,41	34,9 ± 0,1	256,7 ± 7,4
Art	<i>Sclerocrangon boreas</i>	БА	643	2,06 ± 0,1	1,41	34,3 ± 0,1	106,5 ± 3,5
Ann	<i>Eunoe nodosa</i>	БА	393	1,38 ± 0,11	1,42	34,6 ± 0,1	165,2 ± 4,4
Ann	<i>Nothria hyperborea</i>	БА	1861	1,48 ± 0,05	1,42	34,8 ± 0,1	187,9 ± 2,2
Ann	<i>Glycera capitata</i>	К	364	1,70 ± 0,12	1,42	34,5 ± 0,1	127,4 ± 4,7
Ann	<i>Phyllodoce groenlandica</i>	БА	774	1,72 ± 0,09	1,42	34,1 ± 0,1	126,4 ± 3,5
Cni	<i>Lafoeina maxima</i>	БА	224	1,55 ± 0,16	1,43	34,2 ± 0,1	105,3 ± 5,8
Ech	<i>Ophiura sarsii</i>	БА	4354	1,61 ± 0,03	1,44	34,8 ± 0,1	221,0 ± 1,5
Mol	<i>Propebela rugulata</i>	БА	128	1,81 ± 0,22	1,45	34,1 ± 0,1	107,9 ± 7,4
Art	<i>Diastylis lepechini</i>	А	166	1,32 ± 0,14	1,46	34,7 ± 0,1	180,6 ± 6,6
Ech	<i>Pteraster obscurus</i>	БА	397	1,50 ± 0,09	1,46	34,7 ± 0,1	231,0 ± 7,1

Тип*	Вид	BG**	Кол- во	Температура, °C		Средняя соленость	Средняя, м
				средняя	медиана		
Ann	<i>Nephasoma d. diaphanes</i>	БА	306	1,53 ± 0,10	1,46	34,9 ± 0,1	237,9 ± 4,6
Ann	<i>Anobothrus gracilis</i>	БА	271	1,53 ± 0,13	1,47	34,6 ± 0,1	151,7 ± 5,6
Art	<i>Diastylis rathkei</i>	БА	314	1,51 ± 0,12	1,48	34,3 ± 0,1	163,4 ± 5,7
Ann	<i>Levinsenia gracilis</i>	К	608	1,66 ± 0,09	1,48	34,3 ± 0,1	146,3 ± 4,2
Mol	<i>Thracia myopsis</i>	БА	212	1,78 ± 0,16	1,48	34,3 ± 0,1	139,4 ± 6,4
Ann	<i>Proclea graffii</i>	Б	154	1,84 ± 0,21	1,49	34,4 ± 0,1	161,2 ± 8,0
Ann	<i>Leitoscoloplos acutus</i>	БА	655	1,75 ± 0,09	1,5	34,3 ± 0,1	153,8 ± 4,0
Por	<i>Mycale lingua</i>	БА	119	1,98 ± 0,22	1,5	34,9 ± 0,1	254,8 ± 10,7
Ann	<i>Micronephthys minuta</i>	БА	237	1,79 ± 0,18	1,51	33,4 ± 0,2	112,0 ± 5,8
Ann	<i>Praxillella praetermissa</i>	БА	720	1,98 ± 0,10	1,52	33,9 ± 0,1	136,3 ± 4,0
Art	<i>Calathura brachiata</i>	БА	353	1,54 ± 0,10	1,53	34,9 ± 0,1	245,7 ± 4,9
Ann	<i>Laphania boeckii</i>	БА	434	1,66 ± 0,11	1,53	34,5 ± 0,1	146,9 ± 4,4
Art	<i>Protomedeia fasciata</i>	БА	152	1,98 ± 0,21	1,53	33,7 ± 0,1	62,0 ± 4,3
Mol	<i>Chlamys islandica</i>	Б	2160	1,90 ± 0,05	1,54	34,8 ± 0,1	168,0 ± 2,1
Ann	<i>Nephtys ciliata</i>	БА	819	1,68 ± 0,07	1,55	34,5 ± 0,1	181,3 ± 3,5
Ann	<i>Rhodine gracilior</i>	Б	235	1,70 ± 0,14	1,58	34,2 ± 0,1	121,6 ± 5,8
Ann	<i>Nicomache lumbricalis</i>	БА	570	1,58 ± 0,09	1,6	34,7 ± 0,1	193,3 ± 3,9
Ann	<i>Laonice cirrata</i>	БА	475	1,72 ± 0,10	1,6	34,5 ± 0,1	168,0 ± 4,6
Ann	<i>Melinna cristata</i>	БА	251	1,81 ± 0,12	1,64	34,8 ± 0,1	231,5 ± 5,4
Bry	<i>Callopora craticula</i>	БА	111	1,81 ± 0,18	1,66	34,6 ± 0,1	128,3 ± 8,1
Cho	<i>Pelonaia corrugata</i>	БА	244	2,38 ± 0,19	1,67	33,1 ± 0,2	59,6 ± 3,9
Ann	<i>Nephtys longosetosa</i>	БА	304	2,31 ± 0,16	1,69	32,6 ± 0,3	113,0 ± 5,9
Mol	<i>Stenosemus albus</i>	БА	235	1,74 ± 0,14	1,7	34,5 ± 0,1	118,5 ± 6,5
Ann	<i>Thelepus cincinnatus</i>	К	510	1,75 ± 0,10	1,7	34,6 ± 0,1	144,7 ± 3,7
Bra	<i>Hemithiris psittacea</i>	БА	764	1,94 ± 0,09	1,71	34,5 ± 0,1	123,1 ± 2,1
Ann	<i>Chone duneri</i>	БА	237	1,76 ± 0,15	1,74	34,5 ± 0,1	157,8 ± 6,7
Mol	<i>Axinopsida orbiculata</i>	БА	196	2,28 ± 0,19	1,76	33,9 ± 0,1	116,1 ± 7,2
Bry	<i>Alcyonidium disciforme</i>	А	384	2,46 ± 0,17	1,78	33,4 ± 0,1	123,8 ± 5,9
Ann	<i>Chone infundibuliformis</i>	БА	164	1,82 ± 0,18	1,79	34,5 ± 0,1	148,1 ± 7,1
Ann	<i>Prionospio cirrifera</i>	БА	357	2,03 ± 0,13	1,79	34,4 ± 0,1	183,0 ± 5,6
Ann	<i>Eteone flava</i>	БА	609	2,08 ± 0,10	1,79	34,0 ± 0,1	117,9 ± 3,8
Mol	<i>Siphonodentalium lobatum</i>	БА	554	1,69 ± 0,07	1,81	34,9 ± 0,1	248,5 ± 3,4
Ann	<i>Glyphanostomum pallescens</i>	БА	285	1,72 ± 0,11	1,81	34,8 ± 0,1	236,2 ± 4,4
Cni	<i>Thuiaria articulata</i>	БА	105	1,89 ± 0,18	1,81	34,4 ± 0,2	156,9 ± 8,0
Por	<i>Tentorium semisuberites</i>	А	401	1,97 ± 0,10	1,81	34,9 ± 0,1	294,8 ± 7,6
Art	<i>Gammaropsis melanops</i>	БА	108	1,91 ± 0,23	1,84	34,5 ± 0,1	182,9 ± 9,4
Ann	<i>Saphobranchia longisetosa</i>	БА	242	1,67 ± 0,13	1,85	34,5 ± 0,1	165,3 ± 5,7
Ann	<i>Owenia fusiformis</i>	К	612	2,0 ± 0,1	1,85	34,1 ± 0,1	149,2 ± 4,3
Cni	<i>Lafoea dumosa</i>	БА	516	2,0 ± 0,1	1,86	34,7 ± 0,1	169,6 ± 4,6
Art	<i>Balanus balanus</i>	БА	712	2,27 ± 0,09	1,87	34,4 ± 0,1	93,9 ± 2,2
Cni	<i>Edwardsia fusca</i>	Б	144	1,9 ± 0,2	1,88	34,3 ± 0,1	144,6 ± 8,3
Art	<i>Leucon nathorsti</i>	БА	126	1,96 ± 0,22	1,88	34,6 ± 0,1	171,1 ± 8,1
Bry	<i>Patinella verrucaria</i>	БА	107	1,97 ± 0,20	1,88	34,4 ± 0,1	133,6 ± 8,9
Ann	<i>Capitella capitata</i>	БА	317	2,28 ± 0,15	1,88	33,4 ± 0,2	90,0 ± 4,8
Art	<i>Ampelisca macrocephala</i>	БА	204	2,29 ± 0,19	1,88	33,5 ± 0,2	111,2 ± 7,5
Art	<i>Haploopsis setosa</i>	БА	188	1,85 ± 0,14	1,93	34,9 ± 0,1	238,9 ± 6,5
Ann	<i>Pholoe assimilis</i>	Б	263	2,01 ± 0,16	1,93	34,3 ± 0,1	141,0 ± 5,5
Art	<i>Balanus crenatus</i>	БА	408	2,65 ± 0,15	1,94	34,1 ± 0,1	78,5 ± 2,7
Ann	<i>Ophelina acuminata</i>	БА	347	1,88 ± 0,12	1,95	34,4 ± 0,1	158,7 ± 5,2
Mol	<i>Buccinum cyaneum</i>	Б	122	2,49 ± 0,25	1,95	34,2 ± 0,1	124,0 ± 8,2
Art	<i>Unciola leucopis</i>	БА	253	1,55 ± 0,13	1,98	34,7 ± 0,1	195,8 ± 5,7
Cni	<i>Grammaria abietina</i>	БА	134	2,02 ± 0,17	2	34,7 ± 0,1	166,6 ± 8,2
Ann	<i>Spirorbis spirorbis</i>	Б	112	2,07 ± 0,15	2	34,7 ± 0,1	152,3 ± 6,7
Mol	<i>Beringius turtoni</i>	Б	172	1,91 ± 0,13	2,01	34,9 ± 0,1	289,2 ± 10,7
Cni	<i>Rhizocaulus verticillatus</i>	БА	186	2,20 ± 0,19	2,01	34,5 ± 0,1	118,5 ± 5,5

Тип*	Вид	BG**	Кол- во	Температура, °C		Средняя соленость	Средняя глубина, м
				средняя	медиана		
Art	<i>Pagurus pubescens</i>	БА	2798	2,22 ± 0,04	2,03	34,5 ± 0,1	150,6 ± 2,0
Cho	<i>Ascidia prunum</i>	Б	376	2,38 ± 0,12	2,04	34,9 ± 0,1	260,9 ± 6,5
Ann	<i>Amphicteis gunneri</i>	К	285	2,00 ± 0,12	2,05	34,7 ± 0,1	205,9 ± 6,0
Art	<i>Diastylis glabra</i>	БА	231	2,64 ± 0,20	2,05	32,8 ± 0,2	60,7 ± 5,2
Cni	<i>Urticina felina</i>	БА	216	2,15 ± 0,12	2,06	34,8 ± 0,1	255,6 ± 8,3
Por	<i>Stylocordyla borealis</i>	БА	119	2,47 ± 0,24	2,06	34,9 ± 0,1	307,5 ± 14,1
Mol	<i>Boreoscala greenlandica</i>	БА	156	2,12 ± 0,14	2,07	34,8 ± 0,1	228,9 ± 9,0
Bry	<i>Securiflustra securifrons</i>	БА	275	2,39 ± 0,14	2,07	34,4 ± 0,1	145,6 ± 6,0
Art	<i>Leucon pallidus</i>	БА	120	2,01 ± 0,18	2,1	34,4 ± 0,1	135,8 ± 7,9
Cni	<i>Hormathia digitata</i>	БА	1954	2,10 ± 0,04	2,1	34,8 ± 0,1	223,1 ± 2,6
Cni	<i>Epizoanthus papillosus</i>	Б	106	2,62 ± 0,16	2,1	35 ± 0	296,9 ± 11,7
Bry	<i>Cheilopora sincera</i>	БА	102	2,00 ± 0,19	2,13	34,8 ± 0,1	220,6 ± 9,1
Cho	<i>Styela rustica</i>	БА	227	2,45 ± 0,18	2,13	33,9 ± 0,1	96,6 ± 9,6
Ann	<i>Travisia forbesii</i>	БА	217	2,77 ± 0,19	2,14	33,1 ± 0,2	59,8 ± 4,6
Art	<i>Epimeria loricata</i>	БА	724	2,28 ± 0,06	2,16	35 ± 0	323,0 ± 4,4
Ech	<i>Henricia sanguinolenta</i>	БА	705	2,35 ± 0,08	2,18	34,8 ± 0,1	201,1 ± 3,5
Mol	<i>Boreotrophon truncatus</i>	БА	136	2,43 ± 0,21	2,19	34,2 ± 0,1	81,8 ± 4,9
Cni	<i>Symplectoscyphus tricuspidatus</i>	БА	275	2,40 ± 0,13	2,2	34,4 ± 0,1	122,1 ± 6,1
Cni	<i>Abietinaria abietina</i>	БА	408	2,52 ± 0,10	2,21	34,6 ± 0,1	152,8 ± 5,4
Cni	<i>Actinostola callosa</i>	БА	127	2,25 ± 0,21	2,23	34,8 ± 0,1	290,5 ± 14,7
Ann	<i>Notomastus latericeus</i>	К	219	2,13 ± 0,15	2,24	34,6 ± 0,1	181,2 ± 6,7
Ech	<i>Pteraster pulvillus</i>	БА	584	2,22 ± 0,08	2,24	34,9 ± 0,1	281,6 ± 5,5
Por	<i>Polymastia uberrima</i>	Б	178	2,37 ± 0,16	2,24	35 ± 0	298,0 ± 10,2
Bry	<i>Pseudoflustra solida</i>	А	253	2,05 ± 0,12	2,25	34,9 ± 0,1	235,4 ± 6,2
Mol	<i>Serripes groenlandicus</i>	БА	573	2,90 ± 0,12	2,25	32,8 ± 0,1	44,8 ± 1,4
Art	<i>Harpinia mucronata</i>	БА	113	1,84 ± 0,19	2,26	34,8 ± 0,1	223,4 ± 7,2
Ann	<i>Melinna elisabethae</i>	БА	248	2,21 ± 0,13	2,26	34,6 ± 0,1	195,8 ± 6,1
Cni	<i>Halecium muricatum</i>	БА	258	2,19 ± 0,13	2,28	34,7 ± 0,1	170,8 ± 7,6
Bry	<i>Hornera lichenoides</i>	БА	769	2,41 ± 0,08	2,28	34,9 ± 0,1	250,2 ± 4,1
Por	<i>Myxilla incrustans</i>	БА	107	2,10 ± 0,17	2,3	34,7 ± 0,1	177,3 ± 11,8
Bry	<i>Eucratea loricata</i>	БА	753	2,73 ± 0,10	2,32	33,9 ± 0,1	132,8 ± 3,9
Ann	<i>Micronephthys neotena</i>	Б	194	2,64 ± 0,20	2,34	33,7 ± 0,1	90,9 ± 6,2
Cni	<i>Liponema multicornе</i>	Б	109	2,50 ± 0,18	2,38	34,9 ± 0,1	309,7 ± 15,8
Cni	<i>Edwardsia arctica</i>	БА	119	1,97 ± 0,20	2,39	34,6 ± 0,1	187,1 ± 9,5
Bry	<i>Leieschara coarctata</i>	БА	234	2,24 ± 0,14	2,39	34,7 ± 0,1	204,5 ± 8,2
Mol	<i>Velutina velutina</i>	БА	109	2,50 ± 0,21	2,4	34,7 ± 0,1	164,8 ± 11,4
Bry	<i>Parasmittina jeffreysi</i>	БА	136	2,26 ± 0,14	2,41	34,8 ± 0,1	247,8 ± 7,8
Ann	<i>Saphobranchia hirsuta</i>	БА	181	2,28 ± 0,16	2,41	34,7 ± 0,1	198,7 ± 6,9
Bry	<i>Tricellaria gracilis</i>	БА	183	2,37 ± 0,14	2,41	34,7 ± 0,1	182,9 ± 6,9
Cho	<i>Kukenthalia borealis</i>	БА	128	2,39 ± 0,17	2,41	34,9 ± 0,1	245,7 ± 11,8
Bry	<i>Crisia eburneodenticulata</i>	А	121	2,48 ± 0,24	2,41	34,4 ± 0,1	190,0 ± 9,1
Bry	<i>Diplosolen intricarium</i>	А	108	2,08 ± 0,16	2,42	34,9 ± 0,1	287,9 ± 10,5
Ann	<i>Paramphinoe jeffreysi</i>	Б	242	2,21 ± 0,12	2,42	34,8 ± 0,1	237,0 ± 5,3
Art	<i>Leptostylis villosa</i>	БА	106	2,58 ± 0,20	2,43	34,5 ± 0,1	171,9 ± 10,2
Ech	<i>Leptasterias muelleri</i>	Б	106	2,73 ± 0,20	2,43	34,7 ± 0,1	135,4 ± 7,0
Bry	<i>Infundibulipora lucernaria</i>	БА	118	2,45 ± 0,16	2,46	34,8 ± 0,1	228,6 ± 11,0
Por	<i>Craniella polyura</i>	БА	432	2,28 ± 0,09	2,47	34,9 ± 0,1	272,1 ± 5,3
Ech	<i>Cucumaria frondosa</i>	Б	469	2,82 ± 0,11	2,48	34,7 ± 0,1	139,6 ± 4,2
Por	<i>Thenia muricata</i>	БА	496	2,51 ± 0,09	2,52	34,9 ± 0,1	291,6 ± 5,7
Ann	<i>Nereis pelagica</i>	БА	166	2,86 ± 0,18	2,53	34,5 ± 0,1	135,3 ± 8,1
Mol	<i>Yoldiella lucida</i>	Б	504	2,59 ± 0,07	2,54	34,7 ± 0,1	210,9 ± 3,4
Ann	<i>Maldane arctica</i>	БА	169	2,23 ± 0,14	2,55	34,8 ± 0,1	252,2 ± 6,8
Ann	<i>Clymenura polaris</i>	А	184	3,11 ± 0,23	2,56	33,3 ± 0,1	61,1 ± 5,0
Ann	<i>Ophelia limacina</i>	БА	283	3,12 ± 0,16	2,56	32,9 ± 0,2	56,3 ± 3,3
Mol	<i>Buccinum undatum</i>	Б	181	3,19 ± 0,21	2,56	34,4 ± 0,1	108,9 ± 5,3

Тип*	Вид	BG**	Кол- во	Температура, °C		Средняя соленость	Средняя глубина, м
				средняя	медиана		
Por	<i>Suberites ficus</i>	БА	261	2,27 ± 0,11	2,57	34,7 ± 0,1	192,6 ± 6,7
Mol	<i>Bathyarca pectunculoides</i>	БА	339	2,52 ± 0,09	2,57	34,9 ± 0,1	269,8 ± 5,2
Ann	<i>Cirrophorus branchiatus</i>	БА	209	2,28 ± 0,12	2,58	34,6 ± 0,1	186,5 ± 6,5
Mol	<i>Neptunea despecta</i>	Б	924	2,72 ± 0,06	2,58	34,8 ± 0,1	197,1 ± 3,4
Mol	<i>Puncturella noachina</i>	БА	160	2,99 ± 0,18	2,58	34,6 ± 0,1	169,3 ± 7,4
Ann	<i>Bylgides elegans</i>	БА	175	3,06 ± 0,22	2,6	33,7 ± 0,1	100,7 ± 7,0
Ann	<i>Nephasoma eremita</i>	БА	122	2,78 ± 0,23	2,66	34,5 ± 0,1	131,1 ± 8,1
Mol	<i>Laona quadrata</i>	БА	154	2,94 ± 0,17	2,71	34,2 ± 0,1	153,4 ± 7,6
Cni	<i>Obelia longissima</i>	БА	323	3,30 ± 0,15	2,72	33,4 ± 0,1	74,2 ± 4,8
Ann	<i>Euphrosine borealis</i>	Б	101	2,40 ± 0,19	2,75	34,9 ± 0,1	256,6 ± 12,9
Mol	<i>Beringius ossiani</i>	А	101	2,82 ± 0,17	2,75	35 ± 0	274,8 ± 10,1
Ann	<i>Notoproctus oculatus</i>	Б	133	2,43 ± 0,19	2,78	34,7 ± 0,1	227,7 ± 7,8
Bry	<i>Exidmonea atlantica</i>	БА	276	2,78 ± 0,10	2,79	34,8 ± 0,1	209,9 ± 4,6
Mol	<i>Bulbus smithii</i>	БА	232	2,66 ± 0,11	2,81	34,9 ± 0,1	288,0 ± 8,6
Ann	<i>Paradoneis lyra</i>	Б	112	2,84 ± 0,21	2,83	34,2 ± 0,2	122,7 ± 7,5
Art	<i>Harpinia propinqua</i>	БА	117	2,73 ± 0,17	2,88	34,6 ± 0,1	176,3 ± 7,7
Bry	<i>Dendrobeatia murrayana</i>	БА	119	3,13 ± 0,22	2,88	34,4 ± 0,1	106,1 ± 6,8
Art	<i>Leucon fulvus</i>	БА	157	3,16 ± 0,22	2,88	33,5 ± 0,1	65,8 ± 5,2
Mol	<i>Colus holboelli</i>	БА	147	2,76 ± 0,16	2,91	35 ± 0	349,2 ± 10,6
Ann	<i>Chirimia biceps biceps</i>	Б	314	2,83 ± 0,08	2,92	34,9 ± 0,1	250,0 ± 5,3
Ann	<i>Protula tubularia</i>	К	289	3,02 ± 0,12	2,92	34,8 ± 0,1	196,4 ± 5,5
Ann	<i>Spio armata</i>	Б	154	3,08 ± 0,20	2,95	33,9 ± 0,1	92,1 ± 5,9
Mol	<i>Crenella decussata</i>	БА	458	3,32 ± 0,12	2,96	33,8 ± 0,1	86,5 ± 3,2
Ann	<i>Ampharete lindstroemi</i>	Б	202	3,43 ± 0,21	2,98	33,3 ± 0,2	58,7 ± 4,3
Bry	<i>Retepora cellulosa</i>	БА	229	3,16 ± 0,13	3,03	34,9 ± 0,1	295,8 ± 11,8
Ech	<i>Poraniomorpha hispida</i>	Б	260	3,11 ± 0,13	3,04	35 ± 0	314,9 ± 5,7
Bry	<i>Tricellaria ternata</i>	БА	187	3,46 ± 0,20	3,04	34,0 ± 0,1	112,2 ± 6,4
Por	<i>Craniella cranium</i>	БА	371	2,79 ± 0,12	3,08	34,8 ± 0,1	301,2 ± 8,6
Mol	<i>Cyclopecten hoskynsi</i>	БА	100	2,61 ± 0,21	3,09	34,9 ± 0,1	300,8 ± 13,2
Art	<i>Sabinea sarsii</i>	Б	382	3,29 ± 0,09	3,21	34,9 ± 0,1	238,0 ± 5,7
Ech	<i>Asterias rubens</i>	Б	338	3,62 ± 0,14	3,25	34,5 ± 0,1	121,7 ± 4,6
Cni	<i>Campanularia volubilis</i>	БА	104	3,21 ± 0,23	3,3	34 ± 0,1	93,9 ± 11,3
Bra	<i>Terebratulina retusa</i>	Б	686	3,38 ± 0,07	3,3	34,9 ± 0,1	257,8 ± 4,7
Mol	<i>Buccinum finmarkianum</i>	Б	233	3,46 ± 0,13	3,3	34,8 ± 0,1	245,1 ± 9,7
Ann	<i>Potamilla neglecta</i>	БА	108	3,70 ± 0,18	3,3	34,6 ± 0,1	145,6 ± 7,7
Mol	<i>Scaphander punctostriatus</i>	Б	413	3,34 ± 0,07	3,34	34,8 ± 0,1	217,4 ± 4,8
Ech	<i>Brisaster fragilis</i>	Б	423	3,40 ± 0,06	3,42	35 ± 0	274,2 ± 4,4
Art	<i>Pontophilus norvegicus</i>	Б	565	3,43 ± 0,07	3,45	35 ± 0	341,2 ± 4,4
Ann	<i>Filograna implexa</i>	К	125	3,54 ± 0,15	3,45	34,8 ± 0,1	198,6 ± 7,5
Cni	<i>Hydrallmania falcata</i>	БА	225	3,85 ± 0,19	3,46	33,8 ± 0,1	96,6 ± 6,0
Cho	<i>Eudistoma vitreum</i>	Б	164	3,37 ± 0,17	3,49	34,9 ± 0,1	301,1 ± 11,1
Art	<i>Hyas coarctatus</i>	БА	551	3,63 ± 0,09	3,5	34,9 ± 0,1	252,8 ± 5,1
Mol	<i>Arctica islandica</i>	Б	184	4,01 ± 0,19	3,5	33,6 ± 0,2	59,3 ± 2,5
Ech	<i>Hippasteria phrygiana</i>	Б	496	3,42 ± 0,08	3,53	34,9 ± 0,1	246,2 ± 4,1
Art	<i>Pagurus bernhardus</i>	Б	102	3,65 ± 0,22	3,54	34,8 ± 0,1	233,7 ± 12,1
Cni	<i>Pericladium mirabilis</i>	Б	114	3,77 ± 0,24	3,57	34,3 ± 0,1	101,4 ± 8,7
Mol	<i>Antalis entalis</i>	Б	288	3,84 ± 0,13	3,66	34,8 ± 0,1	196,0 ± 6,2
Art	<i>Rostroculodes borealis</i>	БА	144	3,87 ± 0,23	3,67	33,3 ± 0,1	48,8 ± 3,9
Art	<i>Paralithodes camtschaticus</i>	Б	322	4,12 ± 0,09	3,73	34,4 ± 0,1	112,3 ± 3,6
Por	<i>Polymastia hemisphaerica</i>	Б	274	3,53 ± 0,11	3,76	35 ± 0	328,6 ± 6,5
Cni	<i>Bolocera tuediae</i>	Б	162	3,41 ± 0,15	3,79	34,9 ± 0,1	277,3 ± 9,0
Mol	<i>Heteranomia squamula</i>	БА	313	4,15 ± 0,12	3,81	34,6 ± 0,1	165,6 ± 6,0
Ann	<i>Eunice norvegica</i>	Б	143	4,23 ± 0,16	4,02	34,8 ± 0,1	179,7 ± 9,0
Mol	<i>Mytilus edulis</i>	Б	180	4,30 ± 0,25	4,05	31,9 ± 0,5	76,7 ± 7,1

Тип*	Вид	BG**	Кол- во	Температура, °C		Средняя солёность	Средняя глубина, м
				средняя	медиана		
Por	<i>Tethya norvegica</i>	Б	134	4,15 ± 0,15	4,06	35 ± 0	302,6 ± 11,3
Bra	<i>Macandrevia cranium</i>	Б	535	3,90 ± 0,08	4,08	35 ± 0	255,4 ± 3,9
Ech	<i>Leptychaster arcticus</i>	Б	365	4,12 ± 0,08	4,18	35 ± 0	304,9 ± 5,6
Por	<i>Geodia barretti</i>	Б	200	4,06 ± 0,14	4,22	35 ± 0	319,6 ± 10,3
Mol	<i>Parvicardium pinnulatum</i>	Б	156	4,55 ± 0,17	4,22	34,4 ± 0,1	133,7 ± 8,3
Ann	<i>Placostegus tridentatus</i>	БА	116	4,39 ± 0,15	4,25	34,9 ± 0,1	248,5 ± 10,4
Art	<i>Monoculopsis longicornis</i>	БА	169	4,03 ± 0,22	4,41	33,0 ± 0,2	49,8 ± 4,1
Art	<i>Pandalus montagui</i>	Б	152	4,48 ± 0,20	4,41	34,6 ± 0,1	186,3 ± 11,7
Art	<i>Lithodes maja</i>	Б	139	4,39 ± 0,15	4,45	34,9 ± 0,1	242,2 ± 6,2
Mol	<i>Boreotrophon clathratus</i>	БА	175	4,51 ± 0,22	4,48	34,4 ± 0,1	111,0 ± 6,5
Ech	<i>Ceramaster granularis</i>	Б	350	4,44 ± 0,09	4,5	35 ± 0	311,3 ± 5,5
Mol	<i>Pseudamussium peslutrae</i>	Б	166	4,42 ± 0,13	4,58	35 ± 0	269,8 ± 6,7
Art	<i>Lamprops fuscatus</i>	БА	173	4,39 ± 0,21	4,62	32,6 ± 0,2	37,0 ± 2,6
Por	<i>Geodia macandrewii</i>	Б	137	4,22 ± 0,17	4,64	35 ± 0	319,8 ± 10,5
Ech	<i>Gracilechinus acutus</i>	Б	114	4,82 ± 0,13	4,64	35 ± 0	307,1 ± 6,1
Mol	<i>Astarte sulcata</i>	Б	176	4,59 ± 0,15	4,74	35 ± 0	275,0 ± 7,6
Art	<i>Campylaspis umbensis</i>	БА	104	4,80 ± 0,25	4,92	32,4 ± 0,2	27,7 ± 1,8
Mol	<i>Modiolus modiolus</i>	Б	307	4,66 ± 0,18	5	34,0 ± 0,1	105,3 ± 5,2
Art	<i>Munida sarsi</i>	Б	244	5,31 ± 0,08	5,12	35 ± 0	279,8 ± 5,5
Cni	<i>Thuiaria thuja</i>	Б	160	5,14 ± 0,20	5,4	34,4 ± 0,1	115,7 ± 5,4
Ech	<i>Parastichopus tremulus</i>	Б	127	5,89 ± 0,11	5,7	35 ± 0	271,3 ± 6,4
Mol	<i>Spisula elliptica</i>	Б	109	6,04 ± 0,24	6,5	34,1 ± 0,1	82,0 ± 6,6

*Ann – Annelida; Art – Arthropoda; Bra – Brachiopoda; Bry – Bryozoa; Cho – Chordata; Cni – Cnidaria; Ech – Echinodermata; Mol – Mollusca; Por – Porifera; Pri – Priapulida.

**Биогеографические группы (А – арктический; Б – бореальный; БА – бореально-арктический; К – космополит).

В настоящее время одна из основных проблем – выделение диапазона температуры, характеризующей тепловодность или холодноводность вида. Солёность и глубина будут иметь скорее вспомогательное значение при анализе температуры обитания вида беспозвоночных. Наши данные показали, что по биографической характеристике, приведенной в таблице, средняя температура для арктических видов составила $(1,1 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$, а для бореальных – $(3,1 \pm 0,2) ^\circ\text{C}$. На данный момент самым простым кажется отнесение к холодноводной группе видов со средней температурой встречаемости ниже $1,1 ^\circ\text{C}$, а к тепловодной – выше $3,1 ^\circ\text{C}$. Вопрос уточнения этого диапазона остается открытым для дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные могут быть полезны для уточнения современной биогеографии видов беспозвоночных, особенно в случае наличия разной характеристики в литературных источниках. Также они могут быть использованы для присвоения представленным в работе видам экологических характеристик, основанных не на ареале, а на данных об

условиях обитания, например, таких как: тепловодный–холодноводный, мелководный–глубоководный, морской–солонатоводный и др.

Отсутствие подледных сборов и масштабных исследований в зимний период требует привлечения архивных и современных материалов высокоширотных экспедиций и дрейфующих станций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас мегабентосных организмов Баренцева моря и сопредельных акваторий / Д.В. Захаров, Н.А. Стрелкова, И.Е. Манушин [и др.]; отв. ред. К.М. Соколов; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2018. – 534 с.

2. Иллюстрированные определители свободноживущих беспозвоночных евразийских морей и прилежащих глубоководных частей Арктики / Под ред. Б.И. Сиренко. – М.; СПб.: КМК, 2009. – Т. 1. – 189 с.

3. GBIF – Global Biodiversity Information Facility. – Текст: электронный. – URL: <https://www.gbif.org/> (дата обращения 27.02.2025).

4. Pangaea – Data Publisher for Earth & Environmental Science. – Текст: электронный. – URL: <https://www.pangaea.de/> (дата обращения 27.02.2025).

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОРСКИХ ПАУКОВ И ЕЕ ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Р.М. Зелеев, Е.И. Мясникова

Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), г. Казань

Аннотация. Предложена параметрическая система класса морских пауков (Ruspogonida), основанная на использовании количества подомеров первых трех пар конечностей. Эти значения образуют оси трехмерной таблицы, где известные рода занимают отдельные ячейки или ряды соседних ячеек. В некоторых случаях в одной из них оказывается несколько не всегда родственных групп (биоизотопов), что свидетельствует о параллелизме в путях освоения ими морфопространства системы класса. Ячейки, содержащие биоизотопы, «распаковываются» в других наборах таксономически значимых признаков. Сама система класса морских пауков как отдельная ячейка может быть вложена в рамки вмещающего таксона, например, в систему артропод, для этого необходимо подобрать соответствующие задаче признаки. Выявление апоморфного и плезиоморфного «полюсов» системы морских пауков указывает на траектории филогенетических трансформаций отдельных семейств в пределах класса, а локализация места личинки – протонимфона – также и на онтогенетические трансформации отдельных родов. Полученный вариант системы позволяет определить границы отдельных семейств и отметить в ней места как известных вымерших, так и пока не описанных форм. Этот принцип построения таксономической системы может быть положен в основу определителя, что продемонстрировано на примере видов рода *Nymphon*, обнаруженных в Белом море.

Ключевые слова: морские пауки, параметрическая система, таксономическое пространство Шимкевича, биоизотопы.

ВВЕДЕНИЕ

Морские пауки (Ruspogonida) относятся к своеобразному классу исключительно морских членистоногих, насчитывающему около 1440 видов из более 80 родов и 11 семейств, включаемых в единственный отряд Pantopoda. Они сочетают черты организации как ракообразных, так и хелицеровых – с собственными уникальными признаками: наличие сосущего хоботка, трех пар специализированных придатков (хелифор, пальп и овигеров) и одной пары ходильных ног на цефалосоме, еще, как правило, три пары ходильных ног на особых боковых выростах члеников сомы (с половыми отверстиями – гонопорами – на вторых члениках ног) и очень короткий вторично несегментированный абдомен. Из яиц, вынашиваемых самцами на овигерах, выходят (описанные пока не для всех видов) личинки – протонимфоны (несколько вариантов), несущие, кроме хоботка, еще три пары трехчленистых конечностей. Все это не позволяет

традиционными способами корректно определить их место в системе членистоногих.

Система морских пауков окончательно не устоялась: наряду с описанием новых видов, постоянно меняется объем отдельных родов, часто они переходят из одного семейства в другое, пересматривается степень родства между собой как отдельных родов, так и семейств, а некоторые из них объявляются невалидными в силу их полифилетичности [8]. Этот таксон из-за названных выше причин относится к категории *incertae sedis*, для описания которого приемы иерархической систематики оказываются малоэффективными. Следовательно, морские пауки – удобный модельный объект для отработки методики построения параметрических систем, что и послужило целью работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основе данной работы – результаты сборов морских пауков на Беломорской биологической станции Казанского университета за 2003-2015 гг., а также образцы из зоологического музея университета и несколько экземпляров из Баренцева моря, любезно предоставленных коллегами. Собранный, определенный и синонимизированный [9] материал включал в себя 12 видов из 5 родов и 5 семейств, что ненамного меньше разнообразия всей известной беломорской фауны (19 видов, 8 родов и 5 семейств), составляющей лишь 1,4 % видов, 9,6 % родов и 45,5 % семейств мировой фауны пикногонид. Это обстоятельство вынудило нас использовать для составления параметрической системы необходимые данные, заимствованные у целого ряда отечественных и зарубежных авторов.

Параметрическая систематика это альтернативный иерархическому способ классификации [1], основанный на нескольких руководящих признаках (в иерархической систематике порождает альтернативные системы), служащих осями многомерного таксономического пространства, в котором отдельные подчиненные таксоны занимают определенные зоны в соответствии с количественными значениями используемых признаков. Таковую систему можно отнести к категории естественных, где свойства элемента определяются его положением в системе [3].

Наиболее удобны для визуального восприятия три признака. Для морских пауков такой набор впервые был предложен В.М. Шимкевичем [6], он применил количество подомеров трех передних пар конечностей и создал периодическую систему этого таксона в форме таблиц, вмещавших все известные к тому времени рода, а также включавших пустые ячейки. Некоторые из них впоследствии [2] заняли вновь описанные рода морских пауков. Таким образом, принцип такого построения системы

биологического таксона позволяет делать прогнозы, невозможные при использовании иерархической систематики.

Этот подход, для большей наглядности, мы преобразовали из табличной – в форму трехмерной диаграммы с тремя осями координат («таксономическое пространство Шимкевича»), на которых отмечены численные значения признаков, размещенных в соответствии с их филогенетической полярностью (у членистоногих, как правило, значения признаков численно убывают от плезиоморфного к апоморфному состоянию) и образующих классический рефрен [4]. Весь класс морских пауков может быть представлен в виде ячейки в пространстве других наборов признаков в системе типа членистоногих. Работа над материалом включала в себя составление сводной таблицы о всех родах мировой фауны с указанием известных значений используемых признаков: количества члеников хелифор, пальп и овигеров. Затем эти значения откладывали на отдельных осях соответствующих признаков, как на декартовых координатах морфопространства класса морских пауков, и таким образом визуализировали место отдельных родов и семейств.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты для родов морских пауков с известными значениями используемых признаков сведены в табл. 1, где рода в пределах семейств и семейства (кроме случаев явного родства) приведены в алфавитном порядке.

Таблица 1

Количество члеников первых трех пар придатков
для родов мировой фауны морских пауков

Номер	Род (кол-во видов)	Хелифоры	Пальпы	Овигеры
1	<i>Achelia</i> (101)	2	10–6	10
2	<i>Acheliana</i> (1)	0	9	10
3	<i>Ammonothea</i> (79)	2–0	9–8	10
4	<i>Ammonothella</i> (52)	3	8	10
5	<i>Austroraptus</i> (6)	1	6	10
6	<i>Chonothea</i> (2)	1	1	7/9
7	<i>Cilunculus</i> (34)	2–1	9–8	10
8	<i>Dromedopyscnon</i> (2)	2	6	10
9	<i>Elassorhis</i> (1)	2	2	10
10	<i>Ephyrogymna</i> (1)	3	4	10
11	<i>Hedgpethius</i> (3)	3	8–7	9
12	<i>Hemichela</i> (3)	2	7	10
13	<i>Megarhethus</i> (1)	2	9	10
14	<i>Neotrygaeus</i> (1)	1	7–4	10–6
15	<i>Nymphopsis</i> (16)	3–2	9	10

Номер	Род (кол-во видов)	Хелифоры	Пальпы	Овигеры
16	<i>Oorhynchus</i> (1)	1	9	10
17	<i>Paranympheon</i> (6)	2	7	10
18	<i>Proboehmia</i> (1)	2	9	10
19	<i>Prototrygaeus</i> (3)	3	6	10
20	<i>Scipiolus</i> (6)	2–1	9	10–9
21	<i>Sericosura</i> (16)	1	7	10
22	<i>Tanystylum</i> (50)	2–0*	7–4	10
23	<i>Ascorhynchus</i> (103)	3–2	7–6/10–9**	10–8/10–9
24	<i>Bathyzetes</i> (4)	3	10	10
25	<i>Boehmia</i> (5)	2	8–7	10
26	<i>Calypsopycnon</i> (1)	2	9	10
27	<i>Eurycyde</i> (24)	3	10	10
28	<i>Heterofragilia</i> (5)	3	9	10
29	<i>Nymphonella</i> (3)	1	9	10
30	<i>Pycnofragilia</i> (1)	3	9	10
31	<i>Pycnopallene</i> (1)	2	0	10
32	<i>Colossendeis</i> (101)	0	10–8	10
33	<i>Decolopoda</i> (3)	3	9	9
34	<i>Dodecolopoda</i> (1)	3	9	10
35	<i>Pentacolossendeis</i> (1)	0	10	10
36	<i>Hedgpethia</i> (19)	0	10	10
37	<i>Rhopalorhynchus</i> (21)	0	10–9	10
38	<i>Anoropallene</i> (5)	2	4	10
39	<i>Austropallene</i> (12)	2	0	10
40	<i>Bamberene</i> (1)	3	0	10
41	<i>Callipallene</i> (46)	2	0	10
42	<i>Cheilopallene</i> (10)	2	0	10
43	<i>Cordylochele</i> (3)	2	0	10
44	<i>Neopallene</i> (3)	2	0	10
45	<i>Oropallene</i> (9)	2	4	10
46	<i>Pallenoides</i> (7)	2	0	10
47	<i>Parapallene</i> (29)	2	0	10
48	<i>Propallene</i> (16)	2	2	10
49	<i>Pseudopallene</i> (41)	2	0	10
50	<i>Safropallene</i> (1)	2	0	10
51	<i>Seguapallene</i> (6)	2	0	10
52	<i>Stylopallene</i> (5)	2	0	10
53	<i>Bango</i> (1)	2	5	9
54	<i>Decachela</i> (2)	2	0	10
55	<i>Hannonia</i> (4)	2	0	10
56	<i>Mimipallene</i> (1)	1	0	10
57	<i>Pigrogromitus</i> (1)	3	0	10
58	<i>Pycnothea</i> (2)	0	0	10
59	<i>Queubus</i> (2)	0	0	10
60	<i>Boreonymphon</i> (5)	2	5	10
61	<i>Heteronymphon</i> (10)	2	5	10

Номер	Род (кол-во видов)	Хелифоры	Пальпы	Овигеры
62	<i>Neonymphon</i> (2)	2	4	10
63	<i>Nymphon</i> (335)	2	5	10
64	<i>Pentanympion</i> (1)	2	5	10
65	<i>Sexanympion</i> (1)	2	5	10
66	<i>Bathypallenopsis</i> (33)	3	0	9
67	<i>Pallenopsis</i> (104)	2	0	7
68	<i>Endeis</i> (28)	0	0	7
69	<i>Anoplodactylus</i> (180)	2	0	7–5/9–7
70	<i>Phoxichilidium</i> (42)	2	0	5
71	<i>Phoxiphilyra</i> (3)	2	0	5
72	<i>Pycnosomia</i> (4)	2	0	6
73	<i>Pentapycnon</i> (5)	0	0	10
74	<i>Pycnogonum</i> (105)	0	0	0/9–4
75	<i>Rhynchothorax</i> (24)	1–0	6–5	10
76	<i>Austrodecus</i> (59)	0	6	10
77	<i>Pantopipetta</i> (19)	0	9–7	10

Примечание. Порядковые номера родов, относящихся к семейству Ammotheidae – 1–22; Ascorhynchidae – 23–31; Colossendeidae – 32–37; Callipallenidae – 38–52; Pantopoda incertae sedis – 53–59; Nymphonidae – 60–65; Pallenopsidae – 66–67; Endeidae – 68; Phoxichilidiidae – 69–72; Pycnogonidae – 73–74; Rhynchothoracidae – 75; Austrodecidae – 76–77.

*Изменчивые в пределах рода признаки указаны в направлении от плезиоморфного к апоморфному состоянию.

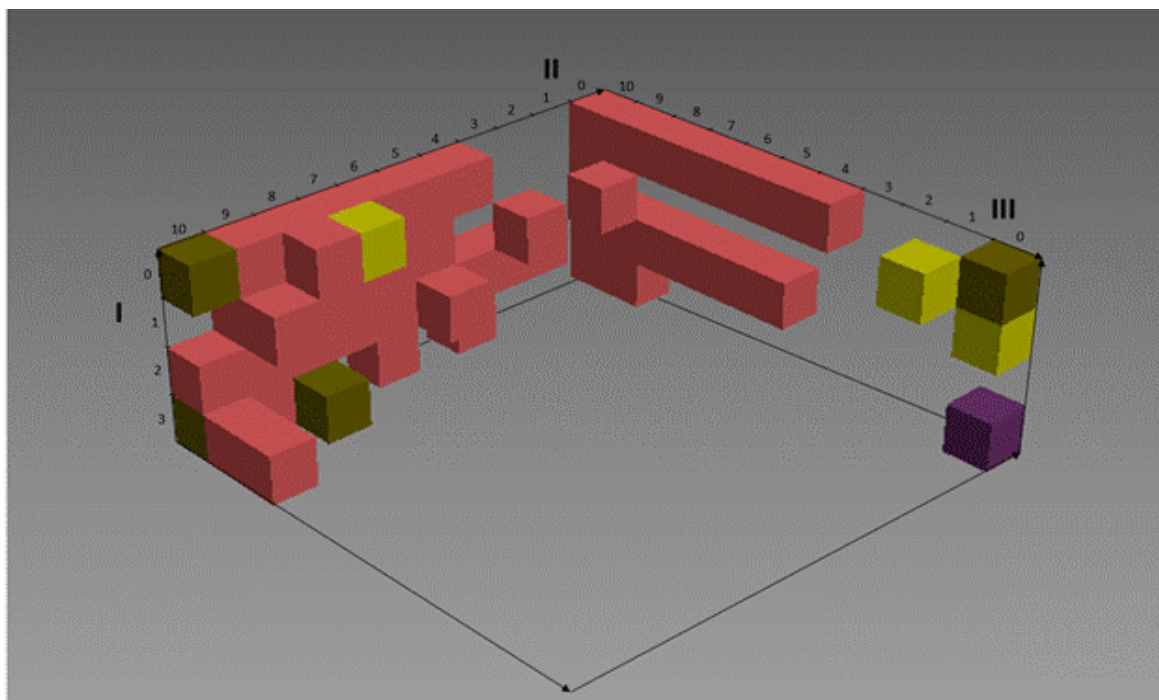
**В случае полового диморфизма значения признака самка/самец.

Из данных, приведенных в таблице, следует, что ареалы многих родов морских пауков перекрываются, при этом отдельные семейства существенно различаются размахом изменчивости по используемым признакам. Так, семейство Ammotheidae охватывает зону, занимающую 44 пространственных ячейки (монотипичный род *Neotrygaeus* включает 20 ячеек), в то время как у одного из наиболее богатых видами (354 вида из 6 родов) семейства Nymphonidae – всего 2 ячейки (2/5/10 и 2/4/10). Это семейство разделяет ячейки с биотопами – представителями рода *Tanystylum* из семейства Ammotheidae, а также родами *Anoropallene* и *Oropallene* из Callipallenidae. Согласно правилам параметрической систематики [1], столь плотно заселенные ячейки следует «распаковать» в другом, соответствующем этим задачам наборе признаков.

Представленные в таблице значения используемых признаков родов морских пауков показаны в форме трехмерной фигуры на рисунке.

Как следует из рисунка, известные рода и семейства морских пауков занимают (красный цвет) в основном две грани потенциального пространства признаков, оставляя почти не занятыми четыре другие грани и практически все его внутренние части, что является зоной эволюционных

запретов пока неизвестной природы. В пределах занятых граней заметны вакантные ячейки, которые в ходе дальнейшего изучения разнообразия этого таксона могут быть заняты вновь открываемыми родами.



Параметрическая система морских пауков. Римскими цифрами отмечены оси морфопространства морских пауков: I – количество члеников хелифор; II – количество члеников пальп; III – количество члеников овигеров. Остальные пояснения в тексте

Основная траектория филогенеза морских пауков, как можно предположить на основании приведенного рисунка, ориентирована от левого нижнего, «плезиоморфного» полюса системы к правому верхнему, «апоморфному». Вымершие рода морских пауков полностью вписываются в рамки изменчивости современных форм, причем некоторые из них освоили незанятые рецентными формами ячейки (на рисунке светло-горчичный цвет), другие стали биоизотопами в уже занятых ячейках (темно-горчичный цвет). Их локализация в пространстве соответствует не только плезиоморфным состояниям используемых признаков (для форм из силура и девона), что ожидаемо, но и апоморфным состояниям. Иными словами, некоторые вымершие формы морских пауков, например, *Palaeoendeis* успели завершить морфологическую эволюцию по рассматриваемым признакам еще в юрском периоде мезозоя [7]. Наличие рецентных форм в «плезиоморфном» полюсе системы свидетельствует или о чрезвычайно низких темпах их эволюции, или о циклическом характере морфогенеза у морских пауков.

Вымершие формы морских пауков часто отличаются от рецентных особыми признаками: дополнительной парой ходильных ног на цефалосоме у *Palaeoisopus* или 6-сегментным абдоменом у *Pentapantopus*. Оба рода имеют девонский возраст и располагаются в самой «плезиоморфной» ячейке. В этой же ячейке находится рецентный род *Eurycyde* с уникальным признаком – поперечной перетяжкой на дистальном конце хоботка.

У ряда современных родов также есть специфические признаки, например, полимерные (10–12-ногие) формы, встречающиеся независимо в трех разных семействах (*Colossendeidae*, *Nymphonidae* и *Rysnogonidae*) и отличающиеся от ближайших родов и видов дополнительными члениками сомы с соответствующими парами ходильных ног. Другой известный пример – рода *Austrodecus* и *Pantopipetta* из семейства *Austrodecidae*, образующего подотряд *Stiripasterida*, на основании строения хоботка, состоящего не из трех, как у остальных пикногонид, а только из двух антимеров. По другим признакам эти два рода отличаются настолько, что помещаются отдельными авторами в разные семейства. По-видимому, указанные особенности строения хоботка возникли в этих родах также независимо.

Морских пауков традиционно [6] разделяют на две крупных группы по общим пропорциям тела, выделяя грацильные формы, способные даже парить в толще воды, и придонные с достаточно компактным телом. Примеры из первой группы – представители семейств *Phoxichilidiidae*, *Callipallenidae* и *Nymphonidae*, второй – *Ammonotheidae*, *Colossendeidae* и *Rysnogonidae*. Примечательно, что эти группы независимо освоили обе указанные выше грани таксономического пространства класса морских пауков. Большинство известных родов расположено на грани, характеризующейся близким к максимальному, количеством члеников овигеров (плоскость, образуемая осями I и II), а другую освоенную грань занимают в основном два семейства – *Phoxichilidiidae* и *Rysnogonidae* – соответственно из первой и второй групп.

Все названные выше примеры указывают на важность учета такого признака, как характер тагмозиса и его варианты для составления наиболее полного представления о морских пауках и особенно о их месте в системе членистоногих. На основании ряда черт внешнего сходства морских пауков объединяют с хелицеровыми, однако анализ гомологий отдельных члеников тела и их придатков у представителей разных классов членистоногих заставляет в этом усомниться [5]. Особенно это заметно при анализе строения типичного хоботка пикногонид, образуемого выростами двух разных сегментов цефалосомы, между которыми (судя по характеру иннервации) находится еще и сегмент, несущий хелифоры. Непарный дорсальный антимер хоботка (возможно, гомологичный верхней губе)

вместе со своим члеником располагается впереди от ротового отверстия, а остальные части хоботка – за ним.

Еще больше запутывают ситуацию с возможными гомологиями особенности строения глазного бугорка на спинной стороне цефалосомы, несущего две пары простых глазков, а у некоторых форм – дополнительную пару рудиментарных глазков и/или чувствительные образования неясной природы. Если каждому из этих образований исходно должен соответствовать нерв и отдельный сегмент тела, то о гомологии хелифор и пальп пикногонид хелицерам и педипальпам хелицерат говорить не приходится.

Наконец, морские пауки с гонопорами на вторых члениках ходильных ног занимают особое положение в типе членистоногих. Примечательно, что количество гонопоров в ходе прогрессивной эволюции уменьшается спереди назад, параллельно с редукцией количества члеников первых трех придатков морских пауков. Это является одним из проявлений правила Уэвелла: в естественных системах упорядоченность элементов сохраняется при смене классификационных признаков [4]. Таким образом, морские пауки не имеют никакого отношения к хелицерным, и все черты сходства следует отнести к параллелизмам или конвергенциям [5].

Личинка морских пауков – протонимфон – также может быть помещена в используемом пространстве разнообразия класса – в ячейку 3/3/3, имея на первой стадии универсальный набор из трех трехчленистых пар личиночных конечностей. Но поскольку настоящие пальпы и овигеры у них отсутствуют и закладываются только после резорбции второй и третьей пар личиночных ног, правильнее онтогенетические траектории для отдельных родов начинать от ячейки 3/0/0 (окрашена на рисунке фиолетовым цветом). Затем в зависимости от родовой принадлежности протонимфоны испытывают различные изменения в количестве члеников этих трех придатков, образуя целый веер траекторий от плезиоморфного до апоморфного полюса системы (что в целом дает вектор, противоположный вектору филогенетических изменений). Так, у представителей родов морских пауков без хелифор во взрослой стадии (*Acheliana*, *Colossendeis*, *Hedgpethia*, *Endeis*, *Rusnagonum* и др.) они исчезают вместе с другими личиночными конечностями и далее не появляются. Возможно, более полное изучение онтогенетических изменений количества члеников этих придатков у представителей разных родов и семейств позволит уточнить их родственные связи и изменить современные представления о всей системе пикногонид.

Перегруженность биоизотопами отдельных ячеек таксономического пространства морских пауков требует их распаковки в специфических наборах признаков. Мы сделали попытку такой распаковки для

представителей рода *Nymphon*, попавших в ячейку 2/5/10, что может быть важным не только для корректного разделения неродственных биоизотопов, но и для возможности создания определителя. Для этой цели выбрали признаки, хорошо представленные в родовых диагнозах и сочетающие родовую специфичность и стабильность проявления, независимо от пола, возраста или ареала обитания, – с достаточным размахом выраженности у разных представителей этого рода. Такими признаками являются соотношение грацильности/компактности формы тела, количество пар ходильных конечностей, степень вооружения восьмого (дистального) членика ходильной ножки. Последний признак может быть для дифференциации видов рода *Nymphon*, дополнительно – соотношение длины члеников пальп и вооруженность перистых шипов на последних члениках овигеров.

Сопоставление выраженности указанных признаков у доступных для изучения 11 видов этого рода из беломорской фауны позволило сформировать последовательности редукции их значений (рефрены), которые могут использоваться для создания определителя. Для признака «вооруженность подошвы 8-го членика ходильной ноги» она следующая: 1. крупные шипы в базальной части → 2. крупные шипы в базальной и средней части → 3. крупные шипы в средней части → 4. крупные шипы в дистальной части → 5. мелкие шипы по всей поверхности.

Следующий признак (соотношение длины члеников пальп) при подобном разделении значений: 1. 2-й членик равен 3-му, 4-й меньше или равен 5-му → 2. 2-й членик больше 3-го, 4-й меньше или равен 5-му → 3. 2-й членик меньше 3-го, 4-й значительно короче 5-го → 4. 2-й членик больше или равен 3-му, 4-й очень короче 5-го → 5. 2-й членик значительно короче 3-го, 4-й меньше 5-го.

Значения третьего из выбранных признаков (вооруженность перистых шипов на дистальных члениках овигеров) мы ранжировали следующим образом: 1. много базальных шипов и несколько (6–7) крупных зубцов → 2. несколько (5–6) базальных шипов и 3 крупных зубца → 3. две пары базальных шипов и несколько крупных зубцов → 4. одна пара базальных зубцов → 5. небольшое количество (6–7) средней величины зубцов → 6. лишь мелкие зубчики.

Результаты определения выраженности признаков всех рассмотренных нами видов рода *Nymphon* представлены в табл. 2 в порядке понижения их значений начиная с первого. Следует отметить, что для большинства видов свойственны специфичные сочетания этих показателей, свидетельствующие об удовлетворительной «распаковке» ячейки.

Представленный вариант «распаковки» ячейки, включающей род *Nymphon* до видового уровня, следует считать предварительным и в

дальнейшем, по мере получения дополнительной информации о других видах этого рода, можно добавить в систему новые данные и/или иной набор признаков. Для детализации таких ячеек параметрической системы морских пауков допустимо использовать другие удобные признаки, например, пропорции и относительные размеры хоботка, количество гонопор, характер хетотаксии и другие.

Таблица 2

Значения дифференцирующих признаков для изученных видов рода *Nymphon* фауны Белого моря

Вид и подвид рода <i>Nymphon</i>	Подощва 8-го членика ног	Отношение длины члеников пальп	Перистые шипы по группам
<i>Nymphon serratum</i>	5	2	6
<i>Nymphon stroemii</i> *	5	1	5
<i>Nymphon micronyx</i>	4	4	5
<i>Nymphon longitarse</i>	3	4	1
<i>Nymphon micrirhynchum</i>	3	3	1
<i>Nymphon brevirostre</i>	2	5	1
<i>Nymphon grossipes</i>	2	3	1
<i>Nymphon mixtum</i>	2	1	1
<i>Nymphon rubrum</i>	2	1	1
<i>Nymphon spinosum hirtipes</i>	1	2	2
<i>Nymphon hirtum</i>	1	2	2

*Жирным курсивом отмечены виды, признаки которых изучены на материале собственных сборов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный вариант параметрической системы морских пауков демонстрирует прогностические возможности, полностью отсутствующие в распространенной повсеместно иерархической систематике. Как пример естественной системы, она позволяет точно локализовать вновь открываемые формы и прогнозировать заполнения вакантных ячеек в пространстве вероятных состояний выбранных признаков. Использованное нами «таксономическое пространство Шимкевича», образованное количеством сегментов первых трех придатков (хелифоры, пальпы, овигеры), включает все известные рода морских пауков, расположенные на двух из шести возможных гранях, и практически отсутствующие во внутреннем пространстве системы.

Вымершие формы также легко вписываются в систему, образуя скопления как в плезиоморфном, так и в апоморфном полюсах системы. Исходя из общей для всех членистоногих эволюционной тенденции, выражающейся в редукции значений полимерных признаков, интегральное

направление филогенетической траектории для морских пауков представляет собой вектор, идущий от плезиоморфного полюса к апоморфному, поэтому можно предположить или очень медленный темп эволюции для рецентных форм из плезиоморфного полюса, или циклический характер морфогенеза у морских пауков, поскольку «апоморфный» полюс ими был освоен уже в юрском периоде мезозоя.

Включение в параметрическую систему морских пауков их личинки – протонимфона – дает возможность визуализировать не только филогенетические, но и онтогенетические траектории морфологических трансформаций отдельных родов в рамках выбранного варианта системы. Детальное изучение этого вопроса может уточнить степень родства отдельных родов и семейств и позволит пересмотреть всю систему этого класса.

Параметрическая систематика допускает включить весь класс морских пауков в систему вмещающего таксона – типа членистоногих в качестве одной или нескольких ячеек с применением другого синдрома признаков, по всей видимости, связанного с особенностями тагмозиса. В свою очередь, случаи попадания в одну ячейку «пространства Шимкевича» нескольких, часто неродственных родов, вызывают необходимость подбора признаков, необходимых для «распаковки» биоизотопов в других признаковых пространствах. Нами продемонстрирован такой подход на ячейке, включающей в себя род *Nymphon*, что может быть использовано при создании определителя беломорских видов этого рода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зелеев, Р.М. Алгоритм создания параметрической системы биологического таксона / Р.М. Зелеев // XXVIII Любищевские чтения. 2014. Современные проблемы эволюции и экологии: сборник материалов международной конференции (Ульяновск, 7–9 апреля 2014 г.). – Ульяновск: УлГПУ, 2014. – С. 31–39.

2. Лозина-Лозинский, Л.К. Современные представления о «периодической системе» Pantopoda В.М. Шимкевича и об эволюции в этой группе / Л.К. Лозина-Лозинский // Зоологический журнал, 1982. – Т. 61, вып. 4. – С. 485–499.

3. Любищев, А.А. Систематика и эволюция / А.А. Любищев // Проблемы формы, систематики и эволюции организмов. – М.: Наука, 1982. – С. 67–82.

4. Мейен, С.В. Основные аспекты типологии организмов / С.В. Майен // Журнал общей биологии. – 1978. – Т. 39, № 4. – С. 495–508.

5. Старобогатов, Я.И. Филогения и система членистоногих / Я.И. Старобогатов // Успехи современной биологии. – 1991. – Т. 111, № 6. – С. 828–839.
6. Шимкевич, В.М. Многоколенчатые (Pantopoda) / В.М. Шимкевич // Фауна СССР и сопредельных стран преимущественно по коллекциям Зоологического музея Академии наук СССР. – Л.: Просвещение, 1930. – Вып. 2. – С. 225–554.
7. Charbonnier, S. New sea spiders from the Jurassic La Voulte-sur-Rhône Lagerstätte / S. Charbonnier, J. Vannier, B. Riou // Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences. – 2007. – Vol. 274, № 1625. – P. 2555–2561.
8. Studying sources of incongruence in arthropod molecular phylogenies: sea spiders (Pycnogonida) as a case study / J. Arabi, C. Cruaud, A. Couloux, A. Hassanin // Comptes Rendus Biologies. – 2010. – Vol. 333. – Iss. 5. – P. 438–453.
9. World Register of Marine Species (WoRMS): website and databases / Flanders Marine Institute. – URL: <http://marinespecies.org/index.php> (дата обращения 10.12.2024).

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗООБЕНТОСА НА ДРЕЙФУЮЩЕЙ СТАНЦИИ «СЕВЕРНЫЙ ПОЛЮС-41» (2022–2024 гг.): МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

О.Л. Зими́на^{1, 2}, Р.Б. Самсонов³

¹Мурманской морской биологический институт РАН (ММБИ РАН), г. Мурманск

²Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

³Арктический и антарктический научно-исследовательский институт
(АНИИ), г. Санкт-Петербург

Аннотация. Отобрано и обработано 107 количественных и 106 качественных проб зообентоса в период дрейфа станции «Северный полюс-41» в Центральном Арктическом бассейне в 2022–2024 гг. Полученные данные позволят оценить и сравнить качественный и количественный состав фауны и его изменение в разных районах Полярного бассейна. Обсуждаются методические особенности сбора материала в условиях дрейфующей станции.

Ключевые слова: Полярный бассейн, зообентос, ракообразные.

ВВЕДЕНИЕ

Глубоководная часть Центрального Арктического бассейна остается одним из наименее изученных районов Северного Ледовитого океана вследствие труднодоступности из-за круглогодичного ледяного покрова. Данные о глубоководной донной фауне Северного Ледовитого океана получены в разные годы преимущественно в экспедициях на ледокольных судах («Седов», «Литке», «Обь», «Лена», Polarstern, Oden и другие) [2–7]. Использование ледокола позволяет в короткие сроки попасть в необходимый район даже в условиях тяжелой ледовой обстановки. Сборы донной фауны проводили во время работы советских дрейфующих станций «Северный полюс» в 1950–70-е годы (СП-2, СП-3, СП-4, СП-22) и американской ТЗ [1]. Формат дрейфующих станций позволяет выполнять круглогодичные наблюдения, однако маршрут дрейфа определяется направлением течений и преобладающих ветров и зависит от района начала дрейфа. Отбор проб донной фауны на глубинах свыше 1000 м среди дрейфующих льдов технически сложен и сопряжен с рядом трудностей: необходимость использования тяжелого пробоотборника, постоянный дрейф льдов и низкая температура. Поэтому, несмотря на значительное количество экспедиций, материал о донной фауне фрагментарен, и в каждой новой экспедиции получают новые данные о распространении и экологии зообентоса.

Все имеющиеся к настоящему времени сведения о фауне глубоководных районов Арктического бассейна были систематизированы в ряде работ [5–7]. Главная проблема, как отмечают авторы, это разнородность использованных орудий сбора, разная детализация обработки собранного материала, неравномерность временного и пространственного охвата района, что затрудняет анализировать материал, строить схемы организации донных сообществ и выявлять степень влияния климатических изменений и сокращения ледяного покрова на донные сообщества Арктического бассейна. В связи с этим актуальной задачей является организация систематических наблюдений за состоянием экосистемы Арктического бассейна. Ее реализация стала возможна во время работы дрейфующей станции «Северный полюс-41», организованной ФГБУ «ААНИИ» на базе ледостойкой самодвижущейся платформы (ЛСП) «Северный полюс». Использование в качестве базы для организации станции специально сконструированного судна, оснащенного всем необходимым грузоподъемным оборудованием для применения тяжелых пробоотборников (большой бокс-корер и драга) и лабораториями для обработки и первичного анализа собранных проб, позволяет круглогодично на протяжении маршрута дрейфа отбирать и обрабатывать пробы донных отложений со всего диапазона глубин. Формат дрейфующей станции не предполагает активного выбора маршрута передвижения, однако генеральное направление дрейфа ледовых полей пересекает Арктический бассейн с востока на запад, позволяя охватить равномерными исследованиями все основные формы донного рельефа. Скорость дрейфа (0,1–1,0 уз) является оптимальной для проведения как точечных отборов бокс-корером, так и относительно протяженных тралений драгой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В ходе дрейфа станции «Северный полюс-41» в 2022–2024 гг. отобраны качественные и количественные пробы зообентоса на глубинах 800–4700 м в южной части хребта Ломоносова, котловине Амундсена, на хребте Гаккеля, в котловине Нансена и на континентальном склоне к северу от архипелагов Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и Шпицберген (рис. 1). Всего обработано 107 количественных и 106 качественных проб зообентоса.

Количественные пробы получали с помощью большого бокс-корера (площадь короба 50×50 см) в однократной повторности на каждой станции. Однократная повторность связана с тем, что рабочий цикл с бокс-корером на глубинах свыше 1000 м занимает значительное время – до 5 ч от погружения до подъема на борт. За это время (в зависимости от скорости дрейфа) судно проходит большое расстояние и пробы уже нельзя считать

повторностями для одной станции. Для анализа зообентоса отбирали подпробу площадью 32×50 см, которую промывали и анализировали, качественные пробы – посредством биологической драги, сконструированной во время экспедиции. Размер входного отверстия жесткой рамы драги составлял 50×20 см, размер ячеей внутренней сети – 0,5 мм, длина сети – 180 см, продолжительность траления – 30-60 мин в зависимости от скорости дрейфа. Весь объем донного осадка из бокс-корера и драги промывали забортной водой через капроновое сито с ячейей размером 0,5 мм.

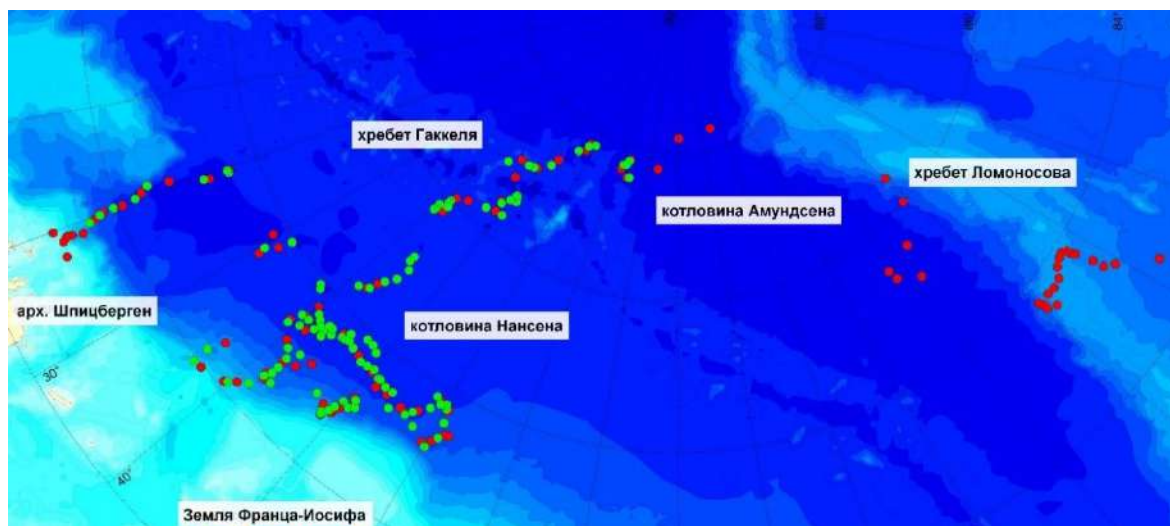


Рис. 1. Расположение точек отбора проб бентоса в экспедиции «Северный полюс-41».
Красные кружки – бокс-корер; зеленые – малая драга

Первичная разборка проб была в лаборатории сразу после промывки. Животных отделяли от грунта и сортировали по таксономическим группам для дальнейшей идентификации. Всех полихет, сипункулид, асцидий, немертин и кишечноротовых фиксировали 4 %-ным нейтрализованным формалином, остальных – 95 %-ным этанолом. Различные типы фиксации обусловлены особенностями дальнейшей работы с материалом, в частности для обеспечения возможности молекулярно-генетических исследований и сохранения структуры известковых покровов животных. При дальнейшей обработке определяли общее количество таксонов в пробе, количество экземпляров каждого таксона и биомассу (с точностью до 0,0001 г). Полученные значения численности и биомассы из количественных проб суммировали по станции и пересчитывали на площадь 1 м². Отбор и первичная разборка проб сделаны авторами.

