


Российская академия наук
Кольский научный центр
Мурманский морской биологический институт



Перспективные направления исследований экосистем арктических и южных морей России

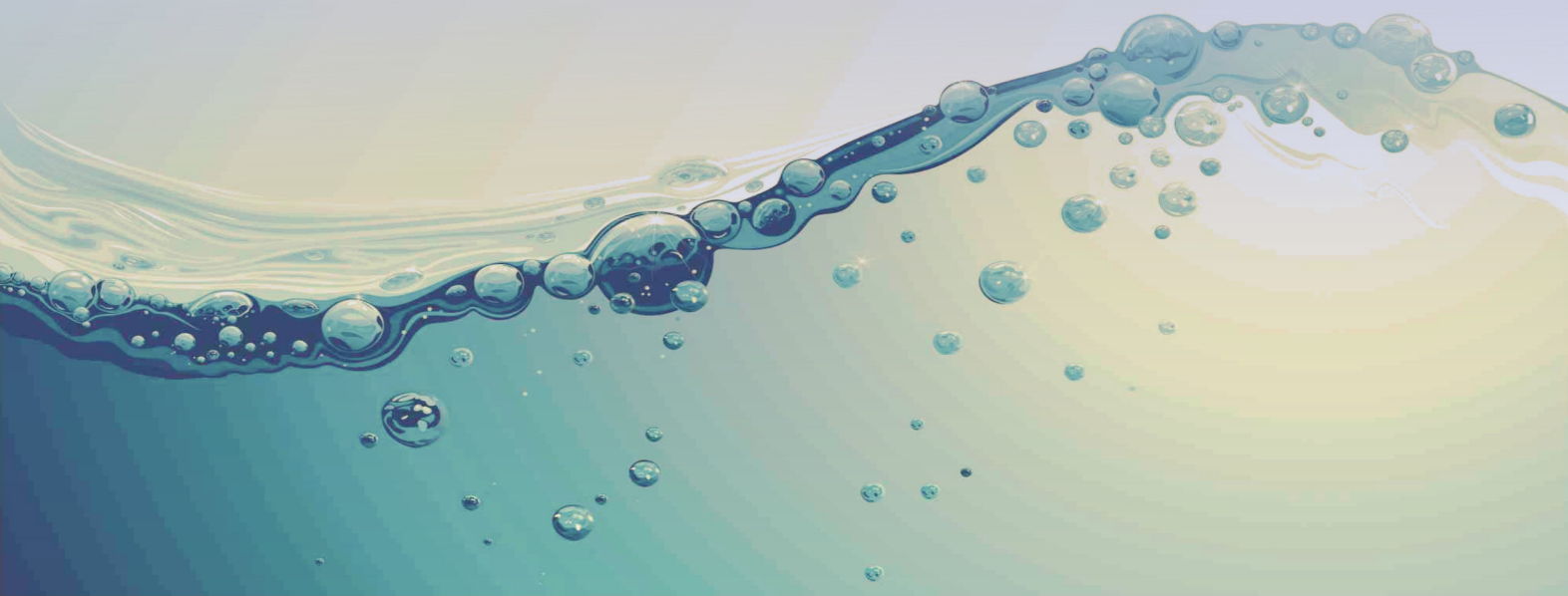
Материалы XXXIV конференции
молодых ученых ММБИ КНЦ РАН,
посвященной 50-летию со дня рождения
члена-корреспондента РАН
Д.Г. Матишова



Апатиты
2 0 1 6

**МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ВЛАДИМИРСКАЯ 17, МУРМАНСК, 183010, РОССИЯ
Тел: (8152) 25 39 63; т/ф: (8152) 25 39 94
E-mail: mmbi@mmbi.info; <http://www.mmbi.info>**

**MURMANSK MARINE BIOLOGICAL INSTITUTE
KOLA SCIENTIFIC CENTRE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
17, VLADIMIRSKAYA STR., MURMANSK, 183010, RUSSIA
Tel: (8152) 25 39 63; fax: (8152) 25 39 94
E-mail: mmbi@mmbi.info; <http://www.mmbi.info>**



Федеральное агентство научных организаций России

Российская академия наук
Кольский научный центр
Мурманский морской биологический институт



ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКОСИСТЕМ АРКТИЧЕСКИХ И ЮЖНЫХ МОРЕЙ РОССИИ

Материалы XXXIV конференции молодых ученых
ММБИ КНЦ РАН, посвященной 50-летию со дня рождения
члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова

Мурманск
2016

УДК 574.4 (26)

Перспективные направления исследований экосистем арктических и южных морей России: Матер. XXXIV конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной 50-летию со дня рождения члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова; [отв. ред. Д. В. Моисеев]; Мурман. мор. биол. ин-т Кол. науч. центра РАН. – Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2016. – 112 с.

Представлены материалы исследований молодых ученых ММБИ КНЦ РАН и их коллег из ПИНРО, МАГУ и МГТУ. Рассмотрены гидролого-гидрохимические процессы, осадко-накопление, особенности распространения техногенных радионуклидов, видовой состав и распределение бентосных организмов, физиологические особенности бурых водорослей, отдельные аспекты поведения морских млекопитающих.

Ответственный редактор
канд. геогр. наук Д. В. Моисеев

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, 2016

*Оригинал-макет данного издания является собственностью ММБИ КНЦ РАН,
и его репродуцирование (воспроизводство) любым способом без согласия Института запрещается*

Federal Agency of Scientific Organizations Russia

Russian Academy of Sciences
Kola Science Centre
Murmansk Marine Biological Institute

**PERSPECTIVE DIRECTIONS IN INVESTIGATIONS
OF ECOSYSTEMS OF RUSSIA'S ARCTIC AND SOUTHERN SEAS**

Proceedings of the XXXIV Conference for Young Scientists
dedicated to the 50th anniversary of the birth of RAS
correspondent-member Dmitry G. Matishov

Murmansk
2016

UDC 574.4 (26)

Perspective directions in investigations of ecosystems of russia's arctic and southern seas: Proceedings of the XXXIV Conference for Young Scientists dedicated to the 50th anniversary of the birth of RAS correspondent-member Dmitry G. Matishov; [Ed. by D. V. Moiseev]; Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS. – Murmansk: MMBI KSC RAS, 2016. – 112 p.

This publication presents results of studies conducted by young scientists at the Murmansk Marine Biological Institute (MMBI), Polar Research Institute of Marine Fishery and Oceanography (PINRO), Murmansk Arctic State University (MAGU), and Murmansk State Technical University (MGTU). Papers submitted are devoted to different aspects of studying marine ecosystems: hydrologic and hydrochemical processes, sedimentation, distribution of man-made radionuclides, species composition and distribution of benthic organisms, physiology of brown algae, and behavior of marine mammals.

Editor-in-chief
D. V. Moiseev, Ph. D. (Geography)

© Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, 2016

*The original model of this issue is a property of MMBI KSC RAS,
and its reproduction by any means without consent of the Institute is forbidden*

**ДМИТРИЙ ГЕННАДЬЕВИЧ МАТИШОВ – ОКЕАНОЛОГ
(К 50-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

С. Л. Дженюк, Д. В. Моисеев

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института традиционно посвящаются памяти выдающихся исследователей, в разное время работавших на Мурманской биологической станции и в ММБИ – Н. М. Книповича, К. М. Дерюгина, М. М. Камшилова и др. В этом ряду по праву занял место и наш современник – член-корреспондент РАН Дмитрий Геннадьевич Матишов (1966–2015).

В биографических справочниках Д. Г. Матишов представлен как специалист в области морских наук, один из основателей радиационной экологической океанологии. Это не исчерпывает диапазон его научных интересов, особенно в последние годы жизни, но правильно определяет его основной вклад в науку о Мировом океане. Он был океанологом-исследователем, разработавшим одно из важнейших научных направлений на основе сочетания теоретических подходов с уникальными натурными данными, полученными в экспедициях ММБИ.



Дмитрий Геннадьевич в экспедиции на Азовском море

Дмитрий Геннадьевич окончил географический факультет Ленинградского государственного университета по специальности “Океанология” в 1989 г., когда престиж науки начал снижаться, и в то же время для способной молодежи открывались новые возможности быстрого успеха: бизнес, компьютерные технологии, международные связи. Но он выбрал для себя профессию ученого и после университета приступил к работе в ММБИ, уже знакомом ему по летним студенческим практикам.

Разумеется, имело значение и то, что институтом руководил отец молодого специалиста – Геннадий Григорьевич Матишов, признанный в стране и мире лидер исследований в области морской экологии, в 1990 г. избранный членом-корреспондентом, а семью годами позже – академиком РАН. Это обязывало обоих с особой ответственностью относиться к работе начинающего ученого и его положению в коллективе. Сотрудники института видели, что Дмитрий Матишов, не получая поощрений, вместе со всеми выполняет производственные задания, набирает экспедиционный опыт, быстро овладевает современными методами и технологиями исследований.

Направление исследований Д. Г. Матишова определилось уже в первые годы работы. В конце XX века загрязнение океанов и морей и антропогенная деструкция морских экосистем были признаны ключевыми глобальными проблемами, от решения которых зависят обеспечение человечества продовольствием и устойчивость биосферы. Среди видов воздействия на морские экосистемы особое место занимает радиационное загрязнение, масштабы которого еще только предстояло оценить. В арктических морях было и остается особенно много потенциальных источников загрязнения: сбросы и утечки радионуклидов с морских судов и береговых баз, затопленные реакторы утилизированных подводных лодок, остаточные последствия ядерных испытаний на Новой Земле, дальние переносы загрязнений из черной зоны и от атомных предприятий западных стран. Эта ситуация вызывала повышенное беспокойство как в России, так и у наших зарубежных соседей. В конце 1980– начале 1990-х годов ММБИ самостоятельно и совместно с норвежскими, финскими и немецкими партнерами провел несколько морских экспедиций в наиболее уязвимые районы (Печорское и Карское моря, прибрежные воды арктических архипелагов). По результатам этих исследований наши зарубежные коллеги смогли убедиться, что радиационная обстановка в морях Западной Арктики не вызывает опасений. Повышенные уровни радиоактивности отмечаются только в непосредственной близости от источников загрязнения, тогда как в открытых морских акваториях радиационный фон в большей степени определяется дальними переносами от атомных предприятий Северной Европы и США, чем местными воздействиями.