Статистическую обработку и построение графиков осуществляли в программе MS Excel, карты – в программе MapViewer 8.

В настоящее время материал находится в обработке, поэтому представлены предварительные данные на примере группы Crustacea как

наиболее богатой видами и местами доминирующей по биомассе и численности. Идентификацию проводила О.Л. Зимина. Ракообразные встречены в 86 количественных и 101 качественной пробах.

Отбор и промывка бентосных проб в условиях высокоширотной Арктики во время дрейфа во льдах сопряжены с рядом сложностей, вызванных как климатическими факторами, так и техническими возможностями дрейфующей платформы.

Работы с тяжелым пробоотборным оборудованием вели в кормовой зоне судна, где располагается рабочая палуба, лебёдки и П-рама для вывода оборудования за корму. Рабочая зона изолирована от окружающей среды специальной транцевой крышкой, которая при необходимости забортных работ открывается для вывода оборудования с помощью П-рамы в майну, а в промежутках между работами закрывается в целях предотвращения выхолаживания ангара для научных исследований, где расположен еще ряд лабораторий. Чтобы была возможность спускать тяжелые пробоотборники за борт за кормой организовали майну, в целях минимизации замерзания (при постоянной отрицательной температуре воздуха) ее прикрывали специальной крышкой с нагревательным элементом (рис. 2). Это позволяло тратить меньше времени на очистку майны ото льда при периодическом использовании оборудования.

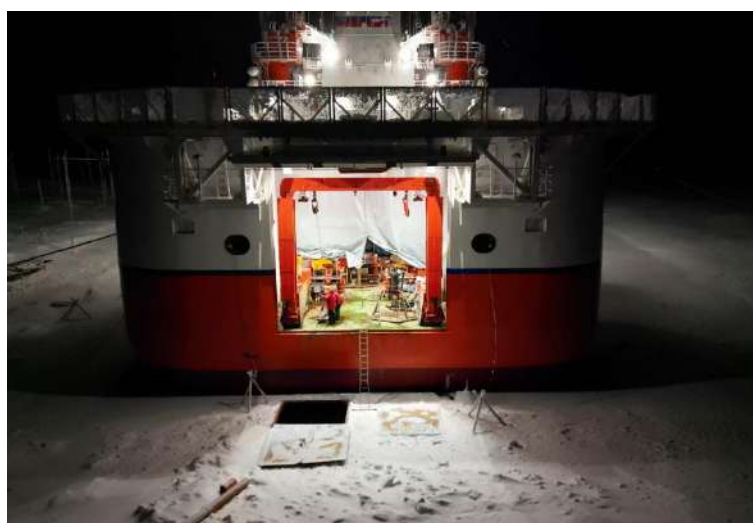


Рис. 2. Общий вид организации майны для погружения пробоотборников за кормой

Важным моментом в процессе промывки бентосных проб является обеспечение безопасного стока грязной воды. В связи с тем, что для промывки проб используется проточная забортная вода, объем стока очень велик, и сброс воды за борт на ледовый покров невозможен, так как это приводит к растеканию большого количества грязной воды по палубе и льдине, а также к подтоплению зон вокруг кормовых рабочих майн, у трапа

и борта, что недопустимо для нормального функционирования дрейфующей станции.

Для комплексного решения проблемы утилизации грязной воды непосредственно в майну без разбрызгивания и оптимизации процедуры промывки послойных проб грунта силами начальника экспедиции К.В. Фильчука и специалистов биологического отряда О.Л. Зиминной и Р.Б. Самсонова была сооружена конструкция, сочетающая в себе классический промывочный стол для бентоса и систему водоотведения. Также модифицировали крышку майны, так как в условиях низкой температуры воздуха ее нельзя держать открытой долгое время во избежание быстрого замерзания поверхностной воды и необходимости снова выпиливать или долго чистить. Промывочная система конструктивно состоит из трех частей:

- верхней полубочки со съемной решеткой и большим овальным отверстием в нижней части для стока воды и грунта (оно установлено на прямоугольную раму с четырьмя ножками, в нижней части которых есть соединительные штифты, они стыкуются с соответствующими отверстиями в аналогичной раме);

- нижней полубочки со встроенной стойкой из четырех ножек и кольца, на которое крепится капроновая промывочная сеть, с отверстием в торцевой части, к нему присоединен широкий резиновый шланг;

- широкой фановой трубы, ее вставляют в специальное отверстие в крышке майны, в которую погружается резиновый шланг от нижней полубочки.

Конструкция является разборной, что необходимо в процессе работы (рис. 3).



Рис. 3. Общий вид системы для промывки бентосных проб (а, б) и организация стока воды (в)

Процесс работы с промывочной системой выглядит следующим образом. Необходимый слой грунта из короба бокс-корера лопатой или шпателем перекалывают на верхнюю решетку стола с крупными отверстиями (5 и 10 мм). Этот слой постепенно размывается струей заборной воды из шланга. Размытый грунт медленно поступает в нижнюю часть системы, а именно в капроновое сито. Когда на верхней решетке не остается глины и ила (возможно, сохраняются только камни крупнее 1 см или крупные животные), решетку снимают, переворачивают и весь остаток также смывают в нижнюю часть. Затем полностью снимают верхнюю часть стола, домыывают остатки грунта в капроновой сети до тех пор, пока в ней не будет только фракция грунта крупнее 0,5 мм и животные. После этого промытый остаток перекалывают в пронумерованное пластиковое ведро и заливают водой или фиксатором, стол снова собирают и весь цикл повторяется со следующим слоем грунта. Для удобства и предотвращения промерзания грунта в коробе, что может осложнить выемку следующего слоя, грунт можно предварительно разложить по пронумерованным пластиковым тазам и залить водой.

Такая система промывки оказалась очень эффективной. Проблема утилизации сточной воды с остатками грунта была решена – вся вода собирается в нижней полубочке и по резиновому шлангу уходит в майну под крышку, не разбрызгиваясь и не растекаясь по льду. При этом транцевая крышка может быть как полностью открыта (при оптимальной температуре за бортом), так и почти закрыта (при очень низкой температуре воздуха) для предотвращения выхолаживания ангара.

Для создания оптимальной температуры внутри рабочей зоны при полузакрытой крышке использовалась дизельная тепловая пушка с воздухопроводом, так как низкая температура воздуха не позволяла избежать обледенения промывочной сети и промерзания грунта в бокс-корере за весь цикл полной промывки последнего, что могло занимать 3–4 ч.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В обработанном материале обнаружены представители 13 типов донных беспозвоночных. По результатам таксономической обработки группы Crustacea в исследованном районе идентифицировано 196 таксонов ракообразных (145 таксонов в количественных пробах и 133 в качественных). Таксономический состав незначительно различался в качественных и количественных пробах. В основном эти различия касаются групп Amphipoda и Decapoda. В качественных пробах шире представлены активно плавающие беспозвоночные.

Доминирующими по биоразнообразию группами ракообразных являются Amphipoda (54 таксона), Isopoda (43 таксона), Tanaidacea (23 таксона) и Cumacea (21 таксон).

Наибольшая частота встречаемости в целом по району характерна для танаид *Pseudotanaeis affinis* (32 %) и *Chauliopleona hastata* (22 %), изопод *Exilinisculus hansenii* (28 %) и *Cryodesma agnari* (18 %). По частоте встречаемости указанных видов зообентоса в качественных и количественных пробах разница небольшая, что обусловлено несхожей площадью сбора (площадь количественной пробы из бокс-корера составляет 32×50 см, а приблизительная площадь облова драгой – не менее 50×200 см) и соответственно вероятностью попадания организмов в улов. Особенно это выражено на абиссальных глубинах, где плотность поселения беспозвоночных крайне низка.

Разнообразие и количественные параметры фауны ракообразных на участках исследованного района тоже отличаются в зависимости от глубины (рис. 4). Максимальная численность видов зафиксирована на малых глубинах (800–2000 м) на вершине хребта Ломоносова и в верхней части континентального склона к северу от архипелагов ЗФИ и Шпицберген. Здесь отмечено от 15 до 40 таксонов ракообразных на станцию. С увеличением глубины разнообразие резко снижается и на глубинах 3500–4000 м встречается не более 1–3 таксонов ракообразных. В среднем по всему району на станциях наблюдались 7 ± 1 таксон. Биомасса и численность также уменьшаются с увеличением глубины. Значения биомассы варьируют от 0,0006 до 1,053 г/м² (в среднем $0,137 \pm 0,025$ г/м²), численности – от 4 до 2800 экз./м² (в среднем 170 ± 45 экз./м²), максимальные параметры зафиксированы на вершине хребта Ломоносова и в верхней части склона к северу от архипелагов ЗФИ и Шпицберген, а минимальные – в ложе котловин Амундсена и Нансена. Выявлено повышение биомассы ракообразных на глубинах 1500–2500 м (см. рис. 4), на склонах хребта Ломоносова и к северу от архипелагов Шпицберген и ЗФИ, где, вероятно, складываются благоприятные трофические условия для формирования продуктивных сообществ. Здесь зафиксированы поселения крупного кумового рака *Diastylis polaris* и амфиподы *Neohela monstrosa*. Кроме того, в этом диапазоне глубин развиваются поселения губки *Thenaea abyssorum*.

Понижение количественных характеристик донной фауны с увеличением глубины в Полярном бассейне отмечали и ранее. Это связано с ухудшением трофических условий, замедленными продукционными процессами в пелагиали и подледном слое в центральной части Арктического бассейна [4, 6, 7].

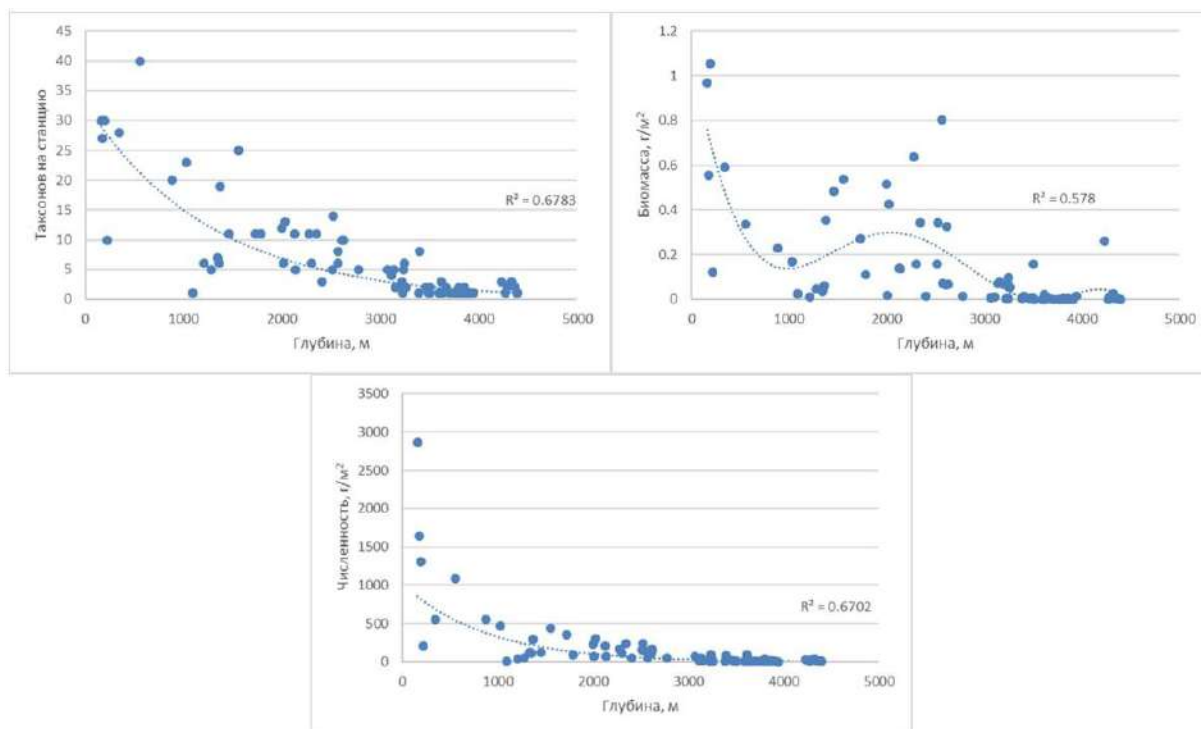


Рис. 4. Зависимость количественных характеристик фауны ракообразных от глубины. Линии тренда построены на основе функций аппроксимации – экспоненциальной для численности и таксономического богатства и полиномиальной 6 степени для биомассы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дрейфа станции «Северный полюс-41» собран богатый качественный и количественный материал, который позволит оценить современный состав и структуру донных сообществ Центрального Арктического бассейна. На примере донных ракообразных подтверждены тенденции к снижению количественных параметров с увеличением глубины. Дальнейшая обработка всех таксономических групп даст возможность оценить эти закономерности для сообществ зообентоса в целом.

Собранный массив данных отличается широким и относительно равномерным пространственным и временным охватом. Сбор и первичная обработка материала проведены по единой методике. Эти данные закладывают хорошую основу для дальнейших исследований и оценки возможного влияния климатических изменений на донные сообщества Центрального Арктического бассейна.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев, И.Ф. К вопросу об исследованиях глубоководной донной фауны Канадской котловины Арктического бассейна /

И.Ф. Афанасьев, З.А. Филатова // Биология Центрального Арктического бассейна. – М.: Наука, 1980. – С. 219–229.

2. Горбунов, Г.П. Донное население Новосибирского мелководья и центральной части Северного Ледовитого океана / Г.П. Горбунов // Труды дрейфующей экспедиции Главсевморпути на ледокольном пароходе «Г. Седов» 1937–1940 гг. – М.–Л.: Изд-во Главсевморпути, 1946. – С. 30–136.

3. Колтун, В.М. Исследования донной фауны Гренландского моря и центральной части Арктического бассейна / В.М. Колтун // Научные результаты высокоширотных океанографических экспедиций в северную часть Гренландского моря и прилегающие районы Арктического бассейна в 1955–1958 гг. – М.; Л.: Транспорт, 1964. – С. 13–78. (Труды ААНИИ; Т. 259).

4. Deep water communities of the Laptev Sea and adjacent parts of the Arctic Ocean / B.I. Sirenko, S.G. Denisenko, H. Deubel [et al.] // Explorations of the Fauna of the Seas. – 2004. – Vol. 54, № 62. – P. 28–73.

5. Diversity of the arctic deep-sea benthos / A.B. Bluhm, W.G. Jr Ambrose, M. Bergmann [et al.] // Marine Biodiversity. – 2011. – Vol. 41, № 1. – P. 87–107. – DOI 10.1007/s12526-010-0078-4.

6. Patterns and trends of macrobenthic abundance, biomass and production in the deep Arctic Ocean / R. Degen, A. Vedenin, M. Gusky [et al.] // Polar Research. – 2015. – Vol. 34: 24008. – DOI 10.3402/polar.v34.24008.

7. Spatial distribution of benthic macrofauna in the Central Arctic Ocean / A. Vedenin, M. Gusky, A. Gebruk [et al.] // PLoS ONE. – 2018. – Vol. 13(10): e0200121. – DOI 10.1371/journal.pone.0200121.

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И МИКРОСТРУКТУРЫ РАКОВИНЫ *ARCTICA ISLANDICA* (L. 1767) (BIVALVIA: ARCTICIDAE) ГУБЫ ЧУПА БЕЛОГО МОРЯ

С.А. Кириллова¹, А.В. Беспярых¹, В.Г. Евтюгин^{1,2}, Р.М. Зелеев¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), г. Казань

²Междисциплинарный центр «Аналитическая микроскопия», г. Казань

Аннотация. В работе представлены результаты комплексного исследования эколого-биологических характеристик и микроструктуры раковины моллюска *Arctica islandica* (L. 1767), обитающего в губе Чупа Белого моря. Основное внимание уделено изучению размерно-возрастной структуры популяции, а также проведению элементного анализа раковины для оценки влияния факторов окружающей среды на организм животного. Дополнительно исследована микроструктура раковины, что позволило выявить взаимосвязь между условиями обитания и особенностями роста моллюсков.

Работа включает описание методов сбора материала, обработки данных и интерпретации результатов. Полученные сведения имеют важное значение для понимания адаптационных механизмов *A. islandica* к условиям Белого моря и могут быть использованы для мониторинга состояния экосистемы региона.

Ключевые слова: Белое море, *Arctica islandica*, двустворчатые моллюски, микроструктура раковины, возраст раковины, размер раковины, элементный состав раковины.

ВВЕДЕНИЕ

Раковина *Arctica islandica* (Linnaeus, 1767), известная как исландская циприна, представляет собой атлантический субтропическо-бореальный вид двустворчатых моллюсков, который используется промыслом в водах Северной Атлантики.

Особую значимость этот моллюск приобрел благодаря исключительной продолжительности жизни среди неколонизальных животных [4] и медленному росту взрослых особей [5], возраст которых превышает 500 лет у самых старых известных [2, 4].

Точно определить возраст моллюска сложно, особенно после достижения им 10 лет, когда рост раковины замедляется до менее 1 мм в год [3], поэтому перспективнее использовать методы определения возраста по внутренним слоям раковины [5].

Учитывая долголетие раковины *A. islandica*, важно исследовать изменение ее элементного состава. Известно, что живые организмы способны накапливать различные элементы в своих структурах, таких как

скелет или раковина [1]. Элементный состав раковины может служить индикатором условий среды обитания моллюска.

Таким образом, целью нашего исследования является поиск подходов к определению точной возрастной структуры беломорской популяции *A. islandica*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал собирали во время студенческих летних практик в 2018–2021 гг. на Беломорской биологической станции (ББС) «Беломорская»: 9 станций в акватории губы Чупа (сублитораль западной и северо-западной сторон о-ва Большой Горелый, о-ва Матренин, губы Лебяжья, северо-запада о-ва Боршовец и запада о-ва Луда-Черемшиха) (рис. 1).

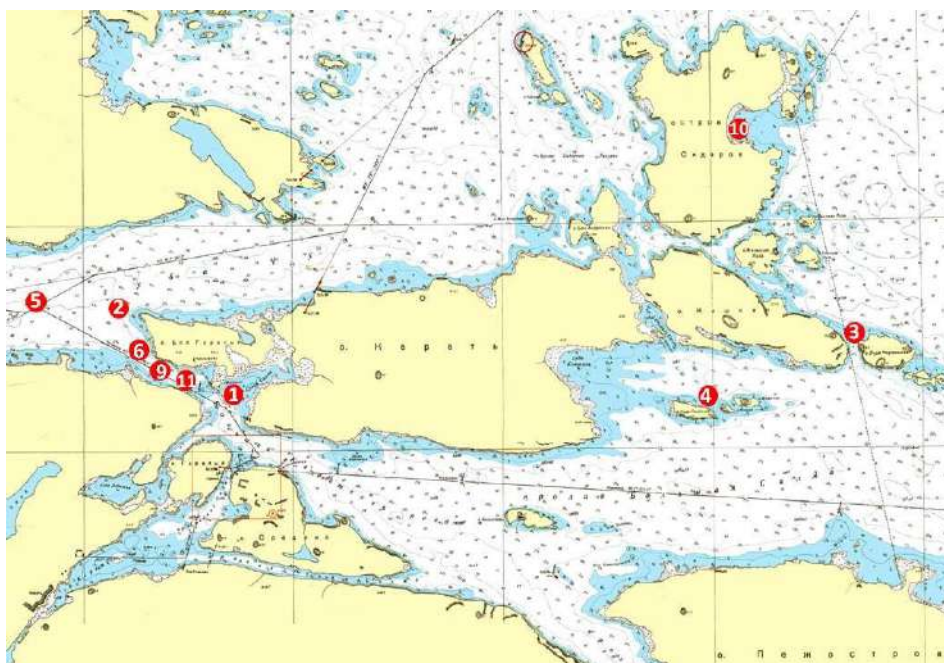


Рис. 1. Акватория губы Чупа, в пределах которой осуществлялся сбор материала:
1 – точка сбора материала дночерпателем и драгировкой;
2, 3, 4, 5, 6, 9, 11 – места драгировок; 10 – сбор материала на берегу

Для определения возраста моллюска по внутренним кольцам было выбрано 33 особи разного размера – от 4,3 до 57,1 мм. Из каждой левой створки моллюска выпиливали радиальный фрагмент шириной 3 мм от макушки до самого удаленного края раковины.

Часть образцов *A. islandica* подготовили по стандартной методике, применяемой для исследований методом сканирующей электронной микроскопии (рис. 2).



Рис. 2. Блок из эпоксидной смолы с замковыми частями раковин, подготовленный для шлифовки на станке EcoMet 250

Подсчет годовых колец на полученных шлифах осуществляли под микроскопом Axio Imager CARL ZEISS в режиме темного поля отраженного света и лазерным сканирующим конфокальным микроскопом LSM 780 CARL ZEISS.

Из части материала для изучения возраста были получены ацетатные реплики с отпечатком структуры поверхности шлифа, предварительно протравленной 4 %-ной соляной кислотой.

В целях выявления факторов, влияющих на аккумуляцию тех или иных элементов внутренних структур раковин, проводили энергодисперсионный рентгеновский элементный микроанализ с помощью универсального аналитического комплекса сканирующей автоэмиссионной электронной микроскопии Merlin CARL ZEISS.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения возраста моллюсков использовали несколько традиционных методик подсчета годовых колец. При конфокальном микроскопическом режиме наблюдения (рис. 3) можно различить вполне отчетливые метки задержки роста, по которым легко установить возраст моллюсков.

Подготовка образцов и подсчет колец с применением ацетатных реплик считается процессом несложным, однако требует опыта. Кольца и зернистая структура раковин оказались плохо различимы в режиме темного поля отраженного света (рис. 4).

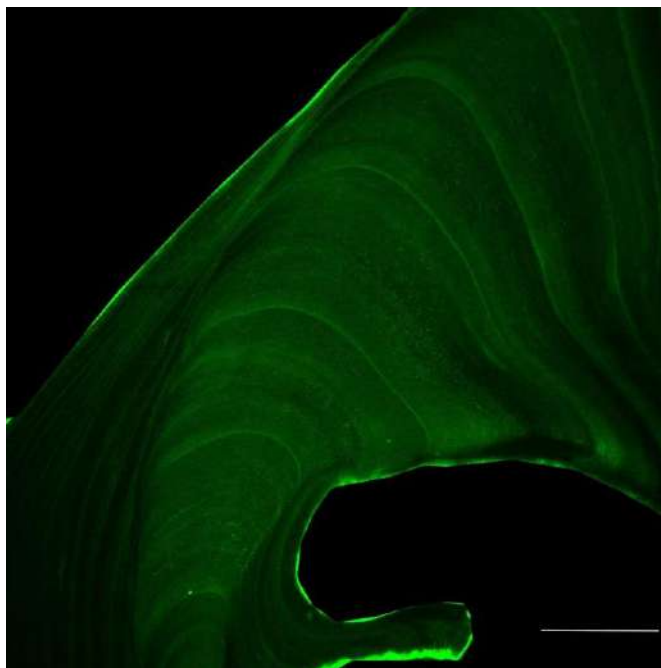


Рис. 3. Фото образца шлифа *A. islandica* при исследовании в режиме лазерной конфокальной микроскопии

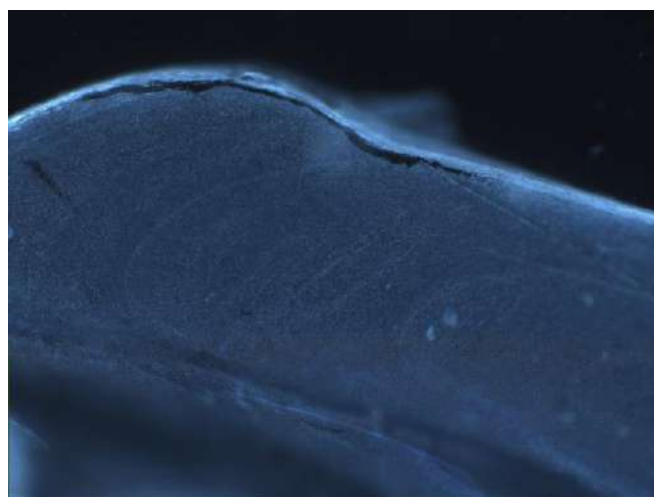


Рис. 4. Ацетатная реплика *A. islandica* в режиме темного поля отраженного света

В результате оптимального и позитивного исследования удалось добиться отшлифованных образцов раковины в режиме темного поля отраженного света (рис. 5), при этом оказались отчетливо видны все кольца, которые без затруднения можно подсчитать, уделив этому минимальное количество времени.

По итогам дночерпательных съемок и драгировок, проведенных в 2018, 2019 и 2021 гг., были построены графики частоты встречаемости в сборах особей *Artica islandica* разных размеров (рис. 6). В поселении

представлены моллюски различных размерных классов – с длиной раковины от 4,3 до 57,1 мм и массой от 0,08 до 10,6 г.

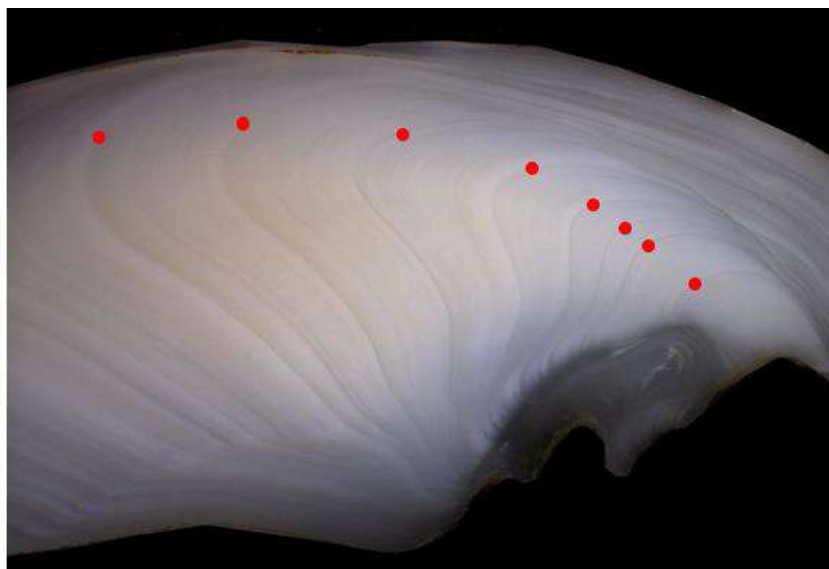


Рис. 5. Шлиф *A. islandica* под микроскопом в режиме темного поля отраженного света (точками указаны первые восемь годовых задержек роста, общий возраст моллюска – 18 лет)

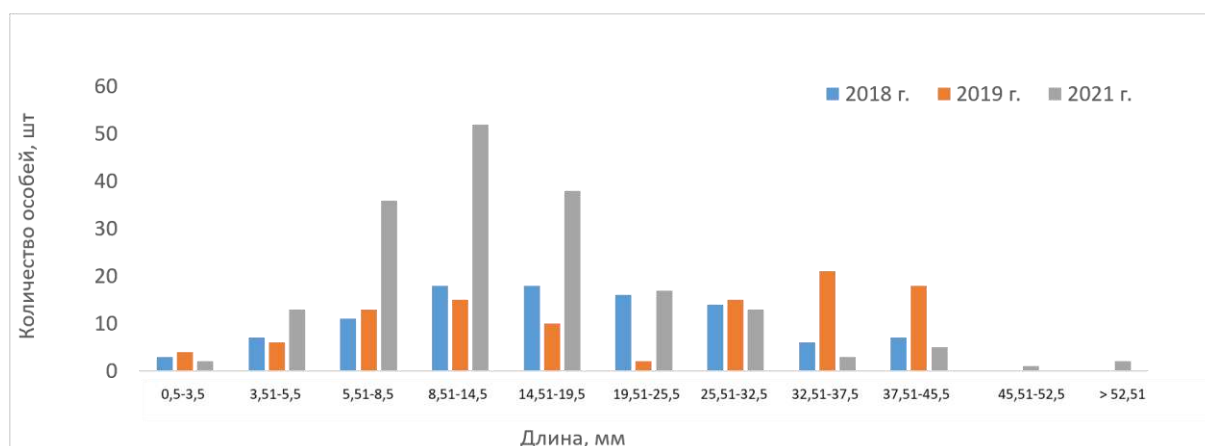


Рис. 6. Частотные распределения особей *A. islandica* разных размерных классов в зависимости от длины раковины (по результатам сборов в 2018, 2019 и 2021 гг.)

В 2018 г. в наших сборах преобладали экземпляры с длиной раковины от 8 до 30 мм, в выборке за 2019 г. – от 32 до 45 мм, в 2021 г. особей длиной от 5,5 до 20 мм было значительно больше остальных.

Также построены графики зависимости высоты и толщины раковины от ее длины. На рис. 7 показано, что изменения высоты и толщины моллюсков с увеличением возраста характеризуются линейными функциями, и их размеры изменяются пропорционально.

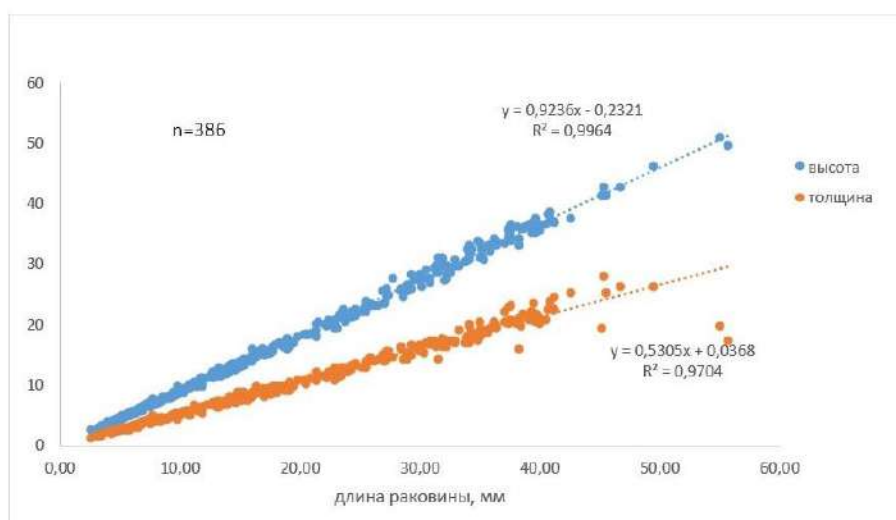


Рис. 7. Изменение соотношения высоты и толщины раковины *A. islandica* с увеличением возраста (зависимость от длины)

Возраст подсчитали у 32 особей *Arctica islandica* (табл. 1). Рекордсмен по продолжительности жизни – исландская циприна – из нашей выборки имела максимальный возраст (32 года). Большое расхождение в темпе роста может быть связано с малой выборкой объектов. Увеличение количества исследуемых моллюсков позволит получить более точные данные и сделать конкретные выводы.

Таблица 1

Возраст моллюсков по результатам подсчета внутренних колец нарастания

Номер образца	Длина раковины, мм	Возраст, лет
09/023	31,34	3
02/002	14,58	3
09/007	11,68	3
011/013	9,52	3
09/045	6,34	3
011/010	4,31	3
09/058	22,12	3
02/003	12,79	3
010/002	27,44	4
09/031	20,49	4
09/022	14,46	4
09/002	13,92	4
09/049	4,35	4
011/019	27,26	5
09/014	24,67	5
02/001	13,92	5
011/015	17,46	5
07/002	35,58	6
07/001	20,75	6
05/002	32,7	6

Номер образца	Длина раковины, мм	Возраст, лет
02/001	34,1	6
09/026	30,02	7
09/012	28,68	7
09/007	11,68	7
011/030	29,16	8
010/001	34,99	8
09/061	25,46	9
01/001	45,34	9
011/023	39,61	9
09/024	35,72	10
010/003	57,11	13
011/022	37,35	18
05/020	45,45	32

Для изучения элементного состава было отобрано три особи с разных станций (2, 9, 10) с длиной раковины 12,79; 35,72 и 57,11 мм соответственно. Выбор станций обусловлен разными показателями температуры, солености воды и глубины.

На каждой раковине отмечали пять участков (спектров), с которых считывалась информация (рис. 8).

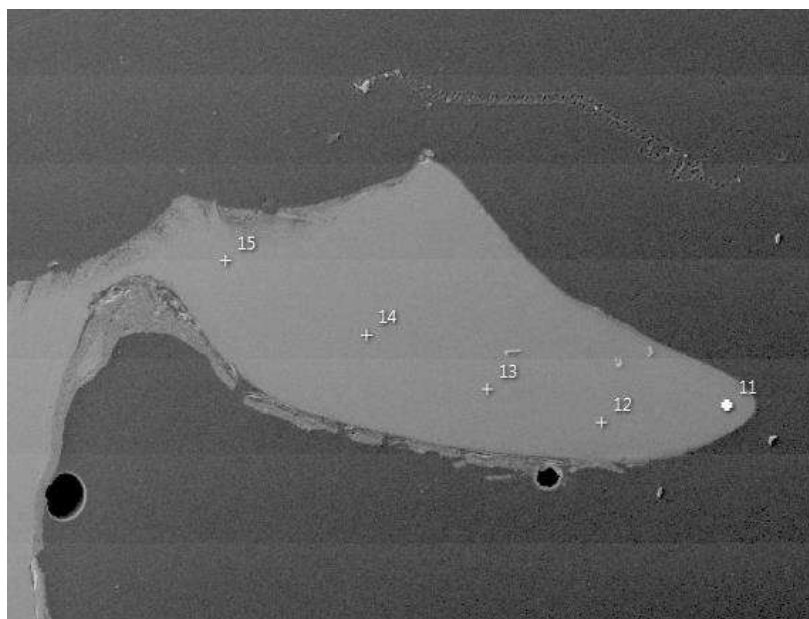


Рис. 8. Шлиф раковины *A. islandica* № 02/003 (крестиками отмечены участки энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа)

В табл. 2 показано, что в образце 02/003 с удалением от ядра замка в сторону нарастания колец повышается содержание Na с 0,53 до 0,73 %. Cl появляется в более поздний период роста раковины.

Таблица 2

**Содержание элементов для особи 02/003 в каждом спектре зондирования
на участках 11-15, %**

Элемент	Тип линии	Масса	Атом	Название эталона
<i>Участок 11</i>				
O	К серия	51,14	72,19	SiO2
Na	То же	0,74	0,73	Albite
S	»	0,07	0,05	FeS2
Cl	»	0,05	0,03	NaCl
Ca	»	47,85	26,96	Wollastonite
Sr	L серия	0,15	0,04	SrF2
Сумма		100	100	
<i>Участок 12</i>				
O	К серия	51,08	72,13	SiO2
Na	То же	0,73	0,72	Albite
S	»	0,08	0,05	FeS2
Cl	»	0,1	0,07	NaCl
Ca	»	47,9	27	Wollastonite
Sr	L серия	0,11	0,03	SrF2
Сумма		100	100	
<i>Участок 13</i>				
O	К серия	52,09	72,98	SiO2
Na	То же	0,57	0,56	Albite
S	»	0,05	0,04	FeS2
Cl	»	0,04	0,02	NaCl
Ca	»	47,18	26,39	Wollastonite
Sr	L серия	0,06	0,02	SrF2
Сумма		100	100	
<i>Участок 14</i>				
O	К серия	52,01	72,94	SiO2
Na	То же	0,57	0,56	Albite
S	»	0,1	0,07	FeS2
Cl	»	47,14	26,39	Wollastonite
Ca	»	0,17	0,04	SrF2
Sr	L серия	100	100	
Сумма				
<i>Участок 15</i>				
O	К серия	51,7	72,76	SiO2
Na	То же	0,54	0,53	Albite
S	»	0,04	0,03	FeS2
Ca	»	47,49	26,64	Wollastonite
Sr	L серия	0,17	0,04	SrF2
Сумма		100	100	

Во всех исследуемых образцах лидирующие позиции по содержанию элементов будут занимать Ca, O и C, а такие элементы, как Na, S, Cl и Sr, присутствуют в гораздо меньшем количестве. Средние показатели по содержанию всех элементов в значительной степени не различаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе поиска оптимального метода определения возраста моллюсков опробованы ручная и автоматическая пробоподготовки. Было получено 33 образца шлифов и ацетатных реплик. Для установления возраста моллюсков использовали электронную, конфокальную и атомно-силовую микроскопию. Оптимальным методом оценки возраста явилось изучение годовых колец методом темного поля в отраженном свете.

Проведена интересная и трудоемкая работа по выявлению элементного анализа – коррелятивного стратиграфического признака, который включает в себя как качественные, так и количественные показатели. В результате данного исследования получен материал, анализ которого позволил заключить, что вариабельности содержания элементов на различных участках раковин нет. Однако отмечено, что у каждой особи в более позднем возрасте повышалось содержание Сl.

В результате проделанной работы сделаны выводы:

- наименьшая соленость, при которой вылавливали особей, составила 22,1 (юго-западная сублитораль о-ва Большой Горелый), а по данным БентБоМ минимальные значения солености равны 24,2;

- некоторые авторы указывают предпочтительную глубину обитания циприн в Белом море – 20 м, однако нами было собрано большое количество особей на максимальной и минимальной глубинах – 33 м (западная сублитораль о-ва Большой Горелый) и 4,7 м (сублитораль о-ва Матренин);

- несмотря на то что раковина *Arctica islandica* предпочитает зарываться, как правило, в ил или илисто-песчаный грунт, на одной из станций (западная сторона о-ва Большой Горелый) многочисленные особи обитали среди мелких камней и валунов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суздальский, О.В. Элементарный состав раковин и принципы его применения в стратиграфии и для восстановления элементов палеогеографии / О.В. Суздальский // Ученые записки НИИГА, серия палеонтология и биостратиграфия. – 1964. – № 5. – С. 84–98.

2. Variability of marine climate on the North Icelandic Shelf in a 1357-year proxy archive based on growth increments in the bivalve *Arctica islandica* / P.G. Butler, A.D. Wanamaker Jr, J.D. Scourse [et al.] // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2013. – Vol. 373. – P. 141–151.

3. Murawski, S.A. Growth of the ocean quahog, *Arctica islandica*, in the Middle Atlantic Bight / S.A. Murawski, J.W. Ropes, F.M. Serchuk // Fishery Bulletin. – 1982. – Vol. 80, № 1. – P. 21–34.

4. Wanamaker, A.D. A late Holocene paleo-productivity record in the western Gulf of Maine, USA, inferred from growth histories of the long-lived ocean quahog (*Arctica islandica*) // A.D. Wanamaker, K.J. Kreutz, B.R. Schöne [et al.] // International Journal of Earth Sciences. – 2009. – Vol. 98. – P. 19–29.

5. Witbaard, R. Long-term trends on the effects of the southern North Sea beamtrawl fishery on the bivalve mollusc *Arctica islandica* L. (Mollusca, bivalvia) / R. Witbaard, R. Klein // ICES Journal of Marine Science. – 1994. – Vol. 51, № 1. – P. 99–105.

РАЗНОМАСШТАБНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СООБЩЕСТВАХ МАКРОЗООБЕНТОСА: РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ФИНСКОМ ЗАЛИВЕ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

А.А. Максимов

Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

Аннотация. Выделены три группы временных изменений макрозообентоса разного масштаба, по данным исследований в восточной части Финского залива, при этом более долговременным изменениям соответствовали и большие пространственные масштабы. На каждом из значительных уровней действовал набор факторов.

1. Межгодовые (краткосрочные, с периодом, не превышающим несколько лет) колебания определялись циклическими биологическими процессами в популяциях и/или сообществах донных макробеспозвоночных (конкуренция, отношения хищник-жертва). Эти процессы имели локальный характер и зависели от плотности популяций животных.

2. Многолетние изменения были связаны с крупномасштабной динамикой гидрометеорологических факторов и распространялись на обширные участки акватории.

3. Наибольшие преобразования вызвались инвазией в Финский залив арктических полихет *Marenzelleria arctica*. Массовое развитие полихет привело к глубоким необратимым (по крайней мере, в актуальных, доступных для изучения временных масштабах) преобразованиям в донных сообществах во всем Балтийском море. Однако они соответствуют концепции продолжающейся послеледниковой сукцессии Балтийского моря и в геологическом отношении могут рассматриваться как восстановление естественного эстуарного сообщества, разрушенного во время ледникового периода.

Ключевые слова: Балтийское море, Финский залив, зообентос, многолетняя динамика, донные сообщества, биологические инвазии.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость выделения процессов разного масштаба при анализе изменчивости морских систем уже давно общепризнана. Однако в публикациях, посвященных бентосу, понятие масштаб традиционно связывают с пространственным распределением донных животных, хотя в целом корреляция между временными и пространственными масштабами очевидна и для донных сообществ [4]. При изучении временной динамики бентоса, как правило, стремятся выявить один или несколько ведущих (лимитирующих, ключевых) факторов, определяющих изменения популяции или донного сообщества на протяжении всего периода наблюдений. Возможность существования разномасштабных факторов, действующих в разных временных диапазонах, обычно не рассматривается.

В данной работе на основе сведений о долгосрочных наблюдениях в восточной части Финского залива предпринята попытка рассмотреть

временные изменения в бентосе с точки зрения взаимодействия разномасштабных процессов. Необходимо отметить, что изучение динамических явлений здесь существенно облегчается из-за простоты структуры сообществ макрозообентоса, представленного в открытых районах немногими донными макробеспозвоночными [2].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Финский залив – один из крупнейших в Балтийском море. Под восточной частью залива обычно понимают район между о-вами Котлин и Гогланд. В водоем поступает огромное количество пресной воды, основная масса которой (около 80 км³ в год) вносится с востока р. Нева. Со значительным речным стоком связаны выраженные вертикальный и горизонтальный градиенты солености. Придонные воды открытых районов (глубины 25–75 м), занимающих большую часть акватории залива, характеризуются почти круглогодично низкой (<5 °С) температурой, соленостью 5–8 и часто пониженным содержанием кислорода вплоть до развития гипоксийно-аноксийных явлений в отдельные годы [1].

Материалом для настоящей работы послужили результаты исследований автора в восточной части Финского залива Балтийского моря с 1985 по 2021 г. Использованы объекты с 852 бентосных станций (включая повторные сборы, где проводили многолетние наблюдения), выполненных в диапазоне глубин 6–75 м. Поскольку целью было изучение межгодовых различий, преимущественно проводили одноразовые съемки с интервалом в один год, как правило, в конце июля – начале августа. Методика отбора и обработки дночерпательных проб подробно описана в монографии [2].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Макрозообентос восточной части Финского залива крайне беден в качественном отношении и на большей части акватории представлен всего несколькими видами. В конце прошлого столетия в открытых районах залива доминировали ледниковые реликтовые ракообразные. Наиболее широко были распространены амфиподы *Monoporeia affinis* и изоподы *Saduria entomon*, которые на многих станциях являлись единственными представителями донной макрофауны [6].

Количественные характеристики обилия этих двух видов ракообразных варьировали по годам в широких пределах. Колебания численности реликтовых амфипод связаны с внутривидовой конкуренцией за пищу и действием факторов, зависящих от плотности популяции [2]. Изменения численности питающихся амфиподами крупных хищных *S. entomon* следовали за изменениями численности своих жертв, что

приводит к значительным межгодовым колебаниям суммарной биомассы макрозообентоса. С 1985 по 1990 г. среднегодовая биомасса бентоса на двух близко расположенных станциях изменялась в 5–6 раз. Эти колебания не были синхронны, хотя расстояние между станциями не превышало 20 км. При осреднении больших массивов данных о крупных участках акватории заметных межгодовых различий не обнаруживалось. Так, согласно обзору Хельсинкской комиссии, в котором обобщены все имеющиеся материалы о бентосе в районе Финского залива восточнее о-ва Гогланд, средняя для этой акватории биомасса бентоса с 1969 по 1995 г. составила от 21 до 28 г/м² [3].

Изменения на более обширных участках дна были вызваны периодическими ухудшениями кислородного режима придонных вод на глубоководных (более 25 м) участках района, которые приводили к резкому снижению количественных показателей, а местами даже к полному исчезновению макрозообентоса. В периоды улучшения кислородных условий наблюдалось постепенное восстановление донных сообществ. Придонная гипоксия в восточной части Финского залива вызвана крупномасштабными изменениями гидрометеорологических процессов [1]. Ухудшение кислородных условий совпало с началом отрицательной фазы цикла североатлантического колебания в 1996 г. Повторные случаи гипоксии в начале 2000-х годов обусловили значительное обеднение донных сообществ на больших по площади участках дна.

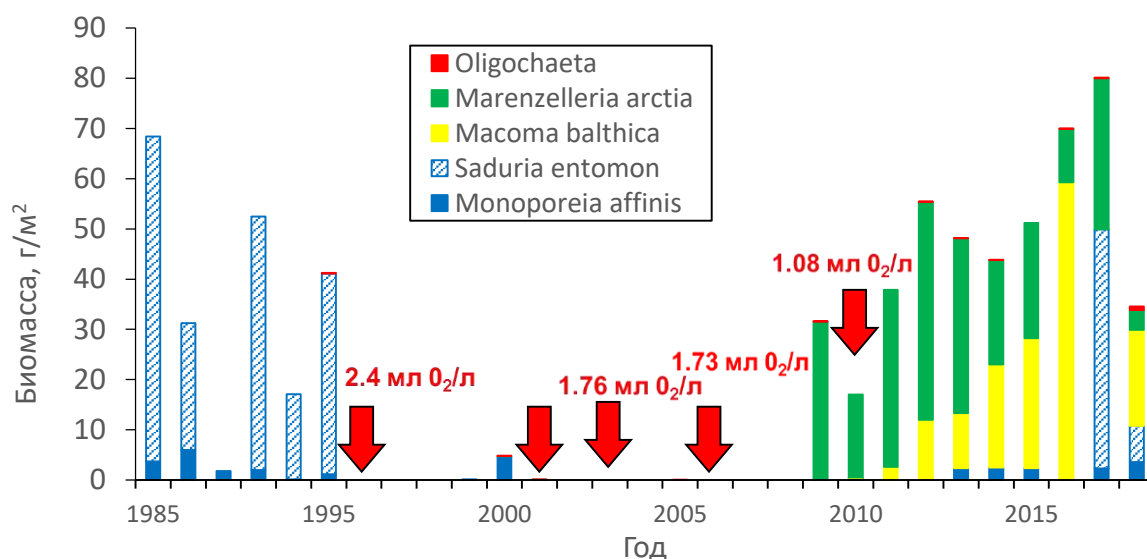
Крупные изменения в макрозообентосе были связаны с инвазией арктических полихет *Marenzelleria arctica*, заселивших практически всю акваторию Финского залива, а также другие районы Северной Балтики. В восточной части залива за счет массового развития полихет в 2009 г. резко увеличились численность и биомасса всего макрозообентоса. Если раньше высокие численность и биомасса бентоса наблюдались только при благоприятных кислородных условиях, то после инвазии этой полихеты донные сообщества сохраняли высокий уровень количественного развития даже в годы, когда отмечался дефицит кислорода. Это особенно заметно на наиболее подверженных гипоксии глубоководных станциях, где макрозообентос долгие годы отсутствовал. В 2010 г. после инвазии высокую биомассу бентоса отмечали при рекордно низком содержании растворенного кислорода (см. рисунок). Такие количественные показатели в условиях гипоксии обеспечивались исключительно при развитии чужеродных полихет, что связано с их высокой толерантностью к недостатку кислорода. По мере улучшения кислородной ситуации в последующие годы фиксировали восстановление популяций и аборигенных видов *M. affinis* и *Macoma balthica* (см. рисунок). После 2012 г. наметилась тенденция к некоторому снижению количественных показателей чужеродных полихет, что типично для инвазионных видов. Несмотря на это,

уровень развития макрозообентоса в восточной части Финского залива остается более высоким, чем в благоприятный по кислородным условиям период (1985–1995 гг.), это связано с увеличением местных видов донных беспозвоночных, прежде всего моллюсков *M. balthica*. До инвазии *M. arctica* моллюски в открытых районах Финского залива встречались очень редко. Вероятно, массовое развитие макомы в глубоководной зоне залива объясняется улучшением газового режима донных осадков в результате деятельности многощетинковых червей. Поскольку известно, что вселившиеся полихеты перекапывают грунт значительно глубже, чем местные балтийские донные беспозвоночные, способствуя проникновению кислорода в толщу донных осадков [2].

В отличие от циклических популяционных и климатических колебаний, последствия появления чужеродных червей, несомненно, имеют необратимый характер (по крайней мере, в актуальных доступных для изучения временных масштабах). Вселение *M. arctica* привело к появлению новой для Финского залива функциональной группы донных животных — крупных биотурбаторов, активно перемешивающих и аэрирующих донные отложения. Биотурбационная и биоирригационная деятельность полихет существенно повлияла на биогеохимические процессы в заливе, в частности на круговорот биогенных элементов посредством изменения обменных процессов на границе воды и донных отложений [2]. Появление этой новой функциональной группы согласуется с общей моделью сукцессии балтийских донных сообществ, предполагающей последовательность из нескольких сукцессионных стадий, заканчивающейся «климаксным сообществом», в котором доминируют представленные крупными глубоко зарывающимися в грунт особями виды [7].

Следует отметить, что вселение чужеродных полихет, по-видимому, не могло произойти без человека, их появление соответствует концепции продолжающейся послеледниковой сукцессии Балтийского моря [5]. *M. arctica* — представитель эстуарного арктического фаунистического комплекса, населяющего устьевые области рек, впадающих в Северный Ледовитый океан. Ракообразные этого комплекса (так называемые ледниковые реликты — *M. affinis* и *S. entomon*), которые вплоть до недавнего времени господствовали в бентосе Финского залива, заселили Балтийское море, так же как некоторые внутренние водоемы в послеледниковое время, используя для этого сеть озер, образовавшихся при таянии ледника. До недавнего времени *M. arctica* являлся единственным видом, доминирующим в бентосе северных эстуариев, но при этом отсутствовал в Балтике. Таким образом, инвазия *M. arctica* привела к образованию сообщества, фактически идентичного сообществу арктических эстуариев. То есть в межвековом масштабе, по-видимому, это может рассматриваться как завершение

последней экспансии арктической солоноватоводной фауны в Балтийское море и восстановление природного сообщества, уничтоженного во время ледникового периода.



Биомасса донных макробеспозвоночных на ст. 3 (глубина 50 м) в 1985–2021 гг. Стрелками показаны годы возникновения придонной гипоксии, цифрами – концентрация растворенного кислорода в придонном слое (по данным РГГМУ)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменения в бентосе Финского залива могут быть подразделены на три группы, связанные с действием разных факторов, причем факторы, определяющие краткосрочные изменения, по-видимому, не имеют значения в формировании более длительных тенденций. Долговременным изменениям соответствуют и большие пространственные масштабы. Краткосрочные межгодовые колебания определялись биологическими процессами в популяциях и/или сообществах, такими как внутривидовая конкуренция и отношения хищник-жертва. Эти преобразования являлись локальными и их ход различался на соседних станциях. Более продолжительные многолетние изменения выявлялись крупномасштабной динамикой гидрометеорологических факторов и распространялись на обширные участки акватории. В частности, гипоксические зоны занимали участки залива протяженностью во многие десятки километров. Еще более значительные площади дна были затронуты фаунистическими изменениями, связанными с вселением новых видов. В отношении полихет *M. arctica* можно говорить о панбалтийских масштабах инвазии, поскольку этот вид распространен в других районах Балтийского моря. Вселение арктических полихет согласуется с многовековыми тенденциями к

изменению фауны моря в послеледниковый период, то есть, рассматривая его, мы должны оперировать геологическими временными масштабами.

Необходимо также отметить соответствие пространственно-временных масштабов изменений и их проявления на разных уровнях биологической организации. Преобразования в популяциях животных, по-видимому, практически никак не сказывались на более высоких уровнях. Менялись лишь количественные показатели составляющих сообщество видов. Гидрометеорологические циклы, вследствие вызываемых ими заморозов, приводили к периодическому уничтожению исходных биоценозов и восстановительным сукцессионным процессам. Инвазия полихет вызвала более глубокие необратимые изменения в донных сообществах и на экосистемном уровне.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ темы 125012800889-2).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремина, Т.Р. Влияние изменчивости климата на кислородный режим глубинных вод восточной части Финского залива / Т.Р. Еремина, А.А. Максимов, Е.В. Волощук // Океанология. – 2012. – Т. 52, № 6. – С. 36–845.
2. Максимов, А.А. Межгодовая и многолетняя динамика макрозообентоса на примере вершины Финского залива / А.А. Максимов. – СПб.: Нестор-История, 2018. – 260 с.
3. Andersin, A.-B. Macrozoobenthos / A.-B. Andersin, I. Kotta, A. Maksimov // HELCOM. Third periodic assessment of the marine environment of the Baltic Sea, 1989–1993; Background document. Baltic Sea Environment Proc. – 1996. – № 64B. – P. 54–56.
4. Azovsky, A.I. Concept of scale in marine ecology: linking the words or the worlds? / A.I. Azovsky // Web Ecol. – 2000. – Vol. 1. – P. 28–34. – DOI 10.5194/we-1-28-2000.
5. Bonsdorff, E. Zoobenthic diversity-gradients in the Baltic Sea: Continuous post-glacial succession in a stressed ecosystem / E. Bonsdorff // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. – 2006. – Vol. 330. – P. 383–391. – DOI 10.1016/j.jembe.2005.12.041.
6. Maximov, A.A. Changes of bottom macrofauna in the eastern Gulf of Finland in 1985–2002 / A.A. Maximov // Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol. – 2003. – Vol. 52, № 4. – P. 378–393.
7. Rumohr, H. Zoobenthic succession in Baltic sedimentary habitats / H. Rumohr, E. Bonsdorff, T.H. Pearson // Arch. Fish. Mar. Res. – 1996. – Vol. 44, № 3. – P. 179–214.

МАКРОЗООБЕНТОС КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

**И.Е. Манушин¹, К.С. Рольская¹, В.С. Вязникова¹, Д.Ю. Блинова¹,
Н.А. Стрелкова¹, Д.В. Захаров^{2,3}, Н.Е. Журавлева², А.С. Кудряшова¹,
А.С. Брыкина^{1,4}, А.А. Ломака^{1,4}**

¹Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича),
г. Мурманск

²Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

³Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
г. Санкт-Петербург

⁴Мурманский арктический университет (МАУ), г. Мурманск

Аннотация. Рассмотрены качественные и количественные характеристики макрозообентоса Кольского залива по состоянию на 2022–2024 гг. и выполнено их сравнение с данными съемки 1934–1935 гг.

Ключевые слова: Баренцево море, Кольский залив, макрозообентос, антропогенная нагрузка.

ВВЕДЕНИЕ

В 2024 г. исполнилось 90 лет с выполнения первой подробной количественной съемки Кольского залива в 51-м рейсе «Персея». Это послужило поводом для осмысления изменений, произошедших в течение длительного периода в макрозообентосе Кольского залива. Кольский залив является одной из наиболее технологически освоенных и урбанизированных акваторий российских арктических морей. Он располагается на юго-западе Баренцева моря (рис. 1А). Это длинный, узкий залив фьордового типа, условно подразделяемый на три части – «колена»: южное, среднее и северное (рис. 1Б). Масштабное строительство портовых структур, интенсивное судоходство и увеличение населения в прибрежных городах и поселках оказали воздействие на биоразнообразие и количественные характеристики его биоценозов. Исторически хозяйственное освоение разных частей залива шло неравномерно. Наиболее интенсивным был процесс строительства на берегах южного и несколько слабее среднего колен, преимущественно по восточному берегу. Все это оказало влияние на распределение макрозообентоса акватории.

Данное исследование посвящено оценке текущего состояния макрозообентоса Кольского залива в основном в местах интенсивного антропогенного воздействия, а также его сравнению с материалами 90-летней давности.

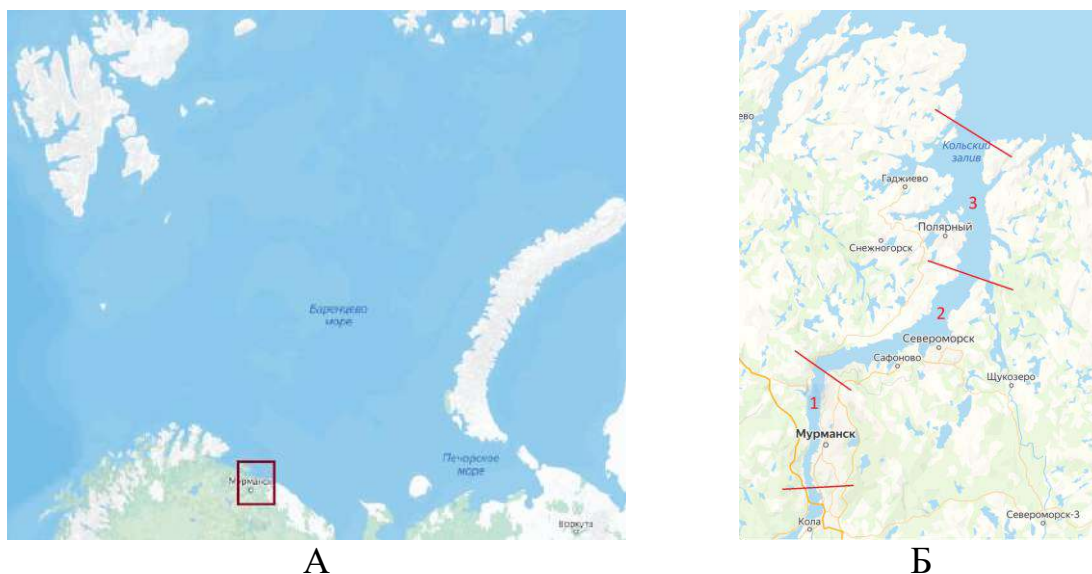


Рис. 1. Схема расположения исследуемой акватории: А – Баренцево море с выделенным расположением Кольского залива; Б – Кольский залив с границами колен (1 – южное; 2 – среднее; 3 – северное)

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На акватории Кольского залива было выполнено 80 дночерпательных станций, пробы на которых отбирались в основном в 2022–2024 гг. Большинство станций выполнено в рамках экологического контроля оценки различных видов хозяйственной деятельности на акватории залива и лишь восемь – в координатах станций первой съемки Кольского залива в 1934 г. (мониторинговые станции). В качестве отправной точки регистрации тех изменений, которые произошли в макрозообентосе за 90 лет, были использованы данные 69 станций, выполненных в предыдущий теплый период в Баренцевом море. Основу их составили пробы 51-го рейса «Персея» (1934 г.), а также отдельные сборы 53- и 55-го рейсов (1935 г.). В связи с большим количеством материала и неравномерным пространственным покрытием станциями акватории в целях оптимизации анализа результатов залив в данной работе был условно поделен на четыре части: южный и северный районы южного колена, среднее колено и северное.

В ходе современных исследований пробы макрозообентоса отбирались дночерпателем ван Вина с площадью пробоотбора 0,1 м² в 3-кратной повторности на станции. Полученная проба промывалась морской забортовой водой в мягком капроновом сите с размером ячеей 1,0 мм. Оставшиеся в сетке после промывки организмы и частицы грунта фиксировались 4 %-ным нейтрализованным раствором. В качестве буфера был использован тетраборат натрия (бура). Координаты касания

дночерпателем дна, глубина и характер грунта фиксировались в палубном журнале отдельно для каждой пробы (дночерпателя). В ходе первичного этапа камеральной обработки пробы отмывались от формалина под проточной пресной водой, животные отбирались из оставшихся после промывки частиц грунта при 5–8-кратном увеличении, сортировались по основным таксономическим группам и консервировались 70–75 %-ным этиловым спиртом.

В первой съемке Кольского залива пробы отбирались дночерпателем Петерсена с площадью пробоотбора 0,25 м² в 2-кратной повторности на станции и промывались через систему сит (нижнее сито имело размер ячеей 1 мм). Затем животные отбирались из грунта прямо на борту судна и консервировались 70–75 %-ным этиловым спиртом, причем обе пробы со станции помещались в один контейнер. Таким образом, хотя размеры ячеей сита в обеих съемках были схожи, количество выбранных мелких животных в первой съемке было меньше из-за менее качественной разборки.

Животные в пробах определялись до видового или практически возможного уровня. В ходе таксономической обработки проводились подсчет количества и взвешивание с точностью до 0,001 г особей каждого вида/таксона в пробе. Для колониальных таксонов подсчитывалось количество колоний. Определялся влажный вес животных, фиксированных 70–75 %-ным этиловым спиртом. Все значения биомассы приведены во влажном спиртовом весе. Моллюски взвешивались с раковинами. Все полихеты взвешивались без трубок, за исключением видов, трубки которых построены из вещества, выделяемого самим червем. В данном случае это черви вида *Spiochaetopterus typicus* (сем. Chaetopteridae) и все представители семейств Serpulidae и Spirorbidae. Полихеты сем. Oweniidae, имеющие тонкие длинные инкрустированные песком видоспецифичные трубки, плотно прилегающие к телу червя, взвешивались вместе с трубками. Для определения массы червей без трубок для *Galathowenia oculata* и представителей рода *Owenia* был использован коэффициент отношения чистой массы к весу червей с трубками, равный 1:7, а для *Myriochaele heery* – 1:5 [1]. При обработке червей *S. typicus* количество экземпляров подсчитывалось по количеству фрагментов трубок с головным отделом червя; при определении биомассы взвешивались фрагменты трубок с телом червя. Систематика дана в соответствии с WoRMS, 2024 [5].

Биомасса и плотность поселения организмов на станциях рассчитывались на 1 м² по формуле:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \times \frac{1}{s},$$

где A – количественный показатель (биомасса или плотность поселения);

- a – масса или количество особей i -го вида/таксона в пробе (дночерпателе);
- n – количество проб (сборов дночерпателем), отобранных на станции;
- s – площадь пробоотбора дночерпателя, m^2 (в нашем случае – $0,1 m^2$).

Видовое богатство оценивалось через показатель видовой плотности – количество таксонов на стандартную площадь. В качестве стандартной площади для современных данных взята суммарная площадь захвата трех дночерпателей ван Вина, отобранных на станции, т.е. $0,3 m^2$, для архивных – площадь захвата двух дночерпателей Петерсена, отобранных на станции, т.е. $0,5 m^2$.

Для оценки экологического состояния акватории был использован AMBI (Морской биотический индекс), применяемый для долговременного мониторинга состояния морских и эстуарных сообществ европейских вод. AMBI (AZTI Marine Biotic Index) является одним из так называемых «биотических индексов», использующих морские макробентосные организмы в качестве биоиндикаторов [3].

В основе индекса лежит подразделение видов на пять экологических групп: чувствительные (GI), индифферентные (GII) и толерантные (GIII) к эвтрофикации, оппортунисты второго (GIV) и первого (GV) порядков. Для вычисления индекса применяется формула [4]:

$$AMBI = (0 \times \%GI + 1,5 \times \%GII + 3 \times \%GIII + 4,5 \times \%GIV + 6 \times \%GV) / 100,$$

где GI ... GV – экологические группы видов;
 %GI ... %GV – доля экологических групп от общей численности макрозообентоса в пробе, %.

Значение индекса варьирует в диапазоне от 0 до 6. Чем выше его значение, тем более сильный стресс (предположительно антропогенный) испытывает сообщество. Апробация индекса на европейских морских и эстуарных экосистемах показала, что он корректно отражает уровень таких стрессовых антропогенных воздействий, как эвтрофикация, физическое изменение местообитания, загрязнение тяжелыми металлами и другими поллютантами. Соотнесение значений индекса с принятыми классификациями экосистемных нарушений представлено в табл. 1.

Таблица 1

Ранжирование Морского биотического индекса по экологической шкале [4]

AMBI	Классификация степени нарушения сообщества	Статус экосистемы (WFD*)
$0,0 < \text{AMBI} \leq 1,2$	Ненарушенное	Высокий
$1,2 < \text{AMBI} \leq 3,3$	Легкое	Хороший
$3,3 < \text{AMBI} \leq 4,3$	Умеренное	Умеренный
$4,3 < \text{AMBI} \leq 5,0$		
$5,0 < \text{AMBI} \leq 5,5$	Сильное	Бедный
$5,5 < \text{AMBI} \leq 6,0$		Плохой

* WFD – Европейская директива водных критериев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Южный район южного колена. Мелководный, сильно подверженный опреснению из-за впадающих рек Тулома и Кола. Наиболее интенсивно осваивался до 1980-х годов, в настоящее время испытывает сильное антропогенное воздействие из-за сточных вод города и судоходно-портовой деятельности. На его акватории выполнено две станции в 1934 г. и четыре – в 2022-2024 гг. (рис. 2, табл. 2).

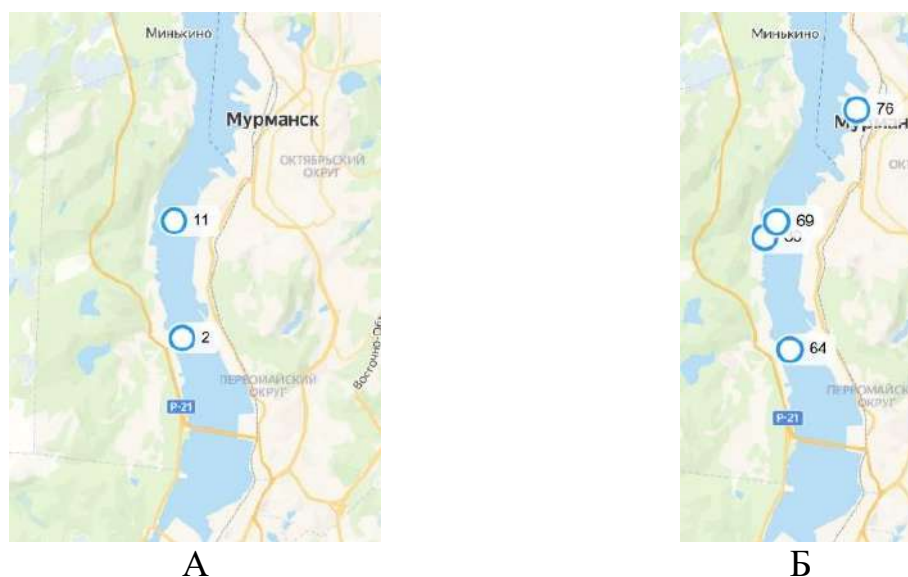


Рис. 2. Схема расположения станций в южном районе южного колена Кольского залива:
А – станции XX в.; Б – станции XXI в.