Дмитрий Геннадьевич участвовал в восьми таких экспедициях, что позволило ему собрать уникальные данные, характеризующие радиационную обстановку на больших пространствах, выявить источники происхождения антропогенных радионуклидов, проанализировать пути их распространения. Для этого было необходимо обобщить современные знания о динамике вод арктических морей, закономерностях накопления радионуклидов в морской воде и донных осадках, радиоэкологической обстановке на прибрежных территориях. По результатам проведенного исследования Д. Г. Матишов в 1994 г. защитил кандидатскую диссертацию “Радионуклиды и биоокеанологические явления в экосистеме Баренцева моря”. В ней была представлена реальная картина распределения искусственных радионуклидов на шельфе, побережьях и островах Баренцева моря, показана специфика динамики вод Баренцева моря, в том числе его глубоководных желобов, способствующая самоочищению вод от радиоактивного загрязнения. В 1994 году Геннадием Григорьевичем и Дмитрием Геннадьевичем Матишовыми была разработана не имеющая аналогов карта “Уровни и основные направления переноса радионуклидов в Баренцевом и Карском морях”, которая надолго стала основным источником информации о радиационной обстановке на акваториях и побережьях Западной Арктики.

Опыт, полученный в международных экспедициях, пригодился и для установления контактов с зарубежными институтами и учеными. В начале 1990-х годов сложился творческий коллектив Г. Г. и Д. Г. Матишовых, профессора Люблинского университета (Польша) Ежи Щипы и руководителя Центра радиационной безопасности в Рованиеми (Финляндия) Кристины Риссанен. В этом составе они опубликовали коллективную монографию “Радионуклиды в экосистеме региона Баренцева и Карского морей” (Апатиты, 1994). Она до сих пор остается ценной сводкой данных о радиационной обстановке в нашем регионе в период, когда еще сохранялись следы чернобыльской катастрофы и только начинались мероприятия по утилизации ядерных отходов на побережье Кольского полуострова.

В эти годы Д. Г. Матишов прошел хорошую школу выступлений на научных мероприятиях разного уровня. В их числе, наряду с представительными международными конференциями и съездами, были и конференции молодых ученых ММБИ, на которых он неоднократно представлял лучшие доклады. Участие в международных мероприятиях способствовало расширению областей исследований и привлечению новых партнеров. Так, в 1995 году сотрудники Немецкого морского гидрографического института в Гамбурге обратились в ММБИ с предложением о сотрудничестве, ссылаясь на заинтересовавшее их выступление Д. Г. Матишова (который был назван “обещающим молодым исследователем”) на международной конференции по радиоактивности в Арктике. В результате, в дополнение к традиционному сотрудничеству ММБИ с Институтом полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (Бремерхафен, Германия), у нас появились новые возможности совместных полевых и лабораторных исследований.

Качественно новым этапом в научном росте Д. Г. Матишова стала разработка теории и методологии комплексного направления – радиационной экологической океанологии, основанной на синтезе современных методов и средств радиохимии, океанологии и морской биологии. Эта область знания включает исследования закономерностей накопления и миграции радионуклидов в среде и биоте, зависимости радиационного загрязнения от физико-химических характеристик среды, процессов и явлений, вызывающих самоочищение морских экосистем.

Под руководством Д. Г. Матишова в лаборатории радиоэкологии ММБИ был обобщен и проанализирован большой массив данных о распределении радионуклидов в арктических и субарктических морях, созданы база данных по радиационному загрязнению морских вод, донных осадков и биоты арктических морей на геоинформационной основе. В 2002 году на лазерном диске и в интернете был опубликован “Атлас химического и радиоактивного загрязнения Баренцева моря”. По результатам этих работ был получен ряд новых теоретических выводов. Установлена роль экосистем прибрежных зон как маргинальных фильтров и аккумуляторов антропогенных радионуклидов. Предложена оригинальная классификация прибрежных экосистем по степени загрязненности и условиям накопления радиоизотопов. В зависимости от условий водообмена, темпов эмиссии и типов источников загрязнения, площадей водосборных бассейнов выделены семь типов морских заливов, различающихся по составу радиоизотопов и их активности.

Анализ большого количества проб донных отложений и морских организмов позволил показать различия в накоплении радионуклидов в разных типах грунтов и выявить биологические объекты, обладающие повышенной способностью к накоплению радионуклидов. Располагая этими данными, можно выделять биотопы и экосистемы, наиболее уязвимые к радиационному загрязнению и учитывать это при размещении радиационно опасных объектов и утилизации атомных отходов.

Была доказана высокая ассимиляционная емкость морских экосистем по сравнению с пресноводными. Северные моря, в которых существует благоприятное сочетание высокой биопродуктивности, трансграничного водообмена, термохалинных и гидродинамических ус-

ловий, обладают повышенной способностью к самоочищению. Это подтверждается оценками многолетних изменений содержания радионуклидов в среде и экосистемах Баренцева и Карского морей. В более поздних работах Д. Г. Матишова и его коллег было показано, что в Азовском море, где нет собственных источников радиоактивного загрязнения, удельные показатели радиоактивности вод и донных осадков значительно выше, чем в арктических морях.

Результаты этого цикла исследований наиболее полно представлены в совместной монографии Д. Г. и Г. Г. Матишовых “Радиационная экологическая океанология” (Апатиты, 2001). Книга получила широкий отклик среди научной общественности в России и за рубежом, была удостоена премии РАН для молодых ученых. В 2004 году англоязычная версия этой книги под названием “Radioecology in Northern European Seas” вышла в издательстве “Springer”, одном из наиболее авторитетных в мировой науке.

Авторский вклад Д.Г. Матишова в эту совместную работу лег в основу его докторской диссертации “Антропогенные радионуклиды в морских экосистемах”, защищенной в 2001 г. Созданный научный задел оказался настолько фундаментальным, что всего двумя годами позже Д. Г. Матишов успешно прошел конкурсный отбор и был избран членом-корреспондентом РАН. Это не частый случай в научной жизни, когда высших ступеней достигает специалист, только что вышедший из возрастной категории молодых ученых. К сожалению, нам более привычны защиты докторских диссертаций в предпенсионном, а то и пенсионном возрасте. Далеко не всех защитившихся это стимулирует к постановке новых научных проблем и освоению новых методов исследований.

В августе–сентябре 2000 г. радиоэкологи ММБИ подключились к решению важнейшей государственной задачи – оценке последствий гибели атомной подводной лодки “Курск”. Реакторы АПЛ, испытавшие воздействие взрыва, находились на относительно небольшой глубине, недалеко от судоходных трасс (основного участка Севморпути) и в районе интенсивного рыбного промысла. Потенциальная опасность радиоактивных утечек в случае разгерметизации АПЛ была чрезвычайно велика. 19–24 сентября 2000 г. на НИС “Дальние Зеленцы” была проведена специализированная экспедиция под руководством Д. Г. Матишова. В ней были собраны пробы и выполнены анализы содержания радионуклидов в воде, донных осадках, рыбах, макрозообентосе. Благодаря тому, что за предшествующие годы была сформирована представительная база данных о фоновом загрязнении морской среды и биоты, удалось доказать, что катастрофа АПЛ не привела к появлению нового очага загрязнения. Океанологи ММБИ проанализировали данные о гидрологическом режиме района катастрофы и выполнили модельные расчеты распространения и диффузии пятна загрязнения в случае утечки радиоактивной воды. Результаты этой работы, опубликованной коллективом авторов в журнале “Океанология”, позволили правильно информировать научное сообщество и природоохранные организации о реальной экологической ситуации в Баренцевом море.

Исследования Д. Г. Матишова, базирующиеся на стыке радиохимии, океанологии и морской биологии, опубликованы в престижных зарубежных журналах: “Deep-Sea Research”, “Journal of Environmental Radioactivity”, “Environmental Science and Technology”, “Oceanologia” и др.

К началу 2000-х годов Д. Г. Матишов стал не только признанным ученым, но и организатором науки. В 2001 году он был назначен заместителем директора ММБИ и в том же году возглавил новое научное подразделение – Азовский филиал ММБИ в Ростове-на-Дону. Здесь многое делалось практически с нуля: формировался научный коллектив, был организован экспедиционный мониторинг Азовского моря и его прибрежной зоны, ставились новые задачи по моделированию океанологических процессов. Это позволило в короткий срок создать основу для создания в 2008 г. Института аридных зон Южного научного центра РАН. Дмитрий Геннадьевич стал его организатором и первым директором. Но и в эти годы он оставался действующим океанологом-исследователем. Под его руководством и при непосредственном

участии проведены круглогодичные экспедиции в Азовском море, получены новые данные о гидрофизических и гидрохимических процессах в зоне взаимодействия река–море, продолжен цикл радиоэкологических исследований.

Много внимания Д. Г. Матишов уделял работе с молодыми учеными. С 2004 года он возглавлял организованную при его активном участии кафедру океанологии геолого-географического факультета Южного федерального университета, ставшую базовой для ЮНЦ РАН. В 2005 году на базе научно-экспедиционного центра ЮНЦ “Кагальник” он организовал ежегодную летнюю океанологическую школу. В ней принимали участие студенты кафедр океанологии ЮФУ, СПбГУ и других вузов. На первом этапе они участвовали в экспедициях в Азовское море, где учились работать с современным научным оборудованием, отбирать пробы воды, донного осадка и биоты. На втором этапе под руководством опытных ученых занимались камеральной обработкой полученных данных, а также слушали курсы лекций по океанологии и морской биологии от ведущих российских и зарубежных ученых.