Все показатели макрозообентоса на этом участке за 90 лет увеличились в несколько раз. И если увеличение плотности и количества таксонов можно отчасти объяснить методическими причинами, то повышение значений биомассы – это реально произошедшее изменение (биомасса в меньшей степени подвержена изменениям в методике отбора

проб [2]). Вероятной причиной является возросшее за эти годы поступление органического вещества, в первую очередь со сточными водами. Косвенным подтверждением этому является увеличение значения АМВІ, которое, хотя и осталось в пределах легкой степени нарушения сообщества и характеризует хороший статус экосистемы, увеличилось почти вдвое от уровня середины 1930-х годов.

Таблица 2

Характеристика станций, выполненных в южном районе южного колена Кольского залива

Параметр	XX в.	XXI в.
Количество станций	(2)*	4 (2)
Средняя широта, десят. град.	(68,9392)	68,9510 (68,9394)
Средняя долгота, десят. град.	(33,0192)	33,0262 (33,0185)
Средняя глубина, м	(14)	9 (10)
Количество видов	(15)	97 (88)
Количество таксонов	(18)	130 (112)
Средняя видовая плотность**	(9)	47 (61)
Средняя плотность, экз./м ²	(541)	5064 (4194)
Средняя биомасса, г/м ²	(18,1)	72,7 (117,3)
Средний АМВІ	(1,3)	2,6 (2,2)

* Здесь и далее в таблицах в скобках указаны данные, полученные на мониторинговых станциях.

** В XX в. – на 0,5 м², в XXI в. – на 0,3 м².

Северный район южного колена. Более глубоководный, чем южный район. Восточный берег активно осваивался до 1980-х годов, в настоящее время он подвержен сильному антропогенному воздействию из-за сточных вод города и судоходно-портовой деятельности. Западный берег интенсивно застраивается в настоящее время. В XX в. на акватории района было выполнено 3 станции, в XXI в. – 29, из них только две мониторинговые (рис. 3, табл. 3).

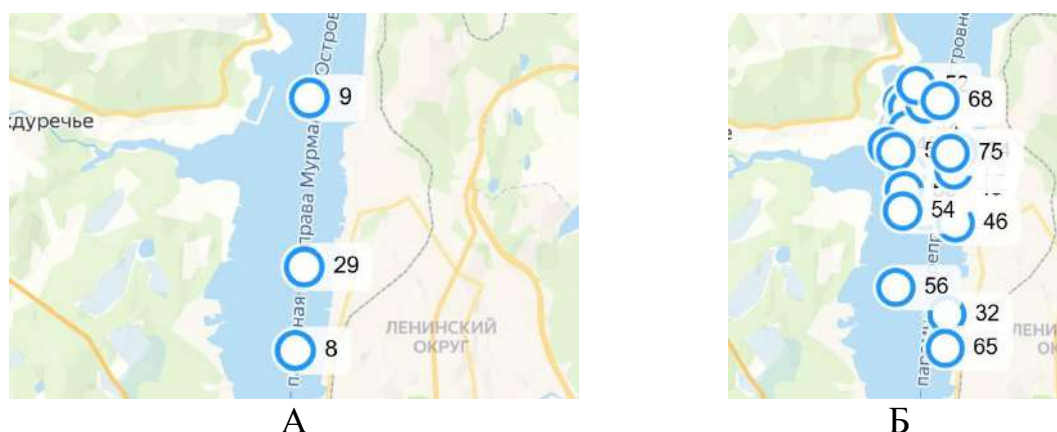


Рис. 3. Схема расположения станций в северном районе южного колена Кольского залива: А – станции XX в., Б – станции XXI в.

**Характеристика станций, выполненных в северном районе южного колена
Кольского залива**

Параметр	XX в.	XXI в.
Количество станций	3 (2)	29 (2)
Средняя широта, десят. град.	69,0172 (69,0192)	69,0279 (69,0202)
Средняя долгота, десят. град.	33,0478 (33,0475)	33,0441 (33,0521)
Средняя глубина, м	32 (30)	20 (18)
Количество видов	32 (23)	247 (84)
Количество таксонов	44 (29)	329 (105)
Средняя видовая плотность	19 (17)	68 (67)
Средняя плотность, экз./м ²	335 (244)	3490 (3785)
Средняя биомасса, г/м ²	158,6 (48,4)	95,0 (225,6)
Средний AMBI	2,5 (2,4)	1,9 (2,0)

Все показатели макрозообентоса, кроме биомассы в целом на акватории, на этом участке за 90 лет выросли в несколько раз. Это увеличение можно отчасти объяснить методическими причинами. Уменьшение величины средней биомассы на всей акватории, вероятно, вызвано тем, что большинство станций было сделано в зоне антропогенного воздействия. Биомасса только на мониторинговых точках, наоборот, увеличилась. Экологическая ситуация за этот период практически не изменилась, что демонстрируют почти сходные значения AMBI, которые показывают легкую степень нарушения сообщества, характеризуя хороший статус экосистемы.

Среднее колено. Более глубоководное, чем южное, имеет хороший водообмен с морем. Восточный берег осваивался в основном до 1980-х годов, в настоящее время акватория подвержена умеренному антропогенному воздействию из-за сточных вод г. Североморск и судоходно-портовой деятельности. Западный берег в настоящее время интенсивно застраивается. В XX в. на акватории района было выполнено 16 станций, в XXI в. – 43, из них две мониторинговые (рис. 4, табл. 4).



**Рис. 4. Схема расположения станций в среднем колене Кольского залива:
А – станции XX в., Б – станции XXI в.**

Таблица 4

Характеристика станций, выполненных в среднем колене Кольского залива

Параметр	XX в.	XXI в.
Количество станций	16 (2)	43 (2)
Средняя широта, десят. град.	69,0997 (69,0708)	69,0697 (69,0711)
Средняя долгота, десят. град.	33,3247 (33,1917)	33,2154 (33,2076)
Средняя глубина, м	87 (76)	53 (81)
Количество видов	84 (27)	259 (78)
Количество таксонов	116 (31)	362 (98)
Средняя видовая плотность	23(18)	53 (61)
Средняя плотность, экз./м ²	444 (225)	2112 (2447)
Средняя биомасса, г/м ²	100,8 (84,9)	36,6 (43,3)
Средний AMBI	1,6 (1,1)	2,2 (2,1)

Все показатели макрозообентоса, кроме биомассы, на этом участке за 90 лет выросли в несколько раз. Это увеличение можно отчасти объяснить методическими причинами. Уменьшение биомассы в современный период может быть объяснено только антропогенным воздействием от интенсивного строительства и дноуглубительных работ. Экологическая ситуация за этот период ухудшилась незначительно, значения AMBI показывают легкую степень нарушения сообщества, характеризуя хороший статус экосистемы.

Северное колено. Самое глубоководное, имеет хороший водообмен с морем. Берега слабо освоены, за исключением отдельных губ. В XX в. на акватории района было выполнено 48 станций, в XXI в. – 4, из них две мониторинговые (рис. 5, табл. 5).



Рис. 5. Схема расположения станций в северном колене Кольского залива:
А – станции XX в., Б – станции XXI в.

Характеристика станций, выполненных в северном колене Кольского залива

Параметр	XX в.	XXI в.
Количество станций	48 (2)	4 (2)
Средняя широта, десят. град.	69,2625 (69,2255)	69,2430 (69,2165)
Средняя долгота, десят. град.	33,5171 (33,5288)	33,4302 (33,5378)
Средняя глубина, м	175 (299)	175 (300)
Количество видов	161 (37)	114 (72)
Количество таксонов	238 (43)	142 (89)
Средняя видовая плотность	26 (28)	59 (63)
Средняя плотность, экз./м ²	410 (832)	1999 (2227)
Средняя биомасса, г/м ²	157,6 (47,8)	47,6 (61,6)
Средний AMBI	1,4 (1,9)	2,2 (2,2)

Плотность макрозообентоса на этом участке за 90 лет выросла в несколько раз. Это увеличение можно объяснить методическими причинами. Уменьшение биомассы за период между съемками связано с небольшим количеством станций в современный период, половина из которых находилась в зоне антропогенной нагрузки, что занизило реальную биомассу на этом участке. Если взять биомассу только на мониторинговых станциях, то она выросла. Экологическая ситуация за этот период ухудшилась незначительно, значения AMBI показывают легкую степень нарушения сообщества, характеризуя хороший статус экосистемы.

Из анализа данных можно сделать вывод, что 90 лет назад биомасса макрозообентоса увеличивалась от кута залива к его устью, с небольшим отклонением в северном районе южного колена, где она была равна биомассе в северном колене. Отмеченное отклонение было вызвано, скорее всего, начинающимся увеличением поступления на акваторию южного колена большого количества органических отходов как со сточными водами, так и с продуктами переработки рыбы. Косвенным доказательством этому служит наибольшая для залива величина AMBI, маркирующая северный район южного колена как объект антропогенного воздействия, в первую очередь эвтрофикации. В современный период, по-видимому, структура донной фауны залива полностью перестроилась: в кутовой части залива биомасса макрозообентоса больше, чем в среднем и северном коленах. При этом наибольшее значение AMBI отмечается уже для самой южной части залива. Очевидно, что увеличение биомассы бентоса в кутовой части залива связано с увеличением поступления органических веществ со сточными водами, а активное портовое строительство и дноуглубление привели к снижению биомассы макрозообентоса в северной части южного и среднем коленах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продолжающееся антропогенное воздействие на макрозообентос Кольского залива привело к заметным изменениям качественных и количественных характеристик донной фауны. Величина биомассы увеличилась в кутовой части залива в зоне интенсивного воздействия сточных вод и уменьшилась в зоне интенсивного портового строительства и дноуглубительных работ. В то же время степень нарушения бентосных сообществ хотя и выросла, но статус экосистемы все еще остается хорошим.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лейбсон, Р.Г. Количественный учет донной фауны Мотовского залива / Р.Г. Лейбсон // Труды ВНИРО. – 1939. – Т. 4. – С. 127–192.
2. Манушин, И.Е. Факторы, влияющие на изменения в бентосных сообществах «Кольского меридиана»/ И.Е. Манушин // Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)». – Т. 2 (III). – Тверь: ПолиПресс. – 2021. – С. 119–122.
3. Borja, A. Marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments/ A. Borja, J. Franco, V.A. Pérez// Marine Pollution Bulletin. – 2000. – 40 (12). – P. 1100–1114.
4. Grall, J. Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest/ J. Grall, M. Glémarec// Estuarine and Coastal Shelf Science. – 1997. – 44. – P. 43–53.
5. World Register of Marine Species (WoRMS): website and databases / Flanders Marine Institute. – URL: <http://marinespecies.org/index.php> (дата обращения 31.12.2024).

РЕАКЦИЯ МЕГАЗООБЕНТОСА БАРЕНЦЕВА МОРЯ НА ПОТЕПЛЕНИЕ

*И.Е. Манушин¹, А.С. Кудряшова¹, Н.А. Стрелкова¹, Д.В. Захаров^{2,4},
К.С. Рольская¹, В.С. Вязникова¹, Н.Е. Журавлева², Д.Ю. Блинова¹,
Л.Л. Йоргенсен³, Н.Е. Моисеева^{1,5}*

¹Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича),
г. Мурманск

²Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

³Институт морских исследований, г. Тромсё

⁴Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
г. Санкт-Петербург

⁵Мурманский арктический университет (МАУ), г. Мурманск

Аннотация. Рассмотрены особенности реакции мегазообентоса на многолетнее потепление Баренцева моря. Показано достоверное уменьшение среднего веса особей в различных экологических группах с 2006 по 2024 г. Биogeографический индекс мегазообентоса Баренцева моря приобрел положительные значения с начала 2020-х годов.

Ключевые слова: Баренцево море, мегазообентос, потепление.

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее заметным фактором, влияющим на изменения в экосистеме Баренцева моря, является климат. К настоящему моменту уже около 30 лет длится период потепления [5], он, несомненно, оказал непосредственное воздействие на качественные и количественные характеристики макрозообентоса. Существует большое количество публикаций на эту тему. Например, достаточно подробно влияние климатического фактора на макрозообентос рассматривается в монографии [2].

Публикаций, посвященных влиянию климатических изменений на мегазообентос Баренцева моря, значительно меньше. Накопленный материал позволяет предварительно оценить воздействие потепления на некоторые экологические группировки донных сообществ. Цель настоящей работы – оценка последствий потепления Баренцева моря на средний вес особей экологических группировок мегазообентоса, в первую очередь биogeографических.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы данные 2680 траловых уловов мегазообентоса, полученных в Баренцевом море в 2006–2024 гг. Для исследования был

выбран район, ограниченный координатами: с юга – 68° с.ш., с запада – 20° в.д., с севера – 78° с.ш., с востока – 50° в.д. (рис. 1). Район был выбран по причине наиболее равномерного (в пространственно-временном аспекте) обеспечения его данными. В качестве орудия лова применяли донный трал «Campelen-1800» с раскрытием по горизонтали 15 м и мелкоячеистой вставкой с размером ячеи 22 мм [1].

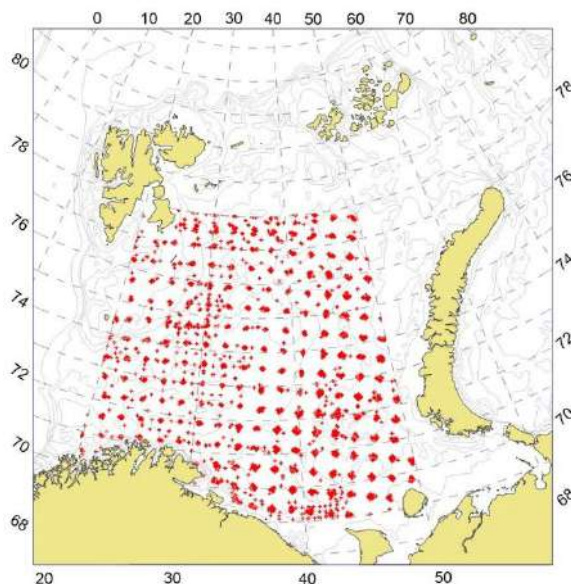


Рис. 1. Схема расположения станций сбора мегазообентоса в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

В качестве показателя, который может отражать многолетние изменения в экосистеме Баренцева моря, был определен средний вес особей мегазообентоса, который в предлагаемой работе иногда используется как синоним среднего размера особей. Средний вес особи вида/таксона рассчитывался двумя способами: 1. делением общей биомассы этого вида/таксона, учтенной во всех тралах за год, на численность всех особей вида/таксона, также учтенных во всех тралах за этот год; 2. нахождением среднего за год по средним весам особей, определенных для каждого траля. В первом случае средний вес получился ближе к средневзвешенному, во втором – массив данных, пригодных для использования однофакторного дисперсионного анализа в целях оценки достоверности происходящих многолетних изменений. Из анализа были исключены колониальные организмы (численность которых определить не представляется возможным) – губки Porifera, мшанки Bryozoa и гидроиды Hydrozoa, nekto-бентосные креветки семейства Pandalidae, офиуры Ophiuroidea (за исключением *Gorgonosephalus* sp.) из-за их хрупкости и нахождения в трале в виде отдельных фрагментов, многощетинковый червь *Spiochaetopterus*

typicus из-за представленности в трале кусками трубок, вид-вселенец краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio*, а также очень крупные организмы, обитающие на исследуемой акватории на сравнительно небольшой площади, – камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* и кукумария *Cucumaria frondosa*. Всего для анализа было использовано более 3,5 млн особей общим весом свыше 41 т.

Для определения степени воздействия факторов среды (в первую очередь повышения температуры моря) на донные сообщества были рассмотрены три типа структур: биогеографическая, трофическая и топическая (расположение особей относительно поверхности грунта). Кроме того, для акватории был рассчитан биогеографический индекс BGI, представляющий собой отношение разницы биомасс бореальных и арктических видов к их сумме [4, 6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа приловов мегазообентоса демонстрируют разнообразие в многолетней динамике среднего веса особей для различных биогеографических групп (рис. 2). Группа бореальных видов показала небольшой недостоверный тренд на увеличение среднего веса особей ($p\text{-value} = 0,05$), группы бореально-арктических и арктических видов – статистически достоверные тренды на снижение среднего веса особей ($p\text{-value} = 0,015$ и $p\text{-value} < 0,001$ соответственно), при этом именно группа бореально-арктических видов составляет большую часть биомассы донных сообществ Баренцева моря. Таким образом, продолжающийся теплый период приводит к уменьшению среднего веса особей в такой размерной группе, как мегазообентос (без учета колониальных животных).

Биогеографический индекс показал более сложную динамику (рис. 3): до начала 2010-х годов он снижался, характеризуя увеличение преобладания биомассы арктических видов над бореальными, затем направление тренда изменялось на противоположное, и в последние три года величины индекса стали положительными (этого не отмечалось с начала регулярных наблюдений). Наблюдаемые изменения были достоверны ($p\text{-value} < 0,001$). Таким образом, с середины 2010-х годов биогеографическая структура мегазообентоса перестроилась под влиянием продолжающегося потепления.

Средний вес особей инфауны (группа закапывающихся донных беспозвоночных) и мобильной эпифауны (онфауны) достоверно снижался за период наблюдения ($p\text{-value} < 0,001$ и $p\text{-value} < 0,001$ соответственно) (рис. 4). В то же время средний вес организмов эпифауны не показал достоверно выраженного изменения во времени ($p\text{-value} = 0,709$).

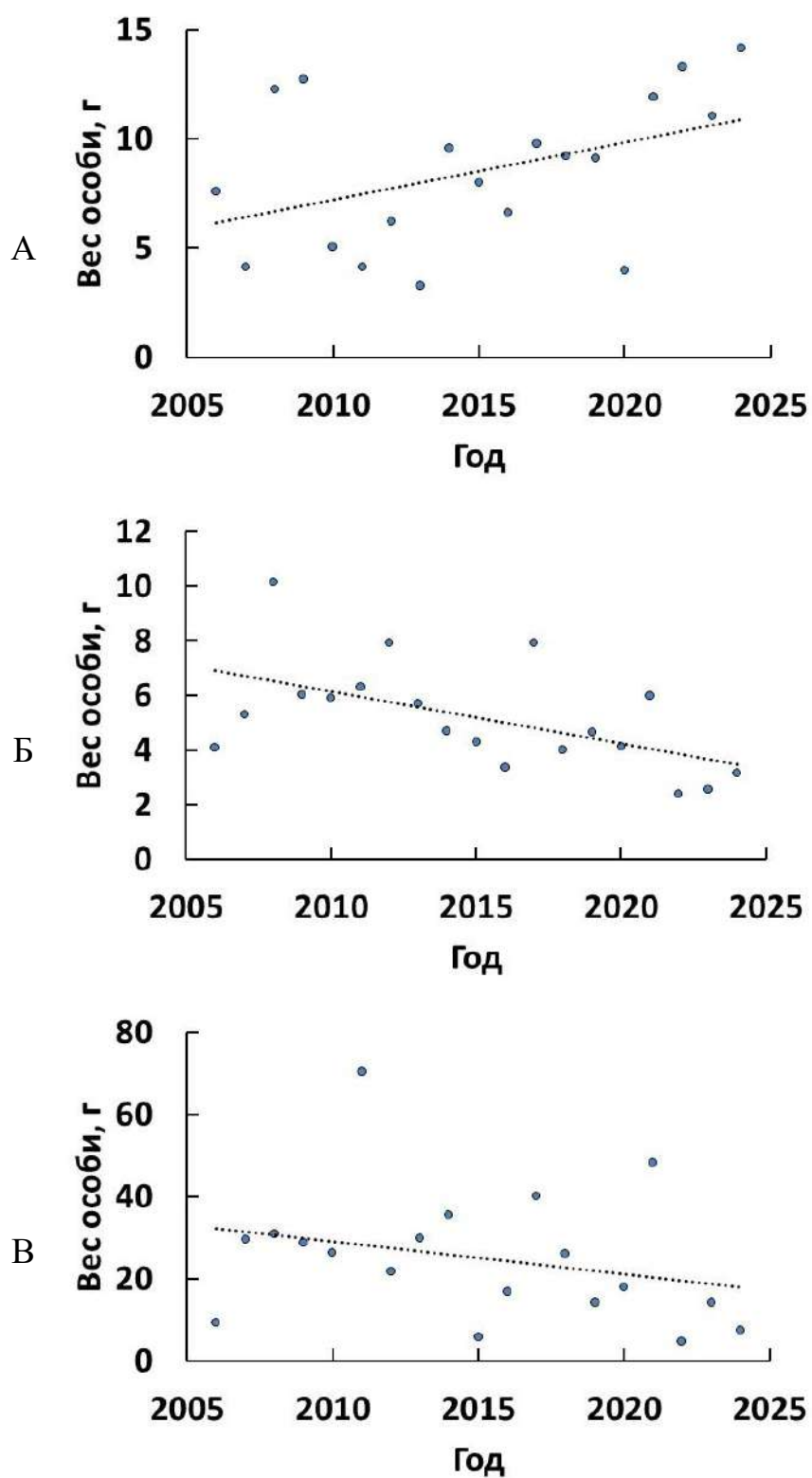


Рис. 2. Динамика среднего веса особей трех биогеографических групп мегазообентоса в Баренцевом море в 2006–2024 гг.: А – бореальные виды; Б – бореально-арктические; В – арктические

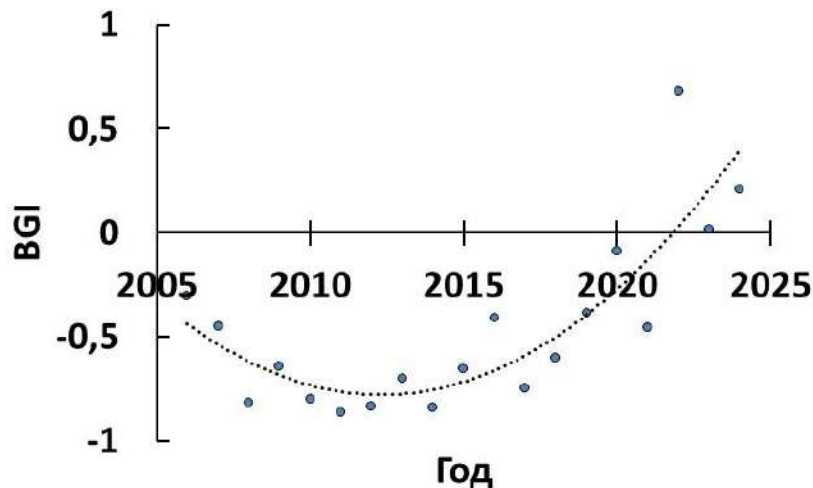


Рис. 3. Динамика биогеографического индекса мегазообентоса BGI в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

Естественно предположить, что климатические изменения должны были сказаться и на размерах особей разных трофических группировок. Действительно, размеры особей, относящихся ко всем четырем основным типам питания, за время наблюдения уменьшились, хотя и с разной степенью достоверности (рис. 5). Тренд на снижение среднего веса особей был недостоверен для грунтоедов ($p\text{-value} = 0,11$), достоверен для детритофагов-собираателей ($p < 0,001$), сестонофагов ($p\text{-value} < 0,001$) и плотоядных ($p < 0,001$).

Таким образом, за последние 19 лет наблюдается уменьшение среднего веса (размера) особей мегазообентоса Баренцева моря. Возможной причиной этого является уменьшение доступной для соматического роста энергии из-за повышения ее расходования на метаболизм. Также не исключено, что вследствие увеличения температуры более быстрый процесс минерализации оседающего детрита снижает пищевую ценность поступающей на дно органики, что уменьшает количество энергии, доступной донным обитателям. Косвенным аргументом в пользу первой причины является то, что у бореальных видов не отмечено снижение среднего веса особей. Бореальные виды эволюционно лучше приспособлены к оптимальному метаболизму при более высоких температурах, чем бореально-арктические и арктические, поэтому повышение температуры окружающей среды не должно было заметно сказаться на их соматическом росте и средних размерах особей соответственно. Экофизиологические адаптации, которые имеются у арктических видов, ориентированы на выживание при очень низких температурах, которые в части ареала уже не встречаются.

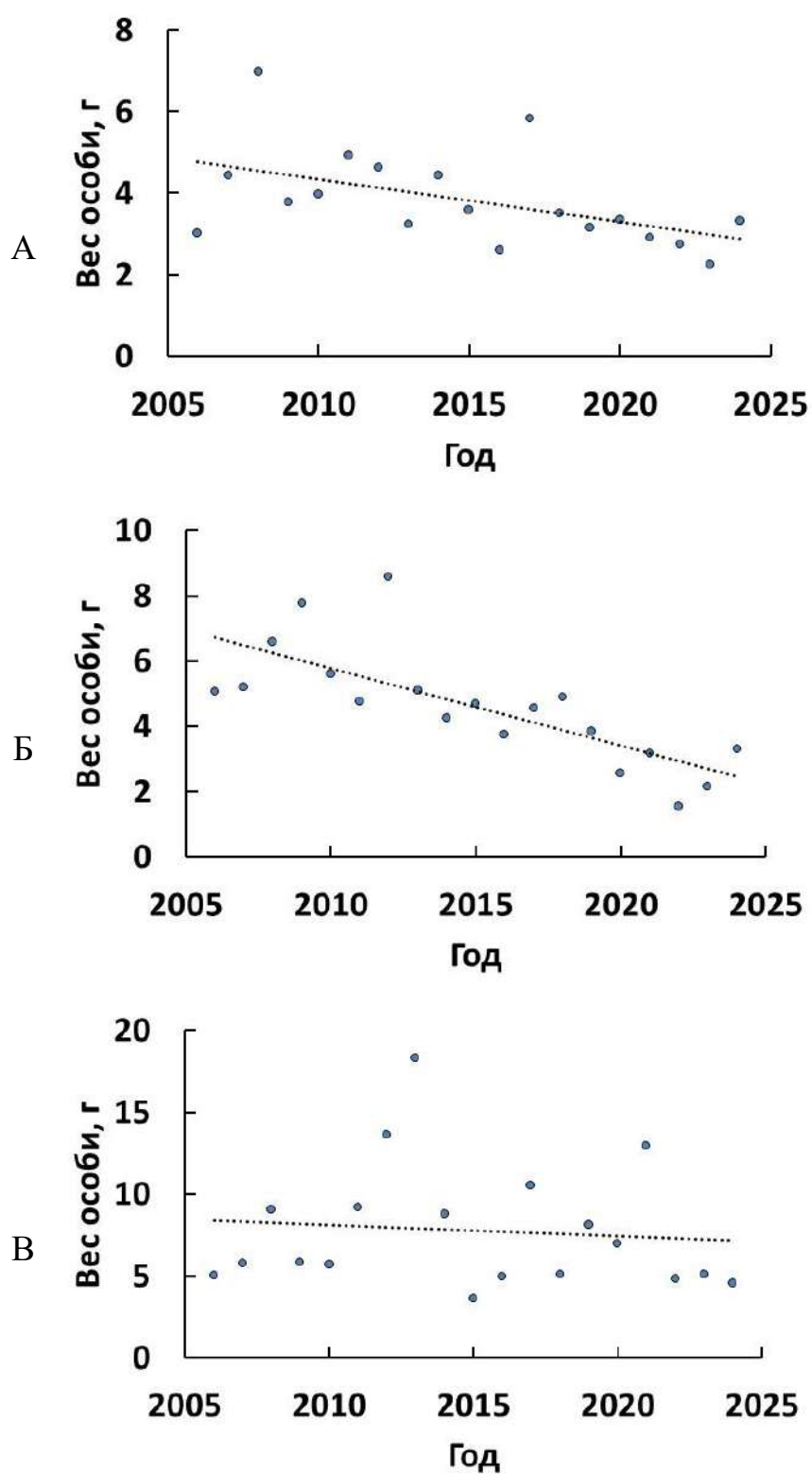


Рис. 4. Динамика среднего веса особей трех топических групп мегазообентоса в Баренцевом море в 2006–2024 гг.: А – организмы инфауны; Б – эпифауны; В – мобильной эпифауны

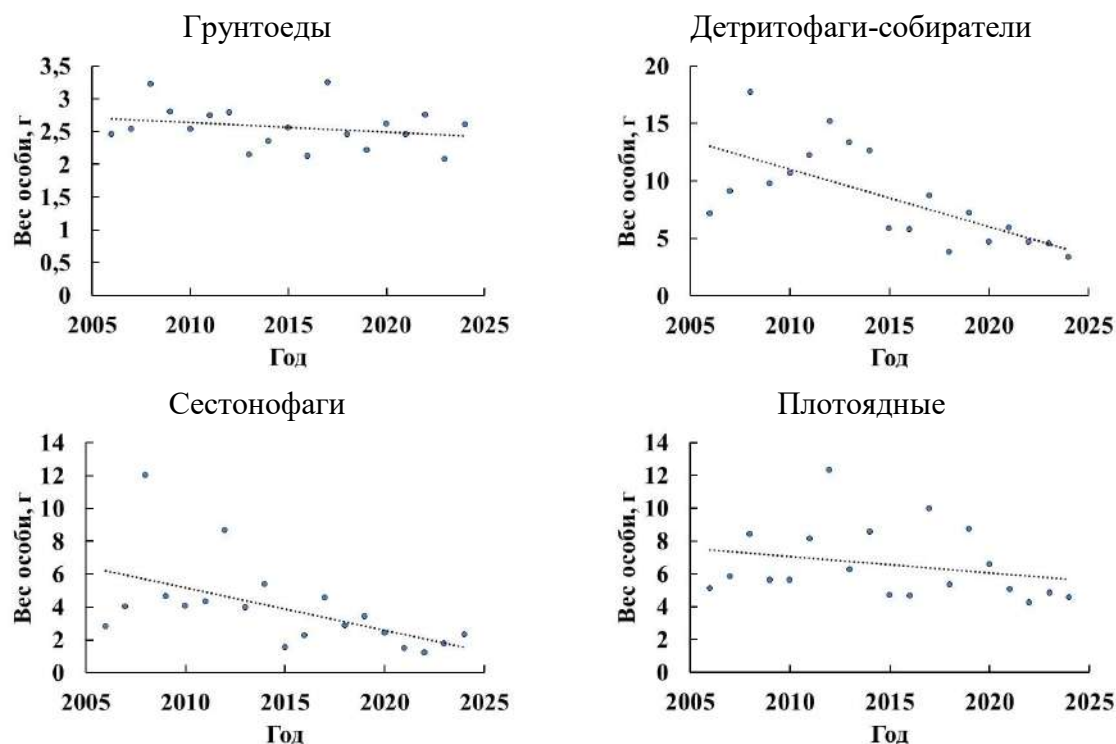


Рис. 5. Динамика среднего веса особей разных трофических групп мегазообентоса в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

Косвенным аргументом в пользу второй причины (уменьшения количества поступающего на дно органического вещества) является то, что уменьшение среднего веса не затронуло грунтоедов (питаются захороненным много лет назад в грунте органическим веществом), но уменьшился средний вес у особей, питающихся падающей из толщи воды органикой (сестонофаги и собиратели).

Потепление Баренцева моря, возможно, по-разному действует на разноразмерные группы зообентоса. Ранее было показано, что в теплые климатические периоды увеличивается биомасса макрозообентоса [3]. С учетом снижения среднего веса мегазообентоса возможно пополнение биомассы макрозообентоса за счет мельчающей части мегазообентоса. Для уточнения этого предположения требуются дальнейшие исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Продолжающееся потепление Баренцева моря привело к снижению среднего веса особей мегазообентоса. Уменьшение размеров затронуло бореально-арктические и арктические виды, группировки инфауны и мобильной эпифауны, а также сестонофагов, собирателей и плотоядных. Биogeографический индекс достиг положительных значений в 2022 г. впервые с 2006 г.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас мегабентосных организмов Баренцева моря и сопредельных акваторий / Д.В. Захаров, Н.А. Стрелкова, И.Е. Манушин [и др.]; отв. ред. К.М. Соколов; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2018. – 534 с.
2. Денисенко, С.Г. Биоразнообразие и биоресурсы макрозообентоса Баренцева моря. Структура и многолетние изменения / С.Г. Денисенко. – СПб.: Наука, 2013. – 284 с.
3. Многолетняя динамика биомассы макрозообентоса в восточной части Баренцева моря (за период с 1924 по 2014 гг.) / И.Е. Манушин, Н.А. Стрелкова, П.А. Любин [и др.] // Зоологический журнал. – 2020. – Т. 99, № 7. – С. 745–756.
4. Манушин, И.Е. Факторы, влияющие на изменения в бентосных сообществах «Кольского меридиана» / И.Е. Манушин // Труды X международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)». – Тверь: ПолиПресс, 2021. – Т.2 (III). – С. 119–122.
5. Сентябов, Е.В. Динамика гидрометеорологических условий в Северной Атлантике и Западной Арктике в эпоху глобальных климатических изменений / Е.В. Сентябов, А.Г. Трофимов // Труды ВНИРО. – 2024. – Т. 196. – С. 179–192.
6. Barents Sea megabenthos: Spatial and temporal distribution and production / D.V. Zakharov, L.L. Jorgensen, I.E. Manushin, N.A. Strelkova // Marine Biological Journal. – 2020. – Vol. 5, No. 2. – P. 19–37. – DOI 10.21072/mbj.2020.05.2.03.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СРЕДНЕГО ВЕСА ОСОБЕЙ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ МЕГАОБЕНТОСА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

*И.Е. Манушин¹, А.С. Кудряшова¹, Н.А. Стрелкова¹, Д.В. Захаров^{2, 4},
К.С. Рольская¹, В.С. Вязникова¹, Н.Е. Журавлева², Д.Ю. Блинова¹,
Л.Л. Йоргенсен³, Н.Е. Моисеева^{1, 5}*

¹Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(«ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск

²Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

³Институт морских исследований, г. Тромсё

⁴Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,
г. Санкт-Петербург

⁵Мурманский арктический университет (МАУ), г. Мурманск

Аннотация. Проанализирована динамика среднего веса особей мегазообентоса за 2006–2024 гг. на фоне многолетнего потепления Баренцева моря. Он достоверно уменьшился у представителей большинства рассмотренных таксономических групп. Возможными причинами снижения среднего веса особей при повышении температуры могут быть как уменьшение доступного количества пищи в результате ускорения минерализации поступающего на дно детрита, так и увеличение трат на обмен у эктотермных животных, приводящее к ограничению их соматического роста.

Ключевые слова: Баренцево море, мегазообентос, средний вес, потепление.

ВВЕДЕНИЕ

Климатический индекс, отражающий потепление Баренцева моря, уже около 30 лет имеет положительные значения [3]. Такое длительное потепление, несомненно, оказывает непосредственное воздействие на качественные и количественные характеристики зообентоса. В большинстве публикаций, описывающих изменения в донной фауне при потеплении климата, приводятся данные об изменении ареалов видов и динамике численности, а также о воздействии ацидофикации на организмы, содержащие кальциевый скелет. Многие из них являются теоретическими, некоторые основаны на экспериментальных данных, большинство натурных исследований проводится на незначительных акваториях.

Работы по изучению влияния климатических изменений на компоненты экосистем масштабов крупных акваторий (таких, как моря, особенно арктические) немногочисленны. Накопленный к настоящему времени материал, собранный в ежегодных российско-норвежских экосистемных съемках Баренцева моря, позволяет предварительно оценить воздействие изменения климата на ряд продукционных характеристик

донных сообществ. Цель работы – оценка влияния потепления Баренцева моря на представителей мегазообентоса.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы данные 2680 траловых уловов мегабентоса в Баренцевом море в 2006–2024 гг. Выбранный для исследования район был ограничен координатами: с юга – 68° с.ш., с запада – 20° в.д., с севера – 78° с.ш., с востока – 50° в.д. Схема расположения станций тралений представлена в статье «Реакция мегазообентоса Баренцева моря на потепление» (см. наст. сб.). Проанализированный материал собран донным тралом «Campelen-1800» с раскрытием по горизонтали 15 м и мелкоячеистой вставкой с размером ячеек 22 мм [1].

В качестве показателя, который может отражать многолетние изменения в продукционной способности донной фауны Баренцева моря, был выбран средний вес особей мегазообентоса. Средний вес особи является интегральным показателем продукционных характеристик поселений водных эктотермных животных, отражающим как соотношение биомассы и плотности поселения, так и удельную продукцию особей [2]. В настоящей работе средний вес особи вида/таксона рассчитывался двумя способами: 1 – делением общей биомассы этого вида/таксона, учтенной во всех тралах за год, на численность всех особей вида/таксона, также учтенных во всех тралах за этот год; 2 – нахождением среднего за год по средним весам особей, определенных для каждого трала. В первом случае средний вес ближе к средневзвешенному, во втором – получился массив данных, пригодных для использования однофакторного дисперсионного анализа в целях оценки достоверности происходящих многолетних изменений.

Для определения степени воздействия факторов среды, в первую очередь потепления моря, на размерную структуру (средний вес) донных сообществ были рассмотрены следующие таксоны: иглокожие (*Urasterias lincki*, *Icasterias panopla*, *Ctenodiscus crispatus*, *Solaster*, *Gorgonocephalus*, *Strongylocentrotus*, *Cucumaria frondosa*), ракообразные (*Chionoecetes opilio*, *Pandalus borealis*, *Pagurus*, *Sclerocrangon*, *Hyas*), моллюски (*Buccinidae*, *Chlamys islandica*), мягкие кораллы *Alcyonacea* и многощетинковые черви *Brada*. Таксоны были выбраны по причине их массовости, так как являются яркими представителями фауны Баренцева моря, идентифицировать их может не специалист, они широко представлены и относятся к разным экологическим группировкам.

Выбор для анализа таксонов надвидового ранга может быть оправдан только в том случае, если преимущества такого подхода существеннее, чем

недостатки. К преимуществам относятся хорошая распознаваемость исследователем (нельзя спутать с другим таксоном), большая массовость (вследствие представленности особями нескольких видов) и лучшая представленность на всей исследуемой акватории. Отрицательная сторона такого подхода состоит во внесении неопределенности в биогеографическую приуроченность (разные виды внутри такого таксона часто принадлежат к разным биогеографическим группам), что приводит к увеличению неопределенности оценки воздействия потепления на объект. Учитывая это, рассмотрим изменение среднего веса для выбранных таксонов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

***Urasterias lincki*.** Бореально-арктические морские звезды относятся к онфаунным организмам, основной тип питания – плотоядные. Хорошо представлены в уловах донных тралов. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 1,0 г в год (рис. 1).

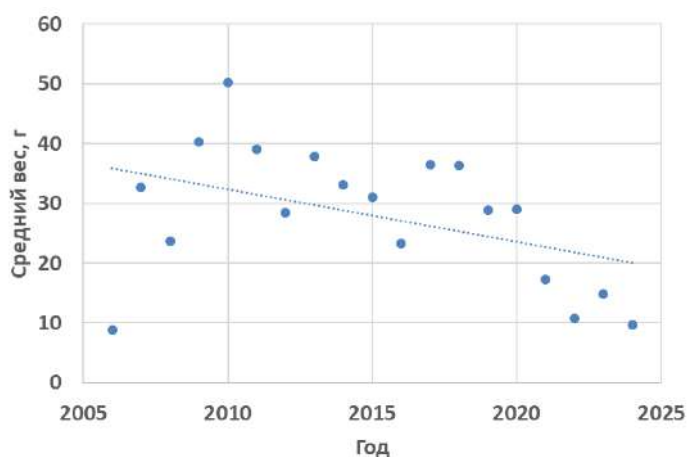


Рис. 1. Динамика среднего веса особей *Urasterias lincki* в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

***Icasterias panopla*.** Арктические морские звезды относятся к онфаунным организмам, основной тип питания – плотоядные. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 1,1 г в год (рис. 2).

***Ctenodiscus crispatus*.** Бореально-арктические морские звезды относятся к инфаунным организмам, основной тип питания – детритофаги-грунтоеды. Хорошо представлены в уловах донных тралов. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 30 мг в год (рис. 3).

***Solaster*.** Эти морские звезды относятся к онфаунным организмам, основной тип питания – плотоядные. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 4,5 г в год (рис. 4).

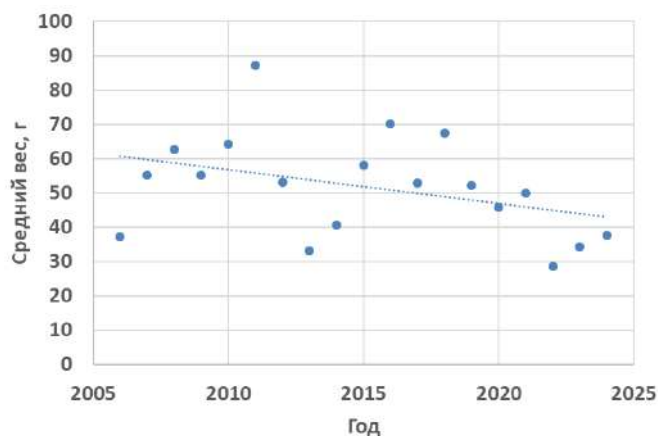


Рис. 2. Динамика среднего веса особей *Icastérias papopla* в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

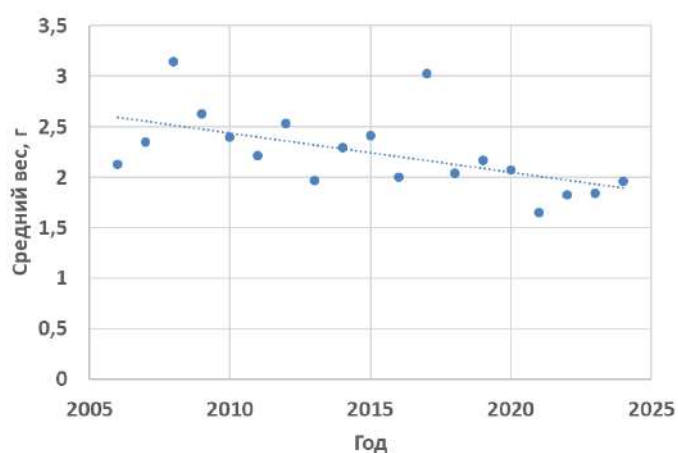


Рис. 3. Динамика среднего веса особей *Stenodiscus crispatus* в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

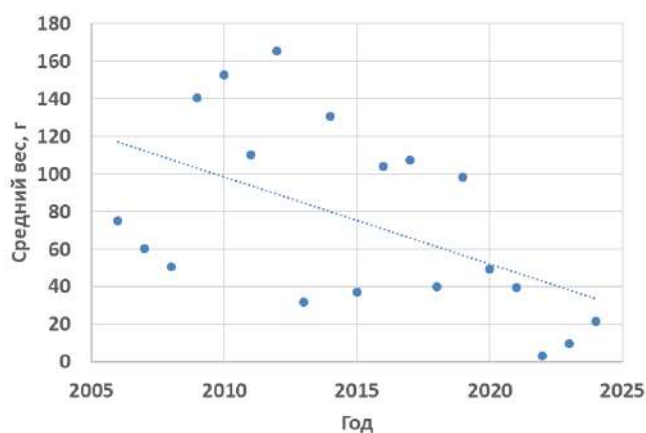


Рис. 4. Динамика среднего веса особей *Solaster* sp. в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

***Gorgonocephalus*.** Офиуры этого рода относятся к онфаунным организмам, основной тип питания – сестонофаги. Представлены в основном на севере исследуемой акватории. За анализируемый период достоверный тренд в динамике среднего веса не выявлен.

***Strongylocentrotus*.** Эти морские ежи относятся к онфаунным организмам, основной тип питания – соскребатели. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 0,5 г в год (рис. 5).

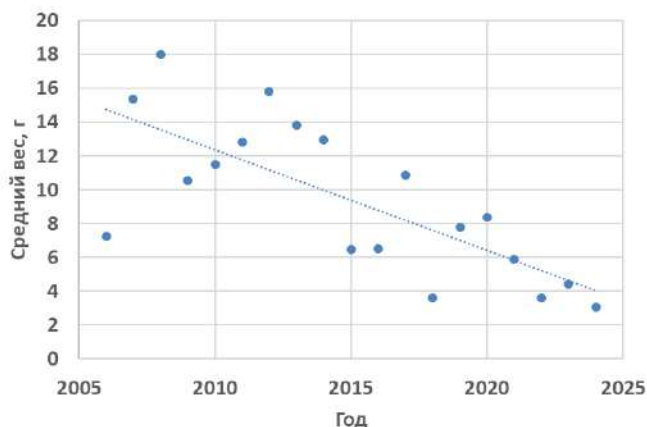


Рис. 5. Динамика среднего веса особей *Strongylocentrotus* sp. в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

***Cucumaria frondosa*.** Бореальные голотурии относятся к эпифаунным организмам, основной тип питания – сестонофаги. За анализируемый период достоверный тренд в динамике среднего веса не выявлен. Возможной причиной является малое количество тралов с приловами этого вида и широкий диапазон среднего веса, что определяет большую внутригодовую дисперсию, превышающую межгодовую.

***Chionoecetes opilio*.** Бореально-арктические крабы-стригуны также относятся к онфаунным организмам, основной тип питания – плотоядные. Хорошо представлены в уловах донных тралов. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 6 г в год (рис. 6). Кроме природных факторов, влияющих на средний размер краба, существует и влияние промысла, изымающего крупных самцов из популяции.

***Pandalus borealis*.** Бореально-арктическая северная креветка относится к некто-бентосным организмам, основной тип питания – плотоядные. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) увеличение среднего веса в среднем на 80 мг в год (рис. 7).

***Pagurus*.** Раки-отшельники этого рода также относятся к онфаунным организмам, основной тип питания – плотоядные. В подавляющем

большинстве случаев представлены особями бореально-арктического вида *Pagurus pubescens*, хотя встречаются и особи бореального вида *Pagurus bernhardus*. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 0,1 г в год (рис. 8).

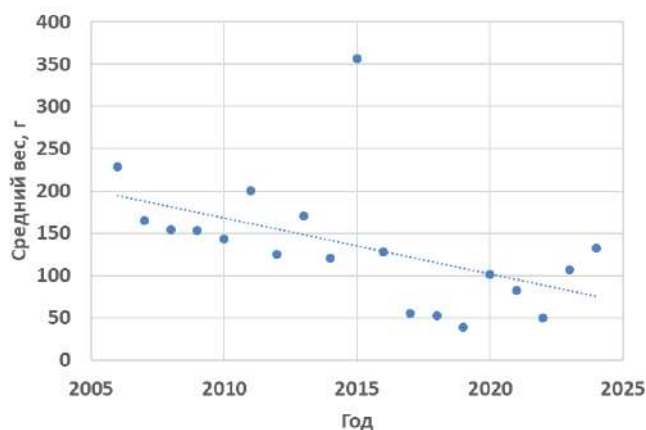


Рис. 6. Динамика среднего веса особей *Chionoecetes opilio* в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

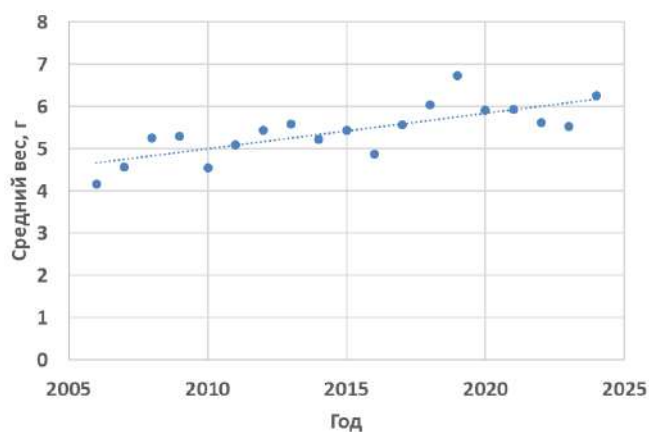


Рис. 7. Динамика среднего веса особей *Pandalus borealis* в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

***Sclerocrangon*.** Бореально-арктические креветки этого рода относятся к онфаунным организмам, основной тип питания — плотоядные. За анализируемый период достоверный тренд в динамике среднего веса не выявлен.

***Hyas*.** Эти крабы также относятся к онфаунным организмам, основной тип питания — плотоядные. В подавляющем большинстве случаев представлены особями бореально-арктического вида *Hyas araneus*. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 0,8 г в год (рис. 9).

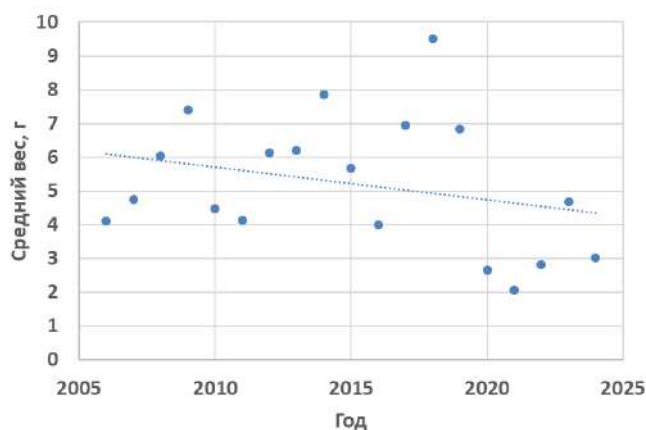


Рис. 8. Динамика среднего веса особей *Pagurus* sp. в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

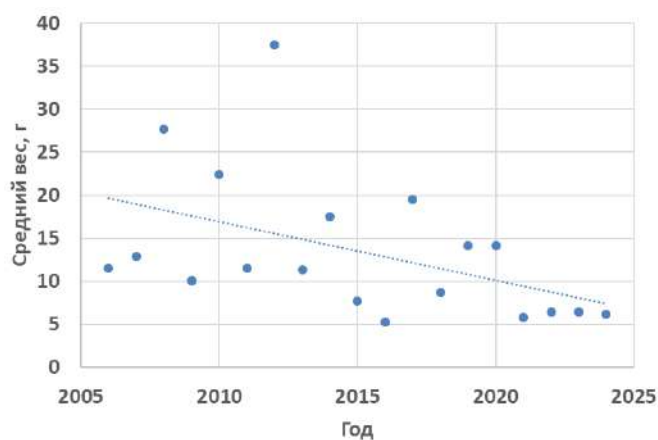


Рис. 9. Динамика среднего веса особей *Hyas* spp. в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

Buccinidae. Моллюски этого семейства относятся к онфаунным организмам, основной тип питания – плотоядные. Хорошо представлены в уловах донных тралов. За анализируемый период достоверный тренд в динамике среднего веса не выявлен.

Chlamys islandica. Бореальный вид, также относится к онфаунным организмам, основной тип питания – сестонофаги. Исландские гребешки хорошо представлены в уловах донных тралов. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 0,5 г в год (рис. 10).

Alcyonacea. Мягкие кораллы относятся к эпифаунным организмам, основной тип питания – сестонофаги. Они хорошо представлены в уловах донных тралов. За анализируемый период показали достоверное ($p\text{-value} < 0,005$) снижение среднего веса в среднем на 70 мг в год (рис. 11).

Brada. Полихеты этого рода относятся к инфаунным организмам, основной тип питания – детритофаги-грунтоеды. Они хорошо представлены

в уловах донных тралов. За анализируемый период достоверный тренд в динамике среднего веса не выявлен.

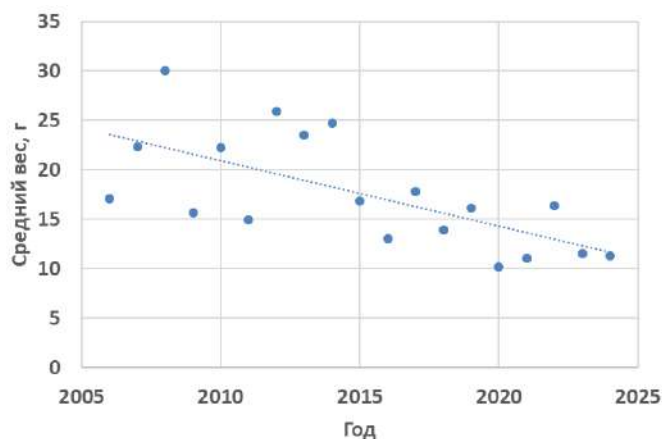


Рис. 10. Динамика среднего веса особей *Chlamys islandica* в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

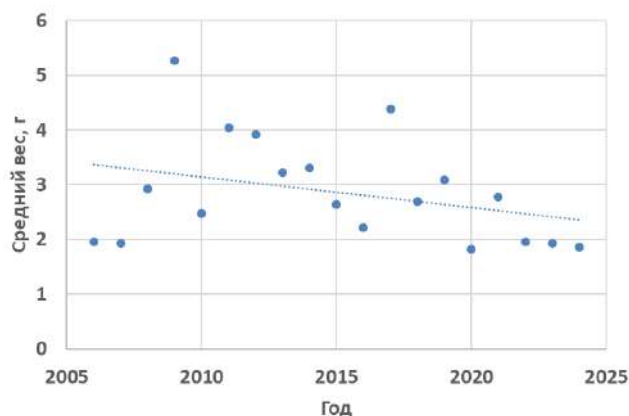


Рис. 11. Динамика среднего веса особей *Alcyonasea g. spp.* в уловах в Баренцевом море в 2006–2024 гг.

Таким образом, из 16 рассмотренных таксонов 10 показали снижение среднего веса особей за период наблюдения, 5 – не имели четко выраженного тренда и только северная креветка продемонстрировала тренд к увеличению среднего веса. Вероятной причиной увеличения ее размеров является существенное снижение численности одного из главных потребителей – трески, что увеличило выживаемость и, соответственно, численность более крупных старших возрастных групп этого ракообразного.

В то же время большое количество таксонов с отрицательным трендом среднего веса указывает на некий фактор, который в последние годы ограничивает максимальные размеры или темпы соматического роста особей этих таксонов. Так как в современный период происходит потепление Баренцева моря, возможно, именно оно является первопричиной данных изменений. С одной стороны, потепление может уменьшать

доступность пищи (под действием более высокой температуры из-за ускорения процесса минерализации меньше органического вещества достигает дна), с другой – из-за того же повышения температуры увеличиваются траты на обмен у эктотермных животных, что приводит к ограничению соматического роста. Вероятно, подобный механизм действует и в бореальных морских областях, но именно в арктических он усиливается многомесячным отсутствием первичной продукции органического вещества в течение полярной ночи.

Отсутствие достоверного тренда у букцинид, кукумари, горгоноцефалюсов и панцирных креветок может быть объяснено высокой мозаичностью их распределения, когда один или несколько уловов могут сильно повлиять на средний вес особи в году, вызывая так называемые «выбросы». Причину отсутствия тренда у брад еще предстоит выяснить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Баренцевом море с 2006 по 2024 г. зарегистрировано снижение среднего веса особей массовых таксонов мегазообентоса. Он достоверно уменьшился у представителей некоторых таксономических групп (*Urasterias lincki*, *Icasterias panopla*, *Ctenodiscus crispatus*, *Solaster* sp., *Strongylocentrotus* sp., *Chionoecetes opilio*, *Pagurus* sp., *Hyas* spp., *Chlamys islandica*, *Alcyonacea* g. spp.), тогда как в других группах этого не отмечено (*Gorgonocephalus* spp., *Cucumaria frondosa*, *Pandalus borealis*, *Sclerocrangon* spp., *Buccinidae* g. spp., *Brada* spp.). Возможными причинами снижения среднего веса особей при повышении температуры могут быть как уменьшение количества пищи в результате ускорения минерализации поступающего на дно детрита, так и увеличение трат на обмен у бентосных эктотермных животных, приводящее к ограничению их соматического роста.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас мегабентосных организмов Баренцева моря и сопредельных акваторий / Д.В. Захаров, Н.А. Стрелкова, И.Е. Манушин [и др.]; отв. ред. К.М. Соколов; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2018. – 534 с.
2. Манушин, И.Е. Средняя масса особи как показатель скорости оборота вещества в популяциях водных эктотермных животных / И.Е. Манушин // Материалы X науч. семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина». – СПб.: КопиСервис, 2008. – С. 29–34.
3. Сентябов, Е.В. Динамика гидрометеорологических условий в Северной Атлантике и Западной Арктике в эпоху глобальных климатических изменений / Е.В. Сентябов, А.Г. Трофимов // Труды ВНИРО. – 2024. – Т. 196. – С. 179–192.

ЭКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАМЧАТСКОГО КРАБА (*PARALITHODES CAMTSCHATICUS*) БАРЕНЦЕВА МОРЯ

М.А. Новиков, Е.А. Горбачева

*Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»
(«ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск*

Аннотация. Представлены данные об уровне загрязнения тканей камчатского краба, выловленного в ходе морских экспедиций «ПИНРО» им. Н.М. Книповича в южной и юго-восточной частях Баренцева моря в 2013–2023 гг. Исследовали содержание хлорорганических пестицидов, ПХБ и тяжелых металлов в мышцах (белое мясо) и гепатопанкреасе краба. Содержание металлов в пробах определяли методами пламенной и непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии, содержание хлорорганических соединений – методом хромато-масс-спектрометрии. Показано, что содержание изученных поллютантов в мышцах и гепатопанкреасе камчатского краба не превышало нормативов безопасности, установленных в государствах Таможенного союза для пищевой рыбной продукции (ТР ТС-021-2011). Приведены карты распределения содержания отдельных поллютантов в тканях камчатского краба в Баренцевом море. Отмечен отрицательный тренд содержания некоторых тяжелых металлов в мышцах краба в последние десять лет. Показана высокая способность гепатопанкреаса камчатского краба аккумулировать химическое загрязнение. Особенно заметно эта способность проявлялась в отношении кадмия и хлорорганических пестицидов. Неблагоприятные тенденции в динамике уровней содержания хлорорганических соединений в мышцах и гепатопанкреасе изученного краба также не обнаружены.

Ключевые слова: Баренцево море, камчатский краб, тяжелые металлы, хлорорганические пестициды, ПХБ, хлорданы.

ВВЕДЕНИЕ

Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) – ценный промысловый вид, интродуцированный советскими гидробиологами в Баренцево море в начале 1960-х годов. Всего в 1961–1969 и 1977–1978 гг. в Баренцево море было выпущено около 5 тыс. экз. взрослых крабов, 10,7 тыс. экз. молоди и 1,525 млн личинок [2]. Интродукция краба в целом прошла успешно. К настоящему времени камчатский краб натурализовался и широко распространен в южной и юго-восточной частях Баренцева моря. С 2004 г. его численность и уровень промыслового запаса позволяют вести регулярный промышленный лов. Добываются только самцы краба крупнее минимально допустимого промыслового размера. Промысловая биомасса камчатского краба на конец 2023 г. оценивалась на уровне 184 тыс. т [7].

Мясо камчатского краба является сырьем для приготовления деликатесной продукции, обладает хорошими вкусовыми качествами и высокой пищевой ценностью. В пищу употребляют мясо белого цвета, находящееся в ногах, клешнях и месте сочленения ног с карапаксом, а также икра. Гепатопанкреас может быть использован как сырье для получения биологически активных препаратов. Сырое мясо краба содержит много влаги и мало жира (0,18–0,91 %). В гепатопанкреасе (печени) краба содержание жира достигает 13–20 % [2, 8]. Большое значение имеет не только качество мяса краба, но и его безопасность – безвредный для человека уровень нормируемых загрязняющих веществ в организме краба. Существует ряд токсичных, потенциально опасных неорганических и органических соединений, которые могут присутствовать в тканях промысловых гидробионтов. К ним относятся, в частности, тяжелые металлы и хлорорганические пестициды, для которых в России и других странах Таможенного союза установлены санитарно-гигиенические нормативы [6].

Цель работы – в многолетнем аспекте исследовать и оценить уровень содержания приоритетных загрязняющих веществ и соединений в мышцах и гепатопанкреасе камчатского краба Баренцева моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал для исследований собирался в рамках комплексных морских экспедиций на научно-исследовательских судах ФГБНУ «ВНИРО», главным образом на «Профессоре Бойко» и «Протее» в рамках выполнения программ государственного мониторинга водных биологических ресурсов.

В настоящей работе представлены результаты анализа проб мышечной ткани и гепатопанкреаса самцов камчатского краба, собранных в 2013–2023 гг. Материал для исследований получали из учетных ловов донным тралом и крабовыми ловушками на акватории преимущественно юго-восточной части Баренцева моря. Одна проба краба соответствовала одному экземпляру с шириной карапакса не менее 100 мм. Анализ содержания загрязняющих веществ (ЗВ) в гепатопанкреасе проводили не у всех особей. Расположение станций отбора проб камчатского краба в Баренцевом море представлено на рис. 1. Как видно из карты, отдельные пробы отбирали в Воронке и Горле Белого моря.

Отбор проб и их хранение осуществляли в соответствии с методическими указаниями ВНИРО [1]. По завершении отбора пробы помещали в специальные пакеты и замораживали при –20 °С для доставки в стационарную лабораторию.

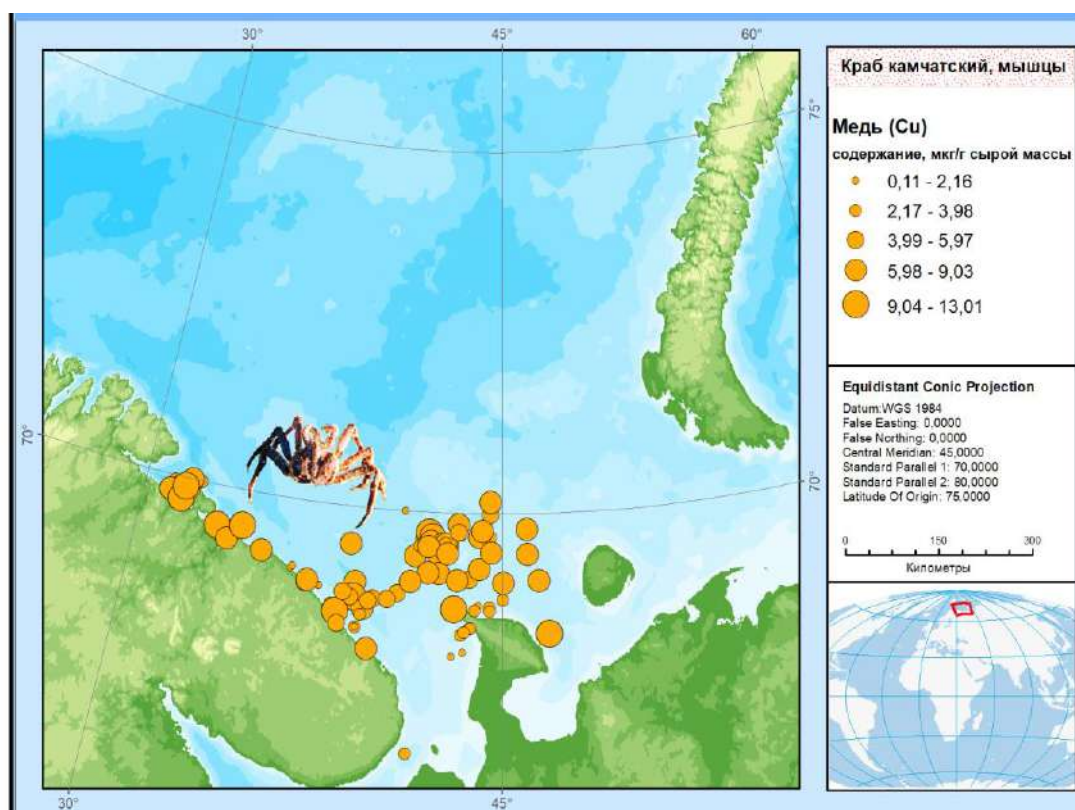


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб краба *P. camtschaticus* в 2013–2023 гг. (на примере оценки уровня содержания меди в мышцах)

Подготовка и химический анализ проб на содержание тяжелых металлов (ТМ) – Cd, Hg, Mn, Pb, Cu, Cr, Ni, Co и Zn – выполнены в лаборатории химико-аналитических исследований «ПИНРО» им. Н.М. Книповича. Подготовка проб проводили методом «мокрой» минерализации. Предварительно образцы тканей тщательно измельчали и размешивали до пастообразного состояния. К навеске мышц или гепатопанкреаса добавляли смесь 70 % особо чистой азотной кислоты и концентрированной перекиси водорода (4:1), выдерживали в течение 24 ч при комнатной температуре, затем помещали в микроволновую систему пробоподготовки МС-6 (НТФ «Вольта», г. Санкт-Петербург, Россия). Металлы в пробах определяли методом спектрофотометрии на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы Shimadzu, модель АА 6800 (Япония) в соответствии с ГОСТом 30178-96*. Общую ртуть в пробах определяли методом непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии (методом «холодного пара») на гидридной приставке к

* ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – М.: Стандартинформ, 2010. – 32 с.

атомно-абсорбционному спектрофотометру фирмы Shimadzu, модель AA 6800. Для градуировки использовали Государственные стандартные образцы состава водных растворов ионов металлов. Нижний предел обнаружения применяемого метода анализа составлял 0,001 мг/кг сырой массы.

Перед началом исследований проб на содержание хлорорганических соединений (ХОС) их гомогенизировали. При экстракции липидов из проб использовали погружной гомогенизатор PT 10-35 GT POLYTRON. Экстракцию проводили дважды.

Для очистки экстракта от липидов использовали концентрированную серную кислоту. Концентрации хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов (ПХБ) в экстрактах определяли методом капиллярной газовой хроматографии на хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus Shimadzu с капиллярной кварцевой колонкой HP-5 MS длиной 30 м и диаметром 0,25 мм, толщиной фазы 0,25 мкм. Количественное определение выполнялось с использованием калибровки тестовыми смесями, приготовленными из сертифицированных кристаллических ХОП фирмы Sigma-Aldrich (США). Для автоматизированной обработки результатов анализа использовали программу GCMSsolution 2.5 фирмы Shimadzu (Япония).

Определяли содержание в мышцах и гепатопанкреасе ГХБ, α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, цис-хлордана, транс-хлорданана, транс-нонахлора, ДДТ и его метаболитов – дихлордифенилдихлорэтилена (ДДЕ) и дихлордифенилдихлорэтана (ДДД), а также конгенов ПХБ с номерами по номенклатуре IUPAC 28, 31, 52, 99, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180. Предел обнаружения для каждого из изученных ХОС составлял 0,05 нг/г сырой массы. При определении металлов и ХОС каждая аналитическая серия включала «холостую» пробу, что позволяло контролировать возможное загрязнение образцов в процессе анализа.

Статистическую обработку данных и построение диаграмм осуществляли в среде MS Excel 2016 и Statistica 13. Карты выполняли в среде ГИС-приложения ArcMap 10 из пакета ArcGIS компании ESRI.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно полученным нами данным, среднее содержание ЗВ в мышцах камчатского краба в период 2013–2023 гг. составляло для Hg $0,048 \pm 0,036$ мкг/г ($\pm$ стандартное отклонение), Cd – $0,027 \pm 0,032$ мкг/г, Pb – $0,23 \pm 0,38$ мкг/г, Cu – $4,71 \pm 2,96$ мкг/г, Zn – $24,82 \pm 8,83$ мкг/г, Ni – $0,19 \pm 0,25$ мкг/г, Cr – $0,18 \pm 0,17$ мкг/г, Mn – $0,38 \pm 0,45$ мкг/г и Co – $0,14 \pm 0,13$ мкг/г сырой массы ($n=157$); Σ ГХЦГ – $0,90 \pm 0,72$ нг/г, ГХБ – $0,20 \pm$

0,18 нг/г, Σ ДДТ – $0,63 \pm 0,32$ нг/г, Σ ПХБ – $1,10 \pm 1,10$ нг/г и суммы хлорданов – $0,21 \pm 0,21$ нг/г сырой массы ($n=136$).

Среднее содержание ЗВ в гепатопанкреасе камчатского краба в тот же период составляло для Hg $0,11 \pm 0,05$ мкг/г ($\pm$ стандартное отклонение), Cd – $0,64 \pm 0,47$ мкг/г, Pb – $0,97 \pm 2,51$ мкг/г, Cu – $11,19 \pm 10,97$ мкг/г, Zn – $36,55 \pm 15,67$ мкг/г, Ni – $0,81 \pm 0,95$ мкг/г, Cr – $0,85 \pm 1,20$ мкг/г, Mn – $2,0 \pm 1,79$ мкг/г и Co – $0,59 \pm 0,59$ мкг/г сырой массы ($n=137$); Σ ГХЦГ – $5,31 \pm 4,25$ нг/г, ГХБ – $0,54 \pm 0,58$ нг/г, Σ ДДТ – $5,91 \pm 3,61$ нг/г, Σ ПХБ – $12,84 \pm 26,10$ нг/г и суммы хлорданов – $1,30 \pm 1,12$ нг/г сырой массы ($n=112$).

Из исследованных химических элементов (микроэлементов) в России и государствах Таможенного союза нормируется содержание в ракообразных Cd, Hg и Pb. Приоритетные ХОС в тканях морских беспозвоночных, в отличие от рыб, не нормируются. Анализ приведенных данных показал, что средние концентрации этих металлов в мышцах камчатского краба не превышали установленные нормативы [6]. В то же время следует отметить, что гепатопанкреас краба способен к значительному накоплению как ТМ, так и ХОС. Рекордсменом по накоплению является кадмий: среднее его содержание в гепатопанкреасе краба в 24,2 раза превышает таковое в мышцах. Указанная способность Cd к накоплению в печени отмечена нами ранее для промысловых рыб Баренцева моря [4]. По степени накопления загрязнения в гепатопанкреасе исследованные ТМ и ХОС можно расположить в ряду по убыванию: Cd > ПХБ > ДДТ > хлорданы > ГХЦГ > Mn > Cr > Ni > Co > Pb > ГХБ > Cu > Hg > As > Zn. Содержание Zn в мышцах краба ниже, чем в гепатопанкреасе только в 1,5 раза.

Известно, что гепатопанкреас краба – важный депонирующий химическое загрязнение орган. Характер распределения содержания всех ЗВ в гепатопанкреасе исследованных особей краба сильно отличается от нормального по критерию Колмогорова–Смирнова. Это свидетельствует о значительной вариабельности параметра, который весьма зависит от различных факторов, таких как главным образом рацион и интенсивность питания и физиологическое состояние краба в период отбора пробы. Подобное явление у крабов ранее было рассмотрено нами на примере содержания общей ртути в тканях камчатского краба [3]. Сильная изменчивость уровня содержания ЗВ в гепатопанкреасе связана с тем, что орган не только накапливает эти вещества, но зачастую участвует и в их метаболизме. Продукты метаболизма ЗВ в дальнейшем могут выводиться из организма или перераспределяться между органами и тканями ракообразного.

В течение длительного периода наблюдений нами не отмечено возрастания уровня загрязнения мышц камчатского краба металлами. Как

видно, например, из диаграммы, представленной на рис. 2, положительный тренд на загрязнение мышц краба *P. camtschaticus* отсутствует. Вместо этого наблюдается скорее отрицательный тренд, наиболее хорошо прослеживаемый в случае кобальта ($R^2=0,52$). Можно предположить, что данный тренд обусловлен продвижением популяции камчатского краба в процессе расширения его ареала в рассматриваемый период в более «чистые» в плане загрязнения среды обитания восточные районы Баренцева моря [5].

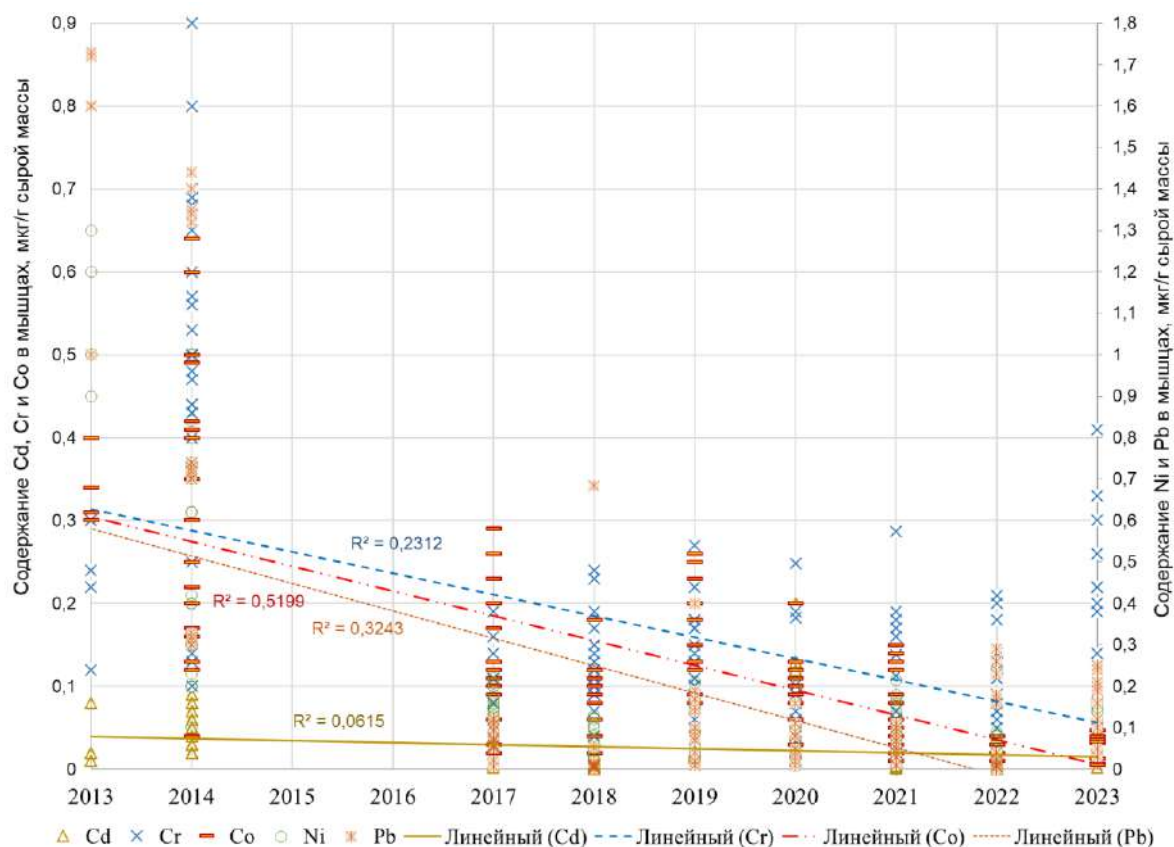


Рис. 2. Многолетние тренды содержания некоторых металлов в мышцах краба *P. camtschaticus* с указанием соответствующих коэффициентов детерминации

Определенные устойчивые тенденции к снижению отмечены и в содержании Cr и Pb в мышцах (см. рис. 2). Для таких металлов, как Cd, Hg, Cu, Zn и Mn, подобное явление не наблюдалось.

Анализ многолетней динамики содержания ХОС в мышцах камчатского краба (рис. 3) не дает оснований для однозначных заключений о направленности изменений этих показателей: коэффициенты детерминации при линиях трендов весьма невелики.

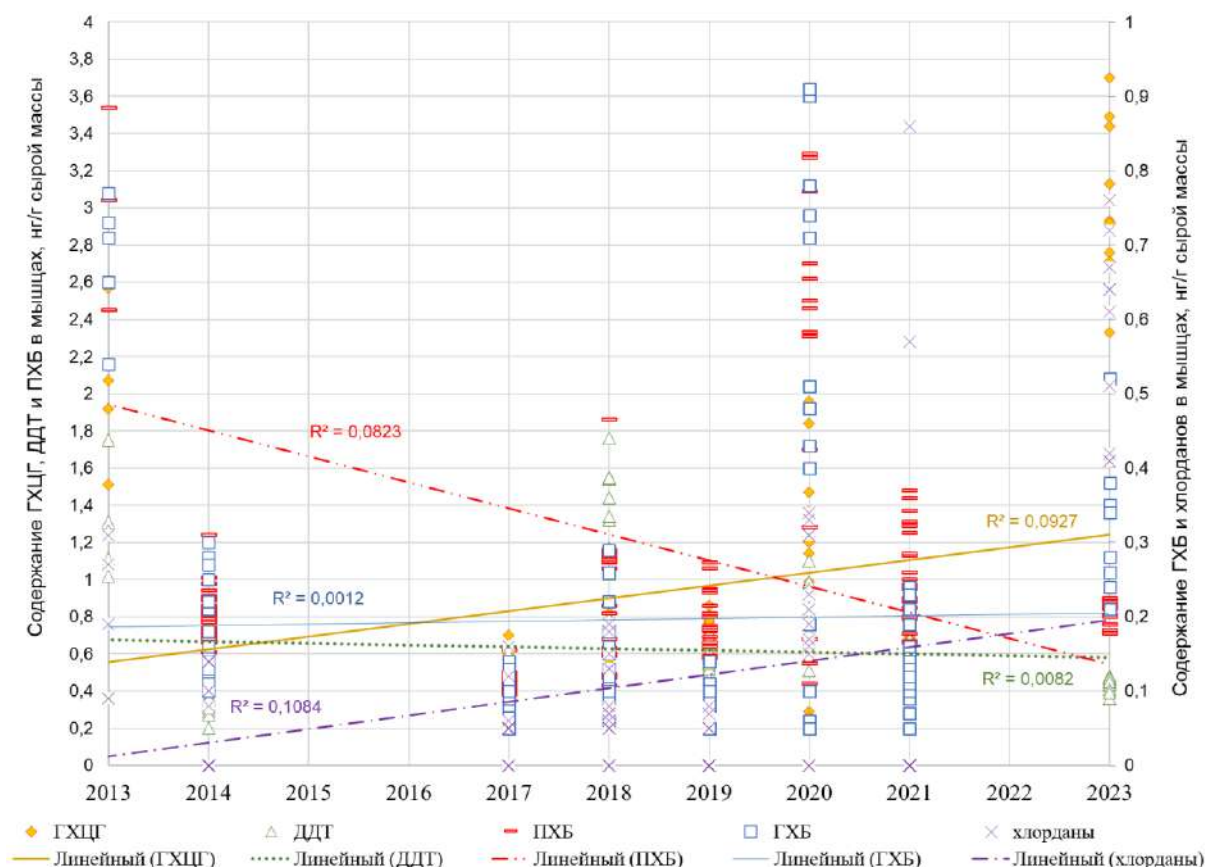


Рис. 3. Многолетние тренды содержания некоторых ХОС в мышцах краба *P. camtschaticus* с указанием соответствующих коэффициентов детерминации

Наблюдаемая заметная межгодовая изменчивость содержания хлорорганических пестицидов и ПХБ в мышцах краба может быть обусловлена характером его питания и локальным загрязнением среды обитания, главным образом донных отложений в районе отбора пробы в конкретном году. Для примера, на рис. 4 показано, что содержание ГХБ в мышцах камчатского краба в разные годы на разных станциях могло отличаться практически на порядок.

В отношении содержания ТМ и ХОС в гепатопанкреасе краба проследить многолетний тренд не представляется целесообразным по причине упомянутой высокой изменчивости (вариабельности) этих показателей.

Несмотря на значительную вариабельность содержания пестицидов и ПХБ, следует отметить некоторые особенности накопления ХОС в мышцах и гепатопанкреасе камчатского краба Баренцева моря. Так, в тканях краба в течение всего периода исследований отношение п,п'-ДДЕ/п,п'-ДДТ > 1 , что указывало на давнее загрязнение морской среды техническим ДДТ. Кроме того, в Σ ГХЦГ преобладал α -изомер

ГХЦГ, а в общем содержании ПХБ отмечено доминирование пента- и гексаконгенов – ПХБ-118, ПХБ-138 и ПХБ-153. Например, в мышцах и гепатопанкреасе камчатского краба, выловленного в южных районах Баренцева моря в июле 2021 г., доля α -ГХЦГ в Σ ГХЦГ достигала 68–98 %. Вклад ПХБ-118, ПХБ-138 и ПХБ-153 в общее содержание ПХБ составлял в этих экземплярах краба 16–27, 16–32 и 15–37 % соответственно.

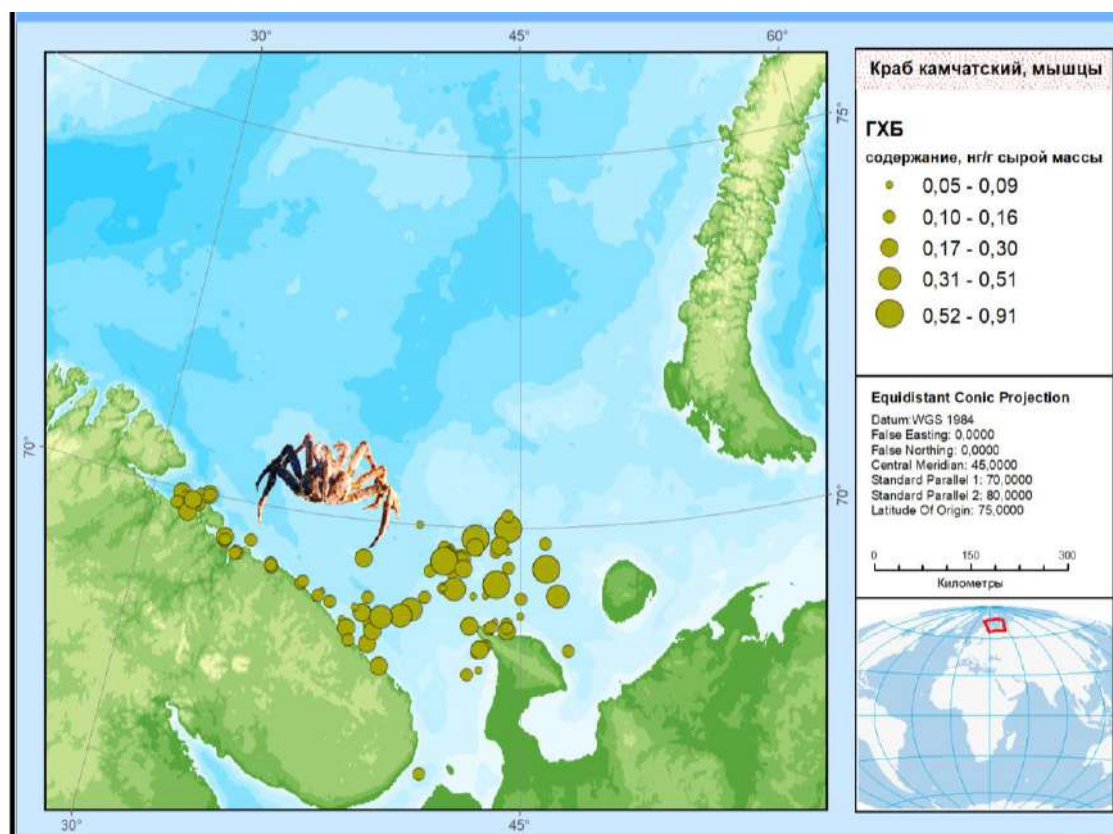


Рис. 4. Содержание ГХБ в мышцах краба *P. camtschaticus* в районе исследований по данным 2013–2023 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований установлено, что содержание нормируемых тяжелых металлов (Cd, Hg и Pb) в мышцах камчатского краба в 2013–2023 гг. не превышало нормативов, установленных в Российской Федерации и других государствах Таможенного союза. Таким образом, подтвержден устойчивый безопасный уровень пищевого сырья, получаемого из камчатского краба Баренцева моря.

Показана высокая способность гепатопанкреаса камчатского краба аккумулировать химическое загрязнение. Особенно заметно эта

способность проявлялась в отношении кадмия и хлорорганических пестицидов.

Многолетние наблюдения за уровнем загрязнения тканей и органов камчатского краба не обнаруживают признаков ухудшения экологической ситуации в Баренцевом море.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Вып. 1. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики / ПИНРО; сост. М.С. Шевелев, Ю.И. Бакай, С.М. Готовцев [и др.]. – М.: ВНИРО, 2004. – 299 с.
2. Камчатский краб в Баренцевом море / А.В. Стесько, И.Е. Манушин, С.В. Баканев [и др.]. – М.: Изд-во ВНИРО, 2021. – 712 с.
3. Новиков, М.А. Содержание ртути в промысловых ракообразных Баренцева моря / М.А. Новиков, Е.А. Горбачева, М.Н. Харламова // Труды ВНИРО. – 2023. – Т. 194. – С. 189–201.
4. Новиков, М.А. Содержание кадмия в промысловых рыбах Баренцева моря (по многолетним данным) / М.А. Новиков, Е.А. Горбачева, М.Н. Харламова // Труды ВНИРО. – 2024. – Т. 198. – С. 87–99.
5. Новиков, М.А. Атлас загрязнения донных отложений Баренцева моря / М.А. Новиков, Д.М. Драганов; Полярн. фил. ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2021. – 183 с.
6. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС-021-2011). – М.: Росстандарт, 2011. – 242 с. [https://Действующие_технические_регламенты_\(rst.gov.ru\)](https://Действующие_технические_регламенты_(rst.gov.ru)).
7. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2024 г. / А.С. Амелькина, Анциферов М.Ю., Бакай Ю.И. [и др.]; науч. ред. К.М. Соколов; Полярн. фил. ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2024. – 168 с.
8. Химический состав и биохимические свойства гидробионтов прибрежной зоны Баренцева и Белого морей / Т.К. Лебская, Ю.Ф. Двинин, Л.Л. Константинова [и др.]; ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1998. – 150 с.

РЕАКЦИЯ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ДОННОЙ ФАУНЫ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ НА СОКРАЩЕНИЕ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА

*Л.В. Павлова, А.А. Фролов, О.Л. Зими́на, О.Ю. Евсеева, Д.Р. Дикаева,
З.Ю. Румянцева, Н.Н. Пантелеева*
Мурманский морской биологический институт РАН (ММБИ РАН), г. Мурманск

Аннотация. Потепление арктического региона привело к увеличению продолжительности безледного периода в северных районах Баренцева моря. Южная часть желоба Святой Анны была выбрана в качестве модельного объекта для изучения влияния сокращения ледового покрова на олиготрофные высокоширотные донные сообщества, так как ее акватория неоднородна по продолжительности периода открытой воды. Анализ донной фауны в районах с разной ледовой обстановкой показал наличие различий в видовом составе и численности зообентоса, что являлось ответом на разные объемы вертикального потока органического вещества. Различные индексы биоразнообразия продемонстрировали чувствительность к изменениям в структуре донного населения. При сохранении тенденции к отступлению льдов сходные изменения в фауне можно будет ожидать и в других высокоширотных районах.

Ключевые слова: макрозообентос, ледовый покров, желоб Святой Анны, Арктика.

ВВЕДЕНИЕ

Потепление Арктики с 1990-х годов, вызванное увеличением адвекции и температуры атлантических вод, в баренцевоморском регионе привело к уменьшению площади сезонного ледового покрова, снижению его толщины и увеличению продолжительности периода открытой воды. Особенно сильно сократилось количество дней с ледовым покровом на северо-востоке Баренцева моря [7]. С потерей морского льда связано увеличение чистой первичной продукции фитопланктона вследствие распространения площади открытой воды и удлинения вегетационного периода. Изменения трофических условий способны изменить силу бенто-пелагических связей в полярных экосистемах и вызвать трансформацию бентосных сообществ [6]. Изучение динамики донных сообществ в условиях меняющегося режима первичной продукции затруднено из-за отсутствия или слабой представленности временных рядов наблюдений в высокоширотных районах. В таких условиях обычно сравнивают между собой районы с разной продолжительностью дней с ледовым покровом.

Районом исследования был выбран участок на северо-востоке Баренцева моря между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля, включающий южную часть желоба Святой Анны (рис. 1). Эту

область моря относят к олиготрофным районам с окисленными коричневыми илами, в которых хорошо сохраняются и накапливаются в больших количествах агглютинированные раковины умерших фораминифер. Залежи фораминиферного песка в полярных районах маркируют районы со слабым вертикальным потоком органики [5]. Местная донная фауна характеризуется низкими показателями биомассы бентоса, сформированной преимущественно иглокожими. В последний период похолодания Арктики (в 1970–80-х годах) этот район освобождался ото льда даже не каждый год, но после 2005 г. началось заметное сокращение ледового покрова [1]. В настоящее время на его акватории можно выделить зоны с более длинным (южная часть района) и коротким (северная часть) периодом открытой воды.

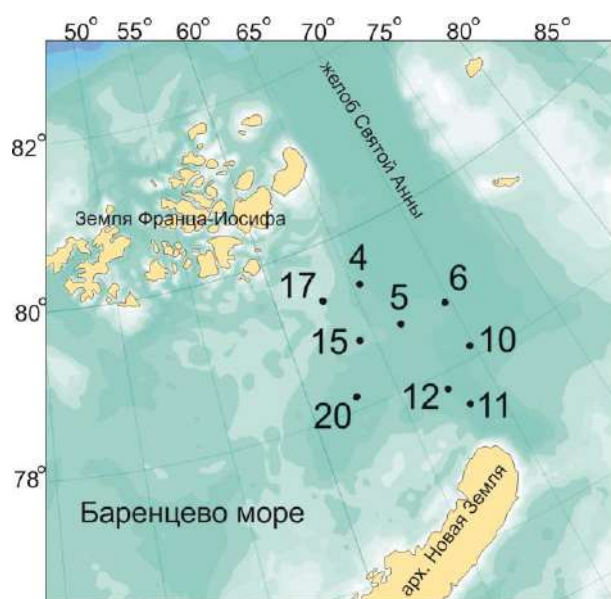


Рис. 1. Карта района исследования и расположения станций

Цель исследования – проанализировать влияние сокращения ледяного покрова на разнообразие, структуру и показатели обилия зообентоса высокоарктического олиготрофного района. Полученные результаты позволят прогнозировать изменения донной фауны в высоких широтах Баренцева моря и соседствующего с ним Карского моря, если сохранится тенденция к уменьшению ледяного покрова и удлинению продолжительности периода открытой воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Бентосная съемка между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Новая Земля в южной части желоба Святой Анны выполнена в октябре–

ноябре 2019 г. на НИС Мурманского морского биологического института «Дальние Зеленцы». Всего было отобрано 27 проб на девяти станциях, при сборе материала использовали дночерпатель ван Вина с площадью захвата 0,1 м², промывка проб осуществлялась через сито с размером ячеей 0,5 мм. В районе со средней продолжительностью периода открытой воды (ППОВ) 3,8 месяцев было выполнено пять станций, с ППОВ 7,3 месяца – четыре станции. Характеристика станций представлена в табл. 1. Среднее число месяцев, свободных ото льда, определяли за 2014–2018 гг. по данным, полученным из архива ледовитости НИИ Арктики и Антарктики (<http://old.aari.ru>).

Таблица 1

Характеристика абиотических условий на станциях в южной части желоба Святой Анны в октябре–ноябре 2019 г.

Но- мер ст.	Координаты		Глубина, м	Темпера- тура, °С	Соле- ность	Тип грунта*	Средняя ППВО, месяцы ± МЕ
	широта	долгота					
Короткий период открытой воды							
4	79°22,748′	65°25,392′	427	−0,25	34,8	1	3,0 ± 0,3
5	78°44,734′	66°42,679′	343	−0,2	34,9	2	4,4 ± 0,5
6	78°43,800′	69°40,627′	507	−0,2	34,9	1	4,6 ± 0,6
15	78°46,029′	64°01,667′	361	−0,3	34,9	2	4,2 ± 0,4
17	79°22,002′	62°51,200′	186	−1,2	34,7	2	3,2 ± 0,6
Продолжительный период открытой воды							
10	78°08,341′	69°46,665′	445	−0,1	34,9	3	6,8 ± 1,1
11	77°30,982′	68°16,857′	502	−0,3	34,9	4	7,8 ± 1,2
12	77°47,800′	67°32,570′	430	−0,2	34,9	4	7,6 ± 1,2
20	78°09,220′	62°36,026′	392	−0,3	34,9	3	7,0 ± 0,9

*1 – толстый слой коричневого ила, фораминиферный песок, мягкая коричневая глина; 2 – толстый слой коричневого песчанистого ила, фораминиферный песок, мягкая коричневая глина; 3 – коричневый песчанистый ил, серая глина; 4 – тонкий слой коричневого ила, серая глина, немного камней.

Все организмы каждого вида в пробе подсчитывали и определяли с точностью до 0,0001 г. Моллюсков взвешивали вместе с их раковинами, полихет с секретируемой трубкой – вместе с трубкой. Все данные о численности и массе были стандартизированы в пересчете на квадратный метр. Для каждого таксона рассчитывали частоту встречаемости (ЧВ) в пробах. Материалы о трофическом статусе видов были получены из различных опубликованных источников.

Статистическую обработку результатов проводили в программном пакете Past 4.12. Для каждой станции были рассчитаны альфа-разнообразие (количество видов на 0,3 м²) на основе данных о численности – индексы

Шеннона (H'), выравненности Пиелоу (J') и индекс Симпсона (D'). Неметрическое многомерное масштабирование (nMDS) было использовано для визуального отображения распределения станций отбора проб по отношению к конкретным условиям окружающей среды. Абиотические переменные включали глубину, температуру, соленость, тип осадка и мощность слоя окисленного ила (градации от 1 до 4), присутствие или отсутствие фораминиферного песка, состоявшего преимущественно из мертвых *Reophax pilulifer* (градации 1 и 2), и продолжительность безледного периода. Мы использовали мощность слоя окисленного ила и определяемое визуально обилие фораминиферного песка в пробе как косвенный показатель интенсивности вертикального потока органического вещества [5]. Мощный слой с обилием мертвых фораминифер означал слабый поток органических веществ, тонкий слой с малым количеством домиков фораминифер и восстановленным подстилающим слоем грунта – более интенсивный. Перед анализом все переменные среды были логарифмически преобразованы. Для визуализации различий станций по видовому составу проводили кластеризацию на основе индекса Жаккара (на основе матрицы по типу присутствие/отсутствие вида с алгоритмом парного присоединения).

Для тестирования групп станций с разным ледовым режимом по разнообразию и обилию всего бентоса, а также важнейших таксономических и трофических групп использовали непараметрический тест значимой разницы между двумя или более группами NPERMANOVA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Практически все станции в районе исследования находились под влиянием трансформированных баренцевоморских водных масс со слабо отрицательной температурой и соленостью 34,9, и только ст. 17 – арктических с пониженными значениями солености и температуры (см. табл. 1). Многомерное масштабирование nMDS выявило четкое разделение между ст. 17, расположенной в арктических водах, и остальными (рис. 2). Станции, находящиеся в зоне влияния баренцевоморских водных масс, в свою очередь, разделились на две группы – с коротким безледным периодом и относительно слабым потоком органики на дно (I) и с продолжительным безледным периодом и более интенсивной седиментацией детрита (II). Достоверность выделения данных группировок подтверждается процедурой ANOSIM ($R = 0,993$; $p = 0,0027$). Основной вклад в различия между группировками I и II вносили: тип донных осадков (30,5 %), продолжительность безледного периода (29,0 %) и интенсивность вертикального потока органического вещества (26,6 %);

между группировкой I и ст. 17 – температура воды (42,2 %) и глубина (41,2 %); между группировкой II и ст. 17 – глубина (29,0 %) и температура воды (27,0 %).

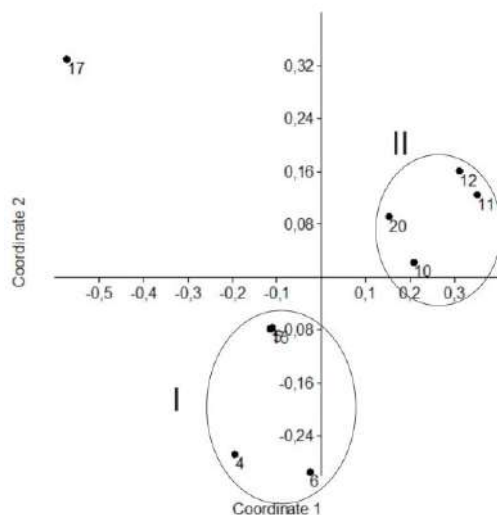


Рис. 2. Диаграмма местообитаний, полученная в результате ординации nMDS на основе матрицы евклидовых расстояний условий окружающей среды

В собранных пробах был обнаружен 201 вид зообентоса, принадлежащий к 12 типам. По числу видов повсеместно преобладали полихеты. Второй по видовому разнообразию группой в районе с коротким безледным периодом были членистоногие, в районе с длинным безледным периодом – моллюски (рис. 3а). Редкие виды, встретившиеся только в одной пробе, составили 32 %. На участках с коротким и длинным безледным периодом отмечены 151 и 121 вид соответственно, различия в видовом богатстве можно объяснить несовпадающим объемом выборок.

Кластерный анализ показал, что в условиях разной продолжительности ледового периода видовой состав донной фауны тоже различался (см. рис. 3б). Обе группы станций были сходны между собой по набору руководящих видов, но отличались по составу второстепенных. Общие для обоих районов виды с высокой ЧВ – *Prionospio cirrifera* (96 %), *Yoldiella nana* (96 %), *Abyssoninoe cf. abyssorum* (92 %), *Ektonodiastylis nimia* (89 %), *Mendicula ferruginosa* (85 %), Cirratulidae g. sp. (81 %), *Spiochaetopterus typicus* (70 %), *Rabilimis mirabilis* (70 %), *Aglaophamus malmgreni* (67 %), *Parathyasira equalis* (67 %). Эти виды типичны для покрывающихся сезонным льдом северных районов шельфа Баренцева моря [3, 4]. При этом изменение ледового режима не повлияло на уровень альфа-разнообразия бентоса (табл. 2).

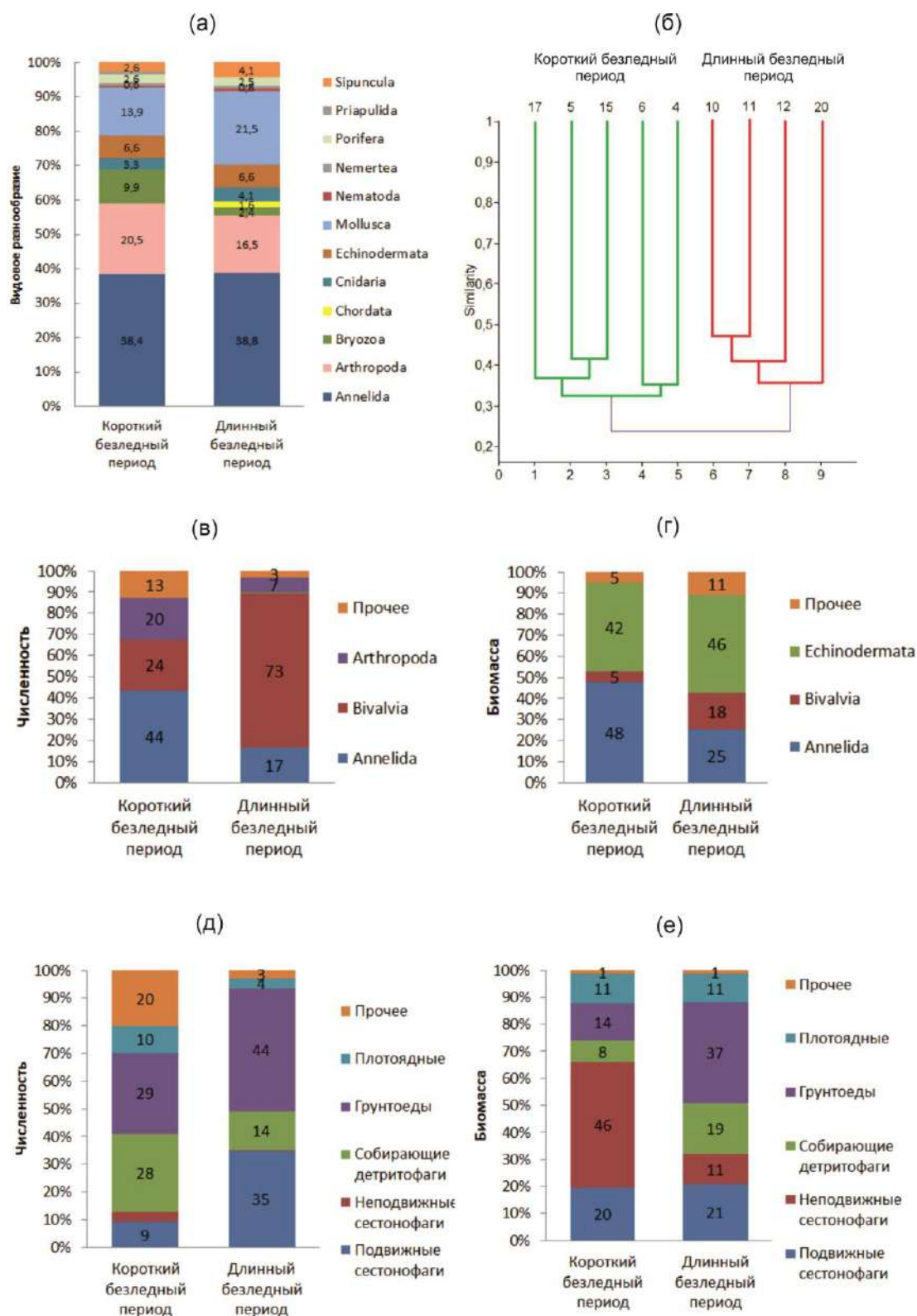


Рис. 3. Таксономический состав фауны (а), график кластеризации станций на основе индекса Жаккара по присутствию/отсутствию видов (б), соотношение основных таксономических групп в общей численности (в) и биомассе (г) зообентоса, соотношение основных трофических группировок в общей численности (д) и биомассе (е) зообентоса в южной части желоба Святой Анны

Таблица 2

Среднее значение ($\pm$ ошибка среднего) показателей разнообразия и обилия зообентоса на станциях с коротким и длинным безледным периодом в южной части желоба Святой Анны и результаты тестирования различий между ними (жирным шрифтом выделены достоверные отличия)

Параметр	Короткий период открытой воды	Длинный период открытой воды	Значение <i>p</i>
Альфа-разнообразие, видов/0,3 м ²	65 $\pm$ 6	61 $\pm$ 9	0,7099
Индекс биоразнообразия H'	4,9 $\pm$ 0,2	3,4 $\pm$ 0,2	0,0090
Индекс выравненности J'	0,81 $\pm$ 0,02	0,58 $\pm$ 0,01	0,0072
Индекс доминирования D'	0,06 $\pm$ 0,01	0,19 $\pm$ 0,02	0,0070
Плотность поселения, экз./м ²	1143 $\pm$ 103	4070 $\pm$ 787	0,0073
Биомасса, г/м ²	39 $\pm$ 13	47 $\pm$ 13	0,6621
Плотность поселения инфауны, экз./м ²	782 $\pm$ 58	3583 $\pm$ 675	0,0073
Биомасса инфауны, г/м ²	16,7 $\pm$ 4,1	18,7 $\pm$ 8,6	0,8424
Плотность поселения эпифауны, экз./м ²	367 $\pm$ 61	490 $\pm$ 168	0,4843
Биомасса эпифауны, г/м ²	21,8 $\pm$ 11,9	28,8 $\pm$ 11,6	0,6012
Плотность поселения полихет, экз./м ²	501 $\pm$ 53	746 $\pm$ 267	0,4215
Биомасса полихет, г/м ²	11 $\pm$ 3	12 $\pm$ 7	0,9597
Плотность поселения двустворчатых моллюсков, экз./м ²	273 $\pm$ 59	2880 $\pm$ 436	0,0082
Биомасса двустворчатых моллюсков, г/м ²	1,1 $\pm$ 0,4	5,1 $\pm$ 0,7	0,0067
Плотность поселения подвижных сестонофагов, экз./м ²	150 $\pm$ 33	1179 $\pm$ 322	0,0074
Биомасса подвижных сестонофагов, г/м ²	29,0 $\pm$ 13,3	14,1 $\pm$ 6,7	0,4699
Плотность поселения собирающих детритофагов, экз./м ²	239 $\pm$ 30	526 $\pm$ 160	0,1154
Биомасса собирающих детритофагов, г/м ²	6,0 $\pm$ 4,6	1,0 $\pm$ 0,3	0,6065
Плотность поселения грунтоедов, экз./м ²	326 $\pm$ 50	1639 $\pm$ 162	0,0097
Биомасса грунтоедов, г/м ²	1,4 $\pm$ 0,5	6,1 $\pm$ 2,1	0,0162

Сокращение ледового покрова повлияло прежде всего на численность бентоса. На станциях с длинным периодом открытой воды плотность поселения в среднем в 3,5 раза выше, особенно сильно увеличилось обилие инфауны (см. табл. 2). Очевидно, что наблюдаемые изменения связаны с более успешным размножением и лучшей

выживаемостью молоди беспозвоночных. Среди разных таксономических групп двустворчатые моллюски наиболее сильно увеличили свою численность. Особо высокая плотность поселения отмечена у видов *Yoldiella nana* и *Mendicula ferruginosa* (в среднем 1490 и 1057 экз./м² соответственно). В районе с длинным безледным периодом двустворчатые моллюски стали самой многочисленной группой, в то время как в районе с коротким периодом доминировали полихеты (см. рис. 3в).

Изменение ледового режима в южной части желоба Святой Анны, особенно заметное с начала 2000-х годов [1], существенно не повлияло на общую биомассу бентоса, а также отдельно на инфауны и эпифауны, однако немного изменило состав доминантов по биомассе. Наибольший вклад в формирование биомассы в короткий безледный период вносили полихеты и иглокожие, в длинный – иглокожие, полихеты и двустворчатые моллюски (см. рис. 3г). Двустворчатые моллюски были единственной группой бентоса, чья биомасса достоверно различалась в сравниваемых группах станций (см. табл. 2).

Трофическая структура изучаемого района была разнообразной и пространственно изменчивой. В районах континентального склона, к которому относится район исследования, по биомассе обычно доминируют сестонофаги [2], что и выявлено в изучаемом районе с коротким безледным периодом. Сокращение ледового покрова привело к статистически значимому увеличению обилия грунтоедов и их доминированию над сестонофагами (см. табл. 2, см. рис. 3е). Также отмечен рост плотности поселения подвижных сестонофагов преимущественно за счет увеличения численности некоторых видов двустворчатых моллюсков. Такое изменение трофической структуры сигнализирует об увеличении на поверхности грунта относительно свежего, а в его толще – полуразложившегося органического вещества.

Выявленные изменения в структуре бентоса хорошо продемонстрировали индексы биоразнообразия. Высокие значения биоразнообразия, выравненности и низкие – доминирования (см. табл. 2) свидетельствуют об ограниченных пищевых ресурсах в районе с коротким безледным периодом, что мешает нескольким видам стать очень многочисленными. Наоборот, увеличение численности, снижение выравненности и закономерное уменьшение биоразнообразия – классический ответ инфаунных донных сообществ на увеличение поступления органики.

По значениям биомассы район исследования занимает промежуточное положение между северными шельфами Баренцева и Карского морей. В настоящее время район с коротким безледным периодом по структуре бентоса сходен с донной фауной менее

продуктивной северной части шельфа Баренцева моря, где по численности доминируют полихеты, а район с длинным безледным периодом – с более продуктивной южной частью шельфа, где представлены преимущественно двустворчатые моллюски [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований мы предполагаем, что наблюдаемое с 2000-х годов сокращение сезонного ледового покрова в олиготрофной водной среде желоба Святой Анны изменило величину потока органики на дно, на что донная макрофауна отреагировала изменением функционирования экосистемы. Возросшая доступность пищи в толще и на поверхности грунта привела к увеличению численности, а также биомассы ряда видов, прежде всего детритофагов и некоторых подвижных сестонофагов, представленных преимущественно двустворчатыми моллюсками. Повышенный поток органики в районе с длинным периодом открытой воды привел к изменению структуры доминирования видов, что хорошо продемонстрировали индексы биоразнообразия. Изменение ледового режима и режима первичной продукции в этом высокоширотном районе отразилось на таксономическом составе второстепенных видов бентоса и не повлияло на уровень альфа-разнообразия, что, по-видимому, свидетельствует об относительно слабом влиянии недавнего потепления на состав фауны, которое не привело к смене руководящих видов. В целом в районе исследования бентос показал себя хорошим инструментом для оценки изменения условий в Арктике, поскольку он отреагировал на градиент органического вещества в донных осадках.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по теме НИР «Мониторинг донных сообществ морей Российской Арктики: экология, биоразнообразие, контроль рисков и рациональное использование гидробионтов».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013). Регион 1. Моря Восточной Арктики. Регион 2. Черное, Азовское и Каспийское моря / Г.Г. Матишов, С.В. Бердников, А.П. Жичкин [и др.]. – Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. – 256 с.

2. Кузнецов, А.П. Закономерности распределения пищевых группировок донных беспозвоночных в Баренцевом море / А.П. Кузнецов // Труды Института океанологии АН СССР. – 1970. – Т. 88. – С. 5–80.
3. Фауна и количественное распределение зообентоса в северной части Баренцева моря в апреле–мае 2016 года / О.Л. Зимина, Е.А. Фролова, Д.Р. Дикаева [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. – 2017. – Вып. 4, № 2 (8). – С. 66–81.
4. Benthic macrofauna and productivity regimes in the Barents Sea – ecological implications in a changing Arctic / S.K.J. Cochrane, S.G. Denisenko, P.E. Renaud [et al.] // Journal of Sea Research. – 2009. – Vol. 61. – P. 222–233. – DOI 10.1016/j.seares.2009.01.003.
5. Biomass of Foraminifera in the St. Anna Trough, Russian arctic continental margin / S. Korsun, M. Hald, N. Panteleeva, G. Tarasov // Sarsia. – 1998. – Vol. 83. – P. 419–431. – DOI 10.1080/00364827.1998.10413701.
6. Grebmeier, J.M. The influence of oceanographic processes on pelagic-benthic coupling in polar regions: A benthic perspective / J.M. Grebmeier, J.P. Barry // Journal of Marine Systems. – 1991. – Vol. 2. – P. 495–518. – DOI 10.1016/0924-7963(91)90049-Z.
7. Parkinson, C.L. Spatially mapped reductions in the length of the Arctic sea ice season / C.L. Parkinson // Geophysical Research Letters. – 2014. – Vol. 41. – P. 4316–4322. – DOI 10.1002/2014GL060434.

РЕДКИЕ И МАЛОИЗВЕСТНЫЕ ВИДЫ ГИДРОИДНЫХ (CNIDARIA, HYDROZOA) ЮЖНОГО ПРИБРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Н.Н. Пантелеева

Мурманский морской биологический институт РАН (ММБИ РАН), г. Мурманск

Аннотация. Представлены иллюстрированные описания некоторых редких и малоизвестных для фауны арктических морей России видов гидроидных (Cnidaria, Hydrozoa), обнаруженных в прибрежных водах южной части Баренцева моря в ходе многолетних исследований ММБИ РАН: *Coryne hincksi* (Bonnevie, 1898), *Hartlaubella gelatinosa* (Pallas, 1766), *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) и *Eutonina indicans* (Romanes, 1876). Обсуждается вопрос о причинах их появления в фауне Баренцева моря.

Ключевые слова: Арктика, Баренцево море, колонии гидрополипов, гидромедузы, гонофоры, споросаки, жизненный цикл, эстуарии рек.

ВВЕДЕНИЕ

Мурманский морской биологический институт традиционно занимается комплексными исследованиями фауны Баренцева моря и сопредельных вод, включая фауну гидроидных (Cnidaria, Hydrozoa). Однако пополнение и модификация видовых списков постоянно требуют верификации, поскольку из-за определенной специфики Hydrozoa их корректная видовая идентификация бывает затруднительна, что нередко приводит к ошибкам. Проблема состоит в том, что в жизненном цикле Hydrozoa присутствуют стадии развития, представленные разными жизненными формами: донными гидрополипами (вегетативная стадия развития) и планктонными свободноплавающими гидромедузами (репродуктивная – стадия полового размножения). У большинства видов Hydrozoa репродуктивная стадия (гидромедуза) в разной степени редуцирована: от прикрепленных медузоидов до споросаков (мешков с половыми продуктами). Из-за большого сходства гидрополипов некоторых близкородственных видов их идентификация по морфологическим признакам без учета репродуктивной стадии часто бывает не только затруднительна, но и невозможна. Поэтому в спорных случаях вопрос идентификации (живых объектов) можно решить, наблюдая за его развитием в аквариуме или природной среде, а идентификации фиксированных образцов – за счет накопления аналогичного материала, пока не наберется достаточно информации. Таким способом была установлена видовая принадлежность обнаруженных в ходе наших исследований редких и малоизвестных для фауны гидроидов Баренцева

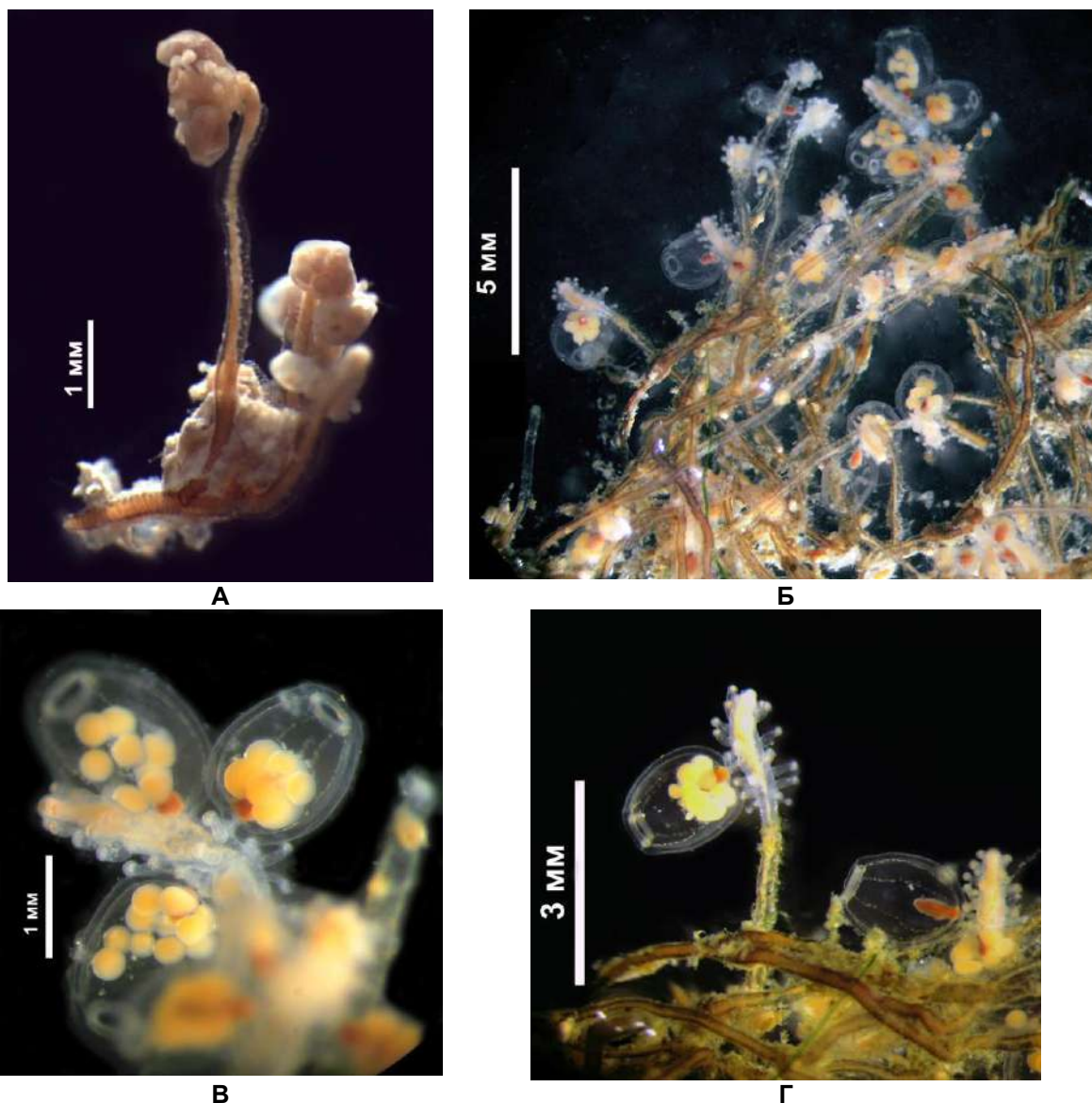
моря видов, часть из которых представлена в настоящей статье с иллюстрациями конкретных экземпляров и детальным описанием характерных, отличительных признаков, подтверждающих их идентификацию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал, послуживший основанием для данной работы, собирали в течение многих лет на базе ММБИ в Дальних Зеленцах и Мурманске (в береговых и морских экспедициях в акватории Баренцева моря). Сбор гидроидов на литорали проводили целенаправленно в подходящих каждому виду биотопах. Колонии отбирали или с субстратом (небольшими камнями, раковинами моллюсков, домиками баянусов), или счищали с валунов и скальных поверхностей и помещали в морскую воду для дальнейших исследований живых объектов в лаборатории и наблюдений за их развитием в аквариуме. Для последующего хранения образцы фиксировались 75 %-ным спиртом или 4 %-ным формалином. Также осуществляли сезонный мониторинг развития некоторых видов на литорали (в литоральных ваннах). В сублиторали пробы отбирали водолазы (количественный отбор проб бентоса рамкой 25×25 см, отлов крабов) или с судна дночерпателем ван Вина. Фотографии гидроидов (преимущественно живых объектов) сделаны с помощью фотокамеры Canon Power Shot A640 и бинокюляра с камерой Leica. Все фотографии авторские, кроме представленной на рис. 4А (фото О.В. Боженовой).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Coryne hincksi Bonnevie, 1898 (Anthoathecata, Corynidae). Информация об этом виде отсутствует во всех известных определителях фауны российских вод, включая современный фундаментальный труд по Hydrozoa морей России А.Е. Анцулевича [1]. Однако колонии этого вида были впервые зарегистрированы (под названием *Coryne brevicornis* – синоним *C. hincksi*) в Баренцевом море в материале, собранном немецкой экспедицией в июне–июле 1913 г. [8]. Колонии *C. hincksi* (фертильные, судя по описанию и рисункам Л. Шоуринга) отмечены на 5 станциях вдоль побережья Кольского п-ова (от Вардё до м. Канин Нос) на глубинах 10–280 м, в обрастании гидроидов других видов и краба р. *Hyas*. Также в коллекции Зоологического института (ЗИН РАН) нами обнаружена половозрелая женская колония *C. hincksi*, ранее ошибочно идентифицированная как *Sarsia tubulosa* (24.08.1952, Белое море, сб. Наумов Д.В., экз. № 6 (как *S. tubulosa*), рис. 1А).



**Рис. 1. *Coryne hincksi* Bonnevie, 1898 из Белого (А) и Баренцева (Б-Г) морей [по 6]:
 А – побег (фикс.) со зрелыми женскими гонофорами (24.08.1952); Б – колония (живая) со зрелыми женскими гонофорами, из обрастания камчатского краба (Дальние Зеленцы, 12.07.2022); В – зрелые гонофоры с яйцами, видны 4 тонких радиальных канала и широкий кольцевой канал вокруг терминального отверстия; Г – гидрополип с женским гонофором с яйцами и пустой гонофор с бурым спадиксом**

В наших сборах колонии *C. hincksi* впервые обнаружены в мае 2002 г. в Варангер-фьорде (губа Амбарная, глубина 70 м) в обрастании карапакса камчатского краба [2]. В дальнейшем колонии *C. hincksi* регистрировали неоднократно (в летний сезон с 2009 по 2022 г.) в обрастаниях камчатских крабов из губы Зеленецкая (район пос. Дальние Зеленцы, Восточный Мурман), пойманных на глубинах 9–31 м при солености около 34 и температуре воды в среднем около 6,5 °C [6].

Живые колонии *C. hincksi* розоватого цвета, высотой до 2,3 см, с тонкими нерегулярно и слабоветвящимися побегами (см. рис. 1Б). Перисарк побегов прозрачный, с гладкими или волнистыми стенками, кольчатыми в основании побега и ветвей, иногда по всей длине. Гидранты крупные, высотой до 2,4 мм (при 0,5 мм в диаметре), с округлым гипостомом. Форма гидрополипов варьирует в зависимости от степени сокращения от цилиндрической, веретеновидной до округлой. Булавовидные (головчатые) щупальца (14–24 шт.) образуют оральный венчик из 4–5 щупалец и распределяются почти по всей поверхности полипа. Нитчатых щупалец нет. Гонофоры редуцированы до стадии споросаков, сидят на тонкой ножке в нижней половине тела гидранта среди щупалец (независимо от последних). Колонии раздельнополы. Гонофоры (до 6 шт. на полип у упомянутых колоний) в разной стадии созревания. Зрелые гонофоры (размером до 2,2×1,6 мм) овальные, прозрачные, с толстыми стенками и небольшим бурым спадикусом, на котором у женских колоний развиваются крупные (диаметром до 0,38 мм) желто-оранжевые яйца (8–15 шт.) (см. рис. 1В,Г). На поверхности гонофоров заметны 4 узких радиальных канала и широкий кольцевой канал вокруг небольшого терминального отверстия; щупальца, щупальцевые бульбы и глазки отсутствуют. Наблюдалась слабая пульсация зрелых гонофоров, что, вероятно, способствует выходу половых продуктов наружу.

Cordylophora caspia (Pallas, 1771) (Anthoathecata, Cordylophoridae). По происхождению это понто-каспийский солоноватоводный вид, характеризующийся как тропический и умеренный [1], широко распространен в Мировом океане (особенно в эстуариях рек) благодаря судоходству. В российских водах зарегистрирован в южных морях (Каспийском, Азовском, Черном) и Балтийском море, однако, как минимум с 1990 г., наблюдается нами и в акватории северных морей России (Баренцевом и Белом) [3, 4]. Колонии *C. caspia* обитают в эстуарии р. Тулома и кутовой части (у западного берега) Кольского залива (Баренцево море) в диапазоне глубин от 0 до 4 м при колебаниях солености от 0 до 22,5. В акватории Белого моря колонии *C. caspia* были обнаружены 20 сентября 2004 г. в эстуарии р. Северная Двина [3].

Колонии этого вида селятся на поверхности камней, деревянных щепках и других твердых субстратах, как правило, в зоне опресненных вод и постоянных сильных течений (русло рек). От стелющейся гидроризы отходят преимущественно неразветвленные побеги с терминально расположенным гидрантом или слабо разветвленные побеги высотой до 27 мм (рис. 2А-Г). Перисарк побегов с гладкими стенками, кольчатыми в основании (иногда – в центре и у полипов) часто покрыт обрастателями.

Гидранты пальцевидные или веретеновидные (в зависимости от степени сокращения), высотой до 1,4 мм, с коническим гипостомом. Нитевидные щупальца (в количестве 16–26) расположены на теле полипа (в основном в центральной части) без особого порядка. Псевдогидротек нет. Репродуктивный период продолжается с июля по октябрь включительно. В это время на побегах под гидрантами развиваются до 5 гонофоров (репродуктивные органы).

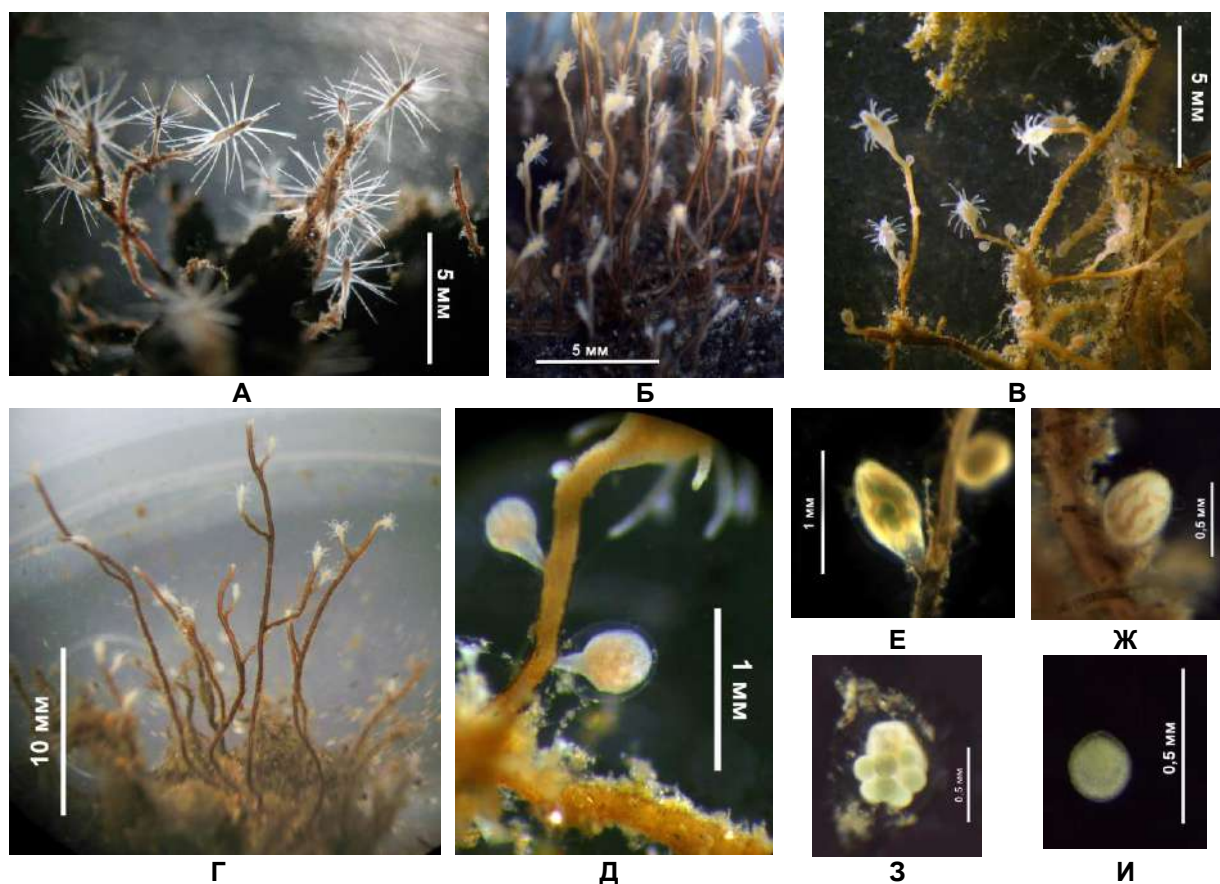


Рис. 2. *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) из акватории Баренцева моря (живые объекты): А – колония из кустовой части Кольского залива (04.11.2020); Б – колония из эстуария р. Тулома (17.10.2009); Г – разветвленные побеги колонии из кустовой части Кольского залива (15.12.2020); В, Д – побеги с формирующимися гонофорами из эстуарий р. Тулома (05.07.2012); Е-И – стадии развития гонофоров из эстуарий р. Тулома (02.08.2004): Е – женский гонофор в стадии развития; Ж – мужской гонофор в стадии развития; З – зрелый женский гонофор на стадии выхода личинок; И – округленная личинка (планула)

Гонофоры *C. caspia* редуцированы до стадии споросаков. Формирующиеся споросаки округлые, на тонкой ножке, заключены в прозрачную тонкую оболочку (см. рис. 2В-Д). Колонии раздельнополюе. В созревающих женских споросаках заметны круглые ооциты зеленого цвета, обрамленные характерно ветвящимся оранжевым спадикусом (см.

рис. 2Е). В мужских споросаках оранжевые ветви спадикса поддерживают спермиевую массу белого цвета (см. рис. 2Ж). Оплодотворенные яйца развиваются в планулы внутри гонофора, при этом ветви спадикса редуцируются, а прозрачная оболочка вскрывается перед выходом личинок (см. рис. 23). Вышедшие личинки (планулы) быстро теряют реснички и приобретают округлую форму (около 0,24×0,19 мм) (см. рис. 2И).

В результате водолазных исследований (26.10.2020) в эстуарии р. Тулома установлено, что обнаруженные на глубине 4-5 м колонии *S. caspia* обладают более разветвленными побегами, чем литоральные. У них встречаются ветви 2-го порядка, а биомасса колоний локально может достигать 100 г/м².

Точно не известно, как и когда колонии тепловодного вида *S. caspia* проникли в воды Баренцева моря. Однако наиболее вероятным путем, по-видимому, послужил Беломорско-Балтийский канал, открытый в 1933 г. и соединивший Белое море с Онежским озером и Волго-Балтийской водной системой. Это предположение косвенно подтверждается находкой *S. caspia* в акватории Белого моря (в эстуарии р. Северная Двина) [3].

Hartlaubella gelatinosa (Pallas, 1766) (Leptothecata, Campanulariidae). Несмотря на замечание А.Е. Анцулевича, что этот амфибореальный вид «в Арктических морях не встречается» [1, с. 652], живую колонию *H. gelatinosa* впервые обнаружили в акватории Баренцева моря в сентябре 1997 г. в эстуарии р. Тулома, впадающей в Кольский залив [4]. Позже (03.08.2011) живой фертильный побег *H. gelatinosa* был найден в выбросах водорослей на литорали западного берега Кольского залива у м. Притыка, а 27.10.2020 г. водолажным методом собраны количественные пробы с колониями этого вида в эстуарии р. Тулома (у г. Колы) с глубины 15-16 м, где биомасса колоний локально достигала 26 г/м².

Побеги баренцевоморской *H. gelatinosa* высотой до 8,5 см густо разветвлены (рис. 3А). Ствол и основания ветвей полисифонные (см. рис. 3Г), концевые веточки моносифонные (см. рис. 3Б). Ветви отходят от полисифонного ствола по спирали и симподиально ветвятся в плоскости, расположенной под углом или почти перпендикулярно стволу (см. рис. 3Б). Гидротеки колокольчатой формы, на короткой ножке, очень мелкие, высотой 0,18–0,22 мм и диаметром 0,12–0,19 мм (см. рис. 3Д, рис. 4Б,В). Для *H. gelatinosa* характерен зубчатый край гидротек с двурогими зубцами, имеющими полукруглую выемку на вершине, и глубоким синусом между соседними зубцами (как у кремлевской стены) (см. рис. 4А). С августа по октябрь включительно колонии *H. gelatinosa* находились в репродуктивной стадии. Гонотеки образуются на моносифонных веточках в пазухах ветвей и гидротек, сидят на короткой членистой ножке, удлинненно-овальные, с

волнистыми стенками, расширяются дистально, но терминально образуют зауженное устье с невысоким воротничком (см. рис. 3В), что придает им сходство с родом *Obelia*. Гонотеки высотой 1,03–1,25 мм, шириной 0,32–0,42 мм и диаметром устья 0,14–0,17 мм. В гонотеках женских колоний отмечено до 5 ооцитов (зародышей).

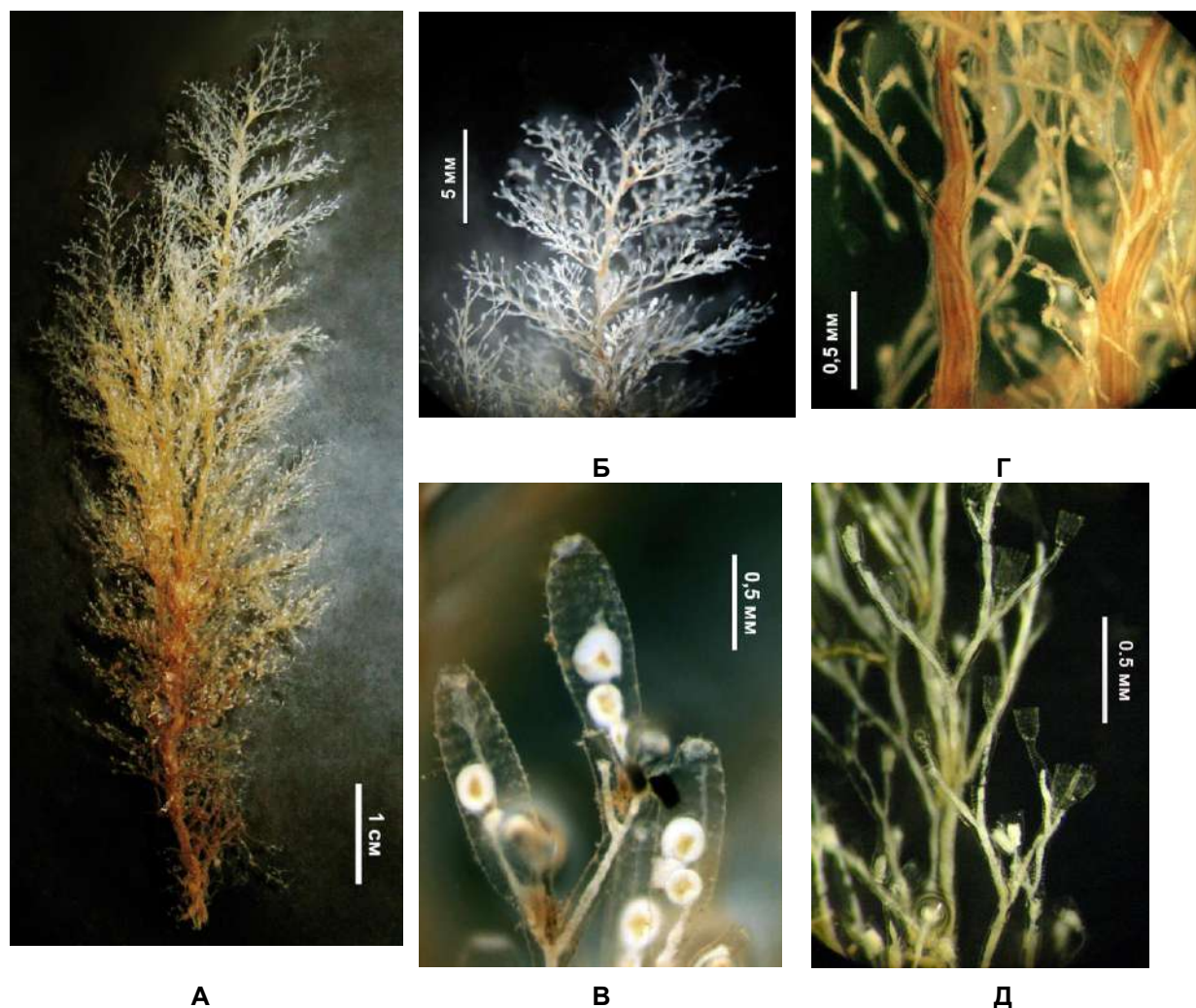


Рис. 3. *Hartlaubella gelatinosa* (Pallas, 1766) из Баренцева моря.
А-В – 03.08.2011, Кольский залив: А – побег характерной формы; Б – симподиальное ветвление; В – женские гонотеки с ооцитами. Г-Д – 26.10.2020, эстуарий р. Тулома:
Г – полисифонный ствол побега и основания ветвей;
Д – моносифонные дистальные части ветвей с мелкими гидротеками

Собранные в разные годы с августа по октябрь включительно колонии *H. gelatinosa* находились в репродуктивной стадии, но большинство гонотек у октябрьских колоний были пустыми, что свойственно для окончания репродуктивного сезона. Известно, что *H. gelatinosa* обладает высокой толерантностью к пониженной солености

[1, с. 652]. Так, в местах обнаружения *H. gelatinosa* в Кольском заливе соленость составляла 22, а в эстуарии р. Тулома – от 0 до 13,5.