Дмитрий Геннадьевич Матишов был членом двух диссертационных советов и редколлегий журналов “Вестник Южного научного центра РАН” и “Вестник Ставропольского государственного университета”. Являлся председателем ГАК на кафедре океанологии Санкт-Петербургского государственного университета. Руководил аспирантами, подготовил нескольких кандидатов наук.

Жизнь Дмитрия Геннадьевича преждевременно оборвалась на подъеме творческой активности. У него было много новых идей и замыслов. Но и то, что он успел сделать, стало неотъемлемой частью наших знаний о природе арктических и южных морей России. Для молодого поколения исследователей Дмитрий Геннадьевич Матишов стал примером современного ученого-океанолога, одинаково уверенно чувствующего себя на палубе экспедиционного судна, у компьютера за рабочим столом или на трибуне международного конгресса. Мы надеемся, что конференция молодых ученых ММБИ будет достойной данью его памяти.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФАУНЫ МШАНОК (BRYOZOA) В УСЛОВИЯХ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА

О. Ю. Ахметчина

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение

История российских исследований донной фауны высокоширотного архипелага Земля Франца-Иосифа начинается с 1901 г., а с 1920-х годов советские ученые Института по изучению Севера (в настоящее время Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт) приступили к планомерным и масштабным исследованиям этого района. Комплексные экспедиции 1920–1930 гг. (л/п “Георгий Седов”), 1935–1936 гг. (л/п “Садко”) и 1955 г. (л/п “Федор Литке”) внесли значительный вклад в изучение донной фауны акватории Земли Франца-Иосифа. Сведения, полученные в экспедициях 1955 г. (л/п “Федор Литке”), 1956 г. (д/э “Обь”) и 1957–1958 гг. (д/э “Лена”) содержали важные данные о фауне крупных таксономических групп беспозвоночных архипелага Земля Франца-Иосифа, в том числе и мшанок (Клюге, 1964). В 1970 году учеными Зоологического института АН СССР был впервые применен водолазный количественный метод гидробиологических исследований, который позволил определить плотность распределения донной фауны в различных районах архипе-

лага (Голиков, Аверинцев, 1977; Андросова, 1977). В 1981–1982 годах экспедиция Зоологического института провела круглогодичный мониторинг донных биоценозов водолазным методом. Впервые для центральной и северо-восточной частей архипелага были получены данные о численности и биомассе большинства встреченных видов мшанок (Денисенко, Пантелеева, 1985). В 1990–1991 годах российско-норвежско-польской экспедицией с участием Мурманского морского биологического института (НИС “Дальние Зеленцы” и НТС “Помор”) были осуществлены комплексные исследования морских экосистем и выполнены количественные сборы зообентоса. Эти исследования были продолжены в 1992 г. (НИС “Дальние Зеленцы”) (Аверинцев, 1994; Донные ..., 1994; Anisimova, 2001; Денисенко, 2003), 1994 г. (НИС “Академик Голицын”) и 1995 г. (СРТ “Ясногорск”). Полученные данные позволяют проанализировать распределение видовых комплексов мшанок в зависимости от условий среды и установить, что на жизнедеятельность морских беспозвоночных большое влияние оказывают экстремальные условия среды (отрицательная температура воды, наличие на акватории ледового покрова в течение большей части года), а также разнообразие водных масс и различные типы донных осадков.

Цель данной работы – выяснить, каким образом условия среды влияют на формирование тех или иных комплексов мшанок (разной биогеографической природы).

Материал и методы

Материал для данной работы (51 проба) был собран на 17 станциях юго-западной части архипелага Земля Франца-Иосифа в ходе научно-исследовательских экспедиций ММБИ (НИС “Дальние Зеленцы”) в августе 2006–2008 гг. (рис. 1). Пробы зообентоса отбирали на глубине от 33 до 500 м с помощью дночерпателя ван-Вина (площадь захвата 0.1 м²) в трехкратной повторности с последующей промывкой грунта через сито с ячейей 0.75 мм и фиксацией 4 %-м формалином.

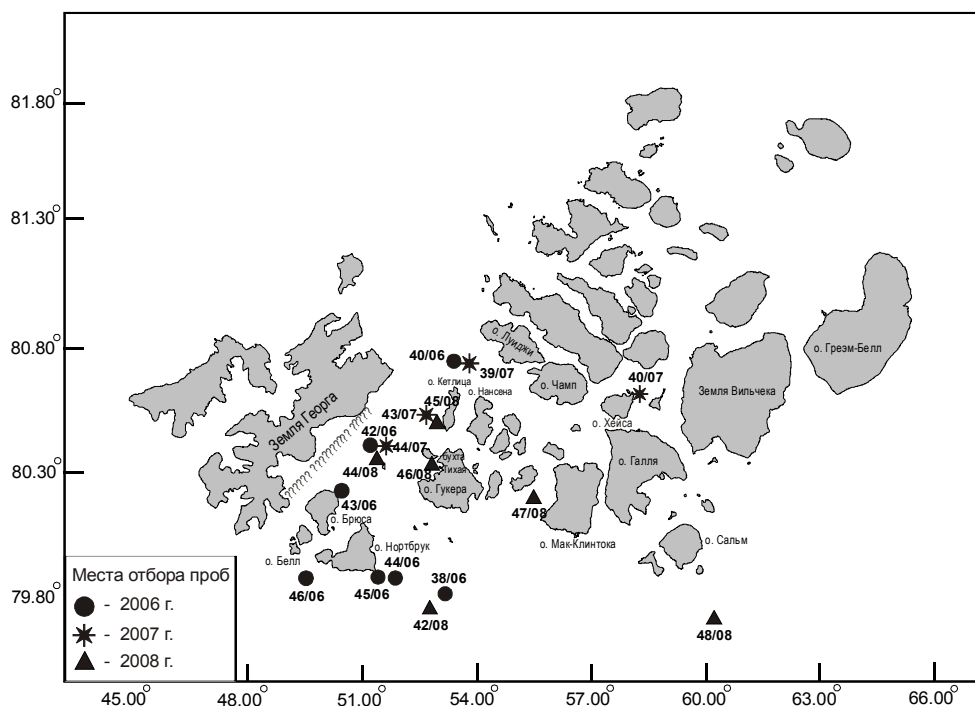


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб беспозвоночных в юго-западной части архипелага Земля Франца-Иосифа в экспедициях 2006–2008 гг.

Результаты

Прибрежье архипелага Земля Франца-Иосифа населяет очень богатая фауна мшанок. К настоящему времени зарегистрирован 231 вид Bryozoa (Клюге, 1964; Андросова, 1977; Денисенко, Пантелеева, 1985; Денисенко, 1990; Донные ..., 1994; Anisimova, 2001; Денисенко, 2003). В результате обработки новых материалов идентифицирован 151 вид мшанок, относящихся к 38 семействам, 75 родам, из которых 15 видов – новые для фауны этого региона. Из них 10 видов мшанок имеют корковую форму колонии, 5 видов – кустистую или приподнятую над субстратом. По биогеографическому составу 5 видов являются арктическими, 5 – бореальными, что свидетельствует о существовании равновесных условий среды (локальные периоды потепления и похолодания уравнивают друг друга) в районе архипелага Земля Франца-Иосифа как минимум с 1995 по 2008 гг.

Обсуждение

Вследствие распределения в приграничной области архипелага Земля Франца-Иосифа сложной структуры водных масс, формирующих разные биотопы, биогеографическая структура сообществ беспозвоночных на разных глубинах существенно различается. Анализ биогеографической структуры фауны Bryozoa показал высокую долю арктических видов (35 %). Несмотря на высокие широты здесь обитают бореальные виды мшанок (9 %), выживание которых осуществляется благодаря подъему с глубины теплых атлантических вод, оказывающих существенное влияние на формирование гидрологических условий в районе архипелага Земля Франца-Иосифа (Денисов и др., 1994).

Установлено, что роль различных биогеографических групп, участвующих в формировании структуры сообществ мшанок изменяется с глубиной. Число арктических (48) и бореальных (10) видов максимально на малых глубинах (от 33 до 100 м), а затем резко уменьшается с увеличением глубины. В глубоководных участках архипелага (от 400 до 500 м) бореальные виды исчезают, а число арктических сокращается до 12 (рис. 2). Соотношение арктических и бореальных видов Bryozoa и распределение их по глубинам в районе Земли Франца-Иосифа обусловлено распределением водных масс. Заметное уменьшение арктических видов во впадинах архипелага связано с тем, что слой воды у дна занимают менее холодные (температура $-0.02 \dots -0.2$ °C), чем вышележащие, трансформированные атлантические воды, которые проникают в проливы с Западно-Шпицбергенским течением (Денисов и др., 1994).

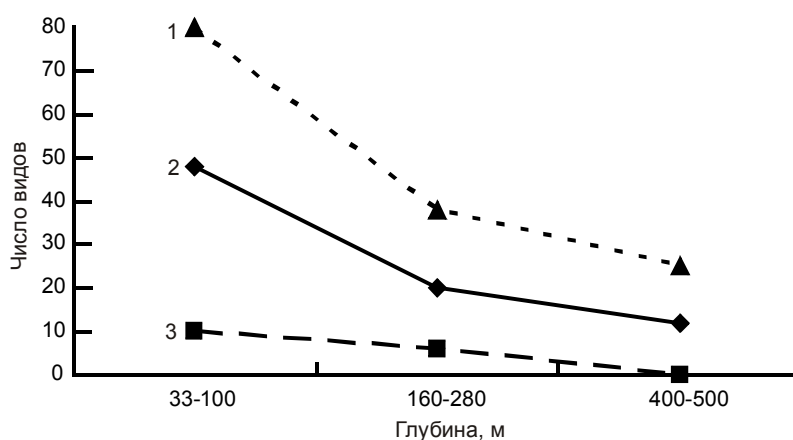


Рис. 2. Распределение мшанок разных биогеографических групп по глубине:
1 – бореально-арктические, 2 – арктические, 3 – бореальные виды

Количественное развитие и видовое богатство мшанок зависят, прежде всего, от гидродинамической активности, связанной с рельефом дна и определяющей структуру донных осадков. Большой частью мшанки архипелага Земля Франца-Иосифа предпочитают глубины до 100 м, где в донных осадках велико содержание твердых субстратов, необходимых для прикрепления личинок и развития колоний этих сидячих беспозвоночных (рис. 3).