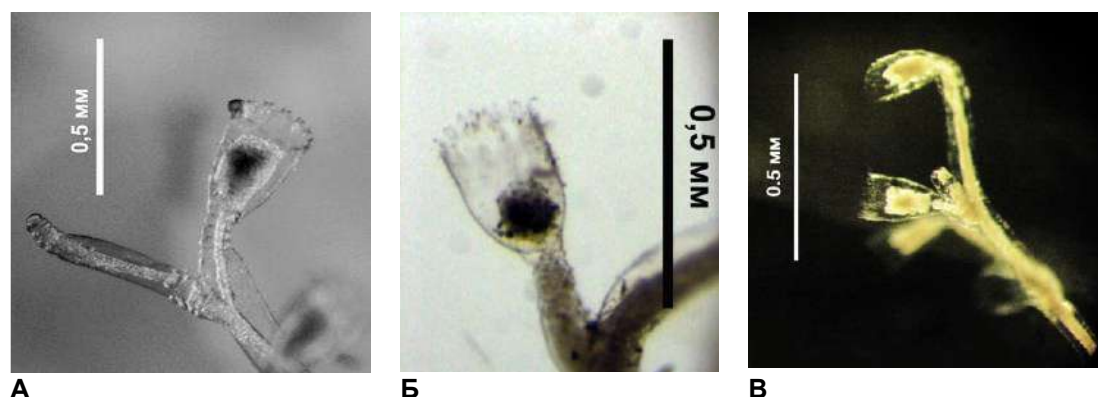


Рис. 4. Изменчивость размера гидротек *Hartlaubella gelatinosa* (Pallas, 1766) из разных акваторий: А – Черное море; Б – Баренцево море, Кольский залив; В – Баренцево море, эстуарий р. Тулома. Все гидротекы имеют характерный зубчатый край

Возможно, тепловодная и толерантная к пониженной солености *H. gelatinosa* попала в Кольский залив тем же путем, что и *C. caspia*, через Беломорско-Балтийский канал.

Eutonina indicans (Romanes, 1876) (Leptothecata, Eirenidae). Вид описал Дж. Романес [7] для медуз (как *Tiarops indicans*) из восточного побережья Шотландии. Гидрополипы этого вида позже были выращены К. Хартлаубом из яиц медуз с помощью разведения в аквариуме [5]. К настоящему времени ареал *E. indicans* известен главным образом по распространению медуз, встречающихся вдоль европейского побережья Атлантики от юга Северного моря и севера Исландии до средней Норвегии, включая запад Балтийского моря [9, р. 54]. В Арктике медузу *E. indicans* единожды отмечали в пробах в Восточно-Сибирском море [1, с. 279], однако находки в природе гидрополипов этого вида единичны [9, р. 54; 10, р. 118].

В Баренцевом море гидроиды *E. indicans* были обнаружены 10 октября 2010 г. в губе Териберская в ходе экспедиции ММБИ. Небольшие (высотой до 9 мм) изящные побеги этого вида найдены на створках домиков белянусов в двух пробах, отобранных дночерпателем ван Вина с глубины 17 м (грунт: ил, песок). Побеги отличаются характерным ветвлением – ветви отходят от ствола вбок, но, изогнувшись, растут вверх почти параллельно друг другу (рис. 5А). Перисарк ствола и ветвей кольчатый на всем протяжении (рис. 5А,Б). Толщина побегов и ветвей – 0,08–0,13 мм. Гидротека с тонкими прозрачными и слегка волнистыми стенками (рис. 5В) и конусовидной крышечкой из смыкающихся лепестков-клапанов (кампаулинидного типа). Гидранты

относительно крупные – 0,35–0,58 мм высота и 0,17–0,19 мм ширина, даже в сокращенном (сжатом) состоянии не помещаются в гидротеку, высота которой (0,22–0,38 мм соответственно) не превышает 2/3 высоты сжатого полипа. Поэтому крышечка (оперкулюм) гидротеки плохо заметна и быстро деградирует. Гонотек не было, следовательно, гидроиды (найденные в октябре 2010 г.) находились не в репродуктивной стадии.

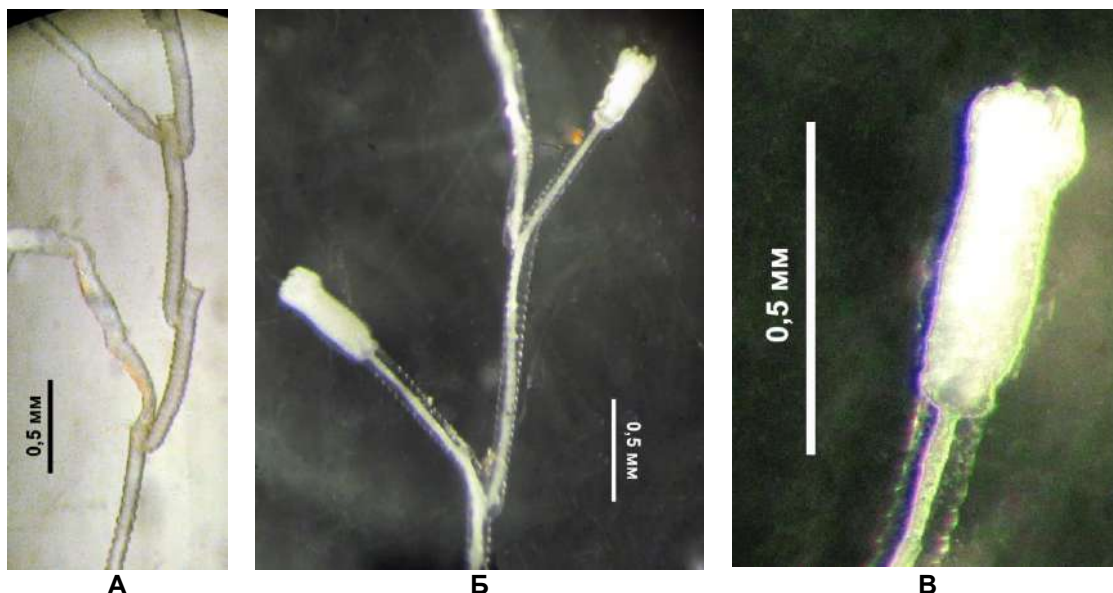


Рис. 5. *Eutonina indicans* (Romanes, 1876) (фиксирован), 10.10.2010, губа Териберская Баренцева моря: А – характерное (параллельное) ветвление побега, кольчатый перисарк по всей длине; Б – побег с гидрантами; В – гидрант в сокращенном состоянии (видны волнистые стенки более короткой тонкой гидротеки)

Позже, в 2017 г., в Печорском море (юго-восток Баренцева моря) в сборах экспедиции ПИНРО были найдены гидроиды *E. indicans* в репродуктивной стадии (с развивающимися гонофорами) [10, р. 118–119]. Следовательно, в дальнейшем можно ожидать и обнаружения медуз *E. indicans* в Баренцевом море. Перечисленные признаки гидроидов *E. indicans* из Баренцева моря полностью соответствуют описанию, данному П. Шухертом [9, р. 53–54].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов показал, что *Coryne hincksi* и гидрополипы *Eutonina indicans* относятся к редким видам (формам) не только для фауны российских вод, но и для фауны Мирового океана. Если стерильные гидрополипы *E. indicans* имеют характерные морфологические признаки, достаточные для их идентификации, то корректная идентификация колоний *C. hincksi* возможна только в репродуктивной

стадии (по вышеописанным признакам строения и расположения гонофоров). Тепловодные (солонатоводные) виды *Cordylophora caspia* и *Hartlaubella gelatinosa*, напротив, широко распространены в мире и появились в наших северных водах сравнительно недавно: вероятно, в результате сочетания климатического (потепление) и антропогенного (судоходство) факторов, в частности, через Беломорско-Балтийский канал, соединивший Белое море с Волго-Балтийской водной системой.

Полученные данные свидетельствуют о постоянно идущих процессах трансформации структуры экосистем под влиянием изменяющихся условий среды (как природного, так и антропогенного происхождения).

Благодарность

Выражаю благодарность сотрудникам лаборатории зообентоса (ММБИ РАН) А.А. Фролову, А.Г. Дворецкому, О.Л. Зиминной и О.В. Смольковой за оказанную помощь в сборе материала, а также О.В. Боженовой (ЗИН РАН) за помощь с подбором литературы и фотографию.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ ММБИ РАН по теме «Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях» (№ гос. регистрации 122020900044-2).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анцулевич, А.Е. Hydrozoa (гидроиды и гидромедузы) морей России / А.Е. Анцулевич; СПбГУ. – Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского гос. университета, 2015. – 860 с.

2. Пантелеева, Н.Н. Исследования фауны гидроидных Баренцева моря / Н.Н. Пантелеева // Теория и практика комплексных морских исследований в интересах экономики и безопасности российского севера: тезисы докладов Междунар. науч.-практ. конф. (Мурманск, 15–17 марта 2005 г.) / Мурман. мор. биол. ин-т РАН. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. – С. 116–118.

3. Пантелеева, Н.Н. Гидроиды *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) (Cnidaria, Hydrozoa) из акватории Баренцева моря / Н.Н. Пантелеева // Изучение водных и наземных экосистем: история и современность: тезисы докладов III Междунар. науч.-практ. конф. (Севастополь, 2–7 сентября 2024 г.) / ИНБЮМ. – Севастополь: ИНБЮМ, 2024. – С. 50–51.

4. Пантелеева, Н.Н. Новые для фауны Баренцева моря гидроиды *Cordylophora caspia* (Pallas, 1771) и *Hartlaubella gelatinosa* (Pallas, 1766) / Н.Н. Пантелеева А.А. Фролов // Виды-вселенцы в европейских морях России: тезисы докладов научного семинара (Мурманск, 27–28 января 2000 г.) / ММБИ. – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2000. – С. 73–74.
5. Hartlaub, C. Die Hydromedusen Helgolands / C. Hartlaub // Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen. Neue Folge. – Kiel und Leipzig, 1897. – Bd. 2, H. 1. – P. 449–536.
6. Panteleeva, N.N. New Records of the Hydrozoan *Coryne hincksi* Bonnevie, 1898 on Red King Crabs in the Barents Sea / N.N. Panteleeva, A.G. Dvoretzky, V.G. Dvoretzky // Diversity. – 2023. – Vol. 15, Iss. 1. – Art. 100. – DOI.org/10.3390/d15010100.
7. Romanes, G.J. An account of some new species, varieties, and monstrous forms of medusae / G.J. Romanes // The Journal of the Linnean Society (Zoology Series). – London, 1876. – Vol. 12, No. 64. – P. 524–531.
8. Scheuring, L. Untersuchungsfahrt des Reichsforschungsdampfers “Poseidon” in das Barentsmeer im Juni und Juli 1913. Die Hydroiden / L. Scheuring // Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen. Neue Folge. – Kiel und Leipzig, 1922. – Bd. 13, H. 2. – P. 157–183.
9. Schuchert, P. Hydroids of Greenland and Iceland (Cnidaria, Hydrozoa) / P. Schuchert // Meddelelser om Grønland. Bioscience 53. – Copenhagen, the Danish Polar Center, 2001. – 184 p.
10. Zhuravleva, N. Changes in the fauna of the Barents Sea Hydrozoa in the course of 1899–2017 / N. Zhuravleva // Influence of ecosystem changes on harvestable resources at high latitudes. Proceedings of the 18th Russian-Norwegian Symposium (Murmansk, 5–7 June 2018) / PINRO. – Murmansk-Bergen-Tromsø, 2019. – P. 113–120.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОСЕЛЕНИЙ МНОГОЩЕТИНКОВЫХ ЧЕРВЕЙ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА В 1934-1935 И 2021-2024 гг.

К.С. Рольская¹, В.С. Вязникова¹, И.Е. Манушин¹, Д.В. Захаров^{2, 3}

¹ Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск

² Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

³ Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург

Аннотация. Рассмотрены особенности изменений таксономической, биогеографической и трофической структур сообществ полихет Кольского залива Баренцева моря под влиянием долговременных климатических изменений и антропогенной нагрузки. На основе данных 1934–1935 и 2021–2024 гг. показано изменение количественных характеристик сообществ на мониторинговом полигоне, включающем 8 станций. Отмечено повышение всех значимых параметров сообществ (таксономическая плотность, численность, биомасса, продукция) в современный период под влиянием потепления и хозяйственной деятельности человека. Сделан вывод об адаптации полихет к меняющимся условиям среды и бореализации фауны Кольского залива.

Ключевые слова: Баренцево море, Кольский залив, бентос, полихеты, сообщества, мониторинг, климат, загрязнение.

ВВЕДЕНИЕ

Кольский залив – водоем фьордового типа, условно подразделяющийся на северное, среднее и южное колена [2]. Он представляет собой зону активного судоходства и перевалки нефтепродуктов, по его берегам активно развивается инфраструктура. Особенно сильный стресс испытывает донная биота южного колена, где располагается морской порт и речной сток рек Тулома и Кола оказывает воздействие на гидрологический режим залива.

Полихеты (многощетинковые черви) служат ключевыми компонентами донных экосистем Баренцева моря, играя особую роль в круговороте биогенов посредством процессов биотурбации и деструкции органического вещества донных отложений [10]. Они являются важным кормовым объектом рыб-бентофагов и беспозвоночных.

Цель данной работы – оценка состояния поселений полихет Кольского залива и характера воздействия на них антропогенной нагрузки и изменений климата.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа изменений в сообществах полихет были использованы данные 116 дночерпательных станций, выполненных в 1934–1935 и 2021–2024 гг. (рис. 1). Расположение станций в 2021–2024 гг. обусловлено расположением промышленных объектов и невозможностью отбора проб непосредственно вблизи них.

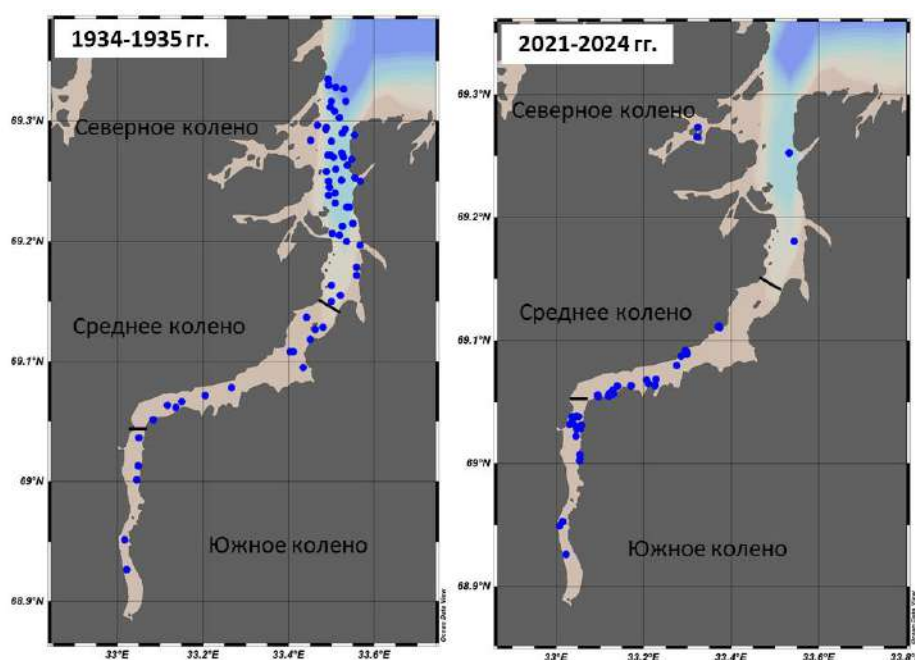


Рис. 1. Схема расположения дночерпательных станций в Кольском заливе в 1934–1935 и 2021–2024 гг.

Бентосные пробы в 1934–1935 гг. были отобраны дночерпателем Петерсена с площадью захвата $0,25 \text{ м}^2$ в 2-кратной повторности. Промывка дночерпательных проб осуществлялась в системе сит 3–1 мм. Первичная обработка осуществлялась на борту судна.

Бентосные пробы в 2021–2024 гг. были отобраны дночерпателем ван Вина с площадью захвата $0,1 \text{ м}^2$ в 3-кратной повторности на каждой станции. Промывка проб производилась морской забортной водой в промывочном сите с размером ячеей 0,5–1,0 мм. Материал был зафиксирован 4 %-ным раствором формальдегида, нейтрализованным тетраборатом натрия, для дальнейшей камеральной обработки.

Ранее было показано, что первичная обработка бентосных проб 1930-х годов была менее детальна по сравнению с современными сборами [5]. Допущение о выпадении из анализа многочисленных мелкоразмерных представителей таксонов сделано исходя из расчетов среднего веса особи на станциях.

В Баренцевом море выделено четыре климатических периода: первый (холодный) начался до 1900 г. и длился по 1929 г., второй (теплый) охватывал интервал с 1930 по 1962 г., третий (холодный) – с 1963 по 1988 г., четвертый (теплый) период начался в 1989 г. и продолжается до сих пор [9]. Таким образом, оба периода наших исследований относятся к теплым климатическим периодам в Баренцевом море.

Систематика полихет дана в соответствии с World Register of Marine Species [14].

Полихет взвешивали без трубок, за исключением *Spiochaetopterus typicus* и представителей семейств Serpulidae, Spirorbidae, поскольку трубки, в которых они обитают, образуются за счет экскреции самих червей. Численность *S. typicus* в пробе оценивали по количеству головных отделов, биомассу – по суммарному весу всех фрагментов червей вне трубок и трубок с червями. Вес пустых трубок (без фрагментов червей внутри) не учитывался. Полихет вида *Galathowenia oculata* взвешивали в трубках с последующим пересчетом при помощи коэффициента отношения массы червя к массе червя с трубкой – 1/7 [3].

Видовое богатство оценивали с помощью показателя видовой плотности – количества таксонов на 0,3 м² (для 2021–2024 гг.) и 0,5 м² (для 1934–1935 гг.). Для возможности сравнения видовой плотности 1934–1935 и 2021–2024 гг. были использованы переходные коэффициенты приведения этого показателя к 0,5 м² [6]. Для оценки видового разнообразия полихет по биомассе был использован индекс Шеннона.

Величину годовой продукции таксонов рассчитывали по формуле:

$$P = B \times 0,0019 (B/N)^{-0,39} \times 365,$$

где P – годовая продукция таксона, г/м² год⁻¹;

B – биомасса таксона, г/м²;

N – плотность поселения, экз./м²;

365 – количество суток в году [4].

Для оценки достоверности различия средних величин использовали t-критерий Вилкоксона. Построение карт производилось с помощью компьютерного GIS-пакета OceanDataView.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Таксономический анализ. Сравнительный анализ данных за 1934–1935 и 2021–2024 гг. выявил значительные изменения в видовом составе полихет Кольского залива. В ранний период исследований в сборах было зарегистрировано 76 таксонов, включая 49 – видового ранга. При этом доминирующими по частоте встречаемости на станциях (75–100%) являлись

Galathowenia oculata, *Maldane sarsi*, *Nicomache lumbricalis*, *Nothria hyperborea* и *Spiochaetopterus typicus*. К 2021–2024 гг. видовое разнообразие возросло до 174 таксонов, из которых 135 идентифицированы до видового ранга, а список доминирующих видов расширился (что частично объясняется более тщательной первичной обработкой проб). Широко распространенными видами с встречаемостью от 75 до 100% оказались: *Galathowenia oculata*, *Terebellides stroemi*, *Spio limicola*, *Scoloplos acutus*, *Prionospio cirrifera*, *Praxillella praeterrmissa*, *Phyllodoce groenlandica*, *Pholoe assimilis*, *Ophelina acuminata*, *Notomastus latericeus*, *Nephtys ciliata*, *Micronephthys minuta*, *Laonice cirrata*, *Goniada maculata*. Это свидетельствует о 3-кратном увеличении зарегистрированного числа видов и почти 4-кратном росте числа повсеместно распространенных видов.

Стоит отметить, что в современных поселениях многощетинковых червей Кольского залива представители вида *M. sarsi*, входившего в список широко распространенных видов в 1934–1935 гг., были обнаружены единично только на станциях северного колена.

Вместо *M. sarsi* широко встречающейся полихетой из того же семейства стала *Praxillella praeterrmissa*, что связано, по всей видимости, с антропогенной нагрузкой в данном районе.

Для оценки уровня таких антропогенных воздействий, как загрязнение промышленными поллютантами, эвтрофикация, физическое изменение местообитания гидробионтов испанскими учеными был разработан AMBI-индекс. При расчете AMBI-индекса морские макробентосные организмы используются в качестве биоиндикаторов экологического состояния [8].

Поселения *M. sarsi* чувствительны к экологическим параметрам, оцениваемым по индексу AMBI, что делает его уязвимым к трансформации среды [7]. Его экологическую нишу, по всей видимости, заняла *P. praeterrmissa*. Эта полихета более устойчива к загрязнению и, в отличие от *M. sarsi*, адаптирована к повышенным концентрациям азота [12], поступающего в залив со сточными водами промышленных и городских объектов.

Сравнение таксономических списков 1934–1935 и 2021–2024 гг. показало появление новых бореальных видов полихет, ранее не встречавшихся в Кольском заливе: *Eupolymnia nesidensis*, *Hydroides norvegica* и *Muxicola infundibulum*. По биогеографической принадлежности первые два вида относятся к приатлантическим шельфовым видам, а вид *Muxicola infundibulum* по описанию И.А. Жиркова [1] имеет неясный характер распространения и нуждается в ревизии (рис. 2–4). Все три вида в Северном Ледовитом океане обитают на небольших глубинах в верхней сублиторали – до 30 м (*E. nesidensis* – до 165 м). Кроме того, увеличилась встречаемость видов, которые в прошлом отмечались редко: к 2021–2024 гг. они

стали встречаться более чем на половине исследованных станций. К ним относятся детритофаги-собиратели *Ampharete* gr. *lindstroemi* и *Spio armata* и плотоядные полихеты *Paramphinome jeffreysii* и *Pholoe assimilis*. Эти изменения отражают как климатические сдвиги, так и усиление антропогенного влияния на экосистему залива.

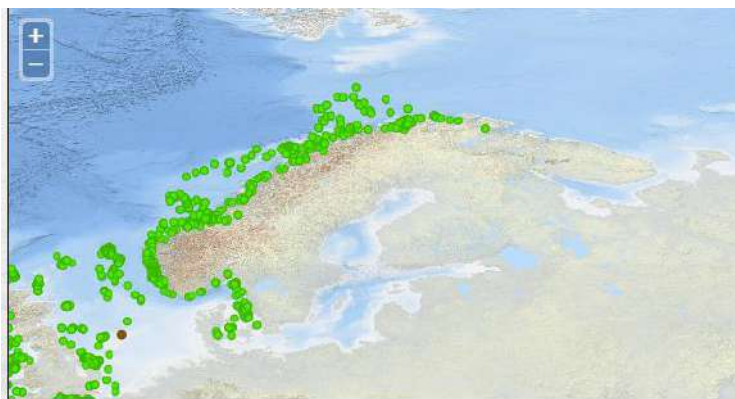


Рис. 2. Встречаемость *Eupolymnia nesidensis* (Delle Chiaje, 1828) [по 14]

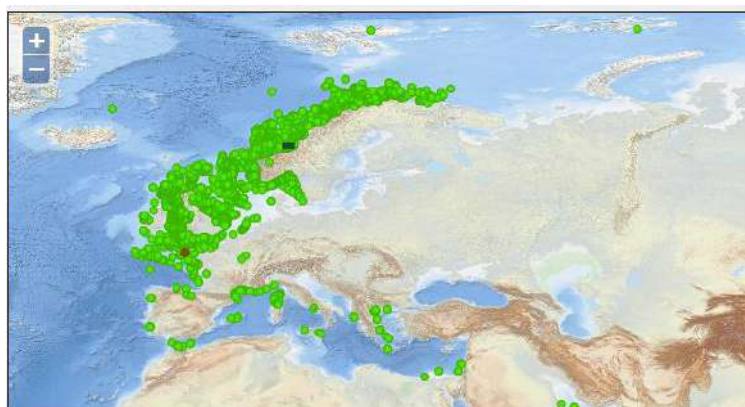


Рис. 3. Встречаемость *Hydroides norvegica* Gunnerus, 1768 [по 14]

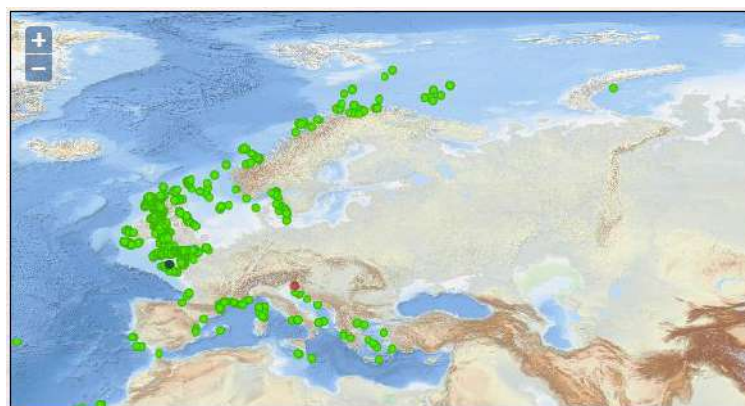


Рис. 4. Встречаемость *Muxicola infundibulum* (Montagu, 1808) [по 14]

Количественные показатели поселений полихет. Исследование количественного распределения многощетинковых червей в Кольском заливе в сравниваемые периоды выявило существенные изменения в структуре их поселений. Наиболее яркой тенденцией стал значительный рост численности полихет во всех районах залива (табл. 1). По всей видимости, это связано с возросшей численностью мелких полихет, которые, в свою очередь, являются индикаторами различных экологических изменений. К ним относятся такие таксоны, как *Chaetozone* sp., *G. oculata*, *P. assimilis*, *M. minuta*, *Cossura longocirrata*, *P. cirrifera*, значение максимальной численности которых варьировало в 2021–2024 гг. от 0,7 до 3,6 тыс. экз./м² (в среднем 0,3–0,6 тыс. экз./м²). Стоит отметить, что *Cossura longocirrata* и *Chaetozone* sp. селятся в местах с высоким уровнем неорганической взвеси в придонном слое [13]. Доминантами по численности в 2021–2024 гг. оказались *Ampharete crassiseta*, *Cossura longocirrata*, виды рода *Chone*, *Pholoe assimilis*, *Scoloplos acutus*, виды рода *Micronephthys*, *Chaetozone* sp. Доминантами по численности в 1934–1935 гг. были *M. sarsi*, *G. oculata*, *Polycirrus arcticus*, *S. typicus*, *Scoloplos armiger*, *Nothria hyperborea*. Следует учитывать, что невысокая плотность поселений полихет в 1934–1935 гг. частично связана с методикой обработки проб (недоучетом мелкоразмерных полихет).

Доминанты по биомассе также сменились в современных поселениях. Так, в 1934–1935 гг. лидирующими видами были *S. typicus*, *M. sarsi*, *Nothria hyperborea*. В 2021–2024 гг. доминантами стали *Laonice cirrata*, *Spiochaetopterus typicus*, *Praxillella praeterrmissa*, *Nephtys ciliata*.

Динамика продукции полихет в исследованных периодах оказалась неоднородной: на северном и центральном участках залива ее показатели снизились, тогда как в южной части было зафиксировано значительное увеличение. Продукция поселений полихет в южном колене выросла практически в два раза, как за счет появления новых видов, так и за счет увеличения обилия видов, встречавшихся в 1934–1935 гг. Такое пространственное перераспределение продукции на фоне общего увеличения численности полихет указывает на значимые экологические сдвиги в заливе. По всей видимости, это связано с возросшей эвтрофикацией в южном колене Кольского залива.

Стоит отметить, что средний вес особей в современных поселениях многощетинковых червей стал значительно ниже. Так, в 1934–1935 гг. данный показатель варьировал в пределах 0,12–0,29 г. В 2021–2024 гг. средний вес изменился на порядок и варьировал от 0,04 до 0,07 г. По всей видимости, это произошло вследствие элиминирования крупных полихет, таких как *Amphitrite cirrata*, *Eunice norvegica*, *Maldane sarsi*, *Thelepus*

cinnatus. Также причиной могут быть методические особенности отбора проб.

Таблица 1

**Средние значения количественных характеристик полихет
в Кольском заливе в исследованные периоды**

Кольский залив	1934–1935 гг.			2021–2024 гг.		
	Биомасса, г/м ²	Численность, экз./м ²	Продукция, г/м ² ×год ⁻¹	Биомасса, г/м ²	Численность, экз./м ²	Продукция, г/м ² ×год ⁻¹
Северное колono	27,53±5,57	216,28± 20,10	73,38±21,04	38,21±3,11	1280,00±88,23	95,55±17,49
Среднее колono	28,83±2,75	335,07±27,18	68,07,±12,61	16,38±0,91	1604,82±110,23	62,51±4,02
Южное колono	9,62±0,72	233,00±21,42	37,09±8,01	33,08±2,72	2962,59±330,52	132,02±18,06

Биогеографическая и трофическая структуры. При анализе биогеографической структуры видового состава полихет в изучаемые периоды было выявлено, что основу поселений как в 1934–1935 гг., так и в 2021–2024 гг. формировали бореально-арктические виды. Ключевым изменением стал существенный рост видового разнообразия и биомассы бореальных многощетинковых червей. Их таксономический состав расширился с 8 до 34 видов, а биомасса увеличилась с 11,90 до 33,99 г/м². Вероятно, это обусловлено положительным воздействием долгосрочного потепления в течение периода исследования на данную группу, а также в определенной степени влиянием методических особенностей обработки проб в 1934–1935 гг.

Исследование трофической структуры полихет также показало существенные трансформации. В 1930-е годы наблюдалось постепенное снижение биомассы всех трофических групп от северного к южному колону исследуемой зоны. В северной части детритофаги-грунтоеды, детритофаги-собиратели и хищные полихеты имели равные доли биомассы (по 30 %). Современные данные демонстрируют обратную динамику: максимальные показатели биомассы каждой из трофических групп сместились к южному участку с последующим снижением к северному. При этом в южном колоне доля плотоядных полихет увеличилась в два раза. Наибольшую долю стали составлять собирающие детритофаги.

Мониторинговые станции. Для статистической оценки изменений в поселениях полихет под воздействием потепления климата и антропогенной нагрузки были проанализированы данные 8 дночерпательных станций 1934 г. и дублирующие их по координатам станции 2022 г. (рис. 5).

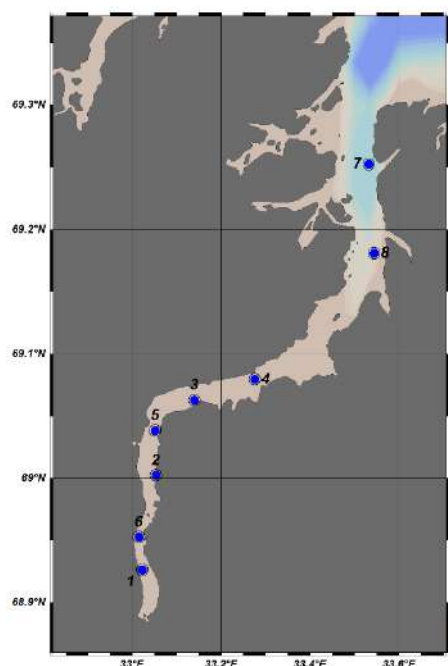


Рис. 5. Схема расположения дночерпательных станций на мониторинговом полигоне в 1934 и 2022 гг.

С помощью критерия Вилкоксона было установлено достоверное увеличение всех показателей поселений полихет (табл. 2). Так, величина таксономической плотности продемонстрировала увеличение более чем в два раза, средние значения показателей плотности поселения, биомассы и продукции продемонстрировали увеличение в десять, два и три раза соответственно. Значительное повышение плотности поселений может быть связано в том числе и с методикой отбора проб, как указывалось выше.

Таблица 2

Количественные показатели многощетинковых червей в Кольском заливе в 1934 и 2022 гг.

Показатель	1934 г.	2022 г.	Δ изменение, %*	t-критерий Вилкоксона
Число видов (таксонов)	22 (30)	89 (108)	304,5	
Таксономическая плотность, таксон/0,5 м ²	8,00±1,00	19±3,60	137,50	3** (p<0,05)
Плотность, экз./м ²	209,30±47,60	1921,50±647,50	817,90	0** (p<0,05)
Биомасса, г/м ²	15,10±2,90	33,60±7,90	122,50	2** (p<0,05)
Продукция, г/м ² ×год ⁻¹	40,80±8,10	110,60±28,30	171,80	3** (p=0,05)

*Разница величин, %.

**Значимые различия.

Вероятно, наблюдаемые трансформации обусловлены совокупным влиянием ряда факторов, среди ключевых – повышение температуры придонного слоя воды, которое способствует расширению ареалов бореальных и бореально-арктических видов на обширных акваториях, и усиление антропогенного воздействия, обеспечивающее дополнительный приток органического вещества.

Исследование биогеографической структуры поселений многощетинковых червей показало, что в обоих периодах (1934 и 2022 гг.) основу поселений формировали бореально-арктические виды. Однако к 2022 г. зафиксирован резкий рост всех количественных показателей этой группы (табл. 3). Особенно значительно увеличились видовое разнообразие и численность бореальных полихет, что свидетельствует о процессе бореализации поселений полихет. Этот процесс связан с многолетним потеплением в Баренцевом море, которое наблюдается на протяжении последних десятилетий и создает благоприятные условия существования для видов бореального происхождения.

Таблица 3

Биогеографическая структура полихет в Кольском заливе в 1934 и 2022 гг.

Виды	Средний количественный показатель*		Доля от абсолютных значений показателей, %	
	1934 г.	2022 г.	1934 г.	2022 г.
Арктические	-	1,56±0,24	-	4
	-	0,30±0,11	-	1
	-	213,33±125,55	-	11
	-	3,02±1,48	-	2
Бореальные	1,00	7,19±1,63	10	18
	0,50±0,31	4,22±1,81	2	13
	4,40±1,16	201,67±69,58	1	11
	1,01±0,50	7,26±2,15	1	12
	4,75±0,94	22,62±3,88	73	66
Бореально-арктические	10,28±3,04	26,27±8,07	74	81
	158,50±43,92	1392,5±499,34	78	74
	32,17±9,69	113,96±32,09	75	81
	1,80±0,3	4,14±0,63	17	12
Космополиты	5,33±1,52	1,68±0,56	24	5
	65,00±22,18	77,14±14,71	20	4
	15,88±4,83	7,26±2,15	23	5

*Здесь и в табл. 4 показатели приведены в следующем порядке – видовая плотность, количество видов/0,5 м²; биомасса, г/м²; плотность, экз./м²; продукция, г/м²×год⁻¹.

Также в видовом списке 2022 г. отмечено появление арктических видов (*Ampharete crassiseta*, *Chone murmanica*, *Clymenura polaris*, *Eumida arctica*, *Gattyana amondseni*, *Pseudoscalibregma parvum*, *Terebellides*

gracilis). Средний вес особи этих видов в пробах составил от 0,0004 до 0,0228 г, что позволяет объяснить их отсутствие в пробах 1934 г. менее детальной первичной обработкой.

В трофической структуре многощетинковых червей на мониторинговых станциях Кольского залива также были отмечены значимые изменения. Так, доля грунтоедов по всем показателям снизилась практически в два раза. По всей видимости, это связано с элиминированием *M. sarsi*, которая, как отмечалось выше, является чувствительным видом к повышенному содержанию азота, поступающему в Кольский залив со сточными водами.

Таблица 4

Трофическая структура полихет в Кольском заливе в 1934 и 2022 гг.

Полихеты	Средний количественный показатель		Доля от абсолютных значений показателей, %	
	1934 г.	2022 г.	1934 г.	2022 г.
Детритофаги-грунтоеды	2,85±0,38	8,85±1,26	30	19
	9,40±1,82	8,53±3,32	55	25
	100,57±27,83	274,58±121,38	43	13
	25,99±5,29	34,34±13,90	52	22
Детритофаги-собиратели	2,71±0,44	18,73±3,51	29	41
	4,68±0,60	15,61±5,91	27	45
	102,29±30,99	953,75±340,21	43	46
	15,66±3,10	66,88±19,05	31	44
Плотоядные	2,86±0,43	12,25±2,37	30	32
	2,90±1,08	6,73±1,60	17	19
	30,43±10,86	307,50±53,74	13	15
	8,17±2,99	28,42±8,84	16	18
Сестонофаги	1	2,67±0,69	10	7
	0,04	3,62±0,55	0,2	10
	2	508,33±163,61	0,8	25
	0,19	23,74±16,83	0,4	25

Количественные характеристики остальных групп полихет также демонстрировали увеличение по всем показателям. В современных поселениях многощетинковых червей наибольшая доля пришлась на детритофагов-собирателей. К этой группе полихет относятся такие виды-индикаторы, как *P. cirrifer* и *L. cirrata*, которые являются типичными представителями районов с повышенным содержанием органических веществ в воде [13]. Также стоит отметить повышение доли сестонофагов в современных поселениях многощетинковых червей. Основной вклад в увеличение доли сестонофагов внесла полихета *Chone dunneri*. Массовые скопления *C. dunneri* характерны для мелководных районов (глубина меньше 20 м) с песчаными грунтами [11], повышенной гидродинамикой

водных масс и притоком биогенов. Наибольшие показатели обилия и продукции *C. dunneri* были зафиксированы на станции № 6 Кольского залива, расположенной в южном колене на глубине 9 м, на которой грунты представлены в основном песком и камнями. Помимо приливно-отливных явлений, в данном районе происходит впадение рек Кола и Тулома, что обеспечивает дополнительный приток органики. Это благоприятно влияет на развитие поселений *C. dunneri*.

Значительно увеличилась и доля плотоядных полихет. Количество плотоядных форм является важным показателем экологического состояния донных сообществ [6]. Увеличение доли плотоядных полихет на современном этапе может говорить о притоке дополнительного источника пищи для них, что может обеспечиваться высокой смертностью организмов вследствие усиления антропогенной нагрузки в Кольском заливе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поселения многощетинковых червей Кольского залива за исследованный период (с 1934–1935 по 2021–2024 гг.) претерпели серьезные изменения. Это выражается в значительном увеличении всех количественных показателей, а также в перестройке таксономической, биогеографической и трофической структур поселений полихет. Выявленные изменения являются следствием воздействия совокупности факторов, таких как потепление придонного слоя воды и возрастание антропогенной нагрузки. В современных поселениях полихет возросла доля бореальных видов, а также увеличилась распространенность (встречаемость на станциях) большинства бореально-арктических видов многощетинковых червей. Это указывает на бореализацию донной фауны Кольского залива в целом. Исчезновение таких видов, как *M. sarsi*, указывает на то, что основу фауны образуют устойчивые к загрязнению полихеты, это, в свою очередь, свидетельствует об адаптации экосистемы Кольского залива к меняющимся условиям среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жирков, И.А. Полихеты Северного Ледовитого океана / И.А. Жирков. – М.: Янус-К, 2001. – 632 с.
2. Кольский залив и нефть: биота, карты уязвимости, загрязнение / Под ред. д-ра геогр. наук А.А. Шавыкина; ММБИ КНЦ РАН. – СПб.: Реноме, 2018. – 520 с.
3. Лейбсон, Р.Г. Количественный учет донной фауны Мотовского залива / Р.Г. Лейбсон // Труды ВНИРО. – 1939. – Т. 4. – С. 127–192.

4. Манушин, И.Е. Средняя масса особи как показатель скорости оборота вещества в популяциях водных эктотермных животных / И.Е. Манушин // Мат. X науч. семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина». – СПб.: КопиСервис. – 2008. – С. 29–34.
5. Манушин, И.Е. Многолетняя динамика биомассы макрозообентоса в восточной части Баренцева моря (за период с 1924 по 2014 гг.) / И.Е. Манушин, Н.А. Стрелкова, П.А. Любин [и др.] // Зоологический журнал. – 2020. – Т. 99. – №. 7. – С. 745–756.
6. Стрелкова, Н.А. Оценка воздействия камчатского краба на бентос районов Западного Мурмана / Н.А. Стрелкова, И.Е. Манушин, Д.В. Захаров, В.С. Вязникова // Камчатский краб в Баренцевом море. – 2021. – С. 600–650.
7. Belan, T.A. Benthos abundance pattern and species composition in conditions of pollution in Amursky Bay (the Peter the Great Bay, the Sea of Japan) / T.A. Belan // Marine Pollution Bulletin. – 2003. – Vol. 46, № 9. – С. 1111–1119.
8. Borja, A. Marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments / A. Borja, J. Franco, V.A. Pérez // Marine Pollution Bulletin. – 2000. – Vol.40 (12). – P.1100–1114.
9. Boitsov V.D. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009/ V.D. Boitsov, A.L. Karsakov, A.G. Trofimov // ICES Journal of Marine Science. – 2012. – Vol. 69. – Iss. 5. – P. 833–840.
10. Ecological Functions of Polychaetes Along Estuarine Gradients // Frontiers in Marine Science, 01 March 2022 Sec. Marine Ecosystem Ecology / Vol. 9. – 2022. – DOI.org/10.3389/fmars.2022.780318.
11. Horikoshi, M. Distribution of benthic organism and their remains at the entrance of Tokyo Bay, in relation to submarine topography, sediments and hydrography / M. Horikoshi // お茶の水女子大学自然科学報告. – 1962. – Vol. 13, № 2. – С. 47–122.
12. Seo, J.Y. Spatial distributions of macrozoobenthic communities in the Seomjin River estuary / J.Y. Seo, J.H. Kim, J.W. Choi // Ocean and Polar Research. – 2017. – Vol. 39, № 1. – С. 23–34.
13. Wlodarska-Kowalczyk, M. Soft-bottom macrobenthic faunal associations and factors affecting species distributions in an Arctic glacial fjord (Kongsfjord, Spitsbergen) / M. Wlodarska-Kowalczyk, T.H. Pearson // Polar Biology. – 2004. – Vol. 27(3). – P. 155–167.
14. World Register of Marine Species (WoRMS): website and databases / Flanders Marine Institute. – URL: <http://marinespecies.org/index.php>, 2024.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЙОБЕНТОСА БЕЛОГО МОРЯ В РАМКАХ ПРОЕКТА «ДЕРЮГИНСКАЯ СЪЕМКА»

А.Е. Росинская^{1, 2}

¹*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ),
г. Москва*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН), г. Москва*

Аннотация. Мейобентос – экологическая группа, объединяющая многоклеточные бентосные организмы размером от 32 мкм до 2 мм. Для Белого моря данные о количественном распределении мейобентоса весьма фрагментарны и основаны на исследованиях в отдельных участках акватории, расположенных преимущественно в Кандалакшском заливе.

В рамках проекта «Комплексные исследования по оценке влияния глобальных климатических и локальных антропогенных факторов на состояние экосистем арктических морей» ПАО «Роснефть» («Дерюгинская съемка») в августе и сентябре 2023–2024 гг. были получены данные о структуре сообществ мейобентоса на 20 станциях, соответствующих станциям океанографической съемки К.М. Дерюгина (1922–1926 гг.). Наши точки пробоотбора охватывают большую часть акватории Белого моря (исключая район Воронки) в широком диапазоне глубин от 19 до 260 м, а также на различных типах грунта.

В качестве орудий сбора первичного материала были использованы дночерпатель ван Вина и хапс-корер. Для количественных проб пластиковыми шприцами диаметром 1,8 см с предварительно обрезанным нижним краем была отобрана колонка грунта объемом 12,7 см³. В дальнейшем к пробам, предварительно окрашенным красителем «Бенгальский розовый», применен метод центрифугирования в градиенте плотности, после чего организмы были подсчитаны тотально в каждой пробе в камере Богорова с использованием стереомикроскопа.

В данной работе рассмотрены закономерности распределения мейобентосных организмов по крупным таксонам (Nematoda, Harpacticoida, Kinorhyncha, Ostracoda и т.д.) в зависимости от абиотических условий среды (глубина на станции, содержание алевропелита в донных осадках и степень их сортированности). Также сделаны выводы о сравнимости между собой количественных проб, отобранных при помощи разных орудий сбора первичного материала.

Ключевые слова: Белое море, мейобентос, сообщества, Harpacticoida, Nematoda, структура сообществ.

ВВЕДЕНИЕ

В 2022 г. исполнилось 100 лет со дня экспедиции К.М. Дерюгина, целью которой была первая масштабная океанографическая съемка Белого моря. Результатом экспедиции стала монография «Фауна Белого моря и условия ее существования» [3]. Уникальные данные, полученные Дерюгиным и его группой, послужили основой для дальнейшего изучения

Белого моря. Они во многом остаются актуальными и в настоящее время.

В работе К.М. Дерюгина в качестве орудий сбора материала были использованы трал Сигсби и драги. Таким образом, в монографии Дерюгина рассмотрены организмы, относящиеся к макро- и мезообентосу. Также стоит упомянуть, что понятие мейобентоса как отдельной экологической группы на тот момент еще не существовало и было введено в использование М. Мэр в 1942 г. [6].

Цель проекта «Дерюгинская съемка» – анализ вековых изменений гидробиологических характеристик акватории Белого моря с привлечением современных методов для разработки основ прогнозирования экологического состояния морей западного сектора российской Арктики; гармонизация современных и традиционных методов исследований, а также оценка влияния различных факторов на изменение морских экосистем Арктики.

В рамках проекта поставлен широкий спектр задач: гидрологические измерения, изучение бентосных и планктонных сообществ, анализ донных отложений, определение загрязненности вод микропластиком и содержания загрязняющих веществ в гидробионтах и др. Одной из задач проекта является изучение сообществ мейобентоса, данные о которых отсутствуют для большей части акватории Белого моря. Анализ структуры сообществ мейофауны приведен в данной работе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В результате экспедиций на НИС «Профессор Зенкевич» и «Картеш» в августе и сентябре 2023–2024 гг. были отобраны количественные пробы мейобентоса на станциях, соответствующих точкам пробоотбора океанографической съемки К.М. Дерюгина [3] (см. таблицу). Станции охватывают акваторию бассейна Белого моря, Горла и Соловецкого архипелага (рис. 1) и соответствуют избранным станциям из съемки Дерюгина. В программу работ включены 20 из 60 оригинальных станций, выбранных таким образом, чтобы охватить максимальное разнообразие глубин, типов грунтов и районов Белого моря.

В качестве орудий сбора первичного материала были использованы хапс-корер (площадь трубки 127 см^2) и дночерпатель ван Вина (площадь раскрытия $0,1 \text{ м}^2$). Из орудий сбора материала при помощи трубчатого пробоотборника (пластиковые шприцы диаметром $1,8 \text{ см}$) были отобраны колонки грунта объемом $12,7 \text{ см}^3$ для количественных проб. Пробы зафиксировали в 4 %-ном растворе формальдегида, нейтрализованном бурой ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10\text{H}_2\text{O}$), в соотношении объема грунта к объему фиксатора, равном 1:5. Для разведения формалина до нужной

концентрации использовали морскую воду, профильтрованную через газовую ткань с диаметром ячеей 32 мкм.

В данную работу включены результаты обработки 96 повторностей количественных проб.

Из материала за 2023 г. представлены по 2 повторности с каждой из 18 станций, на которых был осуществлен пробоотбор (в съемку не вошли ст. 13 и 25).

Из съемки 2024 г. с 10 станций обработаны по 2 повторности из дночерпателя (станции НИС «Картеш», см. рис. 1), на остальных 10 станциях – по 2 повторности из дночерпателя и 2 повторности из хапс-корера (станции НИС «Профессор Зенкевич», см. рис. 1).

**Список станций пробоотбора мейозообентоса в Белом море
в августе и сентябре 2023–2024 гг.**

Станция	Географические координаты		Глубина, м	Количество обработанных повторностей	Орудие сбора первичного материала
	широта, северная	долгота, восточная			
1	65°02,389'	39°47,374'	24,5	4	Дночерпатель ван Вина
2	65°08,800'	39°17,653'	76,0	4	То же
4	65°26,782'	38°16,234'	107,0	4	»
6	65°43,266'	37°17,846'	160,0	4	»
7	65°53,492'	36°25,371'	146,0	4	»
8	66°02,045'	35°58,000'	143,0	4	»
9	66°14,521'	35°17,550'	193,5	6	Дночерпатель ван Вина, хапс-корер
10	66°21,049'	34°38,829'	260,5	6	То же
13	66°38,486'	33°43,922'	158,5	4	»
14	66°42,085'	33°22,921'	149,5	6	»
15	66°48,049'	33°01,398'	68,7	6	»
17	66°40,109'	33°21,887'	59,4	6	»
20	66°20,799'	35°25,151'	88,6	6	»
25	65°20,498'	35°22,969'	46,8	4	»
26	65°13,000'	35°27,356'	39,7	6	»
27	64°51,314'	35°19,670'	38,4	6	»
33	65°36,737'	39°02,792'	55,0	4	Дночерпатель ван Вина
34	65°46,938'	39°08,465'	67,0	4	То же
36	66°19,101'	40°50,006'	29,0	4	»
38	66°47,628'	42°02,867'	19,0	4	»

Для извлечения организмов из донных осадков был применен метод центрифугирования в градиенте плотности. Пробы были окрашены красителем «Бенгальский розовый». Далее подсчет многоклеточных организмов мейофауны проводили в камере Богорова под стереомикроскопом (Leica MZ APO) при увеличении 50×50.

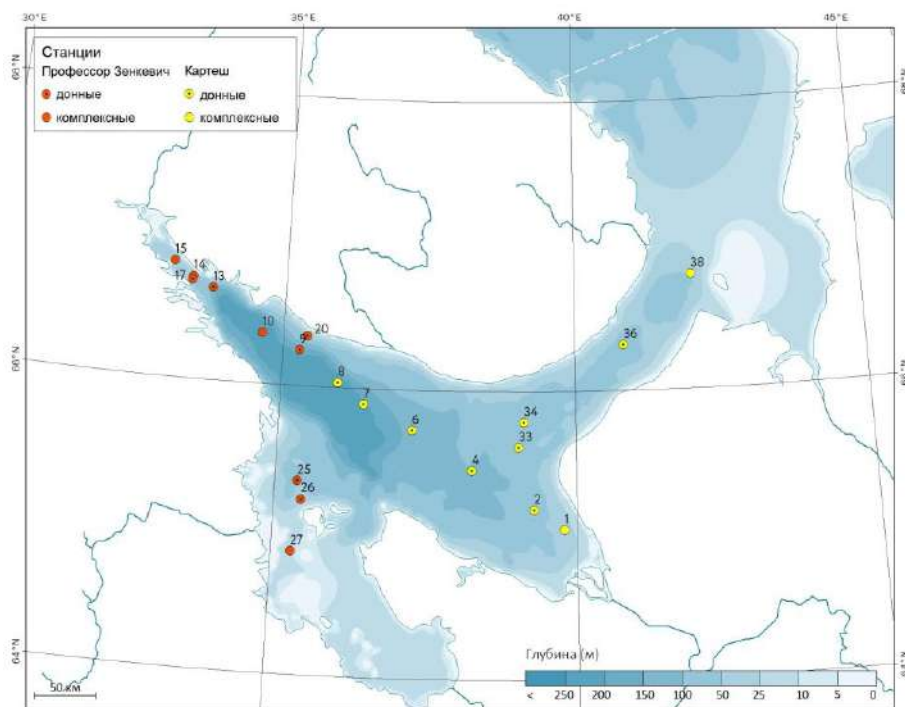


Рис. 1. Карта района работ в рамках проекта «Дерюгинская съемка» в августе и сентябре 2023–2024 гг.

Улавливающую способность дночерпателя и хапс-корера сравнивали между собой на материале 10 станций 2024 г., на которых брали параллельные пробы обоими орудиями. Достоверность различий в численности всего мейобентоса и отдельных таксонов, а также в разнообразии (по индексу Шеннона) оценивали парным критерием Вилкоксона. Дополнительно различия в общей численности, разнообразии и таксономической структуре – непараметрическим ковариационным анализом на основе различия/сходства (PERMANCOVA) с одновременной оценкой вкладов глубины (количественный фактор), содержания алевропелита в осадке (количественный фактор) и орудия сбора первичного материала (качественный фактор) в общую структурную вариабельность.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Многоклеточный эумейобентос (животные, относящиеся в течение всего жизненного цикла к мейобентосу [2]) представлен следующими таксонами: Nematoda, Harpacticoida, Kinorhyncha, Cnidaria, Ostracoda, Tardigrada, Oligochaeta, Tantulocarida, Gastrotricha, Turbellaria, Halacaridae. В состав псевдомейобентоса (организмы, находящиеся в сообществах мейобентоса только на ранних стадиях развития [2]) вошли такие группы,

как Polychaeta, Bivalvia, Priapulida, Amphipoda, Isopoda, Cirripedia, Sipuncula и Gastropoda.

В рамках предыдущих исследований мейобентоса псевдобатииали Белого моря (в районе ст. 10 в данной работе) на глубине 270 м, помимо отмеченных нами, также обнаружены представители таких таксонов, как Aplousophora, Porifera и Rotifera [5].

Средняя численность мейобентоса в пробах из дночерпателя – (688 ± 738) экз./10 см², в пробах из хапс-корера – (1127 ± 839) экз./10 см². Численность нематод и гарпактикоид на средних глубинах (50–100 м) в пробах из хапс-корера оказалась приблизительно вдвое выше, чем в аналогичных пробах из дночерпателя. Однако малое число наблюдений на этих глубинах (три станции) и большой разброс значений не позволяют оценить это различие как статистически значимое. Результаты ковариационного анализа (PERMANCOVA) показали отсутствие влияния орудия сбора первичного материала на такие показатели сообществ мейофауны, как общая численность (отрицательный вклад в дисперсию, эффект исключен из итоговой модели) и таксономическое разнообразие (вклад = 4,6 %; $p = 0,232$). Таким образом, можно сделать вывод о равноценной эффективности данных орудий сбора первичного материала в количественных исследованиях мейофауны и возможности сравнения между собой проб, полученных при помощи этих пробоотборников.

Средняя общая численность мейобентоса по всем станциям за два года составила (779 ± 781) экз./10 см². В съемке 1999 г. суммарное обилие мейофауны варьировало от 1210 до 2351 экз./10 см² (глубина на станциях – 270 м) [7], а в съемках 1998–1999 гг. – 1987 экз./10 см² (глубина – 270 м) [4]. В том же районе средняя численность многоклеточного мейобентоса составила 746 экз./10 см² [5].

Наиболее многочисленной группой среди эумейобентоса оказались Nematoda ((678 ± 714) экз./10 см²; 86,9 % численности сообщества). Второй по численности таксон – копеподы отряда Harpacticoida ((69 ± 85) экз./10 см²; 8,85 %). Такие же группы-доминанты отмечены в ранних работах [3, 5, 7]. В съемке 1998–1999 гг. описана плотность таксоцена нематод, равная 502 экз./10 см² (67,2 %) [5]. Согласно результатам экспедиции 1999 г., вклад нематод в общую численность многоклеточного мейобентоса составил 62 % [7].

Среди псевдомейобентоса, по нашим данным, наибольшая плотность поселения отмечена для ювенильных особей Polychaeta ((21 ± 26) экз./10 см²; 2,79 %).

Численность всех групп, кроме малочисленных таксонов псевдомейобентоса, оказалась достоверно выше в 2024 г. по сравнению с 2023 г.

Анализ численности организмов на 18 станциях, пробоотбор на которых был произведен в оба года исследований, показал, что в 2024 г. численность нематод и общая численность мейобентоса были выше в среднем в 2,7 раза, гарпактикоид – в 4 раза, Ostracoda – в 1,7 раз, ювенильных особей Polychaeta – в 1,4 раза. Встречаемость остальных групп была слишком низкой для проведения статистического анализа.

Характеристики осадков не оказывали заметного влияния на численность мейофауны, за исключением плотности поселения молоди полихет (растет с увеличением доли алевропелита; регрессионный анализ: $\beta = 0,388$; $p = 0,044$) и малочисленных таксонов эумейофауны, чья плотность поселения также выше на илах ($\beta = 0,475$; $p = 0,01$) (рис. 2).

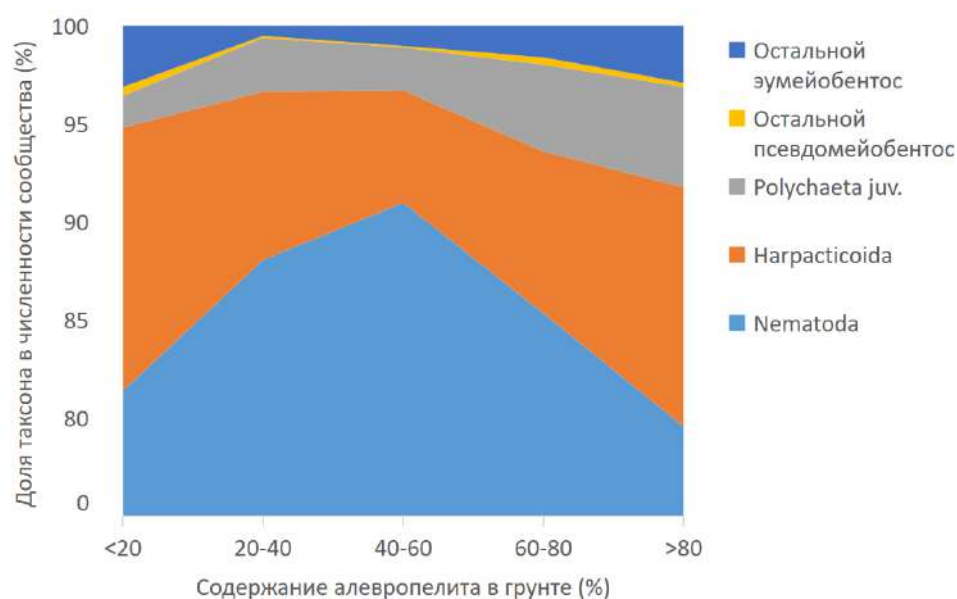


Рис. 2. Зависимость доли наиболее многочисленных таксонов мейофауны в общей численности сообществ от содержания алевропелита в грунте в августе и сентябре 2023–2024 гг.

Ранее в работах о количественном распределении мейобентоса псевдобатиали Белого моря было показано, что разнообразие основных групп падает скачкообразно с увеличением глубины [1]. Наименьшие значения были получены на глубинах 100–150 м (при диапазоне глубин в исследовании 0–300 м).

Общая численность мейобентосных организмов достоверно зависит только от глубины на станции (PERMANCOVA; 52,7 % объясненной дисперсии; $p = 0,001$), снижаясь при ее увеличении (рис. 3). Такая же картина отмечена для наиболее многочисленных таксонов мейофауны.

Численность гарпактикоид резко снижается при меньших значениях глубины, чем нематод. Эффект глубины на плотность поселений

Harpacticoida оказался достоверно сильнее, чем для Nematoda (регрессионный анализ; $\beta_{\text{Harpacticoida}} = -0,788$ ($p < 0,001$); $\beta_{\text{Nematoda}} = -0,569$ ($p < 0,001$)).

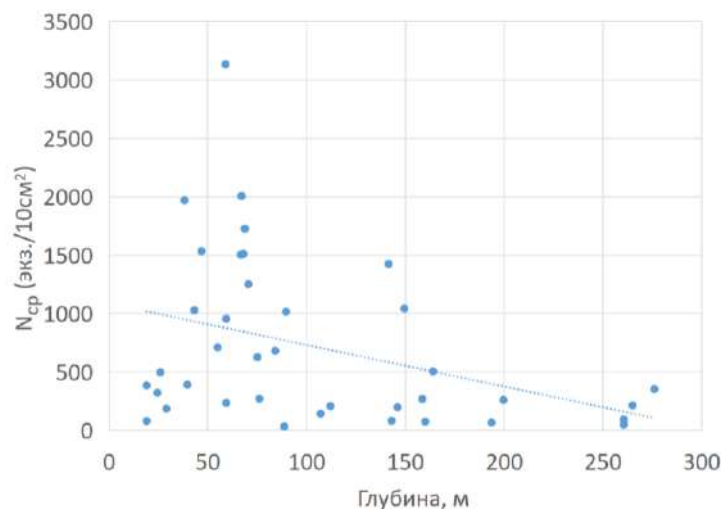


Рис. 3. Зависимость общей численности мейобентоса Белого моря от глубины в августе и сентябре 2023–2024 гг.

Представители псевдомейофауны, за исключением полихет, практически отсутствуют глубже 100 м (рис. 4).

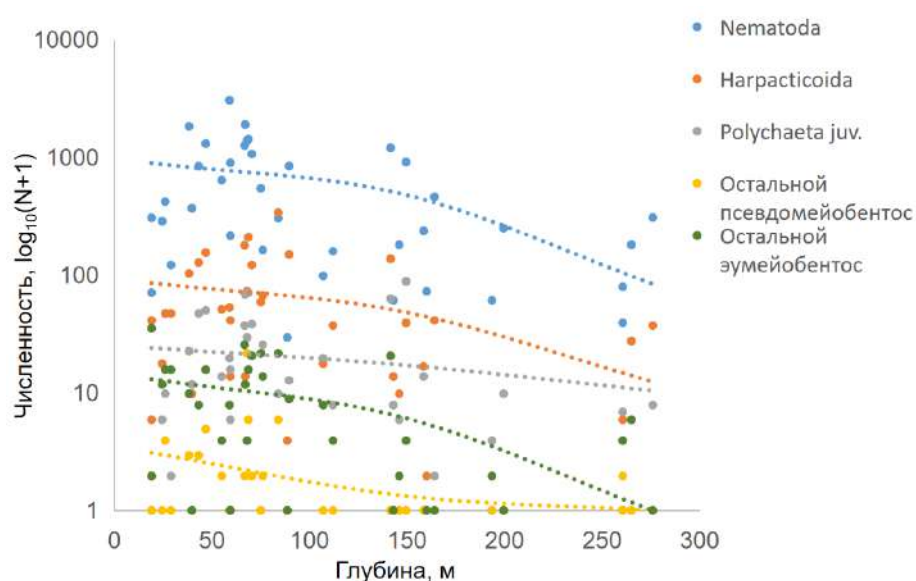


Рис. 4. Зависимость численности основных групп мейобентоса Белого моря от глубины в августе и сентябре 2023–2024 гг.

Таксономическая структура мейофауны в целом довольно стабильна и претерпевает изменения при увеличении глубины (PERMANCOVA;

18,8 %; $p = 0,016$) и содержания алевропелита (PERMANCOVA; 24,1 %; $p = 0,018$).

В то же время разнообразие (по индексу Шеннона) практически не меняется ни с глубиной, ни год от года и зависит (нелинейно) от таких характеристик грунта, как степень его сортированности (регрессионный анализ; $\beta = 0,573$; $p = 0,007$) и содержание алевропелита ($\beta = -0,386$; $p = 0,049$). Таксономическое разнообразие достигает максимума на умеренно неоднородных грунтах, сложенных частицами разных размерных фракций.

Только на самых мелкодисперсных илах, содержащих около 30 % алевропелитовой фракции, встречаются представители Gastropoda, Sipuncula, Tantulocarida. Напротив, присутствие Tardigrada, Gastrotricha, Turbellaria и ракообразных (молодь Isopoda и Amphipoda, личинки Cirripedia) отмечено преимущественно на крупнозернистых грунтах (песчаные или гравийно-песчаные осадки) на малых и средних глубинах. Находки Kinorhyncha и Cnidaria приурочены в основном к средним глубинам (50–100 м) на разных типах грунта. Тип Cnidaria представлен единственным видом – *Boreohydra simplex*, что также отмечено в предыдущих работах по Белому морю [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Орудие сбора первичного материала достоверно не влияет ни на один из показателей сообществ мейобентоса. При увеличении глубины общая численность мейофауны снижается экспоненциально, также отмечено ее увеличение в 2024 г. по сравнению с 2023 г. Эффект состава донных отложений на общую численность мейофауны является слабым и находится на границе достоверности результатов. Таксономическое разнообразие изменяется за счет преобразования доли алевропелита и степени сортированности осадков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальцова, В.В. Мейобентос юго-восточной части Кандалакшского залива, Белое море / В.В. Гальцова, М.В. Владимиров // Бентосные экосистемы юго-восточной части Кандалакшского залива и прилегающих территорий. Исслед. фауны морей. – Л.: Наука, 1988. – № 38. – С. 47–74.
2. Гальцова, В.В. Мейобентос и его роль в морских экосистемах / В.В. Гальцова // Экология моря. – 1991. – Т. 39. – С. 92–98.
3. Дерюгин, К.М. Фауна Белого моря и условия ее существования / К.М. Дерюгин; Издание государственного гидрологического института. – Ленинград, 1928. – Т. 7. – № 8.

4. Милютина, М.А. Мейобентос Кандалакшского желоба Белого моря: состав, распределение, сезонная динамика: специальность 03.00.08 «Зоология»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / М.А. Милютина. – Москва, 2004.

5. Benthic meiofaunal density and community composition in the deep White Sea and their temporal variations / D.M. Miljutin, M.A. Miljutina, V.O. Mokievsky, A.V. Tchesunov // *Polar biology*. – 2012. – Vol. 35. – P. 1837–1850. – DOI 10.1007/s00300-012-1226-z.

6. Mare, M.F. A study of a marine benthic community with special reference to the micro-organisms / M.F. Mare // *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. – 1942. – Vol. 25. – № 3. – P. 517–554. – DOI 10.1017/S0025315400055132.

7. Meiobenthos of the deep part of the White Sea / V.O. Mokievsky, M.A. Miljutina, A.V. Tchesunov, P.V. Rybnikov // *Meiofauna Marina*. – 2009. – Vol. 17. – P. 61–70.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И БИОМАССА ОБЫКНОВЕННОГО ШРИМСА *NEOCRANGON COMMUNIS* В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОХОТСКОГО МОРЯ

С.М. Русяев¹, Д.А. Ботнев², Е.Н. Дробязин³

¹Магаданский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («МагаданНИРО»), г. Магадан

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

³Тихоокеанский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»), г. Владивосток

Аннотация. По данным, собранным в двух траловых съемках в северной части Охотского моря, представлено распределение обыкновенного шримса *Neocrangon communis*. Пространственное распределение шримса приурочено к илисто-песчаным грунтам в диапазоне глубин 100–230 м при температуре 0,5–3,5 °С. Минимальная величина биомассы обыкновенного шримса в северной части Охотского моря в 2021 и 2024 гг. составляла 2,4–6,6 тыс. т. Обыкновенный шримс в летний период являлся типичным объектом питания 10 видов донных рыб северной части Охотского моря, что указывает на его кормовую ценность и значимость в экосистеме этой части моря.

Ключевые слова: Охотское море, обыкновенный шримс, распределение, биомасса, питание рыб.

ВВЕДЕНИЕ

Промысловая значимость беспозвоночных северной части Охотского моря несомненна, однако среди богатейших биологических ресурсов этого района есть несколько популяций ракообразных и моллюсков, не имеющих промыслового значения, но обладающих высокой численностью и, следовательно, играющих важную роль в экосистеме моря.