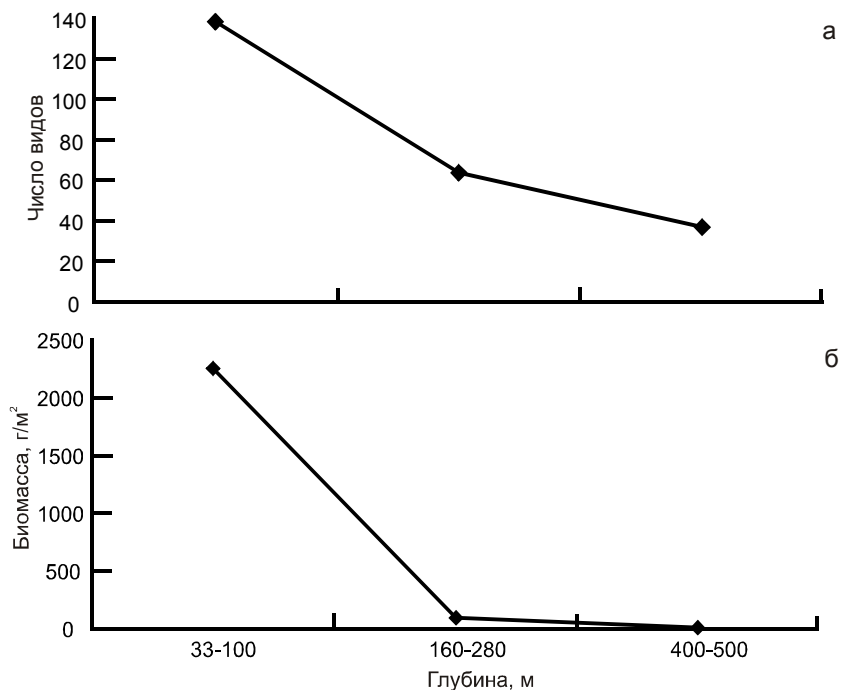


Рис. 3. Распределение числа видов (а) и биомассы (б) мшанок по глубине

Как показали исследования, внутри в прибрежных водах архипелага мшанки, наряду с двусторчатыми моллюсками и усоногими раками, являются основными биомассообразующими беспозвоночными (Anisimova, 2001). Видовое богатство варьирует от 3 до 76 видов на станцию. Наиболее разнообразные и обильные сообщества *Vuozoa* (76 видов, биомасса до 742 г/м²) развиваются на глубине 80–100 м к западу от о. Кетлица (ст. 43/07). Здесь распространены смешанные донные осадки с преобладанием крупнообломочного материала – камней и ракуши. В районах Земли Франца-Иосифа, где участки дна обеднены твердыми субстратами, например, в юго-восточной части открытого моря (ст. 48/08), северной части пролива Британский канал (ст. 39/07), а также в глубоководных впадинах, где возникает дефицит твердых субстратов (заиленность грунтов), например, на юге архипелага в открытом к морю районе (ст. 38/06), в центральной части Британского канала (ст. 42/06), к западу от о. Мак-Клинтока (ст. 47/08), отмечено минимальное видовое разнообразие мшанок (3–6 видов) с минимальным значением биомассы (0.11–3.61 г/м²).

Анализ распределения мшанок с различной формой зоария показывает, что на малых глубинах (33–100 м) виды с корковой формой колонии превышают по количеству, а виды с разветвленной и приподнятой над субстратом колонией – по биомассе. Обилие представителей корковых видов мшанок, вероятно, развивается вследствие повышенной гидродинамики. На средних глубинах (160–280 м) видов с корковой и кустистой формами колонии отмечено примерно равное количество, но биомасса кустистых мшанок значительно превышает биомассу корковых. Это может объясняться более стабильным гидродинамическим режимом. В глубоководных районах (400–500 м) кустистые виды немного превышают корковые по количеству, однако, биомасса тех и других форм различается несущественно (таблицы 1, 2). Заселенность впадин во многом зависит от структуры донных осадков. Многие участки дна обеднены твердыми субстратами, и как следствие, прикрепленными беспозвоночными.

Т а б л и ц а 1

Количественное распределение видов мшанок с различной формой колонии по глубине

Форма колонии	Глубина, м		
	33–100	160–280	400–500
Корковая, обрастающая субстрат	83 (60)	33 (52)	16 (43)
Разветвленная, кустистая, приподнятая над субстратом	55 (40)	31 (48)	21 (57)

ПРИМЕЧАНИЕ. Цифры без скобок – количество видов мшанок; цифры в скобках – доля, %.

Т а б л и ц а 2

Распределение биомассы мшанок с различной формой колонии по глубине

Форма колонии	Глубина, м		
	33–100	160–280	400–500
Корковая, обрастающая субстрат	300.0 (13)	5.8 (6)	7.4 (53)
Разветвленная, кустистая, приподнятая над субстратом	1958.4 (87)	91.2 (94)	6.5 (47)

ПРИМЕЧАНИЕ. Цифры без скобок – биомасса мшанок, г/м²; цифры в скобках – доля, %.

Мягкотелые виды родов *Alcyonidium* и *Bowerbankia* встречаются на всех глубинах, однако обильные поселения зарегистрированы преимущественно на глубине до 100 м. *Alcyonidium gelatinosum* (Linnaeus, 1761) образует крупные скопления у восточного побережья о. Хейса (ст. 40/07) на глубине 40 м, где является одним из руководящих видов. Здесь слой воды занимают холодные (–0.81 °С) и распресненные (33.73 ‰) воды. Необыкновенные представители отряда Stenostomata, в отличие от мшанок, имеющих известковые скелеты, лучше приспособлены к резким изменениям условий среды (например, солёности).

В центральной части пролива Британский канал (ст. 42/06) и в открытом море южной части архипелага (станции 38/06, 42/08), где глубина превышает 400 м, зафиксированы разреженные поселения мягкотелых мшанок. Это объясняется преимущественно преобладанием в донных осадках мягких илисто-глинистых отложений.

Наиболее обильные поселения мшанок (биомасса до 485 г/м²), обладающих древовидной, сильно обызвествленной формой колонии, отмечены в бухте Тихая о. Гукера (ст. 46/08). Здесь такие виды как *Escharopsis lobata* (Lamouroux, 1821), *Myriapora subgracilis* (d'Orbigny, 1853), виды рода *Celleporina*, являются руководящими в сообществе мшанок. Вероятно, вследствие того, что бухта Тихая удалена от открытого моря и защищена от сильного прибоя, личинки мшанок успешно оседают в этом районе. Кроме того, смешанные донные осадки с преобладанием грубообломочного материала способствуют благополучному развитию колоний.

Проведенные исследования позволили существенно пополнить имеющуюся информацию о фауне мшанок архипелага Земля Франца-Иосифа.

Литература

Аверинцев В. Г. Сообщества мелководий Земли Франца-Иосифа // Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (архипелаг и шельф). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. С. 134–161.

Андросова Е. И. Мшанки (Bryozoa) в биоценозах Северного Ледовитого океана (в районе Земли Франца-Иосифа) // Биоценозы шельфа Земли Франца-Иосифа и фауна сопредельных акваторий. Л.: Наука, 1977. Т. 14(22). С. 194–204.

Голиков А. Н., Аверинцев В. Г. Биоценозы верхних отделов шельфа архипелага Земля Франца-Иосифа и некоторые закономерности их распределения // Биоценозы шельфа Земли Франца-Иосифа и фауна сопредельных акваторий. Л., 1977. С. 5–54.

Денисенко Н. В. Распределение и экология мшанок Баренцева моря. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1990. 165 с.

Денисенко Н. В. Новые сведения о фауне и экологии мшанок архипелага Земля Франца-Иосифа // Мшанки Земного шара. Новокузнецк: Изд. КузПГА, 2003. Т. 2. С. 48–61.

Денисенко Н. В., Пантелеева Н. Н. Новые данные по мшанкам архипелага Земли Франца-Иосифа // Изучение и рациональное использование биологических ресурсов северных морей и Северной Атлантики: Тез. докл. конф. молодых ученых и специалистов. Мурманск, 1985. С. 20–21.

Денисов В. В., Матишов Д. Г., Соколов В. Т. Гидрометеорологические условия архипелага // Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (архипелаг и шельф). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. С. 25–38.

Донные биоценозы Земли Франца-Иосифа / Е. Н. Луппова, Н. А. Анисимова, Н. В. Денисенко, Е. А. Фролова // Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (архипелаг и шельф). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. С. 108–134.

Клюге Г. А. Мшанки (Bryozoa) района Земли Франца-Иосифа // Тр. Аркт. и Антаркт. науч.-исслед. ин-та. 1964. Т. 259. С. 181–190.

Anisimova N. Russian macrobenthic investigations in the Franz Josef Land archipelago area. Report APN-434. 1913/5. Tromsø: Akvaplan-niva, 2001. 43 p.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕДИЦИИ В БАРЕНЦЕВО И КАРСКОЕ МОРЯ ПО ТРАССЕ СЕВМОРПУТИ ЗИМОЙ 2015 ГОДА

Ю. А. Баданин, А. А. Дерябин

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

С 1996 года Мурманский морской биологический институт проводит попутные наблюдения по трассе Северного морского пути с борта атомных ледоколов и транспортных дизель-электроходов ледового класса (Краснов и др., 2007).

Цель экспедиций – проведение экологических, гидрологических и радиоэкологических исследований акваторий северных морей по трассе Севморпути. В экспедициях решались следующие задачи: определение температурных характеристик водных масс и состояние ледового покрова, оценка видового состава и наблюдения за распределением, численностью морских млекопитающих и птиц, сбор материалов для мониторинга радиоэкологического состояния морской среды.

Работы выполнены по маршруту следования д/э “Талнах” в Баренцевом и Карском морях с 26 февраля по 17 марта 2015 г. Объем работ включал метеонаблюдения (температура воздуха, направление и скорость ветра, состояние поверхности моря, атмосферное давление, видимость), гидрологические наблюдения (температура воды, глубина), регистрацию ледовой обстановки (тип ледового покрова, степень сплоченности льда, торосистость), териологические и орнитологические наблюдения (Комплексные ..., 2014).

Ледовая обстановка. В Карском море во время экспедиции преобладали белые средние (в отдельных местах белые толстые) льды с торошением до 5 баллов и сплоченностью 5–10 баллов. Высокая раздробленность льдов и подверженность ветровому дрейфу обусловили в период экспедиции в Карском море открытие двух заприпайных полыней: Южной Новоземельской и Обь-Енисейской, по которым прошла часть маршрута. Баренцево море по маршруту следования судна было свободно от льда.

Гидрологические исследования. Измерение гидрологических показателей проводилось с использованием батитермографов ХВТ на акватории Карского моря в соответствии с требованиями предъявляемыми фирмой производителем океанологического комплекса ХВТ/ХСТD (Digital ..., 2009). В практике судовых высокоширотных экспедиций широко используются отрывные одноразовые зонды. Наблюдения с помощью данных приборов можно производить в отсутствии специально оборудованного рабочего места без остановки судна, т. е. с минимальными потерями судового времени (Кузьмин, Ипатов, 2011). Во время экспедиции были измерены показатели температуры на 10 станциях (рис. 1).

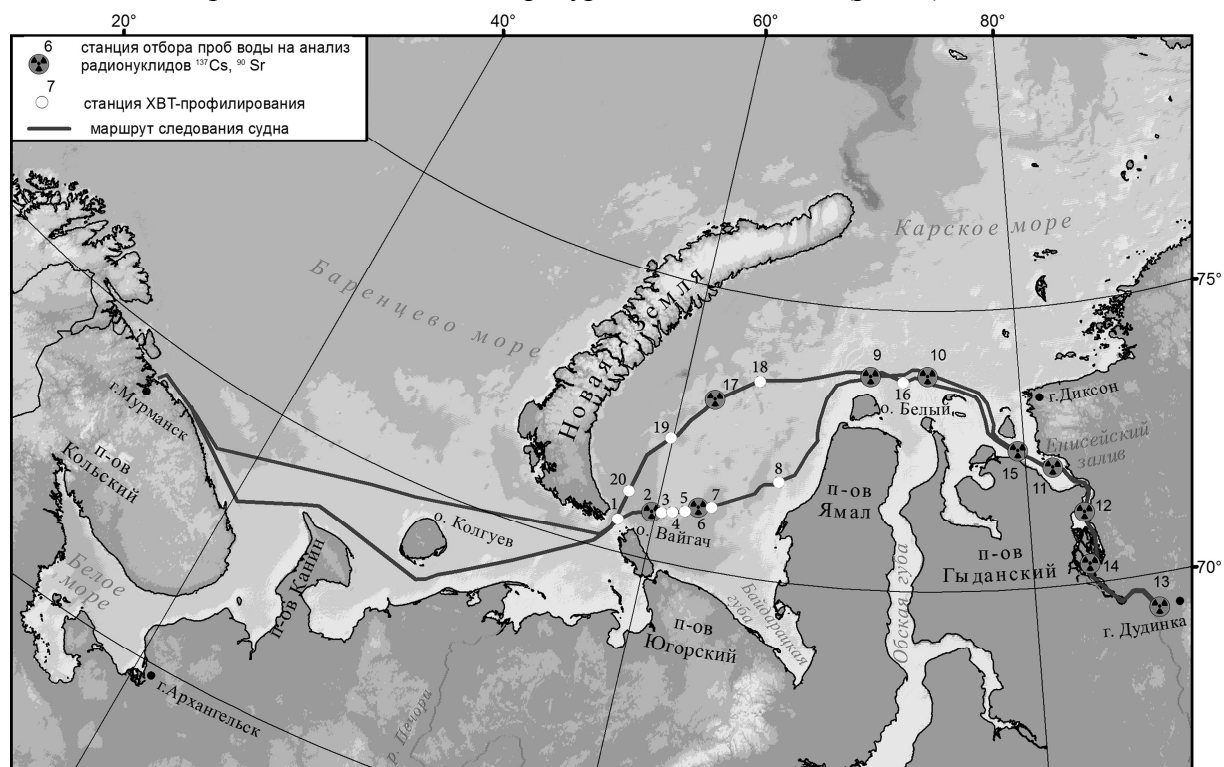


Рис. 1. Карта-схема гидрологических станций и станций отбора проб морской воды в Карском море (26 февраля–17 марта 2015 г.)

Исследования загрязнения морских экосистем. В рамках данного направления исследований проводился отбор проб морской воды с поверхностного слоя (рис. 1). Проведено концентрирование ^{137}Cs методом сорбции радионуклида из 100 л воды на органический сорбент “анфеж”. Выполнено химическое “осаждение” изотопа ^{90}Sr растворенного в воде (20 л).

Орнитологические наблюдения. Во время движения судна использован трансектный метод учета птиц (Gould, Forsell, 1989), адаптированный к условиям арктических морей (Атлас ..., 2002).

Общая протяженность восьми выполненных трансект составила 780 км. В Баренцевом море наблюдения выполнены на маршруте протяженностью 150 км, в Карском – 630 км. По открытой воде протяженность маршрута наблюдений составила 160 км, в ледовых условиях – 620 км (рис. 2). В Карском море птицы не отмечены. В безледных районах Баренцева моря встречены одиночные особи бургомистра *Larus hyperboreus* и моевки *Rissa tridactyla*.

Териологические наблюдения. Наблюдения проводили с пеленгаторной палубы или ходовой рубки с высоты 20–25 м в светлое время суток. Для уточнения видовой принадлежности использовался бинокль с ув. 16. В журнале наблюдений фиксировали координаты встреч, размер групп, возраст, следы пребывания животных на льду, а также сопутствующие ледовые и погодные условия.

В период экспедиции были отмечены следующие виды морских млекопитающих: белый медведь *Ursus maritimus*, морской заяц *Erignathus barbatus*, атлантический морж *Odobenus rosmarus*, гренландский тюлень *Pagophilus groenlandica* (рис. 3).

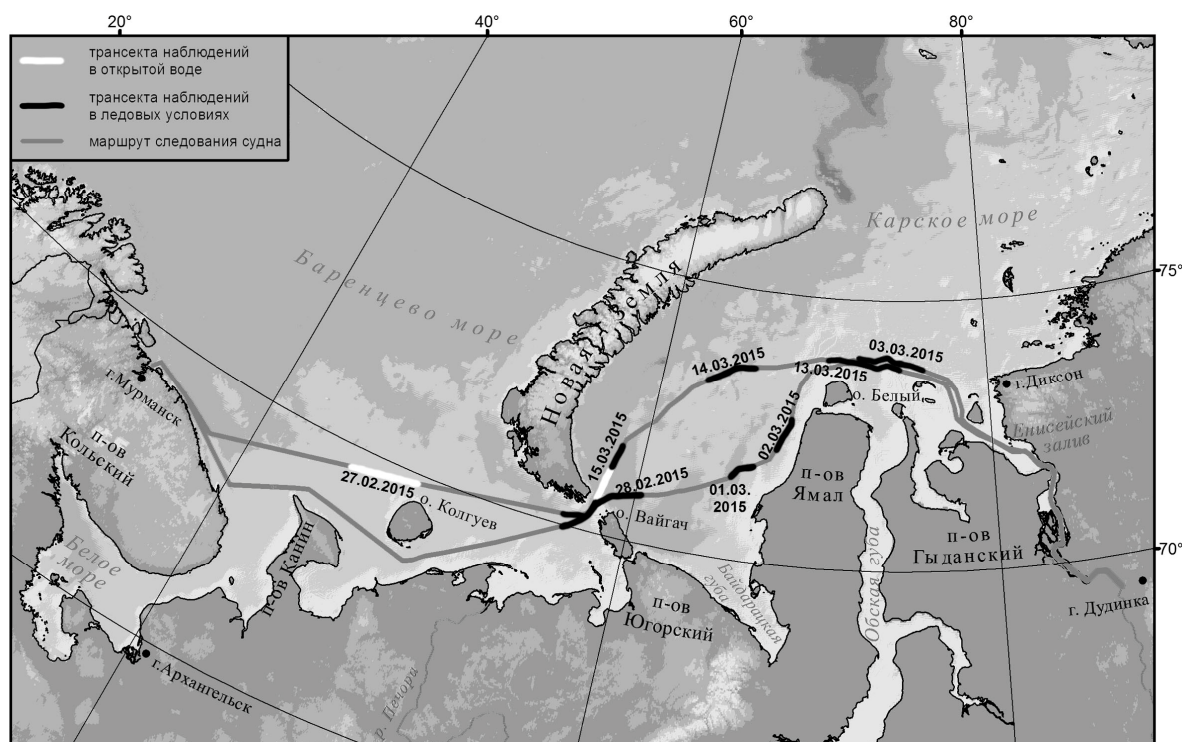


Рис. 2. Карта-схема трансект наблюдений морских млекопитающих и птиц в Баренцевом и Карском морях в феврале–марте 2015 г.