Одним из таких объектов является обыкновенный шримс *Neocrangon communis* (Rathbun, 1899) – придонный, тихоокеанский вид, распространенный от Японского моря до берегов Калифорнии. В российских водах обыкновенный шримс встречается от залива Петра Великого до Чукотского моря. Данные об этом виде собираются российскими учеными лишь попутно при изучении питания промысловых объектов. Отдельные отечественные исследования обыкновенного шримса касались морфологии его личинок [4] и динамики их численности в планктоне [3]. В то же время известно, что обыкновенный шримс является кормовым объектом для некоторых промысловых рыб Охотского моря [2]. Его роль в трофической цепи гидробионтов изучена недостаточно, что определяет необходимость исследований его распределения и биомассы в северной части Охотского моря, ставших целью настоящей работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили данные донных траловых съемок краба-стригуна опилио в северной части Охотского моря в августе–сентябре 2021 г. (90 тралений; акватория 159 тыс. км²) и июне–июле 2024 г. (147 тралений; акватория 202 тыс. км²). Орудие учетной съемки – донный трал ДТ/ТВ 27,1/24,4 м со вставкой в мешке из дели (шаг ячеи 10 мм), оснащенный кабелями по 25 м с полужестким грунтропом. Траления проводились в диапазоне глубин 96–453 м при средней скорости 2,5 уз. Оценку биомассы выполняли в программном пакете «КартМастер». Горизонтальное раскрытие трала для расчета биомассы вида принято за 16 м. Коэффициент уловистости для вида приняли равным 1,0 – величине, используемой при оценке биомассы непромысловых беспозвоночных. Улов шримса определялся с точностью 10 г. При больших общих уловах (свыше 1000 кг) применялась процедура взятия материала, определения численности шримса из кратной части улова, с последующим пересчетом на весь улов вида на траловой станции. Размер шримса определяли по длине карапакса (ДК) от заднего края орбиты глаза до середины заднего спинного края с помощью штангенциркуля с точностью до 1 мм (измерено 341 экз.). В отдельных тралениях определяли долю самок с икрой. Встречаемость представителей вида рассчитывали по количеству тралений с видом к общему количеству всех тралений. Картирование распределения вида выполняли с помощью программного пакета «Surfer» по квадратам, стороны которого составляли примерно 30 миль, что обеспечивало наличие в нем данных не менее 1 траления. Температура воды у дна определялась притраловым датчиком «Термохрон» (дискретность измерений 5 с, точность $\pm 0,5$ °C). Частота встречаемости шримса в желудках рыб, выраженная в процентах, определялась отношением доли желудков рыб с видом к общему количеству исследованных желудков. Шримса идентифицировали по цвету, размеру и форме непереваренного карапакса. Всего в двух съемках исследовано 334 желудка донных рыб различных размерных групп из уловов 23 тралений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение. Шримс *Neocrangon communis* регулярно встречался в траловых уловах на акватории северной части Охотского моря. В период траловой съемки в 2021 г. частота встречаемости этого объекта составляла 55 %, в 2024 г. – 63 %. Высокая встречаемость вида была характерна для песчано-илистых грунтов, преобладающих в этой части моря. Наибольшая плотность обыкновенного шримса отмечалась в районе, прилегающем к Тауйской губе и заливу Бабушкина (рис. 1, 2). Этот район определяется

повышенной продуктивностью вод, обусловленной гидрофронтом в зоне действия шельфовых субарктических вод [5].

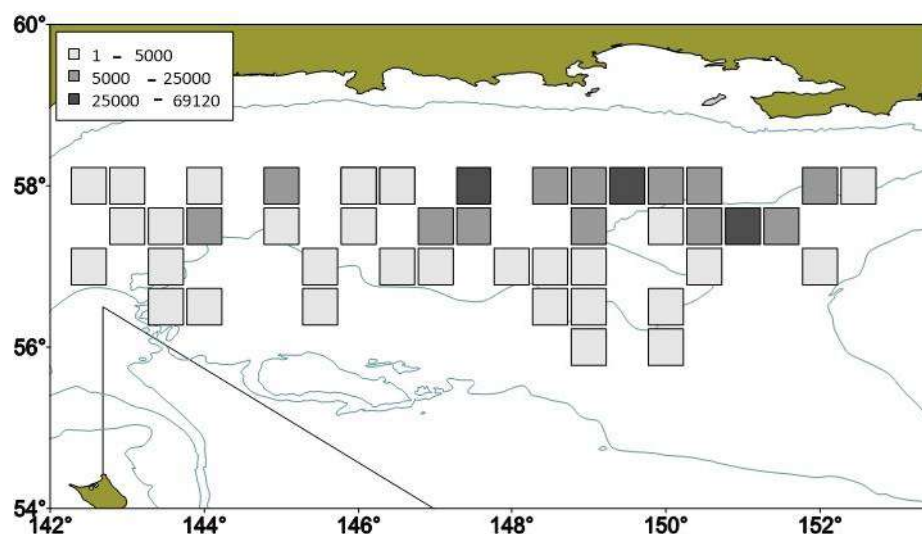


Рис. 1. Распределение плотности скоплений обыкновенного шримса в северной части Охотского моря в летний период 2021 г. (нанесены изобаты 100, 200, 300 м), экз./миль²

Плотность скоплений шримса достигала в северной части моря 100,0 тыс. экз./милю². При этом общий характер распределения скоплений незначительно отличался по результатам съемок 2021 и 2024 гг. (см. рис. 1, 2).

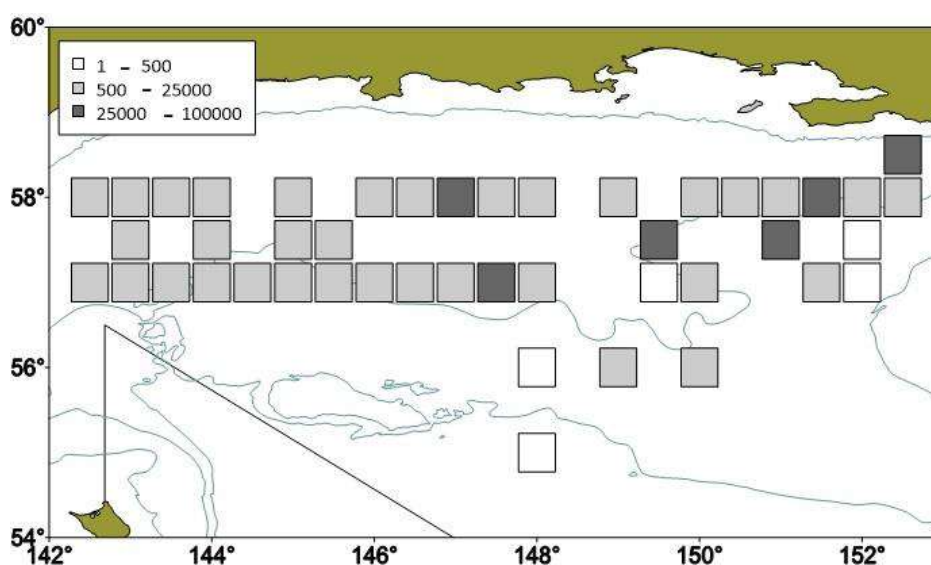


Рис. 2. Распределение плотности скоплений обыкновенного шримса в северной части Охотского моря в летний период 2024 г. (нанесены изобаты 100, 200, 300 м), экз./миль²

Обыкновенный шримс на акватории траловой съемки отмечался в диапазоне глубин 100–324 м при температуре воды 0,5–3,6 °C.

Встречаемость шримса и плотность его скоплений с увеличением глубины заметно снижалась.

Сведения об обнаружении представителей этого вида в районе западного побережья Камчатки указывают на его высокую встречаемость при температуре 0,2–2,8 °С [6]. Более широкий диапазон температуры нахождения этого вида отмечается в северной части моря [1]: от –1,5 до 5,6 °С. Однако в этой публикации не указываются район, сезон, глубина и диапазон температуры воды обнаружения представителей вида. Исходя из наших материалов и суммируя имеющиеся данные, можно лишь констатировать, что температурный оптимум, обеспечивающий воспроизводство *N. communis*, вероятно, находится в пределах от 1 до 3 °С, такие значения наблюдаются в придонном слое северной части моря в летне-осенний период.

Не выявлено связи распределения и плотности скоплений *N. communis* с доминирующими видами бентоса по данным траловых съемок. Обыкновенный шримс встречался как на участках обитания колониального полипа *Pavonaria finmarchica*, так и в сообществах губок *Actinostola callosa* и *Liponema brevicorne*, обнаруживался на участках обитания мягких кораллов *Primnoa pacifica* и среди скоплений офиур *Gorgonocephalus eucnemis*.

Биомасса. В августе–сентябре 2021 г. биомасса обыкновенного шримса на акватории площадью в 90 тыс. км² составила 2,4 тыс. т, а в 2024 г. на акватории в 164 тыс. км² – 6,6 тыс. т. Трехкратное расхождение биомассы объясняется различной площадью учета и, вероятно, большей продолжительностью тралений, а также более высокой точностью учета при разборе по видам непромыслового бентоса. Так, в траловой съемке 2024 г. принимало участие шесть специалистов-гидробиологов, в 2021 г. – только два. По данным съемки 2024 г., биомасса *N. communis* в северной части Охотского моря уступала только биомассе промысловых креветок: северной креветке *Pandalus borealis*, углохвостой креветке *Pandalus goniurus* и козырьковому шримсу *Argis ochotensis*. Учитывая наименьшие размеры обыкновенного шримса среди других массовых видов креветок Охотского моря, а также донный характер обитания шримсов, фактический коэффициент уловистости тралом для этого вида скорее всего будет находиться в диапазоне 0,05–0,3. Соответственно, полученные оценки с большей вероятностью обозначают нижнюю границу биомассы популяции обыкновенного шримса в северной части Охотского моря.

Прочие данные. В силу высокого видового разнообразия, а также приоритета учета промысловых видов в траловых съемках, данные о размерном составе и массе обыкновенного шримса получены выборочно во времени. В уловах были представлены особи шримса с ДК 9–21 мм.

Средняя ДК шримса составила $(13,8 \pm 0,8)$ мм. При этом к востоку от 148° в.д. ДК была несколько больше. Расчетная средняя масса 1 экз. – $(3,03 \pm 0,81)$ г. Доля самок с внешней икрой варьировала от 13 до 56 %, в среднем – 32 %.

Обыкновенный шримс отмечался в желудках не менее 10 видов рыб. Частота его встречаемости в желудках гребенчатого ликода *Lycodes plearis* составляла 16 %, охотоморского липариса *Liparis ochotensis* – 33 %, мягкого бычка *Malacocottus zonurus* – 10 %, колючего ицела *Icelus spiniger* – 11 %, шершавого карепрокта *Careproctus rastrinus* – 11 %, широколобого карепрокта *Careproctus cypselurus* – 8 %, щетинистого бычка *Dasycottus setiger* – 2 %, палтусовидной камбалы *Hippoglossoides robustus* – 33 %. Также обыкновенный шримс встречался в питании наиболее крупных хищников северной части Охотского моря – щитоносного ската *Bathyraja parmifera* и фиолетового ската *Bathyraja violacea* (17 и 4 % соответственно), но был обнаружен только у молодых особей (длина тела до 20 см).

Перечисленные виды рыб, питавшиеся обыкновенным шримсом, составляли в период исследований не менее 70 % от общей численности рыб уловов (без учета тихоокеанской сельди, минтая), что отражает высокую значимость обыкновенного шримса в трофической цепи северной части Охотского моря.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обыкновенный шримс *N. communis* широко распространен на акватории северной части Охотского моря. Встречаемость вида в уловах в траловых съемках 2021 и 2024 гг. к северу от 56° с.ш. составляла 55–63 %.

Распределение вида приурочено к мягким грунтам и, вероятно, не зависит от доминирующих форм макробентоса. Вертикальное распределение обыкновенного шримса охватывает диапазон глубин от 100 (минимальная глубина тралений в съемках) до 320 м.

Плотность скоплений вида варьировала от нескольких десятков до 100,0 тыс. экз./миллю². Биомасса (индекс) обыкновенного шримса в 2021 и 2024 гг. на акватории северной части Охотского моря составляла 2,4 и 6,6 тыс. т. Учитывая наименьшие размеры шримса среди креветок Охотского моря и донный образ жизни, можно говорить о том, что полученные оценки биомассы характеризуют лишь ее нижнюю границу для этой популяции.

Обыкновенный шримс *N. communis* встречен в желудках 10 видов донных рыб, обитающих в северной части Охотского моря, что также отражает его высокую численность и трофическую ценность для ихтиофауны этой части моря.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бандурин, К.В. Креветки северной части Охотского моря / К.В. Бандурин, М.Г. Карпинский. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 2015. – 214 с.
2. Напазаков, В.В. Питание и пищевые отношения хищных рыб в залив Шелихова (Охотское море) / В.В. Напазаков // Известия ТИНРО. – 2008. – Т. 152. – С. 215–224.
3. Пташкина, Е.М. Качественный и количественный состав креветочного меропланктона в восточной части Охотского моря в 2015 году / Е.М. Пташкина, Н.А. Седова // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Материалы X Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции. – 2019. – С. 59–62.
4. Седова, Н.А. Особенности морфологии личинок *Mesocrangon intermedia* и *Neocrangon communis* (Decapoda, Crangonidae) из северо-западной части Тихого океана / Н.А. Седова // Зоологический журнал. – 2015. – Т. 94, № 4. – 414 с.
5. Чернявский, В.И. О причинах высокой биологической продуктивности северной части Охотского моря / В.И. Чернявский // Известия ТИНРО. – 1970. – Т. 71. – С. 13–22.
6. Sokolov, V.I. Decapod crustaceans of southwest Kamchatka Shelf (According to materials of R/V Professor Levanidov in June 1996) / V.I. Sokolov // Arthropoda Selecta. – 2001. – Vol. 10 (2). – P. 103–136.

О ВИДОВОМ СОСТАВЕ ИГЛОКОЖИХ ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ ОСТРОВА НЕДОРАЗУМЕНИЯ ТАУЙСКОЙ ГУБЫ ОХОТСКОГО МОРЯ

С.М. Русяев¹, Ю.А. Зуев², С.С. Джантюрк³

¹Магаданский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («МагаданНИРО»), г. Магадан

²Санкт-Петербургский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

(«ГосНИОРХ» им. Н.М. Берга), г. Санкт-Петербург

³Российский государственный гидрометеорологический университет
(РГГМУ), г. Санкт-Петербург

Аннотация. В целях мониторинга видового разнообразия иглокожих в верхней сублиторали Тауйской губы Охотского моря выполнены 10 водолазных разрезов, распределенных по трем типам донного ландшафта. Представлены материалы о плотности скоплений 12 видов иглокожих, обнаруженных в верхней сублиторали о-ва Недоразумения. Доминирующим видом на песчано-илистом, мелкогалечном плато являлся морской плоский еж. В каменистых грядах и на обломках скал наблюдалась повышенная плотность морских звезд и офиур.

Ключевые слова: иглокожие, донные ландшафты, морской еж, Тауйская губа.

ВВЕДЕНИЕ

Северная часть Охотского моря в силу суровых условий среды (ледовый покров в течение 6 месяцев) до сих пор является районом, где видовой состав зообентоса крайне слабо изучен. В 1949–1954 гг. бентосная съемка северной части Охотского моря охватила глубины лишь свыше 50 м, а съемка ТИНРО в 1982 г. выполнена только на акватории залива Шелихова [9]. При этом на севере моря фактически неизученным остается бентос верхней части сублиторальной зоны, недоступный для стандартного судового сбора пробоотборниками. В настоящее время единственный источник информации о бентосе сублиторальной зоны этой части моря – обзор его видового состава, выполненный К.В. Регель [5], в котором нахождение многих видов иглокожих отмечено как вероятное.

В условиях интенсивного морского судоходства особенно важны знания о видовом составе, структуре и биомассе гидробионтов прибрежной зоны, в наибольшей степени уязвимой при морских техногенных авариях. Необходимость описательных работ также диктуется природоохранной и рекреационной деятельностью: морское побережье является наиболее доступным для жителей области районом отдыха, у побережья находится один из участков Магаданского государственного заповедника.

В целях организации мониторинга необходимы предварительный выбор методов сбора информации и определение групп гидробионтов для объективного и оперативного анализа количества видов бентоса и их численности.

В качестве метода сбора информации был выбран водолазный способ, используемый при проведении мониторинга верхней сублиторали. Наиболее удобной группой гидробионтов для водолазного способа сбора мы считаем иглокожих, являющихся относительно крупными, не закапывающимися в грунт и малоподвижными организмами. Широкая экологическая ниша этой группы организмов (хищники, падальщики, детритофаги, сестонофаги) позволяет точнее определить характер антропогенного воздействия на гидробиоценозы, в том числе и при ретроспективном анализе [10], лучше изучить причины их изменчивости (неустойчивости) во времени.

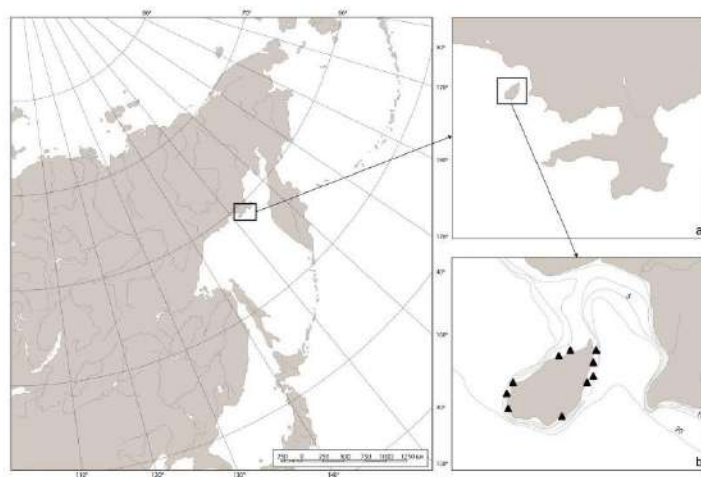
Цель работы – исследование возможностей мониторинга иглокожих в верхней сублиторали у о-ва Недоразумения Тауйской губы, что предопределило выделение задач: установление видового состава иглокожих, описание распределения объектов на разных типах грунтов и оценка плотности групп в летний период.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили данные, полученные при водолазных погружениях у о-ва Недоразумения в июне–августе 2022–2024 гг. (см. рисунок). Водолазный учет выполнялся вдоль трансект. Трансекту водолазного учета обозначали натянутым под водой перпендикулярно берегу фалом длиной 50 м [6]. Учет велся визуально, его результаты корректировались с помощью видеокамеры GoPro, установленной на шлеме водолаза. Исследованная площадь на каждом разрезе в 200 м² определялась с помощью данных о протяженности трансекты (50 м) и площади осмотра дна (по 2 м по обе стороны веревки). Плотность распределения объектов (экз./м²) устанавливали визуально: отношение количества учтенных (просмотренных в видеозаписи) экземпляров каждого вида на трансекте к ее исследованной площади.

Оценку плотности распределения для небольших по размеру иглокожих (офиуры, голотурии) на трансектах не проводили, так как это требует значительных затрат времени на перевертывание камней, отбор грунта и т.д. Плотность офиур и голотурий оценивали отдельно, выбрав предварительно для их учета каменистый грунт на каждом разрезе. Сравнительный анализ плотности видов провели по трем основным геоморфологическим единицам, выделенным на основании типа грунта и особенностей рельефа – типам донного ландшафта. Определение таксонов

выполнено с помощью атласа и определителя [2, 7]. Оценка встречаемости всех групп иглокожих получена, исходя из встречаемости иглокожих на 10 трансектах (для офиур и голотурий на типичных участках), которые располагались в трех выделенных типах ландшафта. Глубину (в диапазоне 1–15 м) и температуру воды фиксировали с помощью водолазного компьютера.



Район исследований и распределение водолазных трансект у о-ва Недоразумения Тауйской губы Охотского моря в летний период 2022–2024 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Северная часть Охотского моря не отличается высоким разнообразием подводных ландшафтов, относясь к типу абразионно-аккумулятивных равнин [8]. Однако район исследований – Тауйская губа – включает несколько островов, создающих большее разнообразие ландшафтов. Мониторинг видового состава гидробионтов островов Тауйской губы, очевидно, является более эффективным, чем таковой для материковой части побережья, так как у ограниченной береговой линии островов существует повышенная ландшафтная неоднородность, создающая большее видовое богатство фауны верхней сублиторали.

На основе имеющихся данных по геоморфологии сублиторали Тауйской губы [4] нами были выделены три типа донного ландшафта:

- песчаные, мелкогалечные плато проливов и закрытых бухт;
- валунно-каменистые гряды;
- скалы и их обломки на мысах и их подводных оконечностях.

Первый и второй типы ландшафтов встречаются на всех глубинах исследованной зоны верхней сублиторали (1–15 м). Валунно-каменистые гряды расположены как вдоль берегов, так и у подножия скальных выходов и находятся на глубинах 1–10 м. Скальные грунты и валунные

глыбы (обломки скал) – наиболее редкий тип подводного ландшафта для северной части моря, распространяются обычно до глубин 10–12 м.

На вышеперечисленных грунтах нами были обнаружены 12 видов иглокожих, представленных всеми классами, за исключением морских лилий. Доминирующими по численности являлись морские ежи, для которых отмечена четкая приуроченность некоторых к выделенным типам ландшафтов. Так, плоский морской еж *Echinarachinus parma* отмечался только на песчано-илистом плато (плотность до 9 экз./м²), а морской зеленый еж *Strongylocentrotus droebachiensis* в основном обитает на каменистых грядках. На песчаном плато для зеленого морского ежа характерно только дискретное обитание: на отдельно стоящих валунах и крупных камнях. Плотность распределения зеленого морского ежа составила здесь в среднем около 3 экз./м². В отдельных скоплениях плотность этого вида достигала 50 экз./м² (табл. 1).

Таблица 1

**Плотность скоплений различных иглокожих у о-ва Недоразумения
(по группам и типам ландшафта) в 2022–2024 гг.**

Систематическая группа, класс, вид	Диапазон плотности скоплений по типам ландшафта, экз./м ²		
	валунно-каменистые гряды	песчано-илистое, мелкогалечное плато	скалы, валуны
Морские звезды	1–5	0–4	2–7
Офиуры	5–22	1–4	3–13
Зеленый морской еж	1–12	6–48	2–8
Плоский морской еж	–	1–9	–
Голотурии	Менее 2	–	Менее 2

Обилие офиур отмечалось на валунном и скальном грунтах, где были обнаружены три вида: *Ophiura sarsii*, *Ophiopholis aculeata*, *Ophiocten maculata*.

Напротив, морские звезды были найдены во всех типах ландшафта, но их наибольшая плотность отмечалась на скалах. Два вида звезд (*Asterias rathbuni*, *Evasterias retifera*) образовывали скопления (до 7 экз./м²) на участках поселений тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus*, причем первый вид – доминирующий среди морских звезд по абсолютной численности. На песчаных плато встречались преимущественно небольшие особи звезд, средний размер которых составлял 1,5–2 см.

Учитывая достаточно большой диапазон плотности некоторых групп для одного типа ландшафта, полезной для демонстрации распределения иглокожих является осредненная характеристика встречаемости иглокожих по типам ландшафта (табл. 2).

Среди морских звезд доминировали виды рода *Henricia*: *H. spiculifer*, *H. densispina*, *H. ochotensis* и *H. derjugini*. В то же время у о-ва

Недоразумения не обнаружено звезд родов *Solaster*, *Crosaster*, *Pteraster*, выделяющихся в Охотском море богатым видовым составом [2]. Также следует отметить небольшое количество видов голотурий (*Psolus fabricii*, *Chiridota tauiensis*). Это, вероятно, связано с отсутствием на данном участке интенсивной динамики вод, что ограничивает питание сестонофагов.

Таблица 2

Встречаемость групп иглокожих по типам ландшафта у о-ва Недоразумения на глубинах 0–15 м

Систематическая группа, класс, вид	Тип ландшафта и доля в нем класса организмов, %		
	валунно-каменные гряды	песчано-илистое, мелкогалечное плато	скалы, валуны
Морские звезды	30	20	50
Офиуры	60	~5	35
Зеленый морской еж	40	30	30
Плоский морской еж	—	100	—
Голотурии	50	—	50

Сравнение состава иглокожих сублиторальной зоны о-ва Недоразумения с таковым из других частей Охотского моря показывает их определенную схожесть. Большинство отмеченных нами видов иглокожих типичны для шельфа о-ва Сахалин [3] и мелководий западного побережья Камчатки [1], где также доминирует плоский морской еж *Echinarachinus parma*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В верхней части сублиторальной зоны Тауйской губы на глубинах 1–15 м обнаружены 12 видов иглокожих, представляющих все классы типа Echinodermata, за исключением морских лилий. В трех типах подводного ландшафта вокруг о-ва Недоразумения наибольшая плотность скоплений морского зеленого ежа *Strongylocentrotus droebachiensis* и плоского морского ежа *Echinarachinus parma* характерна для мелкогалечного плато. На скальных и каменистых грунтах доминируют офиуры и морские звезды. Среди морских звезд наибольшая встречаемость отмечена для хищного вида *Asterias rathbuni*, образующего скопления на друзах тихоокеанской мидии. Видовой состав иглокожих в сублиторали Тауйской губы указывает на ее схожесть с сообществами иглокожих у о-ва Сахалин и на мелководьях западно-камчатского шельфа. Приемлемый объем данных о видовом составе иглокожих, их плотности и особенностях распределения был получен за небольшой временной период на ограниченном пространстве, что позволяет использовать эту группу

гидробионтов для проведения эффективного экологического мониторинга верхней сублиторали северной части Охотского моря.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипова, Е.А. Иглокожие (Echinodermata) мелководной части западнокамчатского шельфа Охотского моря / Е.А. Архипова // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Тезисы докладов XV международной научной конференции, посвященной 80-летию со дня основания Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. – Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2014. – С. 183–185.
2. Атлас морских звезд дальневосточных морей России / С.В. Явнов; под ред. В.А. Ракова. – Владивосток: Русский Остров, 2010. – 240 с.
3. Бекова, Н.В. Состав и распределение иглокожих (Echinodermata) на шельфе восточного Сахалина / Н.В. Бекова // Известия ТИНРО. – 2006. – Т. 144. – С. 122–139.
4. Белый, М.Н. Промысловые водоросли северной части Охотского моря: видовой состав, биологическая характеристика, распределение и оценка запасов / М.Н. Белый // Состояние и перспективы рыбохозяйственных исследований в бассейне северной части Охотского моря: сборник научных трудов. – Магадан: МагаданНИРО, 2001. – Вып. 1. – С. 255–262.
5. Биологическое разнообразие Тауйской губы Охотского моря / Отв. ред. И.А. Черешнев. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 714 с.
6. Голиков, А.Н. Гидробиологические исследования в заливе Посыет с применением водолазной техники / А.Н. Голиков, О.А. Скарлато // Фауна морей северо-западной части Тихого океана: Исследования фауны морей. – 1965. – Т. 3 (11). – С. 5–19.
7. Дьяконов, А.М. Определитель иглокожих дальневосточных морей // Известия ТИНРО. – 1949. – Т. 30. – С. 1–127.
8. Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря / Отв. ред. И.А. Черешнев. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 525 с.
9. Надточий, В.А. Некоторые результаты бонитировки бентоса в российских водах дальневосточных морей: состав и количественное распределение (Охотское море) / В.А. Надточий, Л.Л. Будникова, Р.Г. Безруков // Известия ТИНРО. – 2007. – Т. 149. – С. 310–337.
10. Павлова, Л.В. Видовой состав и распределение иглокожих (Echinodermata) в верхней сублиторали Кольского залива (Баренцево море) / Л.В. Павлова, Ю.А. Зуев // Биология моря. – 2010. – Т. 36, № 2. – С. 79–87.

ОСЬМИНОГИ РОДА *BATHYPOLYPUS* (CERHALOPODA, ОСТОРОДА) В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ: РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ЧЕРТЫ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

А.Д. Семенова¹, А.В. Голиков¹, Д.В. Захаров², И.Е. Манушин³, Р.М. Сабиров¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), г. Казань

²Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

³Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск

Аннотация. Изучены черты биологии и экологии арктических бентических видов осьминогов рода *Bathypolypus* в Баренцевом и Карском морях. *B. pugniger* – самый глубоководный вид, средняя глубина встречаемости – $(552,5 \pm 62,1)$ м, *B. arcticus* предпочитает меньшие глубины – $(309,6 \pm 15,8)$ м. *B. bairdii* и *B. pugniger* имеют в целом аллопатрическое горизонтальное и вертикальное распространение, но при этом *B. bairdii* по сравнению с *B. pugniger* выбирает горизонты с несколько более высокими средними значениями температуры: $(1,91 \pm 0,51)$ °С и $(1,51 \pm 0,62)$ °С соответственно. *B. arcticus* – самый холодолюбивый вид: $(0,7 \pm 0,10)$ °С.

Ключевые слова: Баренцево и Карское моря, осьминоги, род *Bathypolypus*, биология, экология.

ВВЕДЕНИЕ

Bathypolypus – род бентических осьминогов (отряд Octopoda, семейство Bathypolypodidae), который в настоящее время включает в себя 3 арктических вида: *B. arcticus*, *B. bairdii* и *B. pugniger* [4]. Таксономический состав рода является дискуссионным, изученность морфологии, распространения, биологии и экологии носят отрывочный характер [5, 6]. Настоящее исследование, проведенное на собранном в Баренцевом и Карском морях материале, частично восполняет указанные пробелы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили сборы осьминогов рода *Bathypolypus*, полученные в рейсах НИС ПИНРО им. Н.М. Книповича, а также в совместных экосистемных съемках ПИНРО и Института морских исследований (г. Берген, Норвегия) с 2001 по 2018 г. Места сборов представлены на рис. 1. В Баренцевом море было собрано 189 экз. *B. arcticus*, 49 экз. *B. bairdii* и 57 экз. *B. pugniger*, в акватории Карского моря – 10 экз. *B. arcticus*. На борту исследовательских судов материал фиксировался целиком в 4 %-ном растворе формальдегида. Камеральная обработка проб была проведена в лаборатории гидробиологии кафедры

зоологии и общей биологии КФУ. При подготовке проб к биологической обработке осьминогов фиксировали в 70 %-ном этиловом спирте.

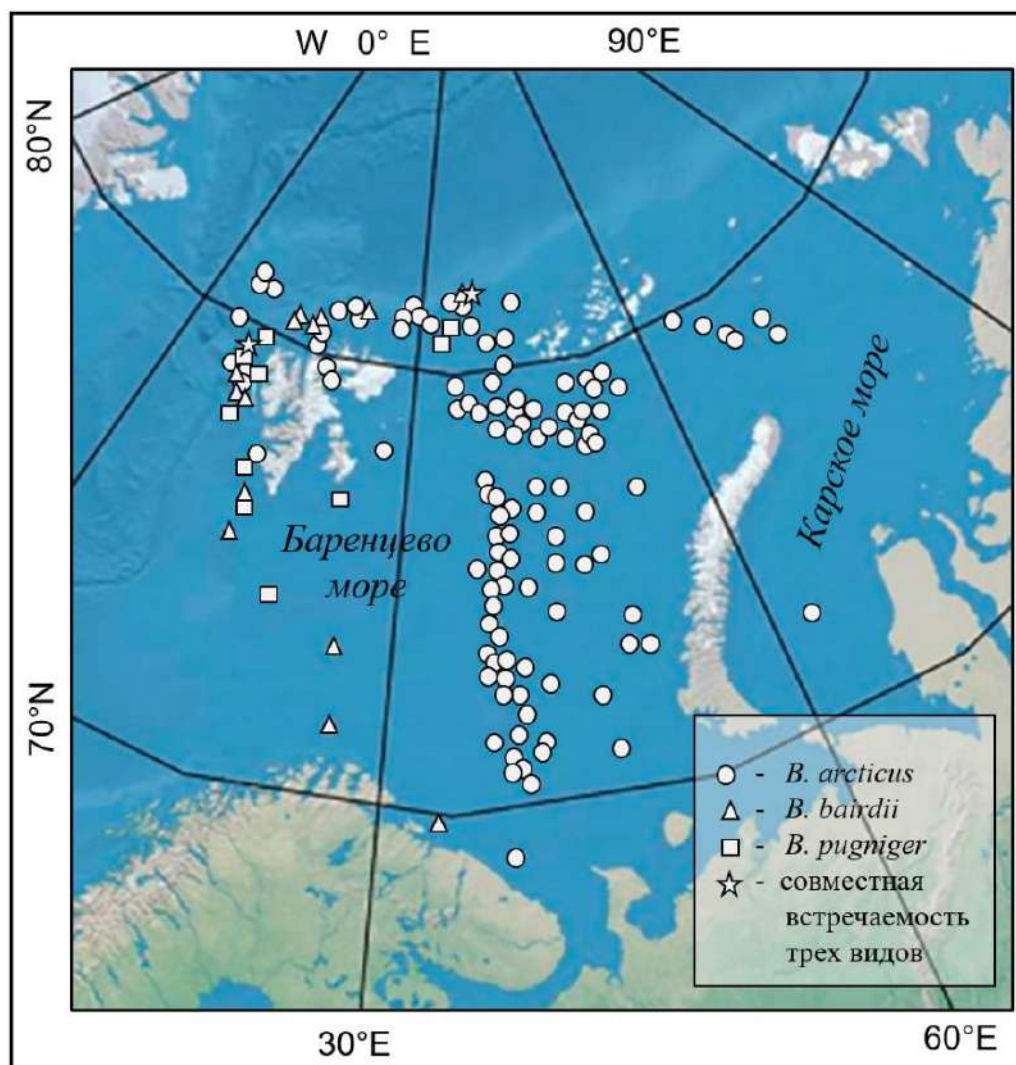


Рис. 1. Места сборов осьминогов рода *Bathypolypus* в Баренцевом и Карском морях

Биологический анализ и расчеты индексов метрических показателей проводились по стандартным методам, принятым для головоногих моллюсков. Выделяют семь стадий половозрелости цефалопод: 0 – ювенильные особи, пол неразличим; I–II – неполовозрелые; III–IV – физиологическое созревание; V1–V3 – функциональное созревание и половозрелость; VI – функциональная половозрелость, но происходит деградация гонады; VII – выбор [7]. При статистической обработке данных использованы программы MS Excel 2013 и Past 4.02. Для оценки достоверности различий средних (в Past 4.02) применяли Mann–Whitney

U-test в случае сравнения двух выборок и Kruskal–Wallis H-test – в случае трех и более выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные о распространении *B. arcticus* на настоящий момент являются неполными, но, очевидно, вид – циркумполярный. Обнаружен на шельфе и склоновых участках Баренцева и Карского морей. По литературным данным, этот вид распространен до Исландии и южной Гренландии, продвигаясь на запад через пролив Дэвиса, доходит до Канады, предположительной границей обитания на востоке является Восточно-Сибирское море [1, 3]. Для *B. arcticus* характерно плотное овальное тело, руки примерно одной длины и больше длины мантии в 1,5–5,0 раз. Цвет кожи от фиолетового до пурпурного со светло-желтыми пятнами и небольшими папиллами, которые часто окружают папиллы большего размера. Вентральная часть бледнее, обычно без папилл. У ювенильных особей, длиной мантии до 30 мм, покровы обычно гладкие. Имеются большие надглазничные папиллы.

Общая длина тела с руками *B. arcticus* составляет 18–20 см, длина мантии – до 7 см. В сборах вида в Баренцевом море преобладали самки – ♂:♀ = 0,53:1,00. При этом самки, у которых длина мантии достигала 6,6 см, были крупнее самцов в 1,2–1,5 раза (табл. 1). Зависимость общей массы тела от длины мантии у самцов и самок описывается линейной регрессией (рис. 2).

Таблица 1

Длина мантии и общая масса тела самцов и самок *B. arcticus* в Баренцевом море и показатели достоверности межполовых различий

Показатель	Самцы III–V2 стадий зрелости	Самки III–VI стадий зрелости	Достоверность различий*
Длина мантии, мм	21–43 (32,80 ± 0,60)	23–66 (39,40 ± 1,28)	U = 1045, p = 0,0001
Общая масса тела, г	13,2–66,1 (32,40 ± 1,49)	18,2–122,7 (59,80 ± 3,56)	U = 591, p = 0,0001

*Достоверные значения выделены жирным шрифтом.

Вороночный орган у *B. arcticus* VV-образной формы, благодаря чему этот вид легко отличим от двух других (рис. 3a). Гектокотиль характеризуется наличием около 40 присосок, их число остается постоянным на протяжении всей жизни, так же как и число гребней в лигуле. Модифицированная рука короче левой, лигула ложкообразная с загнутыми краями, ширина составляет 50–70 % от длины. Количество гребней варьируется от 10 до 17.

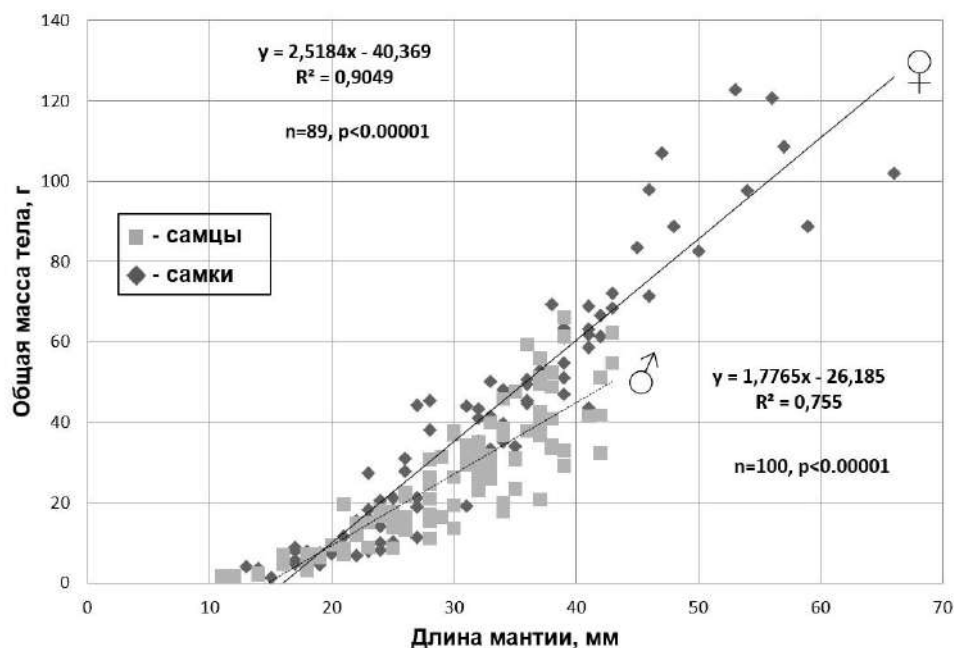


Рис. 2. Размерно-массовая зависимость у самцов и самок *B. arcticus* в Баренцевом море

B. bairdii встречен в западной части Баренцева моря (см. рис. 1). По литературным сведениям, этот вид отмечается в северной Арктике до залива Диско (западная Гренландия), южнее граница распространения доходит до берегов Исландии [3]. По нашим данным, вид в юго-западной части Баренцева моря распространен до верхней части шельфа Мурмана (см. рис. 1). *B. pugnifer* чаще встречается в тех же районах, что и *B. bairdii*. Очевидно, это свидетельствует о том, что на одном из этапов эволюционного развития *B. pugnifer* стал самостоятельным видом, отделившись от *B. bairdii* [2].

Представители вида *B. bairdii* также имеют фиолетово-пурпурную окраску тела, однако пятна обнаруживаются редко. Кожа иногда может быть гладкой (если образцы долго хранились в фиксаторе), но чаще всего имеются папиллы на дорсальной стороне, особенно в передне-боковой части. Есть надглазничные папиллы. Тело длиной до 20 см, квадратной формы с широкой головой и большими глазами. Размерно-массовая зависимость представлена на рис. 4. Вороночный орган *B. bairdii* состоит из парных вытянутых подушкообразных структур изменчивой формы (см. рис. 3б). Возможно, такой тип вороночного органа имеет общее эволюционное прошлое с VV-образным органом.

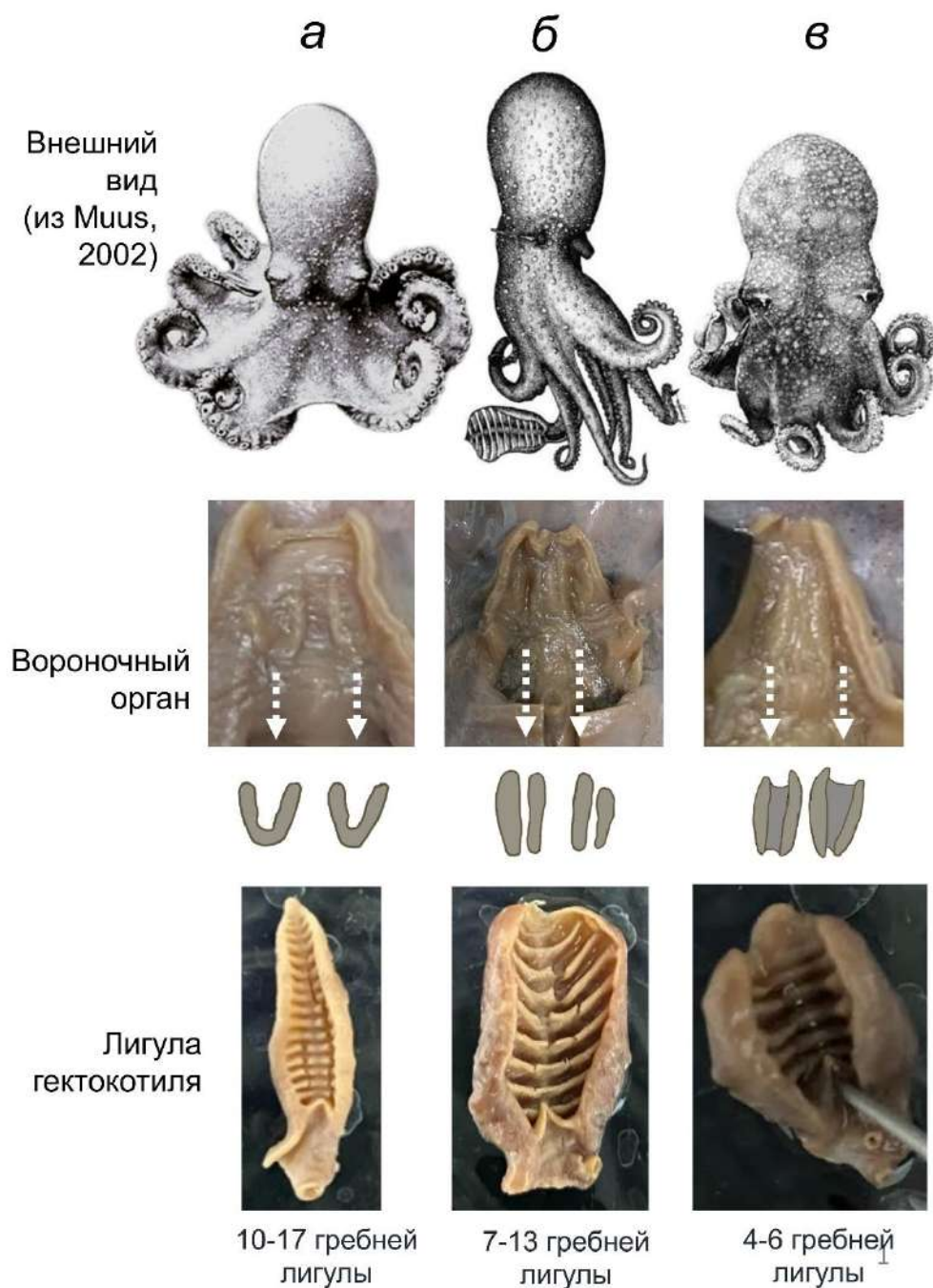


Рис. 3. Морфологические диагностические черты осьминогов рода *Bathypolypus*: а – *B. arcticus*; б – *B. bairdii*; в – *B. pugniger*

Лигула *B. bairdii* ложкообразная, у зрелых самцов квадратной формы, края которой по всей длине идут почти параллельно, в конце закругляясь и образуя заостренный кончик. Ширина составляет 50–75 % длины, количество гребней варьируется от 7 до 13, калямус короткий и заостренный (см. рис. 3б).

У *B. pugniger* тело имеет почти шарообразную форму. Его дорсальная часть фиолетово-пурпурная, вентральная – более светлая, с желтоватым оттенком, длина мантии до 5 см, общая длина – около 15 см.

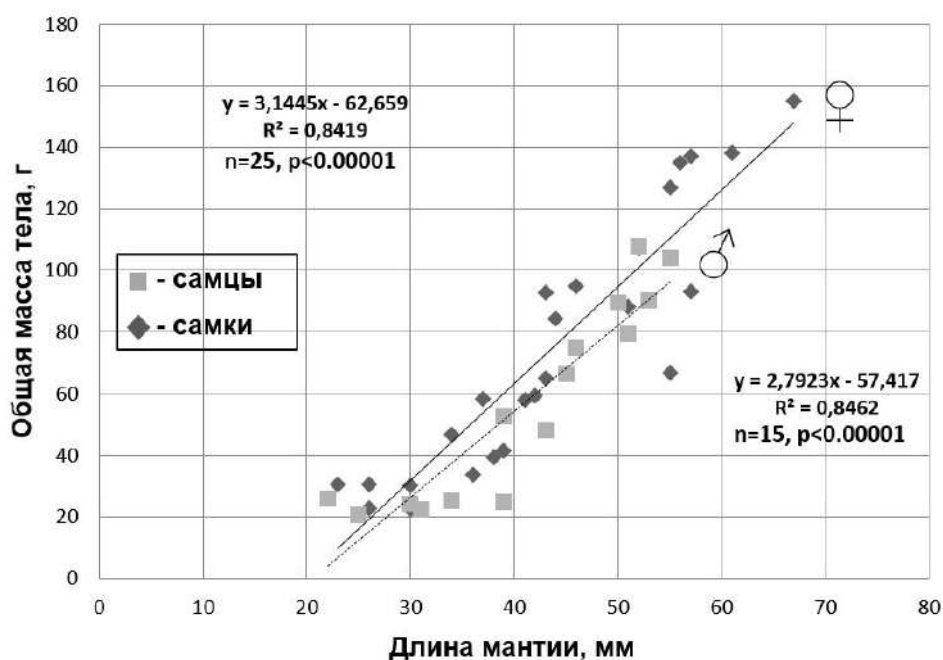


Рис. 4. Размерно-массовая зависимость у самцов и самок *B. bairdii* в Баренцевом море

Соотношение полов в Баренцевом море составило ♂:♀ = 0,68:1,00. Зависимость общей массы тела от длины мантии у самцов и самок представлена на рис. 5. Руки самые короткие из всех трех видов. Надглазничные папиллы могут быть раздвоены. Вороночный орган, так же как у *B. Bairdii*, состоит из двух парных вытянутых подушкообразных структур, но каждая пара соединяется мембраноподобной структурой (см. рис. 3в). Лигула мясистая, короткая, с крошечным заостренным кончиком и плотно закрученными краями, насчитывается 4–6 гребней.

В Баренцевом море *B. arcticus* встречается в наиболее широком диапазоне глубин от 120 до 534 м, однако средние предпочитаемые глубины оказались наименьшими среди изучаемых видов – $(309,6 \pm 15,8)$ м (таб. 2). *B. pugniger* по среднему значению предпочитаемых глубин оказался самым глубоководным видом – $(552,5 \pm 62,1)$ м.

К большим глубинам также тяготеет *B. bairdii*, средняя глубина встречаемости которого составила $(487,2 \pm 51,2)$ м. Достоверные различия в батиметрическом распределении выявлены между *B. arcticus* и *B. bairdii*, а также между *B. arcticus* и *B. pugniger* (таб. 3). Однако ввиду частой совместной встречаемости *B. bairdii* с *B. pugniger* их диапазоны глубин могут перекрываться.

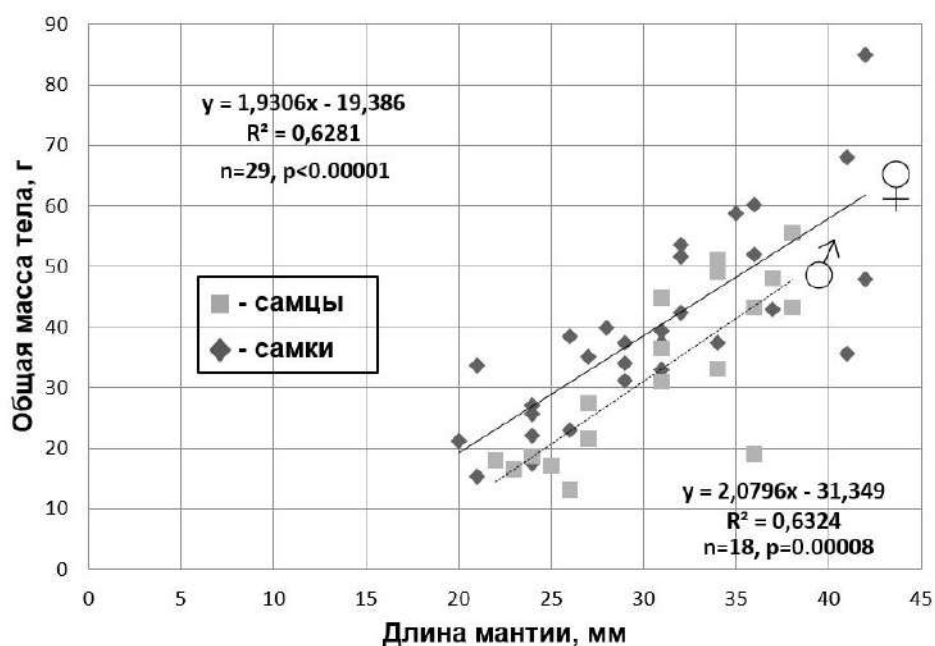


Рис. 5. Размерно-массовая зависимость у самцов и самок *B. pugniger* в Баренцевом море

Таблица 2

Значение глубины и температуры обитания видов рода *Bathypolypus* в Баренцевом и Карском морях

Вид	Глубина, м	Температура, °C
<i>Баренцево море</i>		
<i>B. arcticus</i>	120,0–534,0 (309,6 ± 15,8)	–0,83...+3,11 (+0,7 ± 0,1)
<i>B. bairdii</i>	137,0–530,0 (487,2 ± 51,2)	–0,73...+3,81 (+1,91 ± 0,51)
<i>B. pugniger</i>	211,0–598,0 (552,5 ± 62,1)	–0,41...+5,25 (+1,51 ± 0,62)
<i>Карское море</i>		
<i>B. arcticus</i>	277,5–508,5 (395,8 ± 31,1)	–1,01...+1,90 (–0,23 ± 0,17)

В Карском море, более мелководном, чем Баренцево, встречается только *B. arcticus*. Здесь он отмечен в диапазоне глубин 277–508 м, в среднем (395,8 ± 31,1) м (см. табл. 2).

Таблица 3

Показатель достоверности различий значений глубины и температуры встречаемости видов рода *Bathypolypus* в Баренцевом море

Виды	Глубина	Температура
<i>B. arcticus</i> – <i>B. bairdii</i> – <i>B. pugniger</i>	H = 30,87; p < 0,0001*	H = 4,659; p = 0,1
<i>B. arcticus</i> – <i>B. bairdii</i>	U = 648; p = 0,0004	U = 377; p = 0,1118
<i>B. arcticus</i> – <i>B. pugniger</i>	U = 362,5; p < 0,0001	U = 422,5; p = 1
<i>B. bairdii</i> – <i>B. pugniger</i>	U = 150,5; p = 1	U = 41; p = 1

*Достоверные значения выделены жирным шрифтом.

По температурным предпочтениям самым холодолюбивым видом является *B. arcticus*: среднее значение температуры, при которой данный вид был отмечен в Баренцевом море, составило $(0,7 \pm 0,10) ^\circ\text{C}$. В Карском море это значение оказалось ниже $0 ^\circ\text{C}$ – $(-0,23 \pm 0,17) ^\circ\text{C}$, однако достоверность этого значения низка вследствие малой выборки. *B. pugniger* встречался при наиболее значительных колебаниях температуры от $-0,41$ до $5,25 ^\circ\text{C}$, в среднем $(1,51 \pm 0,62) ^\circ\text{C}$. Для *B. bairdii* среднее значение предпочитаемой температуры оказалось наиболее высоким среди изученных видов – $(1,91 \pm 0,51) ^\circ\text{C}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из осьминогов рода *Bathypolypus* в Баренцевом и Карском морях встречается только *B. arcticus*, имеющий широкий циркумполярный ареал. *B. bairdii* и *B. pugniger* в Карском море не отмечены, распространены в северной и западной частях Баренцева моря, при этом первый из этих видов доходит до мелководной части шельфа у мурманского побережья. Надежными морфологическими признаками для диагностики видов *Bathypolypus* являются признаки половозрелых самцов. В частности, виды надежно определяются по морфологии лигулы гектокотилия и числу гребней в лигуле: их 10–17 у *B. arcticus*, 7–13 у *B. bairdii* и 4–6 у *B. pugniger*. Самый эврибатный вид – *B. arcticus*, который встречается в широком диапазоне глубин от 120 до 534 м, однако предпочитаемая – верхняя часть материкового склона с глубинами $(309,6 \pm 15,8)$ м. Средние глубины встречаемости *B. bairdii* и *B. pugniger* располагаются в более нижних слоях батии на $(487,2 \pm 51,2)$ м и $(552,5 \pm 62,1)$ м соответственно. Наиболее холодноводным видом считается *B. arcticus*, средние значения предпочитаемой температуры которого варьируют около $0 ^\circ\text{C}$: от $(0,70 \pm 0,10) ^\circ\text{C}$ в Баренцевом море до $(-0,23 \pm 0,17) ^\circ\text{C}$ в Карском. Самым эвритермным видом оказался *B. pugniger* с встречаемостью в диапазоне температуры от $-0,41$ до $+5,25 ^\circ\text{C}$, в среднем $(1,51 \pm 0,62) ^\circ\text{C}$. Наиболее высокие средние значения предпочитаемой температуры установлены для *B. bairdii* – $(1,91 \pm 0,51) ^\circ\text{C}$.

Благодарность

Авторы приносят руководству Полярного филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» глубокую благодарность за сотрудничество.

Материал о Bathypolypus был предоставлен для проведения исследований Казанскому федеральному университету в рамках

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A review on the biodiversity, distribution and trophic role of cephalopods in the Arctic and Antarctic marine ecosystems under a changing ocean / J.C. Xavier, Y. Cherel, L. Allcock [et al.] // *Marine biology*. – 2018. – P. 1–26.
2. Gardiner, K. Arctic cephalopod distributions and their associated predators / K. Gardiner, T.A. Dick // *Polar Research*. – 2010. – Vol. 29. – P. 209–227.
3. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes, № 4: Cephalopods of the world. An annotated and illustrated catalogue of cephalopod species known to date. Vol. 3. Octopods and vampire squids / P. Jereb, C.F.E. Roper, M. Vecchione [et al.]. – Rome: FAO. – 2014. – P. 1–7.
4. Muus, B.J. The *Bathypolypus*–*Benthoctopus* problem of the North Atlantic (Octopodidae, Cephalopoda) / B.J. Muus // *Malacologia*. – 2002. – Vol. 44. – P. 175–222.
5. Nesis, K.N. West-Arctic and Est-Arctic distributional ranges of cephalopods / K.N. Nesis // *Sarsia*. – 2001. – Vol. 86 (1). – P. 1–11.
6. Redescription of the deep-sea octopod *Benthoctopus normani* (Massy 1907) and a description of a new species from the Northeast Atlantic / A.L. Allcock, J.M. Strugnell, H. Ruggiero, M.A. Collins // *Marine Biology Research*. – 2006. – Vol. 2 (6). – P. 372–387.
7. Roper, C.F.E. Guidelines for taxonomic descriptions of cephalopod species / C.F.E. Roper, G.L. Voss // *Memoirs of Museum Victoria*. – 1983. – Vol. 44. – P. 48–63. – DOI 10.24199/j.mmv.1983.44.03.

**МИДИИ У БЕРЕГОВ ОСТРОВА СЕВЕРНЫЙ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ
ЗЕМЛЯ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РФ
И РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА В 2024 г.)**

Н.А. Стрелкова¹, В.С. Вязникова¹, Д.А. Потрехалова²

¹Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»

(«ПИНРО» им. Н.М. Книповича), г. Мурманск

²Мурманский арктический университет (МАУ), г. Мурманск

Аннотация. В ходе экспедиции Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ) и Русского географического общества (РГО) в 2024 г. на баренцевоморском побережье о-ва Северный арх. Новая Земля от губы Крестовая до м. Желания и в бухте Ледяная Гавань (Карское море) в штормовых литоральных выбросах обнаружены многочисленные створки раковин мидий, свидетельствующие о наличии их сублиторальных поселений. Анализ морфологии створок раковин (по признаку развития перламутрового слоя) показал присутствие морфотипов аборигенного вида *Mytilus edulis* (ЕМ) и инвазивного тихоокеанского вида *Mytilus trossulus* (ТМ) во всех выборках. Отмечена тенденция к увеличению доли ТМ в северном направлении. Наличие *M. edulis* в поселении у о-вов Южные Крестовые подтверждено результатами молекулярно-генетического анализа. Обнаружение мидий у северной оконечности арх. Новая Земля предположительно является результатом потепления вод Баренцева моря в последние десятилетия. На основании анализа ростовых структур на поверхности раковины показано, что новоземельские мидии ЕМ в целом незначительно отличаются от *M. edulis* из других североатлантических сублиторальных поселений более мелкими размерами, меньшей скоростью роста и несколько большей продолжительностью жизни.

Ключевые слова: Баренцево море, Карское море, о-в Северный арх. Новая Земля, мидии, видовой состав, распространение, рост.

ВВЕДЕНИЕ

Летом 2024 г. состоялась совместная экспедиция МО РФ и РГО на о-в Северный арх. Новая Земля. В составе экспедиции сотрудники Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» Н.А. Стрелкова и В.С. Вязникова выполняли гидробиологические исследования, в задачи которых входил сбор материала для комплексной оценки текущего состояния биоты прибрежной зоны (литорали и верхней сублиторали). Гидробиологические исследования были проведены в восьми точках побережья со стороны Баренцева и Карского морей.

В ходе обследования литоральной зоны со стороны Баренцева и северной части Карского морей в штормовых выбросах были обнаружены раковины двустворчатых моллюсков рода *Mytilus*, а также хорошо сохранившиеся мертвые особи мидий с остатками тканей между створками, что однозначно указывает на наличие их сублиторальных поселений.

Сведения о поселениях мидий в водах арх. Новая Земля крайне малочисленны и в основном относятся к исследованиям о-ва Южный в довоенный период. Согласно опубликованным материалам Новоземельской экспедиции Государственного гидрологического института (работы 1923–1926 гг.), мидии в этот период были обычны и многочисленны на литорали и в верхней сублиторали губы Черная о-ва Южный [3], не обнаружены в заливе Моллера [6], но в незначительном количестве встречены севернее – в литорально-верхнесублиторальных зарослях водорослей в западной части прол. Маточкин Шар (в основном мелкие ювенильные особи) [7]. Единственной подробно обследованной в последующие годы точкой побережья о-ва Северный арх. Новая Земля является м. Желания, где в 1970 г. экспедицией Зоологического института РАН под руководством А.Н. Голикова была проведена подробная водолазная съемка верхней сублиторали и исследована литораль. В опубликованных результатах [1] мидии не упоминаются, вероятнее всего, из-за отсутствия их поселений.

В данной работе представлены предварительные результаты анализа таксономической структуры обнаруженных поселений мидий и характера их роста, выполненного на основании морфологии собранных на литорали створок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспедиция проходила с 23 июля по 9 августа 2024 г. на вспомогательном судне Северного флота – большом морском сухогрузном транспорте «Яуза».

В ходе экспедиции в восьми точках побережья о-ва Северный арх. Новая Земля (табл. 1, рис. 1) со стороны Карского и Баренцева морей был выполнен комплекс исследований в верхней сублиторали на глубине 20 м (отбор проб фито- и зоопланктона, воды на содержание мышьяка и тяжелых металлов) и в литоральной зоне. Обследование литорали включало общее описание характера береговой зоны, литоральной флоры и фауны, а также сбор водорослей и фрагментов животных (раковин, панцирей и др.) из штормовых выбросов, являющихся показателями наличия их поселений в сублиторали.

В шести точках побережья (см. рис. 1) в литоральных штормовых выбросах были обнаружены створки раковин мидий (одиочные, спаренные и целые особи с остатками тканей между створками), выборки которых были доставлены в лабораторию гидробиологии Полярного филиала ФГБНУ «ВНИРО» для дальнейшего анализа.

Видовую принадлежность обнаруженных мидий определяли молекулярно-генетическим и морфологическим методами.

Точки проведения гидробиологических исследований в верхней сублиторали
и на литорали о-ва Северный арх. Новая Земля в июле–августе 2024 г.
экспедицией МО РФ и РГО на судне «Яуза»

Относительно хорошо сохранившиеся 13 мертвых особей мидий с остатками тканей между створками из сборов на м. Желания (1 экз.), в бухте Мака (4 экз.) и на литорали о-вов Южные Крестовые (8 экз.) были зафиксированы 96 %-ным этиловым спиртом и переданы на кафедру ихтиологии и гидробиологии Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) для молекулярно-генетического анализа. Видовую принадлежность мидий определяли генотипированием по двум

диагностическим для бореальных мидий маркерам – ядерному локусу адгезивного белка ноги (ME15/16) и митохондриальному фрагменту (16S РНК). В качестве контроля использовали пробы *M. edulis*, *M. trossulus* и *M. galloprovincialis* из коллекций кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ.

В качестве видоспецифического морфологического признака использовали конхологический тест наличия перламутрового слоя на внутренней поверхности раковины в области лигаментной связки [4, 11]. У типичных *M. trossulus* отсутствие перламутрового слоя под лигаментом формирует на всем его протяжении узкую темную непрерывную полосу; у типичных *M. edulis* такая полоса отсутствует полностью или частично, и в месте ее отсутствия перламутровый слой вплотную примыкает к лигаментной связке. Данный метод не дает, однако, стопроцентной гарантии соответствия результатам генотипирования [4, 8, 11], поэтому особей, различающихся по этому признаку, принято относить не к видам, а к морфотипам, повышенная частота встречаемости которых является маркером присутствия соответствующих видов в поселениях [4].

Степень выраженности признака развития перламутрового слоя оценивалась величиной коэффициента $Z = a/L$, где a – расстояние от макушки до начала темной полосы, лишенной перламутрового слоя (хорошо различимого у просмотренных мидий по окаймляющей его бороздке [11]); L – расстояние от макушки раковины до дальнего конца лигаментной связки [8]. К морфотипу *M. trossulus* (ТМ) относили створки с коэффициентом Z в интервале от 0 до 0,2, к морфотипу *M. edulis* (ЕМ) – особей с $Z > 0,6$. Было просмотрено 338 створок (95 из губы Крестовая, 47 с о-вов Южные Крестовые, 115 из бухты Мака, 26 из залива Анны, 28 с м. Желания и 27 из бухты Ледяная Гавань).

В пяти точках у 131 экз. мидий выполнена реконструкция индивидуального роста по годовым кольцам, формирующимся на поверхности раковины в результате зимней остановки роста. Электронным штанген-циркулем с точностью до 0,1 мм последовательно измеряли расстояние от макушки створки раковины до каждой метки зимней остановки роста.

Для аппроксимации группового роста использовали уравнение Бергаланфи:

$$L_t = L_{\infty} \times (1 - e^{-k(t-t_0)}), \quad (1)$$

где L_t – длина моллюска (мм) в возрасте t (лет);

L_{∞} – асимптотическая, теоретически максимальная длина моллюсков (мм);

k – коэффициент, характеризующий скорость роста (год⁻¹);

t_0 – теоретический возраст, при котором $L_t = 0$ (год).

Вычисления параметров уравнения Берталанфи проводили с использованием свободно распространяемой программы Past v. 4.03.

Для сравнения характера роста мидий североновоземельских поселений с другими популяциями Белого, Баренцева морей и Северной Атлантики использовали индекс общей эффективности роста OGP (*overall growth performance index*), пропорциональный максимальной скорости увеличения размера в течение жизни [9], вычисляемый по формуле:

$$OGP = \log(L_{\infty} \times k), \quad (2)$$

где L_{∞} и k – коэффициенты уравнения Берталанфи (1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отсутствие опубликованных данных о состоянии прибрежной биоты западного побережья о-ва Северный арх. Новая Земля от прол. Маточкин Шар вплоть до м. Желания оставляет открытым вопрос о наличии поселений мидий в этом районе до проведения данных исследований. Однако отсутствие мидий в 1970 г. у м. Желания [1], а также следов их поселений (ракуши в штормовых выбросах) в районе бухты Ледяная Гавань во время высадки экспедиции НИС «Фритьоф Нансен» в 2012 г. (личные наблюдения Н.А. Стрелковой) однозначно указывают на расширение области распространения поселений мидий вдоль берегов арх. Новая Земля в течение последних нескольких десятилетий.

Судя по обилию створок раковин и мертвых мидий, обнаруженных на литорали, плотность их сублиторальных поселений уменьшается в северном направлении. Находки раковин мидий наиболее многочисленны в губе Крестовая и более редки на литорали в районе м. Желания и бухты Ледяная Гавань.

Для выявления причин расширения ареала ключевым является вопрос о видовой принадлежности обнаруженных мидий. В настоящее время показано наличие в Белом и Баренцевом морях двух видов мидий – аборигенного североатлантического бореального вида *M. edulis* и инвазивного тихоокеанского *M. trossulus* [2, 12]. Согласно характеру распространения и результатам физиологических исследований [10], *M. trossulus* является видом, более адаптированным к обитанию в холодных водах, чем *M. edulis*.

Анализ морфологии створок раковин (по признаку развития перламутрового слоя под лигаментом) показал наличие морфотипов *M. edulis* (ЕМ) и *M. trossulus* (ТМ) в выборках из всех шести исследованных точек побережья, а также продемонстрировал хорошо выраженный тренд к уменьшению доли ЕМ и увеличению доли ТМ в поселениях, расположенных севернее в направлении Карского моря (рис. 2).

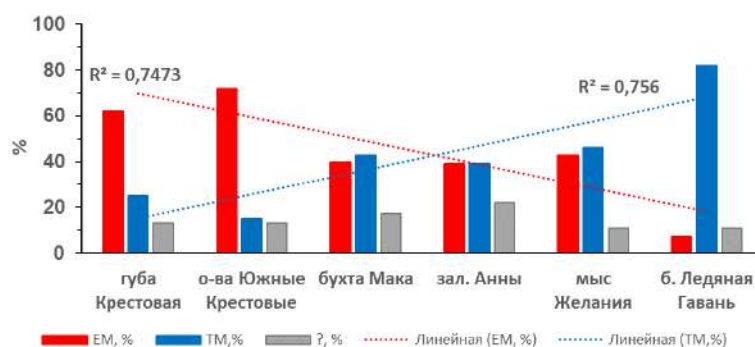


Рис. 2. Процентное соотношение морфотипов *M. edulis* (EM), *M. trossulus* (TM) и мидий с неопределенным морфотипом (?) в выборках створок с западного и восточного побережий о-ва Северный арх. Новая Земля в 2024 г.

Повсеместное присутствие ТМ, доля которого на станциях колебалась от 15 до 82 % (см. рис. 2), а в целом по исследованной выборке составила 37 % просмотренных створок, тем не менее не является однозначным показателем наличия вида *M. trossulus* в исследованном районе. Детальные исследования В.М. Хайтова с соавторами [11] показали низкую прогностическую надежность конхологического теста в полносоленых холодных водах субарктической части области распространения мидий (Гренландия, залив Святого Лаврентия), в том числе – в юго-восточной части Баренцева моря. Так, в низкотемпературных условиях Печорского моря все проанализированные поселения мидий были образованы особями *M. edulis*, более половины которых (53 %) имели морфотип ТМ [11].

Если вопрос о наличии в исследованном районе инвазийного вида *M. trossulus* остается открытым, то присутствие нативного *M. edulis* подтверждается не только высокой частотой встречаемости характерного морфотипа (48 %), но и результатами молекулярно-генетического анализа. Из 13 мидий, остатки тканей которых были зафиксированы на генетический анализ, 7 особей из района о-вов Южные Крестовые удалось надежно генотипировать по обоим использованным маркерам как *M. edulis*.