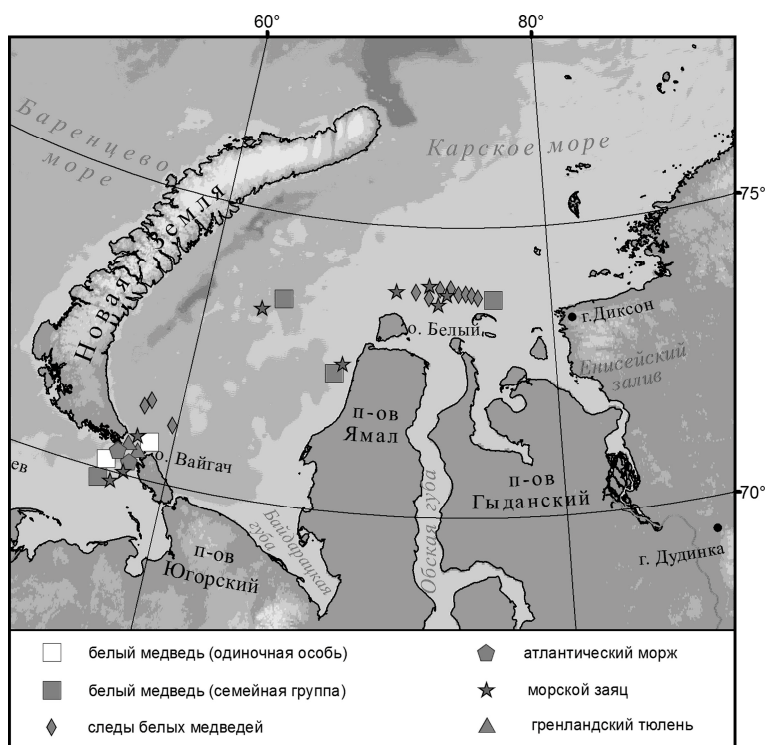


Рис. 3. Регистрация морских млекопитающих в Баренцевом и Карском морях в феврале–марте 2015 г.

В период экспедиции было отмечено 11 особей белых медведей в 6 встречах (2 одиночные взрослые особи и 4 семейные группы) (рис. 3). В Карском и Баренцевом морях в пригодных для обитания медведей льдах пройдено 450 км маршрута (из 620 отработанных километров), остальная часть была пройдена по открытой воде или в сильно разреженных льдах. Относительная встречаемость составила 2.44 особи на 100 км маршрута, или 1.33 встречи на 100 км маршрута. Также учтено 11 следов медведей (следы семей приняты за одно пересечение маршрута).

Доли одиночных особей и семейных групп по результатам учета составили 33 и 67 % соответственно. В среднем за период наблюдений 1997–2013 гг. по трассе Севморпути одиночные медведи составили 65 %, самки с медвежатами всех возрастов – 35 %. Хотя в последние годы (2011–2013) отмечается тенденция к преобладанию семейных групп (Матишов и др., 2013). Средний размер выводка составил 1.25 медвежонка 1–2 лет на самку.

За время экспедиции отмечено 11 особей морского зайца (рис. 3): 4 в разводьях льда, 7 на кромке льда.

Всего учтено 2 атлантических моржа. Оба были встречены в Печорском море в районе пролива Карские Ворота на льдине (рис. 3) и по мере прохождения судна рядом не проявляли беспокойства.

Гренландский тюлень был зарегистрирован в количестве 18 особей. Все они находились в разводьях льда пролива Карские Ворота (рис. 3).

Литература

Атлас птиц Печорского моря: распределение, численность, динамика, проблемы охраны / Ю. В. Краснов, Ю. И. Горяев, А. А. Шавыкин и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 164 с.

Комплексные исследования Арктики по трассе Северного морского пути на атомных ледоколах (20 лет опыта ММБИ) / Г. Г. Матишов, Ю. А. Баданин, А. А. Дерябин и др.: Препр. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2014. 96 с.

Краснов Ю. В., Горяев Ю. И., Ежов А. В. Орнитологические исследования: ключевые районы и места концентрации морских птиц на акваториях Баренцева и Карского морей (по трассе Севморпути) // Биология и океанография Северного морского пути: Баренцево и Карское моря. М.: Наука, 2007. С. 124–129.

Кузьмин С. Б., Ипатов А. Ю. Современные приборы и технологии наблюдения за гидрологическими условиями в Северном Ледовитом океане // Океанография и морской лед. М.: Paulsen, 2010. С. 7–22.

Матишов Г. Г., Горяев Ю. И., Ишулов Д. Г. Белый медведь Карского моря. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2013. 109 с.

Digital converter TS-MK150N User manual. TSURUMI-SEIKI CO. LTD, 2009. 36 p.

Gould P. J., Forsell D. J. Techniques for shipboard surveys of marine birds // Fish and Wildlife Technical Rep. Washington, 1989. Vol. 25. 22 p.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ НА ПРИМЕРЕ РАЗРЕЗА “КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН”

Д. А. Валуйская, К. А. Бобров

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Вековой разрез VI вдоль 33°30' в. д., называемый “Кольский меридиан”, расположен в центральной части моря и является уникальным по длительности океанографических наблюдений. Особая значимость разреза в системе океанографических наблюдений, в том числе радиоэкологического мониторинга, определяется тем, что разрез “Кольский меридиан” пере-

секает основные ветви теплового Северо-Атлантического течения, с водами которых в бассейн Баренцева моря поступает основной поток радиоактивных веществ, а также расположен в области опресненных вод Мурманского прибрежного течения. Актуальность и необходимость мониторинга радиоактивного загрязнения также обусловлена наличием потенциальных региональных и локальных источников радионуклидов: баз атомного флота, новоземельских ядерных полигонов, мест захоронения радиоактивных отходов на шельфе. Мурманский морской биологический институт приступил к регулярному мониторингу искусственных радионуклидов в среде еще в 1995 г. Радионуклиды ..., 1994; Многолетняя ..., 2014), и к настоящему времени накоплен массив данных (Матишов, Матишов, 2001; Кольский ..., 2009), позволяющий проводить анализ пространственных и временных закономерностей радиоактивного загрязнения воды и донных отложений по разрезу “Кольский меридиан” (рис. 1, таблица).

Цель данной работы – оценить радиоэкологическое состояние основных океанографических зон Баренцева моря, которые пересекает разрез “Кольский меридиан”, включая районы, связанные с потенциальными источниками радионуклидов, и выявить основные особенности распространения техногенных радионуклидов на примере разреза.

Радиоэкологическую обстановку исследуемых районов оценивали по содержанию искусственных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr с большими периодами полураспада (30.2 и 29 лет) и обладающими способностью включаться в биологический круговорот веществ и накапливаться в тканях живых организмах за счет замещения калия и кальция соответственно.

Измерения активности радионуклидов выполнены на γ -спектрометрической установке (“Canberra”, США) с детектором из чистого германия, анализ осуществлен с помощью базового программного обеспечения анализа спектров Genie-2000. Для определения удельной активности ^{90}Sr проводили радиохимическую подготовку проб оксалатным методом с последующим измерением счетного образца на α - β -сцинтилляционном счетчике (“Beckman Instruments Inc.”, США) по излучению дочернего ^{90}Y .

Анализ результатов γ -спектрометрического анализа позволяет выявить изменения в объемной активности ^{137}Cs в водных массах вдоль разреза “Кольский меридиан”. Так, содержание ^{137}Cs в баренцевоморских и арктических водах варьирует в пределах 1–2 Бк/м³, однако в водах атлантического происхождения объемная активность ^{137}Cs в воде достигает 3 Бк/м³ (рис. 2).

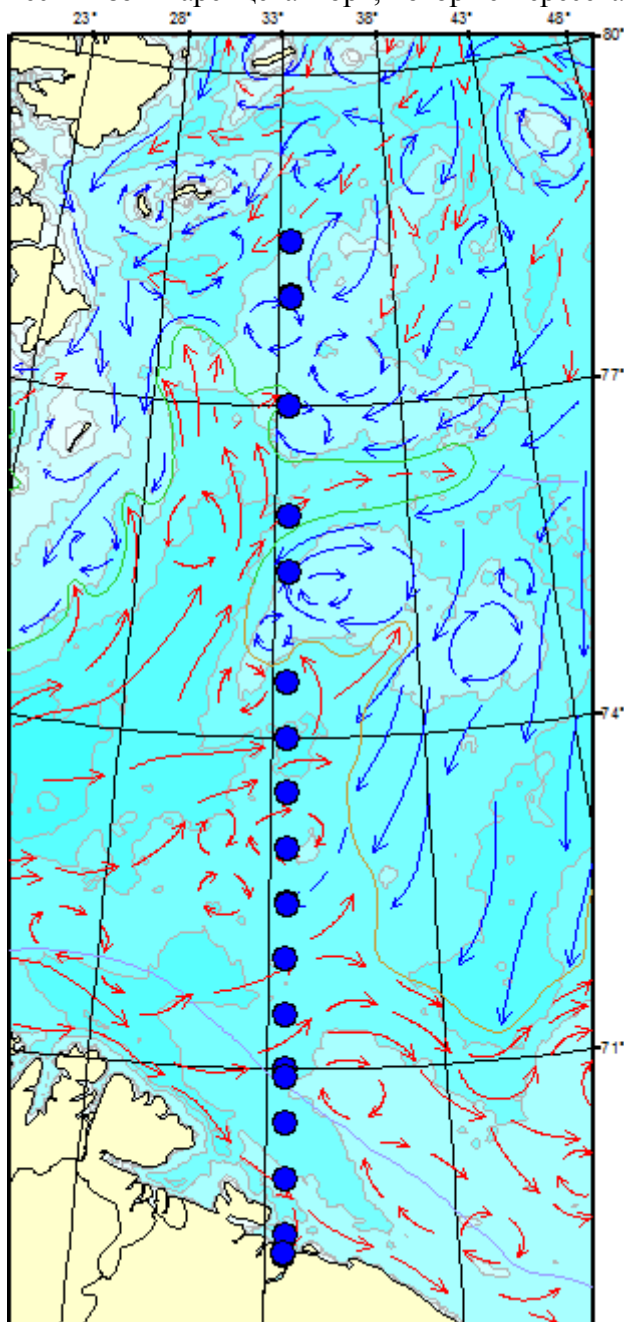


Рис. 1. Карта-схема отбора проб донных отложений и воды в 1995–2015 гг.