Таким образом, наиболее вероятной причиной появления мидий у северной оконечности арх. Новая Земля является расширение ареала нативной для Баренцева моря мидии *M. edulis* в результате длительного периода потепления. Подтверждение же видовой принадлежности мидий с морфотипом, характерным для *M. trossulus*, нуждается в дополнительных молекулярно-генетических исследованиях выборок живых особей из сублиторальных поселений.

По результатам анализа ростовых структур на поверхности створок раковин, продолжительность жизни североновоземельских мидий оценена от 11 до 23 лет (табл. 2). При этом в трех наиболее южных точках (губа Крестовая, о-ва Южные Крестовые и бухта Мака) максимальный возраст

ЕМ превышает таковой ТМ (что характерно для большинства смешанных поселений этих видов в Белом море), в то время как в двух наиболее северных точках (м. Желания и бухта Ледяная Гавань) наблюдается противоположное соотношение. В целом ЕМ и ТМ значимо не отличаются ни по одному из проанализированных параметров роста (наибольший размер, возраст, коэффициенты уравнения Бергаланфи, OGP) (рис. 3). Это, отчасти, соответствует результатам, полученным в губе Тюва Кольского залива Баренцева моря, где также не было выявлено различий в темпах роста *M. edulis* и *M. trossulus* [5].

Таблица 2

Характеристика роста мидий морфотипов *M. edulis* (ЕМ) и *M. trossulus* (ТМ) у берегов о-ва Северный арх. Новая Земля летом 2024 г.

Район	Морфотип	n	$T_{\max}$	$L_{\max}$	L_{∞}	k	t_0	OGP
Губа Крестовая	ЕМ	16	23	78,9	75,5	0,121	-0,538	0,960
	ТМ	11	21	63,7	63,6	0,171	0,075	1,037
О-ва Южные Крестовые	ЕМ	14	13	54,6	59,3	0,159	-0,153	0,974
	ТМ	7	12	53,4	57,3	0,150	-0,335	0,934
Бухта Мака	ЕМ	11	16	60,5	83,9	0,070	-0,688	0,769
	ТМ	24	14	52,8	52,5	0,168	-0,274	0,945
М. Желания	ЕМ	14	11	70,2	69,8	0,134	-0,166	0,971
	ТМ	13	12	63,7	79,5	0,109	-0,083	0,938
Бухта Ледяная Гавань	ЕМ	2	11	51,5	63,5	0,149	-0,108	0,976
	ТМ	19	15	59,1	86,0	0,072	0,207	0,792

Примечание. $T_{\max}$ – максимальная продолжительность жизни, полных лет; n – количество особей, проанализированных на возраст; $L_{\max}$ – наибольший размер (длина раковины) в выборке, мм; L_{∞} , k , t_0 – коэффициенты уравнения роста Бергаланфи; OGP – индекс общей эффективности роста.

Максимальную продолжительность жизни и скорость роста продемонстрировали мидии ЕМ и ТМ из губы Крестовая (рис. 4). Там же была обнаружена самая крупная раковина мидии ЕМ длиной 78,9 мм, возраст которой был оценен приблизительно в 23 года. Протяженная губа Крестовая – самая южная исследованная точка со стороны Баренцева моря. Раковины мидий были собраны в районе остатков становища Ольгинское, расположенного в средней части губы на значительном удалении от открытого моря. В отличие от всех остальных мест сбора материала, представляющих собой открытые галечные пляжи с высокой степенью прибойности, в губе Крестовая мидии были отобраны в условиях большей изоляции от открытого моря (см. табл. 1). Очевидно, что высокая скорость роста, продолжительность жизни и крупные размеры мидий – результат более благоприятных температурных и трофических условий в протяженной, значительно изолированной от моря губе, по сравнению с

севернее расположенными районами открытого побережья. Так, биомасса фитопланктона, являющегося важным компонентом питания мидий, в губе Крестовая была на порядок выше, чем в районах остальных поселений (110 мкг/л и 5–10 мкг/л соответственно).

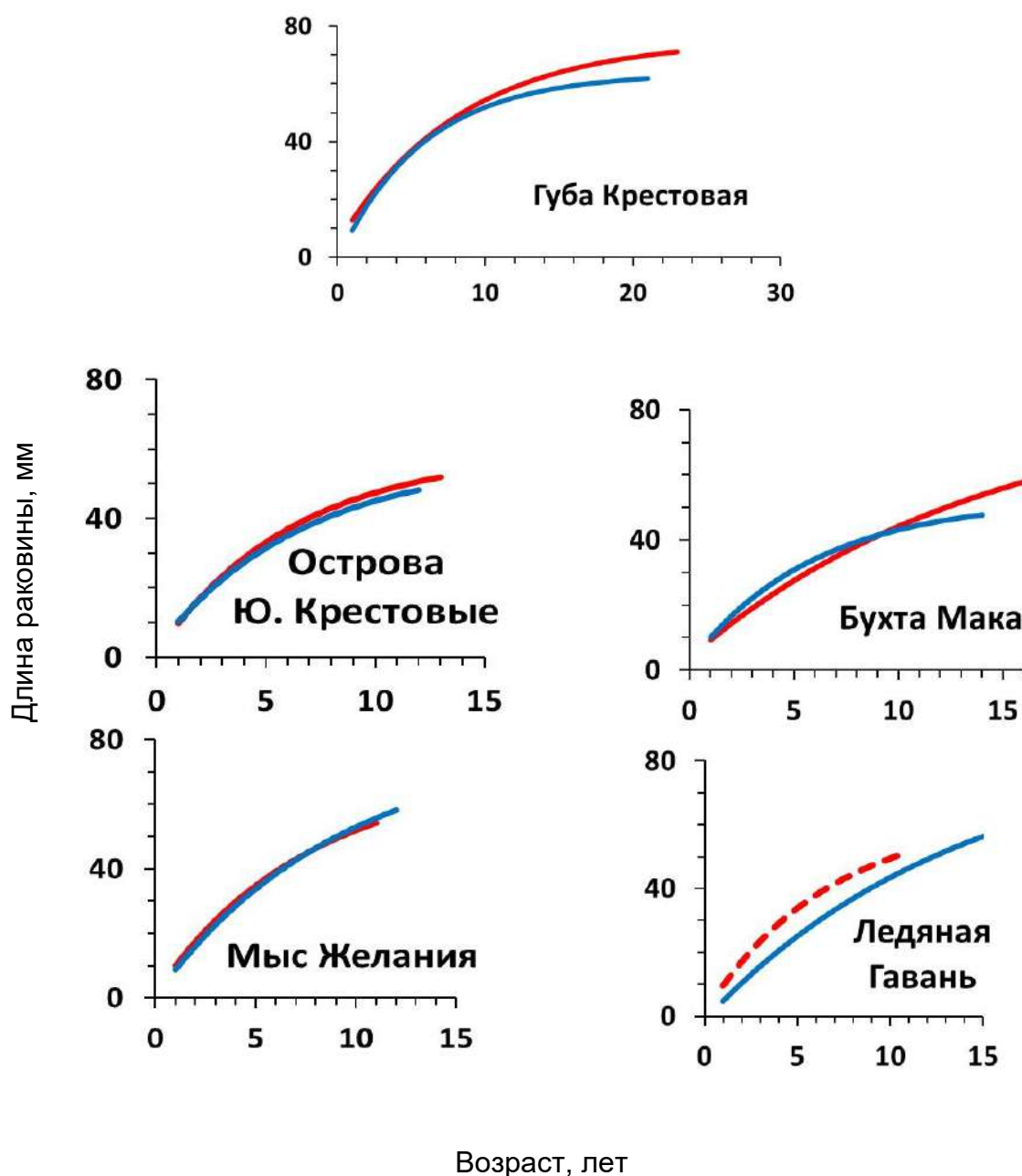


Рис. 3. Кривые роста мидий морфотипов *M. edulis* (красная линия) и *M. trossulus* (синяя линия). Красная пунктирная линия – нерепрезентативные данные

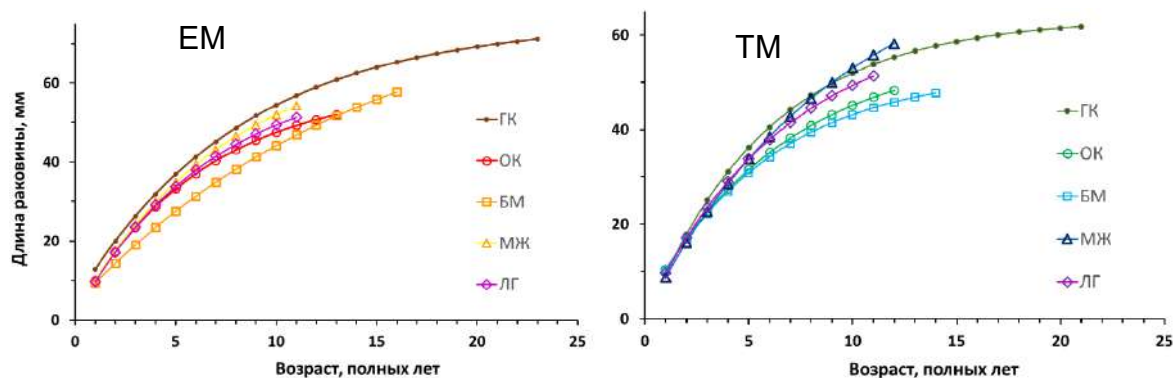


Рис. 4. Групповой рост мидий морфотипов *M. edulis* (ЕМ) и *M. trossulus* (ТМ), собранных летом 2024 г.:
ГК – губа Крестовая; ОК – о-ва Южные Крестовые; БМ – бухта Мака; МЖ – м. Желания; ЛГ – бухта Ледяная Гавань

Кластерный анализ кривых группового роста (рис. 5) показал, что североновоземельские мидии ЕМ незначительно и статистически недостоверно отличаются от *M. edulis* из большинства других сублиторальных поселений [9] более мелкими размерами, более низкой скоростью роста и несколько большей продолжительностью жизни (табл. 3). Сходный характер роста с новоземельскими поселениями продемонстрировали мидии из прол. Югорский Шар и эстуария р. Кулой Мезенского залива Белого моря (см. рис. 5).

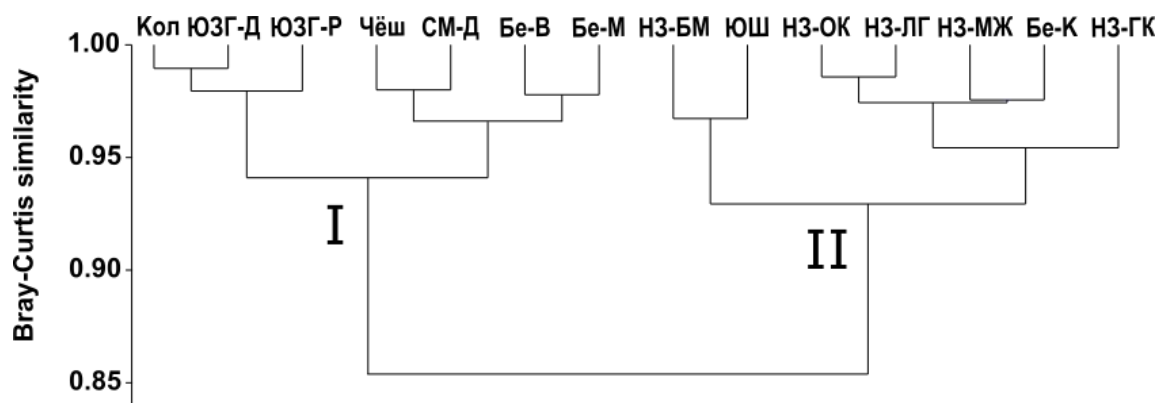


Рис. 5. Дендрограмма сходства роста новоземельских мидий морфотипа ЕМ и вида *M. edulis* из различных сублиторальных поселений Баренцева, Белого морей и Северной Атлантики [7]:
Кол – о-в Колгуев; ЮЗГ-Д – юго-западная Гренландия, о-в Диско; ЮЗГ-Р – юго-западная Гренландия, Робертсон-фьорд; Чёш – Баренцево море, Чёшский залив; СМ-Д – Северное море, Дания; Бе-В – Белое море, Воронка; Бе-М – Белое море, Мезенский залив, эстуарий р. Мезень; Бе-К – Белое море, Мезенский залив, эстуарий р. Кулой; ЮШ – прол. Югорский Шар; НЗ – арх. Новая Земля: БМ – бухта Мака; ОК – о-ва Южные Крестовые; ЛГ – бухта Ледяная Гавань; МЖ – м. Желания; ГК – губа Крестовая. I и II – обозначения кластеров

Таблица 3

Средние значения характеристик роста *M. edulis* из двух групп популяций (I, II), полученных методом кластерного анализа (см. рис. 5)

Характеристика	I	II	p
L_{∞}	120,26 ± 15,97	76,86 ± 7,67	0,031
k	0,096 ± 0,022	0,114 ± 0,016	0,509
t_0	1,265 ± 0,284	0,047 ± 0,264	0,008
$T_{\max}$	13,3 ± 1,2	14,7 ± 1,7	0,509
$L_{\max}$	70,1 ± 4,4	61,3 ± 4,1	0,168
OGP	0,956 ± 0,065	0,899 ± 0,041	0,979

Примечание. L_{∞} , k, t_0 – коэффициенты уравнения Берталанфи (1); $T_{\max}$ – максимальный возраст в поселениях, годы; $L_{\max}$ – максимальный размер, мм; OGP – индекс общей эффективности роста (2); p – уровень значимости. Средние значения приведены со стандартной ошибкой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2024 г. поселения мидий с морфотипами *M. edulis* и *M. trossulus* были зарегистрированы вдоль всего побережья о-ва Северный арх. Новая Земля со стороны Баренцева моря и со стороны Карского моря в бухте Ледяная Гавань.

Наиболее вероятной причиной появления сублиторальных поселений мидий у северной оконечности арх. Новая Земля может быть расширение ареала нативного для Баренцева моря вида *M. edulis* в результате длительного периода потепления.

Подтверждение видовой принадлежности обнаруженных мидий с конхологическими признаками инвазийного вида *M. trossulus* нуждается в дополнительных молекулярно-генетических исследованиях выборок живых особей из сублиторальных поселений.

По сравнению с *M. edulis* из большинства южнее расположенных поселений из Белого, Баренцева морей и Северной Атлантики, североновоземельские мидии с морфотипом этого вида незначительно отличаются более мелкими размерами, меньшей скоростью роста и несколько большей продолжительностью жизни.

Благодарность

Авторы выражают глубокую благодарность сотруднице Мурманского морского биологического института РАН Е.И. Дружковой за предоставление результатов обработки проб фитопланктона, а также Ю.Т. Марченко и П.Н. Александровой (СПбГУ) за проведение молекулярно-генетического анализа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голиков, А.Н. Особенности некоторых донных экосистем в южной части Баренцева моря и у мыса Желания (Новая Земля) / А.Н. Голиков, В.Г. Аверинцев // Биология моря. – 1977. – Т. 2. – С. 63–73.
2. Голубые ракушки / П.П. Стрелков, В.М. Хайтов, М.В. Католикова // Природа. – 2012. – № 6. – С. 51–56.
3. Гурьянова, Е.Ф. К фауне Черной губы на Новой Земле (Работы Новоземельской Экспедиции Государственного Гидрологического Института № 4) / Е.Ф. Гурьянова, П.В. Ушаков // Исследования морей СССР. – 1928. – Вып. 6. – С. 5–69.
4. Дискриминация беломорских мидий *Mytilus edulis* L. и *M. trossulus* Gould / П.П. Стрелков, М.В. Католикова, Д.Л. Лайус [и др.] // Вестник СПбГУ. Серия 3. Биология. – 2008. – Вып. 4. – С. 77–82.
5. Мидии р. *Mytilus* губы Тюва (Кольский залив Баренцево море) / Е.Н. Буфалова, П.П. Стрелков, М.В. Католикова [и др.] // Вестник СПбГУ. Серия 3. Биология. – 2005. – Вып. 3. – С. 99–105.
6. Ушаков, П.В. К зоогеографической характеристике прибрежных зон залива Моллера / П.В. Ушаков // Исследования морей СССР. – 1927. – Вып. 4. – С. 17–80.
7. Ушаков, П.В. Бентонические группировки Маточкина Шара (Работы Новоземельской Экспедиции Государственного Гидрологического Института № 6) / П.В. Ушаков // Исследования морей СССР. – 1931. – Вып. 12. – С. 5–128.
8. Genetic, ecological and morphological distinctness of the blue mussels *Mytilus trossulus* Gould and *M. edulis* L. in the White Sea / M. Katolikova, V. Khaitov, R. Vainola [et al.] // PLoS ONE. – 2016. – 11(4): e0152963. – DOI 10.1371/journal.pone.0152963.
9. Growth and longevity of *Mytilus edulis* (L.) from northeast Europe / A.A. Sukhotin, P.P. Strelkov, N.V. Maximovich [et al.] // Marine Biology Research. – 2007. – Vol. 3. – P. 155–167.
10. Handling the heat: changes in the heart rate of two congeneric blue mussel species and their hybrids in response to water temperature / I. Bakhmet, D. Aristov, J. Marchenko [et al.] // J. Sea Res. – 2022. – Vol. 185(2): 102218. – DOI 10.1016/j.seares.2022.102218.
11. Species identification based on a semi-diagnostic marker: evaluation of a simple conchological test for distinguishing blue mussels *Mytilus edulis* L. and *M. trossulus* Gould / V. Khaitov, J. Marchenko, M. Katolikova [et al.] // PloS One. – 2021. – Vol. 16. – P. 1–27. – DOI 10.1371/journal.pone.0249587.
12. Väinölä, R. *Mytilus trossulus* in Northern Europe / R. Väinölä, P.P. Strelkov // Marine Biology. – 2011. – Vol. 158. – P. 817–833. – DOI 10.1007/s00227-010-1609-z.

ЗООБЕНТОС ЯНДОВОЙ ГУБЫ ДВИНСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

М.А. Студенова¹, О.Н. Мохова¹, И.И. Студенов²

¹Северный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», г. Архангельск

²Министерство агропромышленного комплекса и торговли Архангельской области, г. Архангельск

Аннотация. В мае, июле и октябре 2021–2024 гг. в прибрежной зоне Яндовой губы Двинского залива Белого моря в периоды отлива проводились исследования макрозообентоса. Всего отобрано и обработано 35 проб зообентоса. Видовой состав зообентоса представлен 16 видами, относящимися к 8 классам беспозвоночных: круглые черви Nematoda, малощетинковые черви Oligochaeta, многощетинковые черви Polychaeta, двустворчатые моллюски Bivalvia, брюхоногие моллюски Gastropoda, ракообразные Crustacea, насекомые Insecta, асцидии Ascidiacea. Средняя численность беспозвоночных за период исследования составляла 2997 экз./м², средняя биомасса – 88,2 г/м².

Ключевые слова. Белое море, Двинский залив, Яндова губа, макрозообентос, двустворчатые моллюски, брюхоногие моллюски, многощетинковые черви.

ВВЕДЕНИЕ

Двинский залив – один из четырех крупнейших заливов Белого моря, расположен в его юго-восточной части на территории Архангельской области. Согласно А.И. Бабкову [2], гидрологический режим Двинского залива определяется главным образом стоком р. Северная Двина, свободным водообменом с Бассейном, а также особенностями горизонтальной и вертикальной циркуляции вод в заливе. Граница Двинского залива проходит от м. Горболукский на Летнем берегу до м. Зимнегорский на Зимнем берегу. Яндова губа – участок Двинского залива, охватывающий район впадения р. Северная Двина в Белое море, подвержен сильному антропогенному воздействию промышленных объектов и хозяйственно-бытовых стоков городов Северодвинск и Новодвинск (рис. 1).

Согласно С.Н. Артемьеву [1], роль зообентоса в морских экосистемах определяется прежде всего его кормовым значением для бентосоядных промысловых рыб.

Целью исследования являлось получение информации о качественном и количественном составе кормовых организмов макрозообентоса Яндовой губы в разные сезоны года (весна, лето, осень).



Рис. 1. Расположение точки проведения исследований зообентоса в прибрежье Яндовой губы в 2021–2024 гг.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2021–2024 гг. сотрудники Северного филиала ФГБНУ «ВНИРО» в период открытой воды в Яндовой губе Двинского залива Белого моря отбирали пробы макрозообентоса. Одновременно с этим проводили наблюдения за состоянием среды: измеряли температуру и соленость воды у уреза воды.

Пробы донной фауны отбирали в одной и той же точке прибрежной части губы бентосной рамкой площадью 0,1 м², промывали через сито с диаметром отверстий 1 мм и фиксировали 4 %-ным формалином. Всего было собрано и обработано 35 проб зообентоса, по 3 пробы в сезон, за исключением осени 2024 г., когда было отобрано 2 пробы. Камеральную обработку проводили в лаборатории по стандартной методике, предложенной А.В. Цыбань [4]. Гидробионты из всех проб просчитывались тотально под бинокуляром МБС-10, их биомасса после обсушки до исчезновения влажных пятен на фильтровальной бумаге определялась взвешиванием на аналитических весах ВР 121S. Донные беспозвоночные устанавливались до низшего определяемого таксона с помощью «Определителя фауны и...» под редакцией Н.С. Гаевской [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Температура и соленость вод Яндовой губы характеризовались хорошо выраженным сезонным ходом. Весной температура воды в период исследований изменялась от 9,7 °С в 2022 г. до 18,6 °С в 2021 г., составив в

среднем 13,3 °С. Летом варьирование температуры воды было менее значительным – от 20,8 °С в 2023 г. до 25,3 °С в 2021 г., в среднем 22,6 °С. Осенью температура воды в Яндовой губе составляла от 1,9 °С в 2021 г. до 5,1 °С в 2022 и 2024 гг., в среднем 4,0 °С. Соленость в зоне литорали Яндовой губы в весенние сезоны изменялась от 0,2 в 2024 г. до 2,1 в 2021 г., в среднем 0,9. Летом 2021–2024 гг. соленость воды была в среднем 15,5, варьируя от 10,5 в 2024 г. до 19,2 в 2022 г. Осенью соленость воды составляла в среднем 18,4, изменяясь от 16,1 в 2022 г. до 22,3 в 2024 г. (табл. 1).

Таблица 1

Температура и соленость воды в Яндовой губе в периоды отбора проб в 2021–2024 гг.

Параметр	Весна				Лето				Осень			
	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
Температура, °С	18,6	9,7	13,7	11,1	25,3	23,0	20,8	21,2	1,9	5,1	4,0	5,1
Средняя температура по сезонам, °С	13,3				22,6				4,0			
Соленость	2,1	0,7	0,7	0,2	15,0	19,2	17,3	10,5	19,0	16,1	16,3	22,3
Средняя соленость по сезонам	0,9				15,5				18,4			

Видовой состав зообентоса Яндовой губы Двинского залива представлен 16 таксонами, относящимися к 8 классам беспозвоночных: круглые черви Nematoda, малощетинковые черви Oligochaeta, многощетинковые черви Polychaeta, двустворчатые моллюски Bivalvia, брюхоногие моллюски Gastropoda, ракообразные Crustacea, насекомые Insecta, асцидии Ascidiacea. Наиболее часто в сборах встречались представители многощетинковых червей (*Nereis* sp. и *Polychaeta* g. spp.), брюхоногих (*Hydrobia ulvae*) и двустворчатых моллюсков (*Macoma* sp. и *Mya arenaria*). Представители пресноводного зообентоса (малощетинковые черви и личинки комаров-звонцов) фиксировались во все сезоны исследований. Представители ракообразных (*Balanus balanus*, *Gammarus* sp., *Mesidothea entomon*, *Mysis* sp.), молодь *Mytilus edulis*, а также пресноводные круглые черви встречались в пробах единично (табл. 2).

Средняя плотность поселений донных организмов за период исследования составляла 2997 экз./м². Весной численность зообентоса варьировала в очень широких пределах – от 189 экз./м² в 2024 г. до 20107 экз./м² в 2023 г., в среднем 5298 экз./м². Летом численность донных беспозвоночных в среднем составляла 1341 экз./м², изменяясь от 302 экз./м² в 2021 г. до 2 289 экз./м² в 2024 г. Осенью численность зообентоса варьировала от 105 экз./м² в 2022 г. до 4 596 экз./м² в 2023 г., в среднем 2352 экз./м².

Таблица 2

Таксономический состав зообентоса Яндовой губы в разные сезоны 2021–2024 гг.

Таксон	Весна				Лето				Осень			
	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024	2021	2022	2023	2024
<i>Nereis</i> sp.	+	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+
<i>Polychaeta</i> g/ sp.	-	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-
<i>Balanus balanus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Gammarus</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+
<i>Mesidothea entomon</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Mysis</i> sp.	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Hydrobia ulvae</i>	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	-	+
Gastropoda g. sp.	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-
<i>Macoma</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
<i>Mya arenaria</i>	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	+
<i>Mytilus edulus</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+
Bivalvia g. sp.	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-
<i>Styela rustica</i>	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+
Nematoda g. sp.	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Oligochaeta</i> g. sp.	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+
<i>Chironomidae</i> g. sp.	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+
Количество таксонов	3	9	10	5	5	7	6	7	8	2	7	9
Среднее количество таксонов		7				5				6		
Численность, экз./м ²	266	629	20107	189	302	1830	943	2289	2515	105	4596	2193
Средняя численность по сезонам, экз./м ²		5298				1341				2352		
Биомасса, г/м ²	101,1	18,1	270,8	1,5	257,5	119,9	13,8	63,8	138,4	0,1	38,0	35,9
Средняя биомасса по сезонам, г/м ²		97,8				113,8				53,1		

Средняя биомасса беспозвоночных за период исследования составляла 88,2 г/м². Весной биомасса зообентоса колебалась в очень широких пределах – от 1,47 г/м² в 2024 г. до 270,8 г/м² в 2023 г., в среднем 97,8 г/м². Летом биомасса донных беспозвоночных составляла в среднем 113,8 г/м², изменяясь от 13,8 г/м² в 2023 г. до 257,5 г/м² в 2021 г. Осенью биомасса бентоса варьировала от 0,09 г/м² в 2022 г. до 138,4 г/м² в 2021 г., в среднем 53,1 г/м².

Основными группами, составляющими численность и биомассу макрозообентоса литорали Яндовой губы, являлись двустворчатые и брюхоногие моллюски, в меньшей степени – многощетинковые черви. В разные сезоны вклад основных групп в формирование численности зообентоса изменялся в широких пределах. Так, доля двустворчатых моллюсков варьировала весной от 2,5 до 83,8 % (в среднем 32,4 %), летом от 8,0 до 76,0 % (в среднем 35,0 %), осенью от 0,0 до 62,7 % (в среднем 33,9 %). Вклад брюхоногих моллюсков колебался весной от 0,0 до 94,8 % (в среднем 51,4 %), летом от 1,0 до 72,0 % (в среднем 36,9 %), осенью от 0,0 до 59,0 % (в среднем 27,4 %). Численность многощетинковых червей весной изменялась от 2,3 до 28,1 % (в среднем 13,4 %), летом от 8,2 до 51,7 % (в среднем 26,1 %), осенью от 0,0 до 24,6 % (в среднем 12,6 %) (рис. 2).

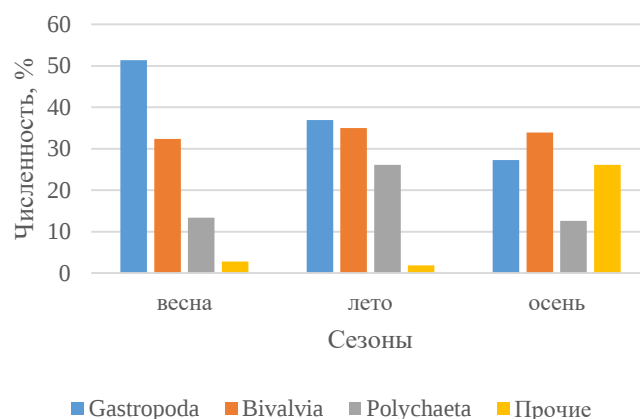


Рис. 2. Средняя численность основных таксономических групп в сборах зообентоса Яндовой губы по сезонам в 2021–2024 гг.

Весной 2021 г. в сборах преобладали двустворчатые моллюски, вклад которых достигал 83,8 %. В 2022 г. численность донной фауны формировали практически в равных долях брюхоногие моллюски (35,0 %), двустворчатые моллюски (32,7 %) и многощетинковые черви (28,1 %). В 2023 и 2024 гг. в весенних пробах макрозообентоса резко возрастала численность брюхоногих моллюсков, их доля составляла 94,8 % в 2023 г. и 75,7 % в 2024 г. (рис. 3).

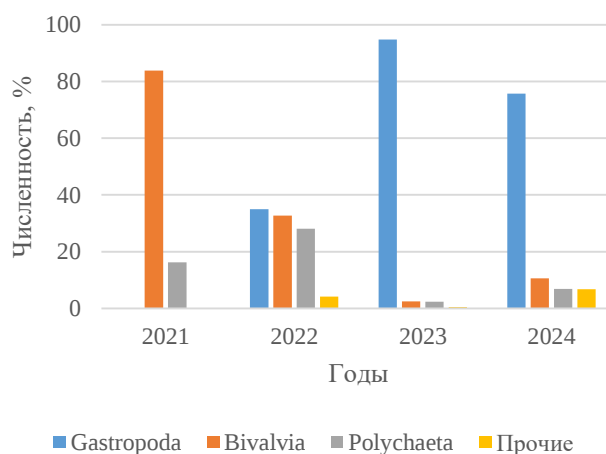


Рис. 3. Средняя численность основных таксономических групп в пробах зообентоса Яндовой губы в весенние сезоны 2021–2024 гг.

Летом 2021 г. основу численности донной фауны формировали многощетинковые черви, на их долю приходилось 51,7 %, субдоминантой выступали двустворчатые моллюски – 47,3 %. В 2022 г. в пробах макрозообентоса доминировали двустворчатые моллюски, их вклад составлял 76,0 %. Летом 2023 и 2024 гг. основой численности были брюхоногие моллюски, их доли – 59,7 и 72,0 % соответственно,

субдоминантой выступали многощетинковые черви, на их доли приходилось 25,9 % численности в 2023 г. и 18,8 % в 2024 г. (рис. 4).

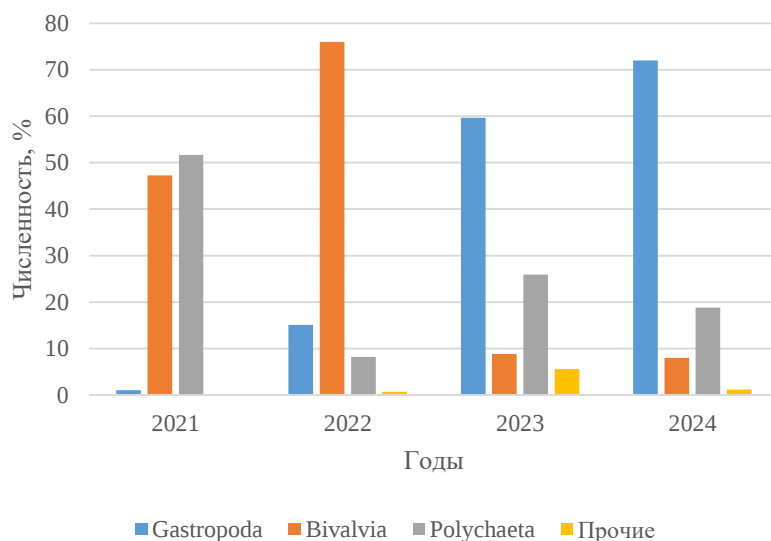


Рис. 4. Средняя численность основных таксономических групп в сборах зообентоса Яндовой губы в летние сезоны 2021–2024 гг.

Осенью 2021 г. основу численности донной фауны литорали Яндовой губы составляли двустворчатые моллюски, их вклад достигал 62,7 %, субдоминантами выступали брюхоногие моллюски (24,1 %) и полихеты (11,3 %). В 2022 г. в осенних пробах макрозообентоса присутствовали только представители пресноводной донной фауны (малощетинковые черви и личинки комаров-звонцов). Основа численности в 2023 г. – брюхоногие моллюски (59,0 %), субдоминантами выступали двустворчатые моллюски и полихеты, их доли – 26,1 и 14,5 % соответственно. В 2024 г. численность осеннего макрозообентоса формировали двустворчатые моллюски (46,7 %), брюхоногие моллюски (26,3 %) и полихеты (24,6 %) (рис. 5).

Основу биомассы донной фауны литорали Яндовой губы во все сезоны открытой воды в 2021–2024 гг. составляли двустворчатые моллюски. Их вклад варьировал весной от 8,1 до 99,3 %, (в среднем 66,1 %), летом – от 77,3 до 99,5 %, (в среднем 84,5 %), осенью – от 0,0 до 93,0 % (в среднем 50,3 %). В разные годы субдоминантой биомассы выступали брюхоногие моллюски, их доля варьировала весной от 0,0 до 74,0 % (в среднем 27,2 %), летом – от 0,0 до 23,6 % (в среднем 10,9 %), осенью – от 0,0 до 49,1 % (в среднем 15,9 %). Вклад многощетинковых червей в формирование биомассы не превышал 10,0 % и колебался весной от 0,7 до 17,6 % (в среднем 6,2 %), летом – от 0,5 до 6,9 % (в среднем 4,5 %), осенью – от 0,0 до 14,1 % (в среднем 7,7 %) (рис. 6).

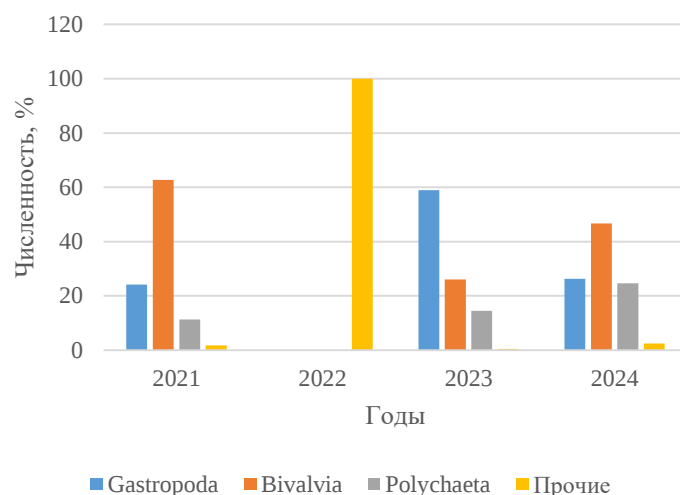


Рис. 5. Средняя численность основных таксономических групп в пробах зообентоса Яндовой губы в осенние сезоны 2021–2024 гг.

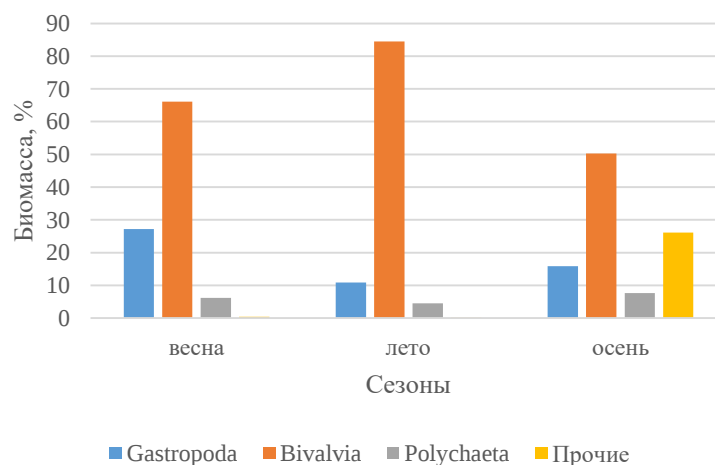


Рис. 6. Средняя биомасса основных таксономических групп в пробах зообентоса Яндовой губы в 2021–2024 гг.

Весной в 2021–2023 гг. основу биомассы макрозообентоса составляли двустворчатые моллюски, их доли – от 67,7 до 99,3 % соответственно. Субдоминантой биомассы в 2023 г. выступали брюхоногие моллюски (30,1 %). В 2024 г. в формировании биомассы доминировали брюхоногие моллюски, их вклад – 73,9 %, субдоминантой являлись многощетинковые черви – 17,6 % (рис. 7).

В летние сезоны 2021–2024 гг. биомассу макрозообентоса формировали двустворчатые моллюски, их вклад составлял 99,5 % в 2021 г., 89,5 % в 2022 г., 71,3 % в 2023 г. и 77,9 % в 2024 г. Субдоминантой в 2023 и 2024 гг. выступали брюхоногие моллюски, их вклад – 23,6 и 15,1 % соответственно (рис. 8).

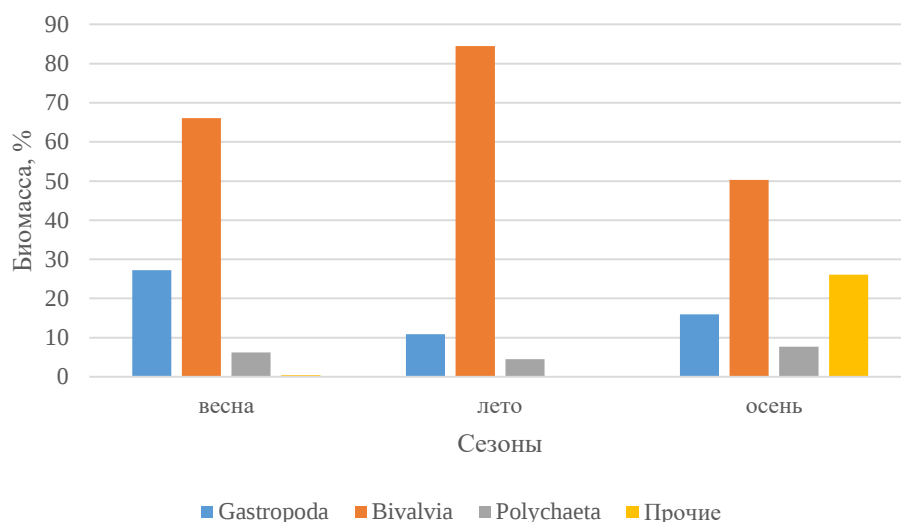


Рис. 7. Средняя биомасса основных таксономических групп в пробах зообентоса Яндовой губы в весенние сезоны 2021–2024 гг.

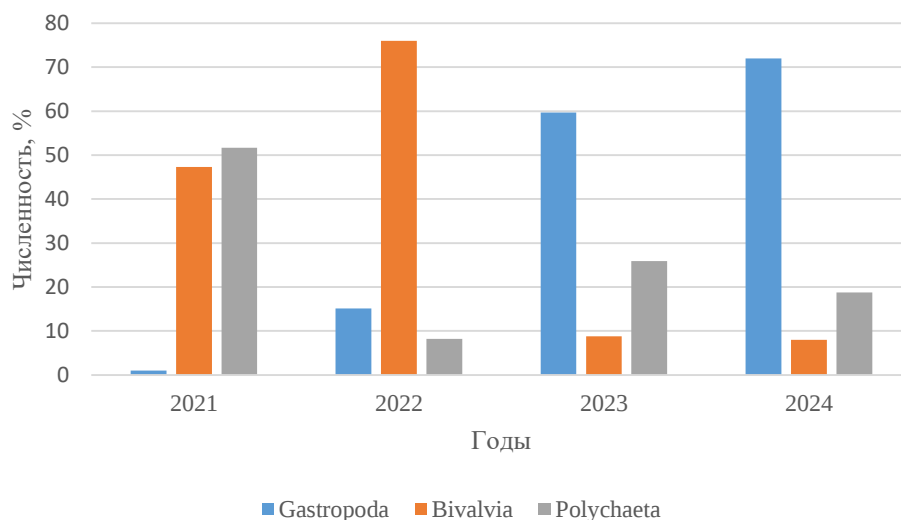


Рис. 8. Средняя биомасса основных таксономических групп в пробах зообентоса Яндовой губы в летние сезоны 2021–2024 гг.

Основу биомассы донной фауны осенью 2021 и 2024 гг. формировали двустворчатые моллюски – 93,0 и 68,9 % соответственно. В осенний период 2022 г. биомассу макрозообентоса составляли представители пресноводной донной фауны (малощетинковые черви и личинки комаров-звонцов). Биомассу донной фауны осенью 2023 г. формировали брюхоногие моллюски (49,1 %), двустворчатые моллюски (39,2 %) и многощетинковые черви (14,1 %) (рис. 9).

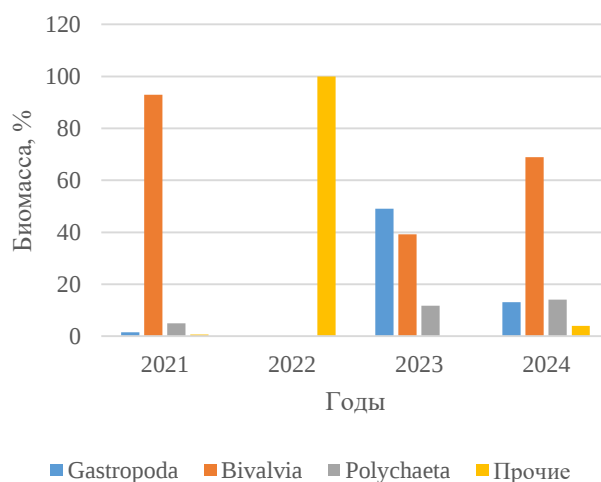


Рис. 9. Средняя биомасса основных таксономических групп в пробах зообентоса Яндовой губы в осенние сезоны 2021–2024 гг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования макрозообентоса в прибрежной части Яндовой губы Двинского залива Белого моря проведены впервые. Сезонные отборы проб проводились в периоды открытой воды 2021–2024 гг.

По результатам обработки материалов в макрозообентосе Яндовой губы Двинского залива Белого моря было выявлено 16 таксонов беспозвоночных. Наиболее встречаемыми из них являлись представители полихет (*Nereis* sp. и *Polychaeta* g. sp.), брюхоногих моллюсков (*Hydrobia ulvae*) и двустворчатых моллюсков (*Macoma* sp. и *Mya arenaria*).

Средняя плотность поселений донных организмов за период исследований составила 2997 экз./м², средняя биомасса – 88,2 г/м².

Основными группами, формирующими численность и биомассу кормового макрозообентоса, являлись двустворчатые и брюхоногие моллюски, а также многощетинковые черви. Таксономический состав прибрежного зообентоса значительно изменялся по годам и сезонам, что, очевидно, связано с резкими изменениями гидрологического режима Яндовой губы, подверженного влиянию стока крупной р. Северная Двина. Предположительно воздействие на таксономический состав донных беспозвоночных оказывал ледовый режим губы, в результате воздействия которого численность и биомасса донного населения весной снижалась. Полученные данные могут быть использованы в качестве фоновых при мониторинге среды обитания водных биологических ресурсов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьев, С.Н. К общей характеристике донного сообщества Яндовой губы Двинского залива Белого моря / С.Н. Артемьев // Живая природа Арктики: сохранение биоразнообразия, оценка состояния экосистем: Сборник тезисов докладов международной конференции. (Архангельск, 30 октября – 03 ноября 2017 года) / Архангельск: ООО «Товарищество научных изданий КМК», 2017. – С. 12–14. – EDN FCSACQ.
2. Бабков, А.И. Гидрология Белого моря: сборник публикаций / А.И. Бабков; ред. В.Я. Бергер; Зоологический институт РАН, Беломорская биологическая станция им. академика О.А. Скарлато. – Санкт-Петербург: Б.и., 1998. – 96 с.
3. Определитель фауны и флоры северных морей СССР: учеб. пособие для ун-тов / Под ред. Н.С. Гаевской; сост. Г.Г. Абрикосов [и др.]. – М.: Советская наука, 1948. – 737 с.
4. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений / Под ред. А.В. Цыбань. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 192 с.

МОРСКИЕ ТИХОХОДКИ РОДА HALOBIOTUS (EUTARDIGRADA, ISOHYPSIBIOIDEA) – ПРОБЛЕМА ВИДОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФАУНЕ РОССИИ

Д.В. Туманов^{1,2}, Е.А. Голикова¹, О.В. Князева¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ),
г. Санкт-Петербург

²Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

Аннотация. Статья посвящена проблеме видовой идентификации тихоходок рода *Halobiotus*, обитающих в морях России. Приведены морфологические и молекулярно-генетические данные, подтверждающие нахождение двух видов этого рода – *H. crispae* – в Белом и Баренцевом морях и *H. arcturulus* в море Лаптевых. Ранние указания на нахождение в Белом море видов *H. appelloefi* и *H. stenostomus*, вероятнее всего, относятся к виду *H. crispae*.

Ключевые слова: тихоходки, мейобентос, видовое разнообразие, ДНК-баркодинг.

ВВЕДЕНИЕ

Тихоходки (Tardigrada) относятся к одной из групп морских мейобентосных организмов. Несмотря на широкое распространение и значительное таксономическое разнообразие, эта группа остается слабо изученной, в частности совершенно не ясна роль тихоходок в функционировании бентосных экосистем. Данные о видовом составе фауны тихоходок в морях России крайне ограничены. Одной из причин такого положения являются нерешенные таксономические проблемы, они связаны преимущественно с устаревшими и не всегда корректными описаниями видов, затрудняющими идентификацию материала. Eutardigrada рода *Halobiotus* Kristensen, 1982, относящийся к вторично адаптированным к обитанию в морской среде и составляющий монотипическое семейство Halobiotidae, которое включает в настоящее время от 3 до 5 видов, по оценкам разных авторов, – характерный пример такой группы.

Впервые описали два вида: *Halobiotus stenostomus* (Richters, 1908) и *H. appelloefi* (Richters, 1908), позже отнесенные к этому роду, в начале прошлого века в составе рода *Macrobiotus*, в то время включавшего большинство известных видов Eutardigrada, что не соответствовало современным требованиям. Более того, в настоящее время очевидно, что один из описанных Рихтерсом видов (*H. stenostomus*) является цикломорфной стадией, характерной для видов этого рода. Попытки

таксономической ревизии данного видового комплекса предпринимались неоднократно, однако успехом не увенчались. Описанный позже *Halobiotus geddesi* (Hallas, 1971) на ограниченном материале внес дополнительную неопределенность в систематику данной группы. Результаты исследований двух других видов: *Halobiotus crispae* Kristensen, 1982 и *H. arcturulus* Crisp & Kristensen, 1983, которые опубликовали в конце прошлого века, позволили обосновать выделение данного комплекса видов в самостоятельный род в составе широко понимаемого в то время семейства Hypsibiidae. Впрочем, интерпретация авторами ряда таксономически важных деталей строения ротового аппарата была позже подвергнута критике и пересмотру в результате повторного исследования типового материала вида *H. crispae*. Необходимо отметить, что, несмотря на гораздо более высокий уровень морфологического исследования (использование высоко разрешающих методов оптической микроскопии и сканирующей электронной микроскопии), описания двух последних видов не вполне соответствуют современным стандартам таксономических работ для Eutardigrada, разработанным в последние годы. В частности, значительным пробелом является отсутствие морфометрических данных для репрезентативных выборок при описании новых видов. Приведенные сведения для отдельных экземпляров не позволяют корректно сравнивать популяции без информации о размахе изменчивости размерных характеристик ключевых структур.

Отнесение методов молекулярно-генетического анализа к инструментам исследования филогении тихоходок обусловило существенные перестройки в систематике группы. Выявлено обособленное положение форм, морфологически близких к роду *Isohypsibius*, которые выделили в самостоятельное надсемейство Isohypsibioidea. Проведенная позже интегративная ревизия данного таксона [6] подтвердила это положение рода *Halobiotus* в составе надсемейства, в результате чего было установлено новое семейство Halobiotidae. Позже эти выводы поддержали результатами других работ, посвященных филогении надсемейства Isohypsibioidea [8].

Для морей России ранее указывали два вида рода *Halobiotus*:

1. *Halobiotus apelloefi* был отмечен О.Ю. Петелиной и А.В. Чесуновым [3] в Кандалакшском заливе Белого моря (как *Hypsibius (Isohypsibius) apelloefi*). Авторы, проанализировав доступные литературные и полученные ими морфометрические данные, показали необоснованность выделения *Halobiotus geddesi*, запутанность таксономической ситуации в комплексе *apelloefi/stenostomus* (работа Р.М. Кристенсена [7] по цикломорфозу была им еще не известна) и важность изучения пределов

изменчивости морфометрических признаков тихоходок для надежности таксономических исследований.

Н.М. Бисерова и К.Г. Кузнецова [2] в работе, посвященной тонкому строению головных сенсорных структур представителей рода *Halobiotus*, отнесли материал, собранный в Кандалакшском заливе Белого моря, к виду *H. stenostomus*, принятому ими как старший синоним *H. apelloefi*. Они отметили, что исследованный материал обладает рядом признаков, характерных для вида *H. crispae*, в связи с этим точная видовая идентификация беломорских *Halobiotus* требует уточнения. Кроме этого, данный вид указан В.И. Бисеровым [4] для Белого моря (без конкретной локации).

2. *Halobiotus arcturulus* был отмечен В.И. Бисеровым в Карском море (губа Байдарацкая) и море Лаптевых (устье р. Куркум/Уря). Кроме того, несколько экземпляров, предположительно отнесенных к этому виду, обнаружили в пресноводном озере на Южном о-ве арх. Новая Земля [5].

Учитывая имеющуюся неопределенность в таксономическом положении тихоходок рода *Halobiotus*, обитающих в морях России, и неполноту существующих таксономических описаний видов рода, мы провели интегративное исследование нескольких популяций видов этого рода, включающее как детальный морфологический, так и молекулярно-генетический анализы. Цель исследования – установление видовой принадлежности обнаруженных популяций и получение возможно более полного набора данных, которые позволят проводить надежную идентификацию видов рода *Halobiotus*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным материалом исследования послужили представители рода *Halobiotus*, обнаруженные в двух локациях:

– море Лаптевых, литораль о-ва Большой Бегичев в устье р. Хатанга, песчаная литораль и марш, покрытый *Puccinellia phryganodes*, *Dupontia psilosantha* и *Arctophyla fulva* (74°21'54,80" с.ш., 112°2'24,33" в.д.), сборы Д.А. Михайлова, 17.09.2017;

– Белое море, Кандалакшский залив, о-в Феттах (66°20'3" с.ш., 33°39'8" в.д.), ниже уреза воды на отливе, *Ascophyllum* sp., обросший губками и гидроидами, сборы Д.В. Туманова, 15.08.2022.

В качестве дополнительного материала использовали сборы представителей рода *Halobiotus* из следующих локаций:

– Белое море, губа Илистая, о-в Горелый, окрестности пос. Лувеньга (67°5'43" с.ш., 32°40'45" в.д.), из трубок полихеты *Polydora quadrilobata*, сборы В.М. Хайтова, 1992 г. Губа Чупа, литораль у о-ва Матренин, на

гидроидных полипах (66°18'36" с.ш., 33°37'50" в.д.), сборы В.Р. Хабибулиной, 13.06.2021.

2. Баренцево море, Кольский залив, пос. Мишуково, литораль (69°02'29" с.ш., 33°01'44" в.д.), сборы Д.А. Михайлова, 21–23.07.2019.

Кроме того, Зоологический музей университета Копенгагена предоставил нам типовые экземпляры видов *H. crispae* и *H. arcturulus*.

Для светомикроскопического исследования были изготовлены препараты в жидкости Хойера. Изучение, фотографирование и измерения проводили с помощью микроскопа Leica DM2500, оборудованного фазовым и дифференциальным интерференционным контрастом, и цифровой фотокамерой Nikon DS-Fi3 с программным обеспечением NIS software. Морфометрические данные получены в соответствии с современными общепринятыми для Eutardigrada протоколами. Для всех размерных характеристик вычислили морфометрический индекс Пилато, выраженный как процентное отношение длины данной структуры к длине ротовой трубки того же экземпляра.

При исследовании методом СЭМ образцы обезжизняли с помощью последовательной проводки через серию этиловых спиртов (10-20-30-50-70-96 %-ными), затем переносили в ацетон, высушивали в CO₂ методом критической точки, размещали на столиках и напыляли золотом. Также использовали сканирующий микроскоп Tescan MIRA3 LMU.

ДНК экстрагировали посредством QuickExtract™ DNA Extraction Solution. Для экстракции ДНК из отдельных экземпляров с сохранением экзоскелета применяли модифицированный протокол, предоставленный профессором Torbjørn Ekrem из Норвежского университета науки и технологии.

Для определения таксономической принадлежности исследованных экземпляров проводили амплификацию методом полимеразной цепной реакции (ПЦР), с дальнейшим секвенированием последовательностей по Сэнгеру для маркеров: 18S и 28S рРНК, ITS-2 и COI.

Поиск близких последовательностей осуществляли в базе данных GenBank с использованием алгоритма blastn.

Статистический анализ выполняли с помощью языка программирования R в графическом интерфейсе RStudio (пакеты 'vegan' и 'ggplot2'). Для определения зависимости морфометрических данных от точки сбора проведены пермутационный многомерный дисперсионный анализ и многомерное неметрическое шкалирование, построен график ординации на основе значений индекса Пилато для каждого экземпляра (расстояние – Евклидово).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Животные из беломорской популяции (о-в Феттах) соответствуют описанию *Halobiotus crispae* в таких ключевых деталях, как наличие выраженной кутикулярной скульптуры на поверхности тела и хорошо развитых головных сенсорных придатков (передняя пара, обозначенная Р.М. Кристенсеном [7] как «cephalic papillae», и заднедорсальная пара, обозначенная как «temporalia»). Соотношение длины глоточных плакоидов и размерные характеристики коготков также соответствуют описанию. Для всех исследованных популяций (двух из Белого и одной из Баренцева морей) было показано присутствие цикломорфных стадий, характерных для *H. crispae* (рис. 1С).

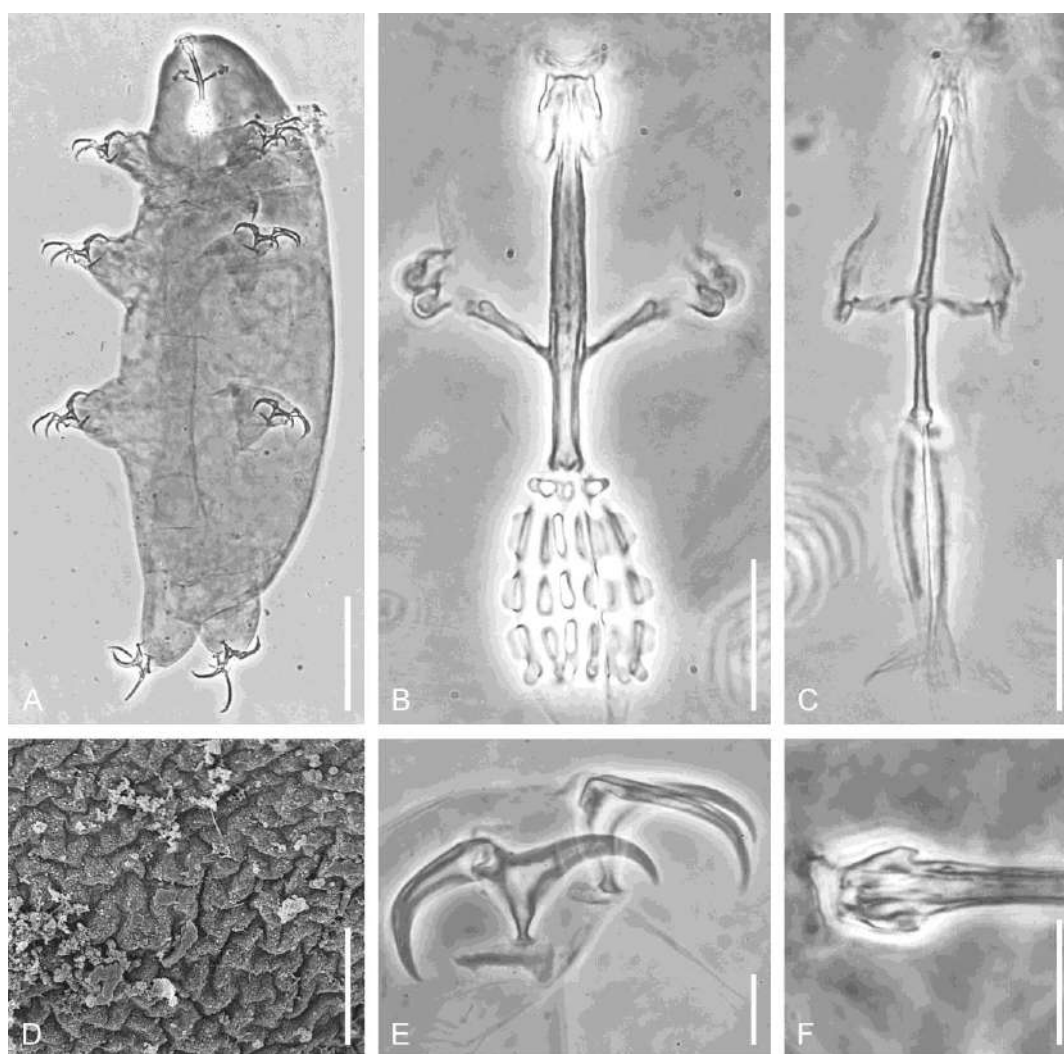


Рис. 1. *Halobiotus crispae*: А – общий вид; В – ротоглоточный аппарат в активной стадии; С – ротоглоточный аппарат в цикломорфной стадии «pseudosimplex»; D – скульптура кутикулы; E – коготки ножек III пары; F – гребни для прикрепления мускулов-протракторов стилетов. А–С, E, F – фазовый контраст; D – СЭМ.

Масштабная линейка: А – 100 мкм; В, С – 20 мкм; D – 5 мкм; E, F – 10 мкм

Наш материал демонстрирует некоторые отличия от первоописания:

1. Степень развития кутикулярной скульптуры значительно варьирует – от значительно выраженной до практически неразличимой. Эти данные хорошо коррелируют с результатами датских исследователей, которые изначально отнесли материал, обнаруженный у о-ва Эрё (Балтийское море), к *H. stenostomus* и лишь по результатам молекулярно-генетического анализа идентифицировали его как *H. crispae*. Следует отметить, что скульптура кутикулы как в типовом материале, так и у беломорских экземпляров не является ретикулярной, как сказано в первоописании, а представляет собой систему неправильных извилистых складок, которая лишь в редких случаях выглядит как ретикулярная скульптура на малых увеличениях микроскопа (см. рис. 1D).

2. Коготки ножек I–III пар несколько короче, чем описано в работе Р.М. Кристенсена для типового материала, однако автор не показал методику проведения измерений, образцы помещали в другую среду (глицерин или поливинил-лактофенол), а длинные и тонкие коготки *Halobiotus* легко изгибаются, и точно измерить их проблематично. В связи с этим данные отличия являются несущественными, а сделать новые измерения на типовом материале не представлялось возможным из-за неудачной ориентации особей в препарате.

3. Наружные лунулы коготков ножек I–III пар описаны Р.М. Кристенсеном как слабозазубренные. Нам не удалось обнаружить зубчатость на этих элементах ни в типовом материале, ни у беломорских экземпляров. Иногда заметная неровность края лунул, вероятно, была принята автором за наличие зубчиков. Также Р.М. Кристенсен отметил кутикулярную полосу у основания внутренних коготков ножек I–III пар как часть крупной лунулы. Повторное исследование типового материала выявило наличие у внутренних коготков небольшой типичной лунулы (часто подвернутой под основание коготка и поэтому незаметной), у беломорских экземпляров такое же строение коготков. Кутикулярная полоска не является частью лунул коготков, а гомологична другим подобным структурам, широко распространенным в пределах Eutardigrada (см. рис. 1E).

Молекулярно-генетический анализ также выявил значительную близость исследованного нами материала к *Halobiotus crispae*:

– по митохондриальному маркеру COI образцы из двух популяций Белого моря (о-ва Феттах и Матренин) были идентичны между собой и с образцами из Дании (бухта Веллеруп Виг, совпадение 100 %). Кроме того, они крайне близки к образцам из типового местонахождения (Гренландия, о-в Ниписат) и другой датской локации (о-в Эрё) (совпадение 98,97 и 99,15 % соответственно);

– по ядерному маркеру ITS-2 образцы из обеих беломорских популяций также идентичны между собой и с образцом из типового местонахождения.

Аналогичные результаты выявили при сравнении консервативного маркера 18S рРНК (сходство 99,80–99,90%), данные о маркере 28S рРНК в GenBank отсутствуют.

Таким образом, можно сделать заключение о том, что в фауне Белого моря достоверно встречается только один вид рода *Halobiotus*, а именно *H. crispae*. Учитывая, что надежная морфологическая идентификация видов этого комплекса невозможна, только методы молекулярной таксономии могут дать ответ на вопрос – относится баренцевоморская популяция к тому же виду или представляет отдельный таксон.

Животные из моря Лаптевых соответствуют первому описанию *Halobiotus arcturulus* (рис. 2). Авторы не привели формальный дифференциальный диагноз для вида, однако упомянутые отличительные характеристики (большая общая длина тела, гладкая кутикула, слабовыраженные гребни для прикрепления мышц-протракторов стилетов в передней части ротовой трубки) свойственны для нашего материала и подтверждают наличие данного вида в море Лаптевых и Карском море, как было указано В.И. Бисеровым [1]. Как и в случае типовой популяции этого вида, цикломорфные стадии не обнаружены.

Детальное морфологическое исследование, проведенное методами оптической и сканирующей электронной микроскопии, позволило выявить ряд дополнительных признаков, позволяющих отличить этот вид от *H. crispae*. Во-первых, в головной части *H. arcturulus* отсутствуют обособленные кутикулярные сенсорные структуры («temporalia»), характерные для *H. crispae*. Во-вторых, кутикулярные полосы у оснований коготков ножек I–III у *H. arcturulus* развиты слабее, чем у *H. crispae*, зачастую на ножках первых двух пар они практически незаметны. Именно их слабая склеротизация, по-видимому, и обуславливает неровность границ – признак, интерпретированный авторами описания как зазубренность. В-третьих, отделенный вырезкой задний участок третьего макроплакоида у *H. arcturulus* значительно обособлен от остальной части макроплакоида.

Сравнительный морфометрический анализ выявил близость между популяциями из Белого моря и моря Лаптевых по многим параметрам. Интервалы значений индекса Пилато для большинства структур перекрываются или очень близки. Для целей морфологической идентификации наиболее подходящими являются морфометрические признаки коготков – у *H. arcturulus* главные и боковые ветви коготков

задней пары ножек всегда длиннее (относительно ротовой трубки), чем у *H. crispae*.

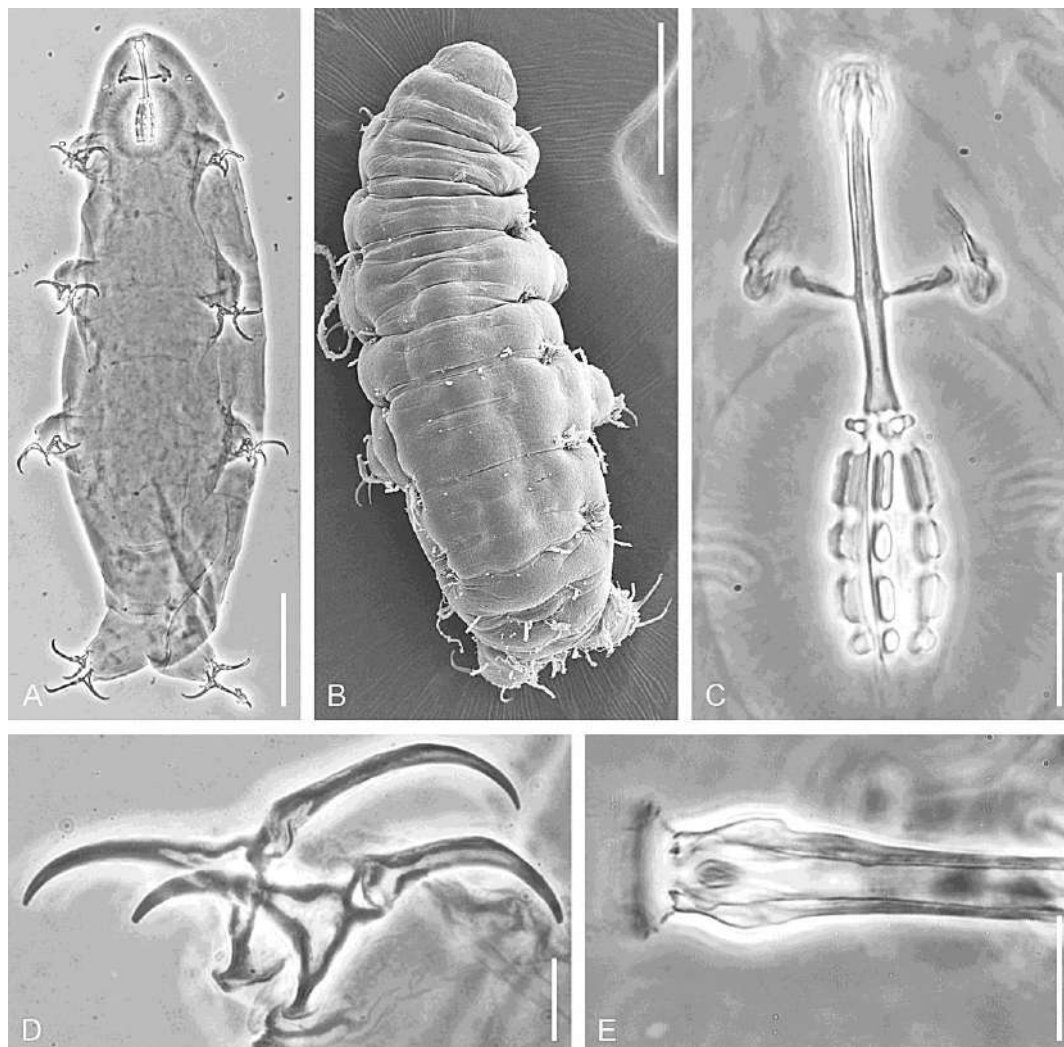


Рис. 2. *Halobiotus arcturulus*: A, B – общий вид; C – ротоглоточный аппарат; D – коготки ножек III пары; E – гребни для прикрепления мускулов-протракторов стилетов. A, C-E – фазовый контраст; B – СЭМ. Масштабная линейка: A, B – 100 мкм; B, C – 20 мкм; C – 20 мкм; D, E, – 10 мкм

Пермутационный многомерный дисперсионный анализ показал, что точка сбора во многом определяет морфометрическую разницу между популяциями Белого моря и моря Лаптевых ($R^2 = 0,76$; $p = 0,001$). На графике ординации экземпляры из разных популяций распадаются на два облака точек, которые не перекрываются (стресс-значение = 0,031) (рис. 3). Эти результаты позволяют говорить о достоверных морфометрических различиях между двумя популяциями.

Впервые были получены молекулярно-генетические данные для *H. arcturulus*, и нам удалось секвенировать только последовательности

ядерных маркеров, все попытки амплифицировать митохондриальный маркер COI не увенчались успехом.

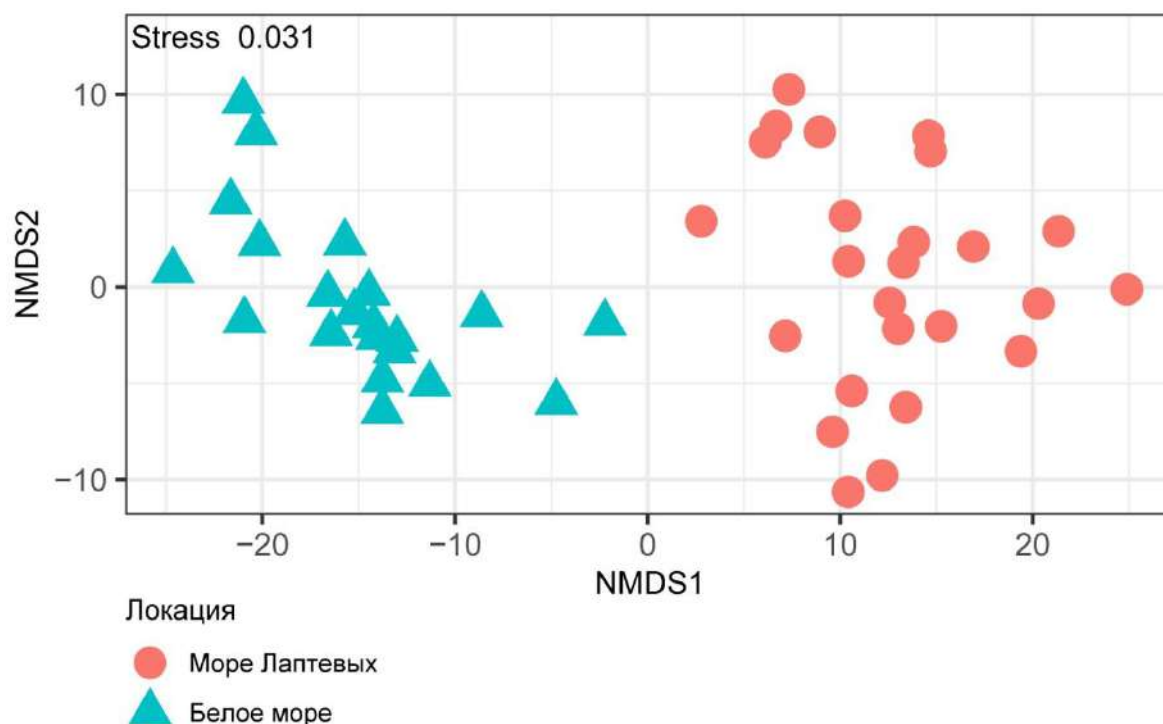


Рис. 3. Ординация экземпляров на основе индекса Пилато.
Многомерное неметрическое шкалирование

Сравнение последовательностей маркера 18S рРНК показало сходство нашего материала с последовательностями *H. crispae* из различных локаций (Гренландия, Дания, Белое море – 99,31–99,42 %). По гену 28S рРНК сравнение было возможно только с нашими данными по Белому морю (совпадение 98,87 %). По маркеру ITS-2 сходство с *H. crispae* из гренландской и беломорских популяций составило 93,35 %, что находится в интервале типичных межвидовых различий для тихоходок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Морфологический, морфометрический и молекулярно-генетический анализы подтверждают наличие в фауне России двух хорошо обособленных видов рода *Halobiotus* – *H. crispae*, достоверно показанного для Белого моря и, вероятно, обитающего также в Баренцевом море, и *H. arcturulus* – в Карском море и море Лаптевых. Указания на обнаружение видов *H. stenostomus* и *H. apelloefi* в Белом море следует считать относящимися к *H. crispae*. Учитывая, что относительно современные находки из Балтийского моря (типового водоема для *H. apelloefi/stenostomus*), отнесенные к этому виду, при использовании

молекулярно-генетических методов оказались относящимися к *H. crispae*. Сам факт существования этих видов, на наш взгляд, требует подтверждения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бисеров, В.И. Тихоходки (Tardigrada) морей России // Зоологический журнал. – 1998. – Т. 77, вып. 4. – С. 486–488.
2. Бисерова, Н.М. Головные сенсорные органы *Halobiotus stenostomus* (Eutardigrada, Hypsibiidae) / Н.М. Бисерова, К.Г. Кузнецова // Зоологический журнал. – 2011. – Т. 90, вып. 10. – С. 1155–1167.
3. Петелина, О.Ю. Новый представитель фауны Белого моря – тихоходка *Hypsibius apelloefi* (Tardigrada) / О.Ю. Петелина, А.В. Чесунов // Зоологический журнал. – 1983. – Т. 62, вып. 1. – С. 117–120.
4. Biserov, V.I. An annotated list of Tardigrada from European Russia / V.I. Biserov // Zool. Jahrb. Abt. Syst. Oekol. Geogr. Tiere. – 1991. – Vol. 118. – P. 193–216.
5. Biserov, V.I. A Review of the Tardigrada from Novaya Zemlya, with Descriptions of Three New Species, and an Evaluation of the Environment in this Region / V.I. Biserov // Zoologischer Anzeiger. – 1999. – Vol. 238. – P. 169–182.
6. Deceptive conservatism of claws: Distinct phyletic lineages concealed within Isohypsibioidea (Eutardigrada) revealed by molecular and morphological evidence / P. Gąsiorek, D. Stec, W. Morek, Ł. Michalczyk // Contributions to Zoology. – 2019. – Vol. 88. – P. 78–132. – DOI 10.1163/18759 866-20191350.
7. Kristensen, R.M. The first record of cyclomorphosis in Tardigrada based on a new genus and species from arctic meiobenthos / R.M. Kristensen // Zeitschrift für Zoologische Systematik Und Evolutionsforschung. – 1982. – Vol. 20. – P. 249–270.
8. Tumanov, D.V. Integrative description of *Grevenius annulatus* (Eutardigrada, Isohypsibioidea) from North-West Russia with new data on the species cuticular structure leads to the institution of a new genus / D.V. Tumanov, N.N. Shunatova, K.A. Fedjuk // Zoologica Scripta. – 2024. – P. 1–21. – DOI 10.1111/zsc.12703.

**НОВЫЙ ВИД МОРСКИХ ТИХОХОДОК РОДА
STYRACONYX (ARTHROTARDIGRADA, STYRACONYXIDAE)
ИЗ МОРСКОГО АКВАРИУМА ЗИН РАН**

Д.В. Туманов^{1,2}, В.Р. Хабибулина¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ),
г. Санкт-Петербург

²Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

Аннотация. Дано описание нового вида морских тихоходок рода *Styraconyx*, обнаруженного авторами в морском аквариуме Зоологического института РАН.

Ключевые слова: тихоходки, мейобентос, видовое разнообразие, ДНК-баркодинг.

ВВЕДЕНИЕ

Тихоходки относятся к небольшой (около полутора тысяч видов) группе беспозвоночных, в настоящее время выделяемых в ранг самостоятельного типа царства животных. Тихоходки широко распространены в природе, встречаются практически в любых биотопах, содержащих воду: от глубин океанов до капельных микроводоемов в куртинах мхов и лишайников, растущих в высокогорных регионах. Пресноводные и наземные тихоходки (обитатели пересыхающих гигроскопичных субстратов) изучены гораздо лучше, чем морские, это связано с их относительно более крупными размерами, большей численностью в заселяемых местах обитания и, не в последнюю очередь, с гораздо большей доступностью для исследователей.

Первичноморские тихоходки (отряд *Arthrotardigrada* класса *Heterotardigrada*) – морфологически разнообразная группа, вероятно, сохранившая наибольшее количество примитивных признаков, характерных для *Tardigrada* в целом. Этот крупный таксон остается наименее изученной группой тихоходок. Основные наши знания об их разнообразии и морфологии приобретены из малочисленных мейобентосных сборов, обычно зафиксированных формалином, что практически исключает возможность получения молекулярно-генетических и ультраструктурных данных. В связи с этим большой интерес представляют случаи спонтанного образования длительно существующих самоподдерживающихся популяций морских тихоходок в донных субстратах аквариумов. Изучение таких популяций позволяет собирать детальные светомикроскопические сведения непосредственно на живых

объектах и одновременно готовить достаточное количество экземпляров для исследования методами электронной микроскопии и молекулярно-генетического анализа. Сочетание всех методов может значительно повысить качество описания новых таксонов и получить новые данные о биологии, морфологии и филогении видов морских тихоходок.

Род *Styraconyx* Thulin, 1942, относящийся к семейству Styraconyxidae, является вторым по количеству описанных видов родом отряда Arthrotardigrada. В настоящее время в составе рода насчитывается 16 видов, которые встречаются в различных климатических зонах Земли – от высоких арктических широт до тропиков.

Система рода довольно сложная и не до конца разработанная. С одной стороны, Р. Кристенсен и Р. Хиггинс [2] предложили разделить род на две группы видов, используя для этого морфологические признаки строения конечностей. Впрочем, уже в первой работе, посвященной ревизии этого рода, авторы высказали предположение о том, что род *Styraconyx* не является монофилетическим. Позже это было подтверждено результатами молекулярно-филогенетического анализа [3], однако выделенные молекулярные клады не могут соотноситься с предложенными морфологическими группами из-за крайне ограниченного набора видов.

В январе 2023 г. при исследовании полипов коронатных медуз, взятых из морского аквариума Зоологического института РАН вместе с субстратом, на котором они обитали, В.Р. Хабибулина обнаружила многочисленных мелких тихоходок и определила их как относящиеся к роду *Styraconyx* и неопisanному виду, входящему в комплекс видов, близких к *Styraconyx craticulus* (Pollock, 1983). Мы получили значительное количество экземпляров этого вида и собрали материал для светооптического, электронно-оптического и молекулярно-генетического исследования.

В ходе исследования мы проводили прижизненные видео и фотосъемки обнаруженных тихоходок и извлекли информацию об особенностях строения и функционирования некоторых органов этих животных, обычно недоступных при изучении фиксированного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для работы послужили представители рода *Styraconyx* (всего 25 экз.), обнаруженные в донном субстрате, взятом из аквариума ЗИН в январе 2023 г.

Для светомикроскопического исследования были использованы живые особи тихоходок, а также изготовлены препараты фиксированных (в 4 %-ном формалине) животных в жидкости Хойера и глицерине.

Изучение, фотографирование и измерения проводили с помощью микроскопов Leica DM2500, оборудованных фазовым и дифференциальным интерференционным контрастом, и цифровых фотокамер Nikon DS-Fi3 и Leica DFC495 с программным обеспечением NIS software и LAS software соответственно.

Для исследования методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) образцы фиксировали 2,5 %-ным глутаральдегидом на 1 %-ном фосфатном буфере (PBS), обезживали с помощью последовательной проводки через серию этиловых спиртов (10-20-30-50-70-96 %-ным), затем переносили в ацетон, высушивали в CO₂ методом критической точки, размещали на столиках и напыляли золотом. Использовали также сканирующий микроскоп Tescan MIRA3 LMU.

ДНК была экстрагирована посредством QuickExtract™ DNA Extraction Solution. Для экстракции ДНК из отдельных экземпляров с сохранением экзоскелета применяли модифицированный протокол, предоставленный профессором Torbjørn Ekrem из Норвежского университета науки и технологии.

Филогенетический анализ проводили для фрагмента гена 28S рРНК, так как этот маркер наиболее полно представлен в базе данных GenBank для отряда Arthrotardigrada. Для этого были отобраны все доступные последовательности, относящиеся к семейству Styraconyxidae. В качестве внешней группы использовали представителей семейств Coronarctidae, Batillipedidae, Stygarctidae и Tanarctidae (относящихся к этому же отряду). Филогенетические деревья были построены методом максимального правдоподобия и MrBayes.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для обнаруженного нами вида тихоходок характерен набор морфологических признаков, типичный для представителей рода *Styraconyx* (рис. 1): удлиненное, округлое в поперечном сечении тело без кутикулярных щитков, придатков и боковых выростов, длинные конечности с четырьмя пальцами, каждый из которых несет кутикулярные придатки на вентральной стороне и коготок с тремя зубцами на вершине. Чувствительные придатки – типичный набор головных сенсилл: непарный медиальный циррус, пара латеральных циррусов, тесно сближенных с первичными булавами, две пары окологротовых циррусов и пара уплощенных вторичных булав. Туловищные придатки представлены немодифицированными циррусами E и папиллами ног IV пары, ножки I–III пары несут простые циррусы.

На спинной стороне животных имеется характерный решетчатый рисунок, образованный пересекающимися под прямым углом продольными и поперечными гребнями кутикулы (см. рис. 1B). Такая скульптура известна только для трех видов рода *Styraconyx*: *S. craticulus*, *S. craticuliformis* Chang & Rho, 1998 и *S. robertoi* Pérez-Pech, de Jesús-Navarrate, DeMilio, Anguas-Escalante & Hansen, 2020.

От *S. craticulus* обнаруженный нами вид тихоходки отличается формой первичной булавы (удлиненная симметричная цилиндрическая у *S. craticulus* и относительно более короткая и широкая, асимметрично ромбовидная у нового вида тихоходки) (см. рис. 1C), формой папиллы ножек IV пары (асимметричная, покрытая мелкими папиллами у *S. craticulus* и симметричная или слабо асимметричная, с гладкой поверхностью у нового вида животного) и выраженностью циррофора у цирруса E (неотчетливый у *S. craticulus* и четкий, с луковичеобразным расширением и внутренней воронковидной структурой у нового вида тихоходки).

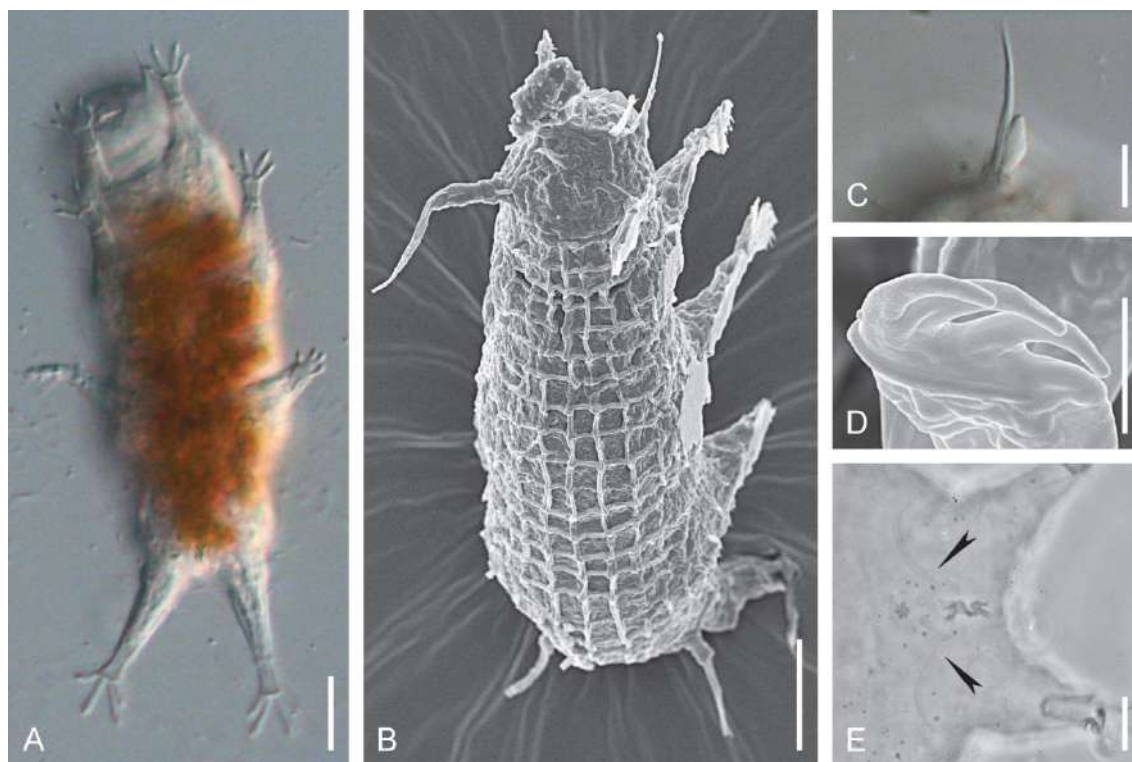


Рис. 1. *Styraconyx* sp. n.: A – общий вид живой особи с вентральной стороны; B – общий вид с дорсальной стороны; C – латеральный циррус и первичная булава; D – коготок наружного пальца ножек II пары; E – задняя часть тела самки вентрально, стрелки указывают на семяприемники. A, C – дифференциальный интерференционный контраст; B, D – СЭМ; E – фазовый контраст. Масштабная линейка: A, C, E – 20 мкм; B – 10 мкм; D – 1 мкм; E – 20 мкм

Обнаруженный нами вид тихоходки отличается от *S. craticuliformis* формой коготков (с редуцированными вторичными и придаточными крючьями у *S. craticuliformis* и одинаково развитыми тремя крючьями у нового вида (см. рис. 1D); от *S. robertoi* – формой коготков (с редуцированными вторичными и придаточными крючьями у *S. robertoi* и одинаково развитыми тремя крючьями у нового вида (см. рис. 1D) и наличием кутикулярных придатков на внутренних пальцах у самок (отсутствуют у *S. robertoi*).

Неописанный вид животных со сходной морфологией был обнаружен в морском аквариуме Тихоокеанского института географии ДВО РАН [1]. От обнаруженного нами вида он отличается конфигурацией кутикулярных семяприемников и более вытянутой формой папиллы ножек IV пары (см. рис. 1E).

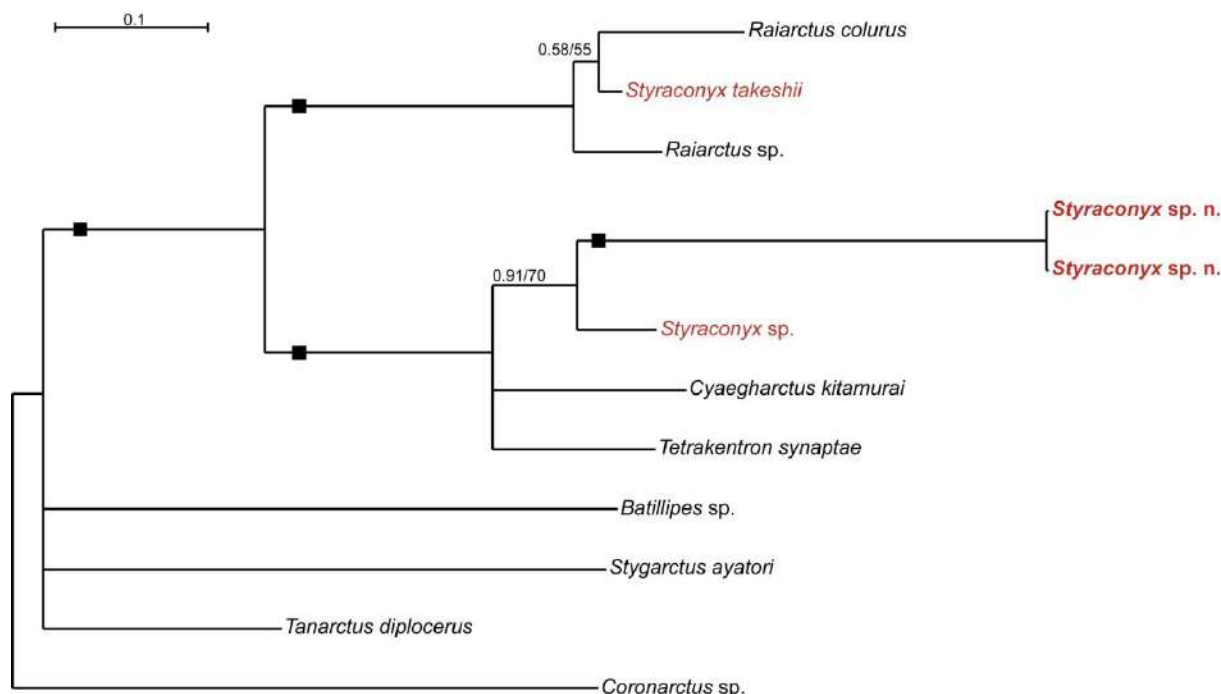


Рис. 2. Филогения семейства Styraconyxidae, построенная на основе анализа последовательностей гена 28S рРНК. Числа показывают значения апостериорных вероятностей, полученные байесовским методом, и значения бутстрэпа, полученные методом максимального правдоподобия, соответственно. Черные квадраты – ветви, полностью поддержанные обоими методами. Узлы с низкой поддержкой не показаны. Шкала и длина ветвей приведены по результатам байесовского анализа. Красным цветом выделены виды, относящиеся к роду *Styraconyx*

Нам удалось амплифицировать и секвенировать последовательности двух ядерных маркеров 28S рРНК и ITS-2 для двух экземпляров. Полученные последовательности оказались идентичны для обоих образцов.

Используя эти последовательности гена 28S рРНК и данные из хранилища GenBank, мы построили филогенетические деревья для семейства Styraconyxidae методами максимального правдоподобия и MrBayes (рис. 2). Оба метода реконструировали близкую топологию филогенетического дерева, в которой была полностью поддержана монофилия семейства Styraconyxidae, а также подтверждено разделение семейства на две монофилетические ветви. Виды рода *Styraconyx* оказались распределены между этими двумя ветвями – обнаруженный нами вид тихоходки оказался сгруппирован с неописанным *Styraconyx* sp. из Японии, а также с видами *Tetrakentron synaptae* Cuénot, 1892 и *Cyaegharctus kitamurai* Fujimoto & Jimi, 2020, в то время как другой вид рода – *Styraconyx takeshii* Fujimoto, Suzuki, Ito, Tamura & Tsujimoto, 2020 – оказался сгруппирован с видами рода *Raiarctus* Renaud-Mornant, 1981. Это подтверждает высказывавшееся ранее предположение о полифилии рода *Styraconyx*.

Интересно отметить, что, несмотря на крайне ограниченный набор видов, для которых получены молекулярные данные, и не всегда совершенные морфологические описания, можно выделить один морфологический признак, который хорошо совпадает с реконструированной филогенией семейства. Для видов первой ветви характерны длинные тонкие семяприемники, открывающиеся простыми порами в области гонопора самки, вблизи средней линии (такие семяприемники имеются у нового вида и описаны для *C. kitamurai*). У видов, относящихся ко второй ветви – *S. takeshii*, и тех видов рода *Raiarctus*, для которых эти структуры описаны, семяприемники короткие и открываются на вершине трубчатых вентролатеральных придатков (папилл) по бокам тела. К сожалению, для большей части видов семейства Styraconyxidae отсутствуют как молекулярные данные, так и данные о морфологии семяприемников, что не позволяет проверить предположение о том, что данный признак является филогенетически значимым.

Полученные нами последовательности маркера ITS-2 – первые известные для группы Arthrotardigrada в целом. Мы надеемся, что в будущем этот маркер, уже широко применяющийся в качестве ДНК-баркода для других групп тихоходок, будет использован в таксономии морских тихоходок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты подтвердили высокую ценность спонтанно формирующихся в условиях морских аквариумов культур тихоходок в качестве источников материала, который может быть использован как для

таксономических, так и для морфологических и филогенетических исследований. Данные об обнаруженном новом виде рода *Styraconyx* подтверждают ранее высказанную гипотезу об искусственной природе этого таксона. Успешное получение последовательности ядерного маркера ITS-2 позволяет надеяться на более широкое его использование в будущем в систематике отряда Arthrotardigrada.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. A new *Styraconyx* species (Tardigrada, Arthrotardigrada) found in a marine aquarium / A.V. Tchesunov, A.I. Velushova, K.E. Sanamyan, T.V. Neretina // Abstracts of the 12th International Symposium of the Russian Society of Nematologists «Nematodes and other Ecdysozoa under the growing ecological footprint on ecosystems» (Nizhny Novgorod, Russia, July 31 – August 6, 2017). – Nizhni Novgorod: Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, 2017. – С. 120.

URL:

https://www.researchgate.net/publication/320345487_A_NEW_STYRACONYX_SPECIES_TARDIGRADA_ARTHROTARDIGRADA_FOUND_IN_A_MARINE_AQUARIUM (дата обращения: 20.05.2025). – Poster.

2. Kristensen, R.M. Revision of *Styraconyx* (Tardigrada: Halechiniscidae) with description of two new species from Disko Bay, West Greenland / R.M. Kristensen, R.P. Higgins // Smithsonian Contributions to Zoology. – 1984. – № 391. – P. 1–40. – DOI 10.5479/si.00810282.391.

3. Marine tardigrades from Lützow-Holm Bay, East Antarctica with the description of a new species / S. Fujimoto, A.C. Suzuki, M. Ito [et al.] // Polar Biology. – 2020. – Vol. 43. – P. 679–693. – DOI 10.1007/s00300-020-02671-w.

О БИОЛОГИИ КРАБА-ДЕКОРАТОРА *OREGONIA GRACILIS* (DANA, 1985) В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ О-ВА ПАРАМУШИР

Т.Ю. Углова, М.В. Переладов

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

Аннотация. Приведены результаты биологического анализа краба-декоратора, встречавшегося в прибрежной зоне Северо-Курильского залива Охотского моря – от м. Козыревского до м. Опорный и на участке от м. Опорный до м. Крепкий о-ва Парамушир (Северные Курилы), с 2021 по 2023 г. Объекты искали визуальным способом и собирали в прибрежной зоне после отливов на глубине 1,0–1,5 м. Масса краба-декоратора варьировала от 1,6 до 44,3 г, ширина карапакса – от 10 до 63,2 мм. Основные виды растительности, входящие в биотоп для краба-декоратора, – *Gloiopeltis furcata*, *Laminaria*, *Halosaccion firmum*, *Fucus distichus*, *Ptilota asplenioides*, *Constantinea rosa-marina*, *Phycodrys riggii*, *Halosaccion microsporum*, а соседствующие виды зообентоса – *Chionoecetes bairdi*, *Telmessus cheiragonus*, *Rhinolithodes wosnessenskii*, *Pagurus ochotensis*, Bryozoa g. sp., представитель семейства Buccinidae g. sp., *Calyptraea chinensis*, *Spisula sachalinensis*, *Clinocardium* sp., *Mytilus trossulus*.

Ключевые слова: Охотское море, о-в Парамушир, краб-декоратор, среда обитания, зообентос.

ВВЕДЕНИЕ

Курильская гряда представляет собой естественную границу между Тихим океаном и Охотским морем. Парамушир – один из крайних о-вов северной части Большой Курильской гряды. К северу от него (через Второй Курильский пролив) расположен о-в Шумшу, а к югу за Третьим и Четвертым Курильскими проливами – о-в Онекотан. В большинстве проливов наблюдаются двусторонние устойчивые течения – через северные части проливов поступают тихоокеанские воды в Охотское море, а через южные – охотоморские вытекают в океан, но Второй Курильский пролив является исключением – в нем односторонний перенос воды и движение последней происходят по часовой стрелке вокруг острова [1]. Океанографические условия благоприятны для обитания разнообразных водных биологических объектов, по данным В.П. Шунтова с соавторами [7], при обобщении сведений о состоянии Охотского моря в 2000-х годах насчитывалось 118 многочисленных видов зоопланктона, зообентоса, рыб, кальмаров, крабов и других беспозвоночных.

Курильские проливы за счет океанологических условий и строения донного рельефа являются высоко биопродуктивными. Наибольшая по численности группа – океанические рыбы, из промысловых

беспозвоночных – головоногие моллюски, крабы, креветки, двустворчатые и брюхоногие моллюски, иглокожие, обитающие в прибрежном мелководье в районе Северных Курил, а также водоросли [2]. Из непромысловых беспозвоночных интерес представлял краб-декоратор *Oregonia gracilis* (Dana, 1985), встречающийся в приливной зоне. Этот краб водится в Беринговом море, на Северном побережье Тихого океана и у побережья Японии от литоральной зоны до глубины 436 м [10]. Краб-декоратор входит в рацион питания рыб, морских птиц и беспозвоночных [8].

Современные ученые-биологи и аквариумисты описывают в основном поведенческие особенности представителей надсемейства *Majoidea*, включающего около 700 видов крабов с объединенным названием крабы-декораторы, или условия содержания в аквариумах [9, 13, 11, 12]. В данной работе изложен биотоп для этого объекта, а также некоторые его биологические особенности.

Цель статьи заключается в изучении биологии краба-декоратора *O. gracilis* у побережья о-ва Парамушир.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Научно-исследовательские работы проводили в прибрежной северо-восточной части о-ва Парамушир (Северные Курилы) на двух участках от м. Артюшина до м. Опорный и от м. Опорный до м. Крепкий в мае-июле 2021–2023 гг. (рис. 1).



Рис. 1. Схема мест проведения исследований (выполнена И.А. Ваизовой)

При работе применяли общепринятые методики [3, 4]. Обмеряли крабов с целым карапаксом и двумя неповрежденными,

нерегенерированными клешненосными конечностями (рис. 2). Полный биологический анализ включал в себя определение пола, линочной стадии, измерение ширины карапакса (ШК), длины карапакса (ДК), регистрацию наличия повреждений. Пол крабов определяли по строению абдомена и первых двух пар плеопод, стадии линочного цикла и зрелости икры в соответствии с «Руководством по изучению...» [5]. Объекты собирали в прибрежной зоне после отливов на глубине 1,0–1,5 м, после измерения выпускали в среду обитания.

В работе приведены данные, полученные в 2015 г. в ходе гидроакустического сканирования дна вдоль береговой линии о-ва Парамушир, охватывающего район сбора материала для исследований. При изучении грунта использовались подводные видеокамеры РБ-600 и Go-Pro HERO3.

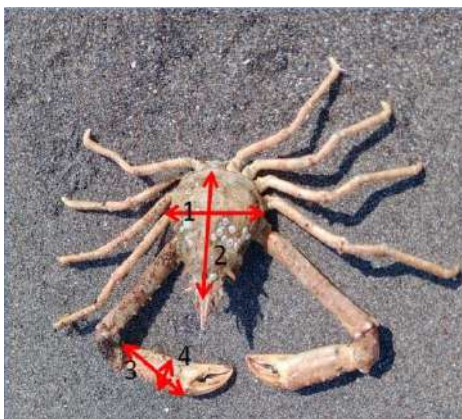


Рис. 2. Схема промеров краба-декоратора: 1 – ширина карапакса; 2 – длина карапакса; 3 – диагональ клешни; 4 – высота клешни

Массу краба определяли с помощью весов МИДЛик ЕНА501 «Ингредиент» Мах = 100 г с точностью 0,01 г, измерения карапакса и клешни – электронным штангенциркулем с диапазоном 0–150 мм и точностью 0,1 мм. Графики и таблицы сформированы в программе MS Excel, визуализация данных на топооснове – в QGIS 3.321.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сложность геологического строения рельефа Северо-Курильских о-вов и прилегающего к ним участка шельфа обуславливает разнообразие грунтов и донных отложений в прибрежной зоне. На подводном береговом склоне Северных Курил отмечены все типы грунтов от выходов массивных скальных пород до тонкозернистых фракций. В 2015 г. в рамках научно-исследовательских работ по первичному обследованию ресурсов промысловых беспозвоночных в прибрежной зоне Северных

Курильских о-вов было показано, что структура прибрежных биотопов во многом определяется обилием обломочного ракушечного материала, покрывающего практически все промежутки между выходами твердых грунтов. Основную массу ракушки составляли обломки раковин двустворчатых моллюсков (митилид и подоесмуса) с небольшим количеством раковин брюхоногих моллюсков. Кроме ракушечного материала, в биотопе присутствуют офиуры, немного морских ежей и многочисленные гидроидные полипы. При осмотре твердых субстратов подводной видеокамерой на камнях до глубины 10–11 м отмечены незначительные заросли бурых водорослей (алария, ламинария и десмарестия) и гидроидов. Такие биоценозы малопригодны для обитания ранней молодежи крабов и крабоидов из-за высокой вероятности элиминации оседающих личинок и неподходящих для убежища субстратов.

Для обеспечения естественного воспроизводства крабов и крабоидов наибольший интерес представляют глыбово-валунные биоценозы прикрепленных двустворчатых моллюсков (модиолус, подоесмус) и танатоценозы (ракушечники) на глубинах 20–50 м.

Основным источником пищи для краба-декоратора, как оппортунистического всеядного вида, являются плавающие водоросли, которые захватывают крабы, используя стратегию ожидания при скрытном образе жизни, а также планктон, губки, детрит и мелкие беспозвоночные.

На рис. 3 показаны наиболее часто встречаемые водоросли в местах исследований литоральной зоны.



Рис. 3. Часто встречаемые виды водорослей в исследуемом районе:
Gloiopeltis furcata (1), *Laminaria* (2), *Halosaccion firmum* (3), *Ptilota asplenioides* (4),
Constantinea rosa-marina (5), *Phycodrys riggii* (6), *Halosaccion microsporum* (7),
Fucus distichus (8) (фото Т.Ю. Угловой)

Основные виды зообентоса, составляющие биотоп, представлены на рис. 4.



Рис. 4. Часто встречаемые виды зообентоса в исследуемом районе: *Chionoecetes bairdi* (1), *Telmessus cheiragonus* (2), *Rhinolithodes wosnessenskii* (3), *Pagurus ochotensis* (4), Bryozoa g. sp. (5), представитель семейства трубачей Buccinidae g. sp. (6), *Calyptraea chinensis* (7), *Balanus* g. sp. (8), *Spisula sachalinensis* (9), *Clinocardium* sp. (10), *Mytilus trossulus* (11) (фото Т.Ю. Угловой)

Проведенный биологический анализ краба-декоратора (278 экз.) с мая до середины июля 2021–2023 гг. выявил, что крабы имели в среднем ШК $25,2 \pm 7,6$ мм (min – 10, max – 63,2 мм) и массу $12,1 \pm 11,4$ г (min – 1,3, max – 44,3 г) (см. таблицу). Доля особей с наличием поврежденных, отсутствующих и регенерирующих конечностей достигала 26,3 % в 2023 г. Основные исследованные беспозвоночные находились на личинной стадии 3.2. Большую часть жизни крабы *O. gracilis* проводят обособленно, за исключением брачного сезона, и находят друг друга с помощью химических сигналов [8]. В 2022 и 2023 гг., в период наших исследований самки встречались единично, а в 2021 г. [6] и 2022–2023 гг. особи были представлены самцами.

**Размерно-массовые характеристики самцов краба *O. gracilis* о-ва Парамушир
в июне–августе 2021–2023 гг.**

Год	Кол-во, экз.	ШК, мм	ДК, мм	Масса, г	Длина диагонали клешни, мм	Высота клешни, мм	Наличие регенерации конечностей, %	Стадия линьки (доля, %)			
								3.0	3.1	3.2	4
2021	185	$20,9 \pm 3,0$ 10,0-31,0	-	$5,1 \pm 1,3$ 1,6-10,0	-	-	24,3	3,2	79,5	15,7	1,6
2022	55	$34,7 \pm 6,9$ 19,0-63,2	$54,6 \pm 8,4$ 30,0-64,0	$26,1 \pm 9,3$ 2,1-44,3	$31,5 \pm 6,9$ 11,0-41,0	$13,1 \pm 2,5$ 6,0-18,0	20,0	12,7	38,2	43,6	5,5
2023	38	$32,2 \pm 6,0$ 18,0-41,0	$51,0 \pm 10,6$ 27,0-64,0	$25,6 \pm 10,8$ 4,2-43,0	$29,4 \pm 8,0$ 10,0-42,0	$13,2 \pm 3,1$ 6,0-19,0	26,3	18,2	23,9	57,9	-

Примечание. Над чертой арифметическая средняя $\pm$ ошибка арифметической средней; под чертой – пределы варьирования признака.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были рассмотрены некоторые биологические параметры самцов краба-декоратора, обитающего в прибрежной северо-восточной части о-ва Парамушир. Показаны размерно-массовые характеристики. Большая часть исследуемых объектов находилась на третьей промежуточной и третьей поздней стадиях линичного цикла. Показаны представители зообентоса и встречающихся морских водорослей, составляющих биотоп для краба *O. gracilis*. Предполагается, что глубины 10–11 м с ракушечным грунтом малопригодны для обитания ранней молоди крабов и крабоидов из-за отсутствия убежища, а естественное воспроизводство осуществляется в зоне глыбово-валунных биоценозов на глубинах 20–50 м.

Благодарность

Авторы благодарны Ваизовой Иветте за помощь в оформлении рисунка, Евсеевой Наталии Викторовне за участие в обсуждении результатов, Соколову Артему Владимировичу за помощь в сборе материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные биологические ресурсы северных Курильских островов / О.Ф. Гриценко, М.А. Богданов, В.М. Стыгар [и др.]; Под ред. О.Ф. Гриценко; Федер. гос. унитар. предприятие «Всерос. науч.-исслед. ин-т рыб. х-ва и океанографии». – Москва: Изд-во ВНИРО, 2000. – 163 с.

2. Жуков, М.А. Природные ресурсы Курильских островов: интервью с членом Экспертного совета Комитета Совета Федерации по федеративному устройству, региональной политике, местному самоуправлению и делам Севера / М.А. Жуков // Редкие земли/ Rare Earth: электронный журнал. – URL: <https://rareearth.ru/ru/about.html> (дата обращения 08.04.2024).

3. Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России / С.А. Низяев, С.Д. Букин, А.К. Клитин, Е.Р. [и др.]. – Южно-Сахалинск: СахНИРО, 2006. – 112 с.

4. Применение коэффициента морфометрической зрелости для определения терминальной линьки у краба *Chionoecetes angulatus* из Охотского моря / С.И. Моисеев, А.И. Буяновский, А.Н. Деминов [и др.] // Труды ВНИРО. – 2020. – С. 5–25.

5. Руководство по изучению десятиногих ракообразных Decapoda дальневосточных морей / В.Е. Родин, А.Г. Слизкин, В.И. Мясоедов [и др.]. – Владивосток: Изд-во ТИНРО, 1979. – 59 с.

6. Углова, Т.Ю. Размерно-массовые показатели грациозного краба декоратора *Oregonia gracilis* о. Парамушир в летний период 2021 г. / Т.Ю. Углова, А.В. Соколов // Современные проблемы и перспективы развития рыбохозяйственного комплекса: материалы IX научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной 140-летию ВНИРО (Москва, 11–12 ноября 2021 г.) / Под ред. И.И. Гордеева и др. – М.: Изд-во ВНИРО, 2021. – С. 180–181.

7. Шунтов, В.П. Что же произошло в экосистеме Охотского моря в 2008–2018 гг. / В.П. Шунтов О.А. Иванов, К.М. Горбатенко // Известия ТИНРО. – 2019. – Т. 197. – С. 5–25.

8. Alekhin, A. Decorator crab / A. Alekhin // A-Z Animals: website. – Flywheel Publishing: Colorado, 2008. – Last updated: 27 May 2024. – URL: <https://a-z-animals.com/animals/decorator-crab/> (дата обращения: 08.06.2024).

9. Berke, S. Behavioral and morphological aspects of decorating in *Oregonia gracilis* (Brachyura: Majoidea) / S. Berke, K. Sarah, A. Woodin Sarah // Invertebrate Biology. The Authors Journal compilation. The American Microscopical Society. – 2009. – 128(2). – P. 172–181.

10. Cowles, D. *Oregonia gracilis* (Dana, 1851) / D. Cowles // Invertebrates of the Salish Sea: [site] / Walla Walla University. – 2005. – URL: https://inverts.wallawalla.edu/Arthropoda/Crustacea/Malacostraca/Eumalacostraca/Eucarida/Decapoda/Brachyura/Family_Majidae/Oregonia_gracilis.html (дата обращения: 08.04.2024).

11. Hein, S.R. Decorating behavior begins immediately after metamorphosis in the decorator crab *Oregonia gracilis* / S.R. Hein, M.W. Jacobs // Marine Ecology Progress Series. – 2016. – Vol. 555. – P. 141–150.

12. Hultgren, K. Camouflage in decorator crabs: Integrating ecological, behavioural and evolutionary approaches / K. Hultgren, J. Stachowicz // In Martin Stevens & Sami Merilaita. *Animal Camouflage* Cambridge University Press. – 2011. – P. 214–238. – DOI:10.1017/CBO9780511852053.012.

13. Rankin, A. No compromise between metabolism and behavior of decorator crabs in reduced pH conditions nature portfolio / A. Rankin, O.A. Kyungah Seo, J. Graeve, R.A. Taylor // *Scientific Reports*. – 2019. – 9(1). – P. 13.

ДОПОЛНЕНИЕ К ФАУНЕ ЗООБЕНТОСА УНСКОЙ ГУБЫ БЕЛОГО МОРЯ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «ОНЕЖСКОЕ ПОМОРЬЕ») ПО СБОРАМ 2024 г.

**Е.М. Чабан¹, Д.А. Аристов¹, К.Л. Биягов², В.В. Халаман¹, Н.В. Усов¹,
П.А. Футоран³, А.А. Мартынова⁴**

¹Зоологический институт РАН (ЗИН РАН), г. Санкт-Петербург

² АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция»,
г. Санкт-Петербург

³ФГБУ «Национальный парк «Кенозерский», г. Архангельск

⁴Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), г. Владивосток

Аннотация. Статья посвящена исследованиям состава макрозообентоса сублиторали Унской губы Белого моря. Эта акватория входит в состав Национального парка «Онежское Поморье», организованного в 2013 г. Приведены материалы собственных сборов в 2024 г. и их сравнение с последними опубликованными данными сборов макрозообентоса сублиторали Унской губы 1980-х годов.

Ключевые слова: Белое море, Двинский залив, Унская губа, Национальный парк, бентос, сублитораль.

ВВЕДЕНИЕ

Унская губа является единственным внутренним морским водоемом Национального парка «Онежское Поморье», который был создан в 2013 г. Он расположен на п-ове Онежский и окружен Онежским и Двинским заливами. Онежское Поморье – это одна из важнейших локаций сезонного коридора миграций птиц в северном полушарии и часть Беломорско-Балтийского миграционного пути, а Унская губа Белого моря – ключевая орнитологическая территория международного значения. В связи с вхождением в состав Национального парка исследования морской флоры и фауны в районе губы активизировались. На территории Унской губы проводились плановые изучения фауны водорослей [2] и зообентоса литорали [3], были выбраны объекты для биомониторинга. Однако на сегодняшний день имеются лишь отрывочные сведения о зообентосе сублиторали Унской губы. Отдельные данные есть в публикациях, посвященных изучению сообществ Двинского залива [5] и моллюсков Белого моря [4], но они отражают материалы сборов конца XX в. Для уточнения фауны Унской губы летом 2024 г. с помощью дночерпателя был собран дополнительный материал о макрозообентосе Унской губы с глубины около 10 м. Предварительный анализ собранных нами и опубликованных ранее данных послужил основой для написания работы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материал был собран в Унской губе во время рейса НИС «Профессор Владимир Кузнецов» (Зоологический институт РАН) 01–02.07.2024 (рис. 1) дночерпателем ван Вина, площадь сбора – 0,1 м² в одно-двукратной повторности (табл. 1). Всего на двух гидрологических ст. 307 и 309 были взяты при помощи дночерпателя три пробы (две пробы на ст. 307 на глубине 9,0 м и одна проба на ст. 309 на глубине 9,8 м), промыты через газ 0,5 мм и разобраны под биноклем в лаборатории судна. Все три пробы собраны на разных грунтах, заиленных в разной степени. Первая проба взята на мелкозернистом заиленном песке, вторая – на иле, третья – на крупнозернистом заиленном песке. Величину зернистости определяли по возможности прохождения песчинок через газ при промывке пробы. Часть собранных животных была зафиксирована в 4 %-ном растворе формалина, в 70 %-ном или 96 %-ном этаноле для дальнейших морфологических и таксономических исследований. Полихеты были установлены К.Л. Бияговым, моллюски – Д.А. Аристовым, остальные группы – Д.А. Аристовым и Е.М. Чабан. Количество проб определялось нашей возможностью быстро разобрать материал с последующей фиксацией отдельных экземпляров в 96 %-ном этаноле для молекулярно-генетического анализа.



Рис. 1. Карта сборов бентоса в Унской губе Двинского залива Белого моря в июле 2024 г.

Таблица 1

Данные дночерпательных станций в Унской губе Двинского залива во время рейса НИС «Профессор Владимир Кузнецов» в июле 2024 г.

Дата	Номер станции/ дночерпатель	Глубина, м	Грунт	Придонная температура, °C	Придонная соленость
01.07.2024	307/1	9,0	Мелкозернистый заиленный песок	15,6	22,7
01.07.2024	307/2	9,0	Ил	15,6	22,7
02.07.2024	309/1	9,8	Крупнозернистый заиленный песок	17,1	20,0

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Унская губа – большой по площади (21000 га) мелководный залив с пологими берегами, глубина которого в его центральном желобе достигает 14 м. В устьевой части губы, в местах взятия проб, температура воды на глубине около 9 м колебалась от 15,6 до 17,1 °C, а соленость – от 20,0 до 22,7. Всего в трех пробах было встречено 16 видов зообентоса, представляющих 8 таксонов ранга отряда и выше (табл. 2).

Таблица 2

Список видов зообентоса, встреченных в Унской губе во время рейса НИС «Профессор Владимир Кузнецов» 01–02.07.2024

Станция/ дночерпатель	Тип/Класс/Отряд	Вид
307/1	Polychaeta	<i>Alitta virens</i> (M. Sars, 1835)
307/1	Polychaeta	<i>Spio theeli</i> (Söderström, 1920)
307/1	Polychaeta	<i>Phyllodoce maculata</i> (Linnaeus, 1767)
307/1	Polychaeta	<i>Leitoscoloplos acutus</i> (Verrill, 1873)
307/1	Polychaeta	Spionidae g.sp.
307/2	Oligochaeta	Oligochaeta g.sp.
307/2	Polychaeta	<i>Alitta virens</i> (Sars, 1835)
307/2	Polychaeta	? <i>Eteone longa</i> (Fabricius, 1780)
307/2	Polychaeta	<i>Ophelia limacina</i> (Rathke, 1843)
307/2	Polychaeta	<i>Phyllodoce maculata</i> (Linnaeus, 1767)
307/2	Polychaeta	? <i>Pygospio</i> sp.
307/2	Polychaeta	<i>Leitoscoloplos acutus</i> (Verrill, 1873)
307/2	Nemertea	<i>Amphiporus</i> sp.
307/2	Cumacea	<i>Diastylis</i> cf. <i>glabra</i> Zimmer, 1900
307/2	Amphipoda	Amphipoda g. sp.
307/2	Bivalvia	<i>Tridonta montagui</i> (Dillwyn, 1817)
307/2	Holothuroidea	<i>Chiridota laevis</i> (Fabricius, 1780)
309/1	Polychaeta	<i>Ophelia limacina</i> (Rathke, 1843)
309/1	Polychaeta	<i>Phyllodoce maculata</i> (Linnaeus, 1767)
309/1	Polychaeta	<i>Leitoscoloplos acutus</i> (Verrill, 1873)
309/1	Polychaeta	Spionidae g. sp.
309/1	Polychaeta	<i>Travisia forbesii</i> Johnston, 1840
309/1	Bryozoa	Bryozoa g. sp.

Большинство видов, встреченных нами в Унской губе в 2024 г., относится к классу Polychaeta (9 видов – 56 %). Остальные крупные таксоны уровня отряда и выше (Oligochaeta, Nemertea, Amphipoda, Cumacea, Bryozoa, Bivalvia, Holothuroidea) представлены единичными видами. Особенно интересна находка моностилиферной немертины рода *Amphiporus* Ehrenberg, 1831 ввиду очень слабой изученности этого типа беспозвоночных в Двинском заливе [6] и отсутствия данных о нахождении немертин в Унской губе. Собранный экземпляр был травмирован дночерпателем при сборе, поэтому определение до вида по внешним признакам невозможно, однако предполагается молекулярно-генетический анализ этого образца.

Несмотря на небольшую выборку, зависимость видового разнообразия от типа грунта хорошо прослеживается. В пробе 307/1 в мелкопесчаном грунте собраны полихеты пяти видов, в пробе 309/1 в крупнопесчаном грунте – полихеты пяти видов и одна мшанка, в то же время в пробе 307/2 в иле – животные 12 видов, относящихся к шести разным типам. Обращает на себя внимание тот факт, что пробы 307/1 и 307/2 собраны практически в одной точке (на гидрологической ст. 307), однако существенно отличаются характером грунта и составом собранных бентосных животных. Гидрологическая ст. 307 расположена в довольно узком входе в губу, где рельеф дна очень неровный, и такие наблюдаемые различия грунта и списка встреченных видов в двух пробах вполне ожидаемы, если дночерпатель не попал два раза точно в одну точку.

В 1980-е годы сотрудниками ББС «Картеш» и лаборатории морских исследований Зоологического института проводились сборы зообентоса и анализ сообществ в Двинском заливе, в том числе на литорали и сублиторали в Унской губе. Краткие результаты о видовом составе, плотности поселений и биомассе были опубликованы в работах [4, 5]. В 2021 г. М.Н. Махнович и Д.С. Мосеев [3] провели съемку прибрежных сообществ зообентоса на разных участках Унской губы, включая частично верхнюю сублитораль на уровне доступности работы с гидробиологическим скребком. В табл. 3 мы обобщили данные наших и опубликованных результатов исследований зообентоса Унской губы. Список включает 27 видов, отмеченных ранее для литорали, и 28 видов, найденных в сублиторали.

Выявленная по оригинальным и литературным данным фауна зообентоса Унской губы представлена типами Porifera, Nemertea, Annelida, Arthropoda, Mollusca, Bryozoa, Echinodermata и Chordata. Определены 42 таксона до уровня вида и/или рода. Тип Chordata представлен пока единственной находкой асцидии, определенной В.В. Редикорцевым как *Rhizomolgula globularis*. Помимо отмеченной выше немертины *Amphiporus*

sp., выявлены новые виды для зообентоса рассматриваемого водоема, такие как полихеты *Alitta virens*, *Spio theeli*, *Phyllodoce maculata*, *Leitoscoloplos acutus*, *Travisia forbesii*, двустворчатый моллюск *Tridonta montagui* и голотурия *Chiridota laevis*. Следует отметить, что фауна сублиторали Унской губы представлена бóльшим таксономическим разнообразием, чем фауна литорали (рис. 2).

Таблица 3

Список видов зообентоса на литорали и сублиторали Унской губы по сборам во время рейса НИС «Профессор Кузнецов» в 2024 г. и литературным данным

Таксон	Сублитораль			Литораль (публикации)
	Данные 2024 г.	Публи- кации	Глубина нахождения в Унской губе, м	
Porifera				
Porifera g.sp		[4]	15,0	[3]
Hydrozoa				
<i>Clava multicornis</i> (Forsskal, 1775)				[3]
Oligochaeta				
Oligochaeta g.sp	+		9,0	
Nemertea				
<i>Amphiporus</i> sp.	+		9,0	
Polychaeta				
<i>Alitta virens</i> (M. Sars, 1835)	+		9,0	
Ampharetidae g.sp.		[4]	15,0	
<i>Arenicola marina</i> (Linnaeus, 1758)		[4]	15,0	[3]
? <i>Eteone longa</i> (Fabricius, 1780)	+		9,0	
<i>Spio theeli</i> (Söderström, 1920)	+		9,0	
<i>Nereis pelagica</i> Linnaeus, 1758		[4]	15,0	[3]
<i>Ophelia limacina</i> (Rathke, 1843)	+		9,0–9,8	[3]
<i>Pectinaria koreni</i> (Malmgren, 1866)				[3]
<i>Phyllodoce maculata</i> (Linnaeus, 1767)	+		9,0–9,8	
? <i>Pygospio</i> sp.	+		9,0	
<i>Leitoscoloplos acutus</i> (Verrill, 1873)	+		9,0–9,8	
<i>Scoloplos armiger</i> (Müller, 1776)		[4]	15,0	[3] (<i>Scoloplos</i> cf <i>armiger</i>)
Spionidae g.sp.	+		9,0–9,8	
<i>Spirorbis spirorbis</i> (Linnaeus, 1758)				[3]
<i>Travisia forbesii</i> Johnston, 1840	+		9,8	
Cirripedia				
<i>Balanus crenatus</i> Bruguière, 1789		[4, 5]	15,0	
<i>Semibalanus balanoides</i> (Linnaeus, 1767)				[3]
Cumacea				
<i>Diastylis</i> cf. <i>glabra</i> Zimmer, 1900	+		9,0	
<i>Lamprops fasciatus</i> G.O. Sars, 1863		[4]	15,0	
Amphipoda				
<i>Gammarus duebeni</i> Lilljeborg, 1852				[3]
<i>Gammarus oceanicus</i> Segerstråle, 1947				[3]
Amphipoda g.sp.	+		9,0	

Таксон	Сублитораль			Литораль (публикации)
	Данные 2024 г.	Публи- кации	Глубина нахождения в Унской губе, м	
<i>Caprella linearis</i> (Linnaeus, 1767)		[4]	15	
<i>Caprella septentrionalis</i> Krøyer, 1838				[3]
Isopoda				
<i>Jaera (Jaera) albifrons</i> Leach, 1814				[3]
Decapoda				
<i>Crangon crangon</i> (Linnaeus, 1758)				[3]
Insecta				
Chironomidae g.sp.				[3]
Gastropoda				
<i>Buccinum undatum</i> Linnaeus, 1758				[3]
<i>Peringia ulvae</i> (Pennant, 1777)				[3, 5] как <i>Hydrobia ulvae</i>
<i>Littorina littorea</i> (Linnaeus, 1758)				[3]
<i>Littorina obtusata</i> (Linnaeus, 1758)				[3]
<i>Littorina saxatilis</i> (Olivi, 1792)				[3]
<i>Onoba aculeus</i> (A. Gould, 1841)				[3]
Bivalvia				
<i>Macoma balthica</i> (Linnaeus, 1758)				[5]
<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin, 1791)				[3]
<i>Mya arenaria</i> Linnaeus, 1758				[3]
<i>Mya truncata</i> Linnaeus, 1758		[4]	15,0	
<i>Mytilus edulis</i> Linnaeus, 1758		[4, 5]	15,0	[3]
<i>Tridonta borealis</i> Schumacher, 1817		[4]	15,0	
<i>Tridonta montagui</i> (Dillwyn, 1817)	+		9,0	
Bryozoa				
<i>Flustra foliacea</i> (Linnaeus, 1758)				[3]
Bryozoa g.sp.	+	[4]	9,8–15	
Holothuroidea				
<i>Chiridota laevis</i> (O. Fabricius, 1780)	+		9,0	
Asteroidea				
<i>Asterias rubens</i> Linnaeus, 1758				[3]
Ascidacea				
<i>Rhizomolgula globularis</i> (Pallas, 1776)		[1]	20,0	
Всего видов		28		27

Однако обращает на себя внимание тот факт, что выявленное видовое разнообразие моллюсков на литорали более чем в 2 раза выше, чем в сублиторали (см. рис. 2), в первую очередь за счет брюхоногих моллюсков, которые не встречены в сублиторали Унской губы (см. табл. 3). Это, конечно, свидетельствует о ее слабой изученности, так как все выше отмеченные для литорали виды брюхоногих моллюсков, судя по их экологическим особенностям в Белом море, вполне могут встретиться и в верхней сублиторали Унской губы, особенно на глубине 2–5 м, которая осталась неизученной, так как недоступна для сборов с борта судна.

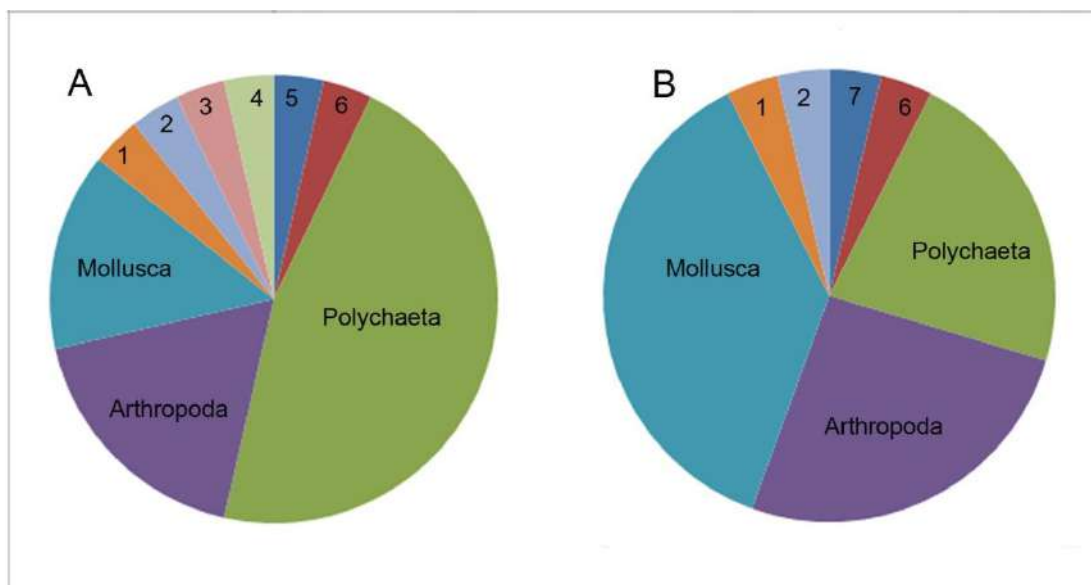


Рис. 2. Соотношение количества видов в таксонах уровня тип/класс на сублиторали (А) и литорали (В) Унской губы по собственным и литературным данным:
1 – Bryozoa; 2 – Echinodermata; 3 – Nemertea; 4 – Ascidacea; 5 – Oligochaeta; 6 – Porifera;
7 – Hydrozoa

Если состав фауны Унской губы известен недостаточно, то основные сообщества этого залива можно считать выявленными предыдущими исследователями [3–5], и существенные дополнения здесь вряд ли возможны. Так, для литорали с мелко- и среднезернистым заиленным песком характерны сообщества *Peringia ulvae* (ранее *Hydrobia ulvae*) с *Macoma balthica* или *Mya arenaria* в качестве субдоминант [3, 5]. Максимальная биомасса таких сообществ составляет 80–88 г/м² при максимальной плотности поселений до 4000 экз./м². Доминантный вид обеспечивает около половины биомассы в таком сообществе. Для литорали с твердыми грунтами на выходе из губы (где встречаются валунные россыпи) и сублиторали Центрального желоба характерны сообщества *Mytilus edulis* с *Balanus crenatus* и полихетами в качестве субдоминант [4]. Максимальная биомасса таких сообществ составляет 3016 г/м², при этом вклад доминантного вида может достигать 95 % [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фауна макрозообентоса сублиторали и литорали Унской губы остается слабоизученной, а на глубинах 2–8 м не изучена вовсе, так как требует работы с борта шлюпки. На глубинах 9 м и больше макрозообентос представлен 28 видами, что примерно равно количеству видов, отмеченных для литорали. Дополнительные исследования позволят дополнить список видов прежде всего за счет слабоизученных групп

животных, таких как мшанки, немертины, амфиподы и гидроиды. Полученные данные могут быть использованы при уточнении кадастра биоты Национального парка «Онежское Поморье» и биомониторинге состояния сообществ зообентоса в Унской губе.

Благодарность

Авторы благодарят капитана и команду НИС «Профессор Владимир Кузнецов» за помощь в проведении дночерпательных работ, С.Г. Денисенко, д-ра биол. наук, и редакторов за высказанные замечания к рукописи, а также Т.А. Михайлову, канд. биол. наук, за копии некоторых статей.

Работа выполнена в рамках госзадания Зоологического института РАН № 122031100275-4 и 125012800918-9 (для ЕЧ) и 125012800889-2 (для ДА, ВХ и НУ); частично выполнена в ЦКП «Приморский океанариум», ННЦМБ ДВО РАН (Владивосток) (АМ). Карта сборов выполнена с использованием интернет-ресурса www.google.com.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерюгин, К.М. Фауна Белого моря и условия ее существования / К.М. Дерюгин; Государственный гидрологический институт. – Ленинград: ГГИ, 1928. – 511 с. – (Исследования морей СССР; выпуск 7–8/1928).
2. Макроводоросли Унской губы Белого моря / Т.А. Михайлова, В.В. Халаман, П.А. Футоран [и др.] // Биология моря. – 2024. – Т. 50, № 4. – С. 311–319. – DOI 10.31857/S0134347524040069.
3. Махнович, М.Н. Прибрежные донные сообщества Унской губы Белого моря / М.Н. Махнович, Д.С. Мосеев // Естественные и технические науки. – М., 2022. – № 1. – С. 82–88. – DOI 10.25633/ETN.2024.01.06.
4. Наумов, А.Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт экологофаунистического анализа / А.Д. Наумов; Зоологический институт РАН. – Санкт-Петербург: ЗИН РАН, 2006. – 367 с. – (Исследования фауны морей; Т. 59 (67)/2006).
5. Особенности распределения бентоса в Двинском заливе / В.В. Луканин, А.Д. Наумов, В.В. Федяков // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. Ч. 1 – Санкт-Петербург: ЗИН РАН, 1995. – С. 232–236.
6. Фауна немертин Белого моря: 140 лет изучения / Е.М. Чабан, И.А. Чернева, А.А. Мартынова // Труды ЗИН. – 2023. – Т. 327, № 1. – С. 41–56. – DOI 10.31610/trudyzin/2023.327.1.41.

СОДЕРЖАНИЕ

Манушин И.Е. Исследования ПИНРО морского бентоса: прошлое и настоящее.....	5
Сабиров Р.М., Голиков А.В. Естествоиспытатели Казанского университета в изучении зообентоса морей России.....	14
Березина Н.А. Биомаркеры антропогенного воздействия на модельные виды донного сообщества Белого моря.....	25
Блинова Д.Ю., Манушин И.Е. Некоторые изменения в донной фауне гребешковых банок Баренцева и Белого морей.....	32
Долгов А.В. Питание морской камбалы в Баренцевом море.....	41
Долгов А.В. Потребление различных групп бентоса массовыми донными рыбами Баренцева моря.....	46
Журавлева Н.Е., Гагаев С.Ю., Захаров Д.В., Зими́на О.Л., Иванова Н.Ю., Смирнов А.В., Солдатенко Е.В., Стратаненко Е.А., Чабан Е.М. Структура сообществ макрозообентоса северных районов Карского моря и северо-западной части моря Лаптевых по материалам экспедиции Arctic Century в 2021 г.	56
Захаров Д.В., Манушин И.Е., Стрелкова Н.А., Зими́на О.Л., Рольская К.С., Блинова Д.Ю., Вязникова В.С., Кудряшова А.С., Йоргенсен Л.Л., Голиков А.В. Уточнение биогеографических характеристик донных беспозвоночных при помощи данных об их условиях обитания.....	68
Зелеев Р.М., Мясникова Е.И. Параметрическая система морских пауков и ее прогностические возможности.....	80
Зими́на О.Л., Самсонов Р.Б. Исследования зообентоса на дрейфующей станции «Северный полюс-41» (2022–2024 гг.): методические особенности и предварительные результаты.....	92
Кириллова С.А., Беспярых А.В., Евтюгин В.Г., Зелеев Р.М. Комплексное исследование эколого-биологических характеристик и микроструктуры раковины <i>Arctica islandica</i> (L. 1767) (Bivalvia: Arctiidae) губы Чупа Белого моря.....	101
Максимов А.А. Разномасштабные процессы в сообществах макрозообентоса: результаты долговременных исследований в Финском заливе Балтийского моря.....	111
Манушин И.Е., Рольская К.С., Вязникова В.С., Блинова Д.Ю., Стрелкова Н.А., Захаров Д.В., Журавлева Н.Е., Кудряшова А.С., Брыкина А.С., Ломака А.А. Макрозообентос Кольского залива в условиях антропогенного воздействия.....	117
Манушин И.Е., Кудряшова А.С., Стрелкова Н.А., Захаров Д.В., Рольская К.С., Вязникова В.С., Журавлева Н.Е., Блинова Д.Ю., Йоргенсен Л.Л., Моисеева Н.Е. Реакция мегазообентоса Баренцева моря на потепление.....	127
Манушин И.Е., Кудряшова А.С., Стрелкова Н.А., Захаров Д.В., Рольская К.С., Вязникова В.С., Журавлева Н.Е., Блинова Д.Ю., Йоргенсен Л.Л., Моисеева Н.Е. Многолетние изменения среднего веса особей некоторых видов мегабентоса Баренцева моря.....	135
Новиков М.А., Горбачева Е.А. Эколого-токсикологические исследования камчатского краба (<i>Paralithodes camtschaticus</i>) Баренцева моря.....	144

Павлова Л.В., Фролов А.А., Зимина О.Л., Евсеева О.Ю., Дикаева Д.Р., Румянцева З.Ю., Пантелеева Н.Н. Реакция высокоширотной донной фауны беспозвоночных на сокращение ледового покрова	153
Пантелеева Н.Н. Редкие и малоизвестные виды гидроидных (<i>Cnidaria</i> , <i>Hydrozoa</i>) южного побережья Баренцева моря.....	163
Рольская К.С., Вязникова В.С., Манушин И.Е., Захаров Д.В. Многолетние изменения поселений многощетинковых червей Кольского залива в 1934-1935 и 2021-2024 гг.	174
Росинская А.Е. Количественные исследования мейобентоса Белого моря в рамках проекта «Дерюгинская съемка».....	186
Русяев С.М., Ботнев Д.А., Дробязин Е.Н. Распределение и биомасса обыкновенного шримса <i>Neocrangon communis</i> в северной части Охотского моря.....	195
Русяев С.М., Зуев Ю.А., Джантюрк С.С. О видовом составе иглокожих верхней сублиторали острова Недоразумения Тауйской губы Охотского моря	201
Семенова А.Д., Голиков А.В., Захаров Д.В., Манушин И.Е., Сабиров Р.М. Осьминоги рода <i>Bathypolypus</i> (Cephalopoda, Octopoda) в Баренцевом и Карском морях: распространение, черты биологии и экологии.....	207
Стрелкова Н.А., Вязникова В.С., Потрехалова Д.А. Мидии у берегов острова Северный архипелага Новая Земля (по результатам экспедиции Министерства обороны РФ и Русского географического общества в 2024 г.).....	216
Студенова М.А., Мохова О.Н., Студенов И.И. Зообентос Яндовой губы Двинского залива Белого моря.....	227
Туманов Д.В., Голикова Е.А., Князева О.В. Морские тихоходки рода <i>Halobiotus</i> (Eutardigrada, Isohypsibioidea) – проблема видовой идентификации и новые данные о фауне России.....	237
Туманов Д.В., Хабибулина В.Р. Новый вид морских тихоходок рода <i>Styraconyx</i> (Arthrotardigrada, Styraconyxidae) из морского аквариума ЗИН РАН... ..	247
Углова Т.Ю., Переладов М.В. О биологии краба-декоратора <i>Oregonia gracilis</i> (Dana, 1985) в прибрежной зоне о-ва Парамушир.....	254
Чабан Е.М., Аристов Д.А., Биягов К.Л., Халаман В.В., Усов Н.В., Футоран П.А., Мартынова А.А. Дополнение к фауне зообентоса Унской губы Белого моря (Национальный парк «Онежское Поморье») по сборам 2024 г.	262

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗООБЕНТОСА МОРЕЙ РОССИИ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ

**Материалы
всероссийской научно-практической конференции
(г. Мурманск, 20–21 марта 2025 г.)**

Редакторы Е.Н. Кривошеева, Л.Н. Нестерова, Е.Е. Олонцева
Техническое редактирование Е.Н. Кривошеевой, Е.Е. Олонцевой
Обложка О.С. Морозовой

Подписано в печать 26.05.2025 г.

Уч.-изд. л. 19,0.

Заказ 8.

Усл. печ. л. 15,9.

Формат 60х84/16.

Тираж 25 экз.

183038, Мурманск, ул. Академика Книповича, 6, Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО».
«ПИНРО» им. Н.М. Книповича