Количество проб, отобранных в районе разреза “Кольский меридиан”

Период отбора проб	Вода	Донные отложения
1995–1997 гг.	–	19
2003–2009 гг.	22	33
2010–2015 гг.	83	70

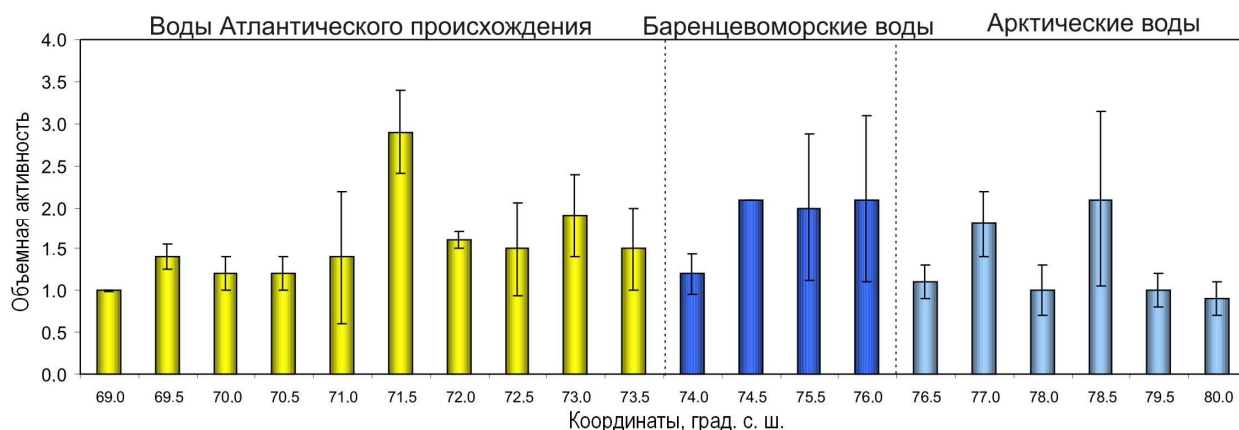
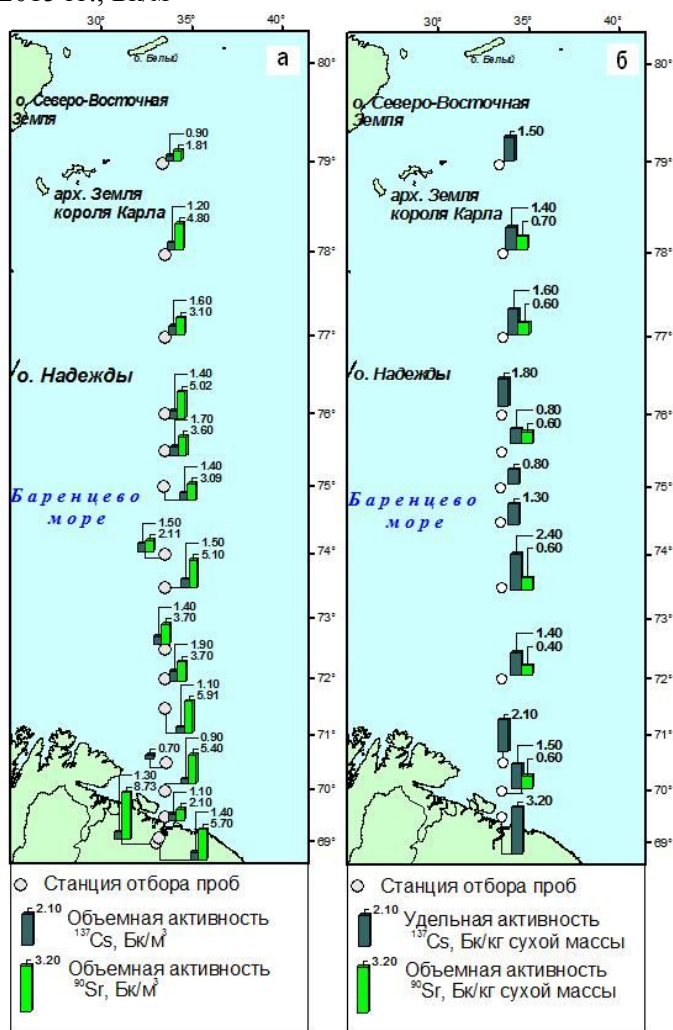


Рис. 2. Распределение ^{137}Cs в воде Баренцева моря по разрезу “Кольский меридиан” в 2006–2015 гг., Бк/м³



Удельная активность ^{137}Cs в донных отложениях района изменялась в диапазоне 0.3–19.7 Бк/кг, максимум наблюдался вблизи устья Кольского залива. Исследование удельной активности ^{90}Sr в донных отложениях показало существенные различия на участках разреза (0.04–3.81 Бк/кг). Наибольшее содержание его наблюдается в северной части разреза – в вершине Западного желоба (рис. 3).

Территориальные различия в расположении максимумов цезия и стронция обусловлены в основном различием источников их поступления и условий накопления радионуклидов. Поступающий из Кольского залива с взвесью цезий осаждается большей частью на геохимическом барьере прибрежного гидрофронта, а накопление стронция происходит, по-видимому, за счет приноса загрязнений Нордкапским течением, сорбции и осаднения в зоне Полярного фронта на склонах возвышенности Персея.

Рис. 3. Интегральная карта усредненных значений объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в морской воде (а) и удельной активности в донных отложениях (б)

Изучение радиоэкологической обстановки в Баренцевом море по разрезу “Кольский меридиан” позволяет предположить, что поступление относительно небольшого количества радионуклидов в последнее десятилетие определило низкую общую загрязненность вод и донных отложений в Баренцевом море. Следует учесть, что перераспределение поступающих радионуклидов в Баренцевом море осуществляется течениями неравномерно.

Литература

Искусственные радионуклиды в экосистеме / Д. Г. Матишов, Н. Е. Касаткина, И. С. Усягина и др. // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 318–332.

Матишов Д. Г. Матишов Г. Г. Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 417 с.

Многолетняя динамика радиоактивного загрязнения Баренцево-Карского региона (1960–2013 гг.) / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, И. С. Усягина и др. // Докл. РАН. 2014. Т. 458. № 4. С. 1–7.

Радионуклиды в экосистеме региона Баренцева и Карского морей / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, Е. Щипа и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 237 с.

КОПЕПОДЫ, ЗАСЕЛЯЮЩИЕ КАМЧАТСКОГО КРАБА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

А. Г. Дворецкий, В. Г. Дворецкий

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) является ценным промысловым видом ракообразных, вселенным в Баренцево море в 1960-х гг. для пополнения ресурсного потенциала акватории (Dvoretsky, Dvoretsky, 2015a). Многие аспекты биологии данного вида хорошо изучены (Дворецкий, Дворецкий, 2010a,б; Dvoretsky, Dvoretsky, 2009a, 2013a, 2014, 2015b). Статус вселенца определяет интерес и к таким относительно далеким от прикладной рыбохозяйственной науки отраслям как формирование симбиотических связей с местными видами и оценка роли краба в прибрежных сообществах. На камчатском крабе обитают многочисленные симбионты и обрастатели, среди которых наиболее часто в прибрежье Баренцева моря встречаются амфиподы, полихеты, усонogie раки, гидроиды (Дворецкий, Кузьмин, 2008; Dvoretsky, Dvoretsky, 2009b,c,d, 2010a, 2011). Сведения по индексам заселенности и видовому составу массовых симбионтов были получены в ходе работ, проводимых в конце лета. Смещение работ на более ранние сроки позволило выявить некоторые изменения в структуре ассоциированных сообществ, в частности на крабах были обнаружены значительные количества веслоногих ракообразных. Ранее копеподы были отмечены на камчатских крабах норвежскими учеными, однако точной видовой идентификации не приведено (Dvoretsky, Dvoretsky, 2013b).

Целью настоящей работы было описание видового состава копепод, обитающих на камчатских крабах, определение индексов заселенности обнаруженных видов и особенностей их локализации на хозяевах.

Материал и методы

Полевые работы проводились в июле 2009–2011 гг. в губе Дальнезеленецкая. Всего проанализировано 272 экз. камчатского краба, которые были отловлены водолазами с глубины 5–36 м. В лаборатории сезонной биостанции ММБИ проводили камеральную обработку

уловов. У крабов определяли пол и размер тела (длина карапакса – ДК), затем собирали ассоциированных организмов, регистрируя их локализацию (Дворецкий, Дворецкий, 2012). К неполовозрелым крабам относили особей с ДК < 90 мм, к половозрелым – > 90 мм (Дворецкий, Дворецкий, 2013в). Видовую идентификацию и подсчет ассоциированных организмов выполняли в лаборатории ММБИ по общепринятым методикам (Dvoretsky, Dvoretsky, 2010a,b; Дворецкий, Дворецкий, 2013а,б). В качестве характеристик заселенности камчатских крабов симбионтами использовали следующие показатели: экстенсивность заселения – отношение количества хозяев, заселенных симбионтами, к общему количеству исследованных крабов; интенсивность заселения – количество особей симбионтов на каждом заселенном хозяине; средняя интенсивность – отношение общего количества симбионтов в пробах к количеству заселенных хозяев (Дворецкий, Дворецкий, 2012).

Результаты и обсуждение

Соотношение неполовозрелых и половозрелых особей в уловах было сходным в 2009 (62.9:37.1 %) и 2010 гг. (56.4:43.6 %) ($p = 0.390$). В 2011 году доля крупных крабов (84.4 %) превышала показатели 2009 и 2010 гг. (рис. 1).

Соотношение полов (данные за 3 года) у неполовозрелых особей не различалось достоверно от ожидаемого уровня 1:1, в то время как среди половозрелых крабов преобладали самки, что является вполне закономерным результатом для исследованного района (Дворецкий, Дворецкий, 2013в, 2014).

На крабах обнаружено 9 видов копепод, принадлежащих к трем отрядам – Calanoida, Cuscleroidea и Harpacticoida. Индексы заселенности крабов представлены в табл. 1.

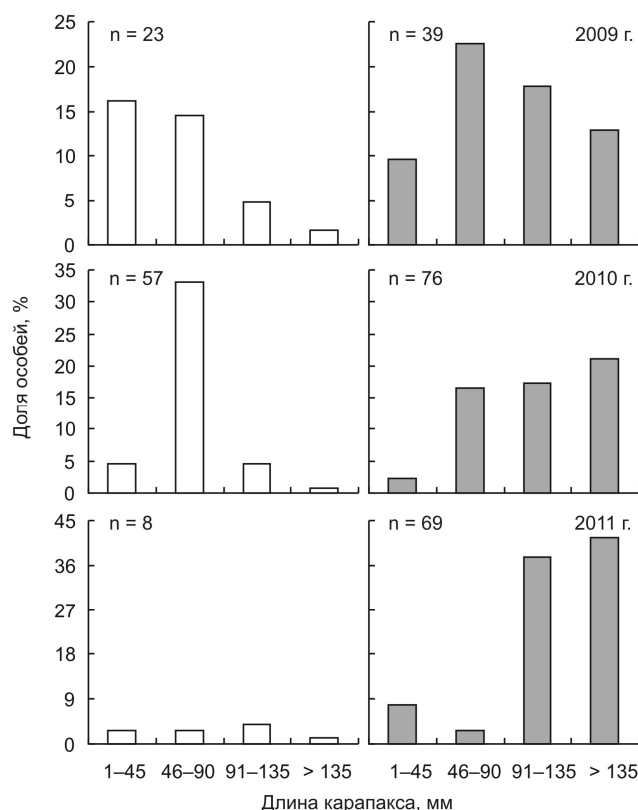


Рис. 1. Размерный состав самцов (слева) и самок (справа) камчатского краба в губе Дальнезеленская в 2009–2011 гг.

Т а б л и ц а 1

Видовой состав и индексы заселенности камчатского краба

Вид	2009 г.		2010 г.		2011 г.	
	ЭЗ	ИЗ _{ср}	ЭЗ	ИЗ _{ср}	ЭЗ	ИЗ _{ср}
<i>Calanus finmarchicus</i> (Gunner, 1765)	4.8	1.0	–	–	–	–
<i>Cyclopina gracilis</i> Claus, 1863	–	–	–	–	1.3	1.0
<i>Dactylopusia vulgaris vulgaris</i> Sars G. O., 1905	–	–	–	–	20.8	2.4
<i>Ectinosoma normani</i> Scott T. et A., 1894	3.2	73.0	0.8	1.0	3.9	3.0
<i>Harpacticus uniremis uniremis</i> Krøyer, 1842	3.2	14.5	24.1	12.3	24.7	6.0
<i>Microcalanus pusillus</i> Sars G. O., 1903	–	–	–	–	1.3	1.0
<i>Microsetella norvegica</i> (Boeck, 1865)	–	–	–	–	1.3	1.0
<i>Tisbe furcata</i> (Baird, 1837)	33.9	216.8	36.1	19.5	81.8	33.8
<i>Zaus abbreviatus</i> (G. O. Sars, 1904)	–	–	–	–	2.6	1.5

ПРИМЕЧАНИЕ. ЭЗ – экстенсивность заселения, %; ИЗ_{ср} – средняя интенсивность заселения, количество симбионтов на 1 особь краба.

В пробах наиболее часто встречались бентопелагические виды – *Ectinosoma normani*, *Tisbe furcata*, *Harpacticus uniremis*, *Dactylopusia vulgaris*, *Cyclopina gracilis*. К сугубо бентическим формам относится *Zaus abbreviatus*. В малых количествах зарегистрированы также типичные планктонные виды – *Calanus finmarchicus*, *Microcalanus pusillus* и *Microsetella norvegica* (Dvoretzky, Dvoretzky, 2010b). Однако из указанных видов только три встречаются в большом количестве (*T. furcata*, *H. uniremis* и *D. vulgaris*) и могут считать симбионтами краба. Указанные виды отмечены также на макрофитах и других видах крабов (Dvoretzky, 2012), что указывает на отсутствие их специфичности к потенциальным хозяевам (Dvoretzky, Dvoretzky, 2013b).

Экстенсивность заселения для *T. furcata* варьировала значимо, хотя показатели 2009 и 2010 гг. были сходны. Для *H. uniremis* характерны близкие уровни данного индекса в 2010 и 2011 гг.

Средняя интенсивность заселения *T. furcata* была примерно одинакова в 2010 и 2011 годах, но оба показателя были ниже, чем в 2009 г.

Средняя интенсивность заселения крабов видом *H. uniremis* в 2010 г. была в 2 раза выше, чем в 2011 г. Выявленные отличия могут объясняться межвидовыми конкурентными взаимоотношениями между копеподами и другими симбионтами, которые встречаются в жабрах (например, амфиподами), а также различным соотношением хозяев разных размеров и стадий личиночного цикла в отдельные годы исследований (Dvoretzky, Dvoretzky, 2013b). Это подтверждается и тем, что индексы заселенности крабов двумя массовыми видами копепод – *T. furcata* и *H. uniremis* – напрямую зависели от размера хозяина (рис. 2).

На индексы заселенности также влияет возраст экзоскелета хозяина: на крабах второй стадии линьки средняя интенсивность заселения для *T. furcata* составила 33.6 ± 3.5 экз/краб, тогда как для особей третьей стадии линьки этот показатель достигал 406.0 ± 176.5 экз/краб (различия достоверны, $p = 0.016$).

Зависимость индексов заселенности от размеров хозяина является известной закономерностью для симбиотических систем (Дворецкий, Кузьмин, 2008; Dvoretzky, Dvoretzky 2010a; Дворецкий, Дворецкий, 2012), поскольку большая площадь, доступная для заселения позволяет колонизировать краба большему количеству симбионтов. Крабы с более старым экзоскелетом успевают “накопить” большее количество симбионтов, чем особи, возраст экзоскелета у которых меньше (Дворецкий, Кузьмин, 2008; Дворецкий, Дворецкий, 2012).

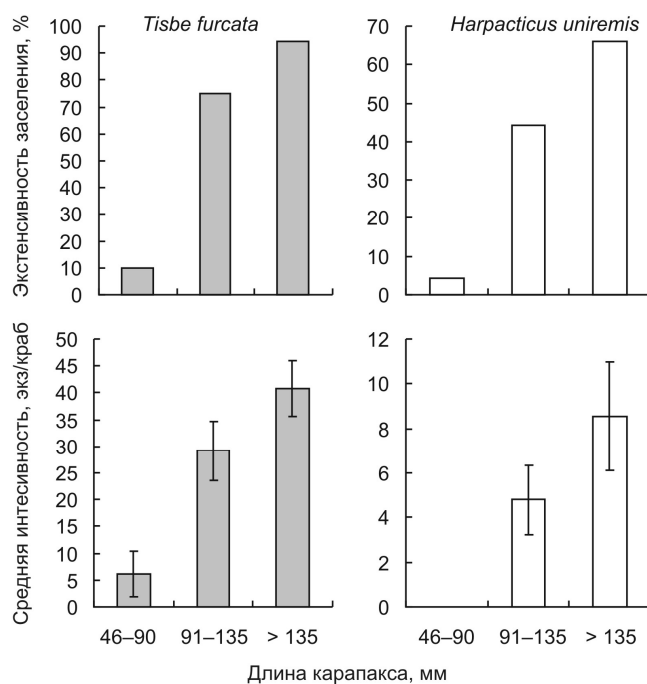


Рис. 2. Индексы заселенности камчатских крабов массовыми видами копепод в зависимости от размера хозяина

Т а б л и ц а 2

Локализация копепод на камчатском крабе в губе Дальнезеленецкая, %

Вид	Количество, экз.	Карапакс	Конечности	Абдомен	Жабры	Рот
<i>Calanus finmarchicus</i>	5	—	—	—	100.00	—
<i>Cyclopina gracilis</i>	1	—	—	—	—	100.00
<i>Dactylopusia vulgaris</i>	39	35.90	53.85	2.56	—	7.69
<i>Ectinosoma normani</i>	172	—	9.30	—	90.70	—
<i>Harpacticus uniremis</i>	622	—	2.25	—	97.11	0.64
<i>Microcalanus pusillus</i>	1	—	—	—	100.00	—
<i>Microsetella norvegica</i>	1	—	—	—	100.00	—
<i>Tisbe furcata</i>	7587	0.25	0.21	0.03	99.42	0.09
<i>Zaus abbreviatus</i>	3	—	66.67	—	33.33	—

Основная доля копепод была обнаружена в жабрах крабов (табл. 2). Подобная локализация выгодна для мелких рачков, поскольку в некоторой степени обеспечивает им защиту от хищников и повышает мобильность (Dvoretzky, Dvoretzky, 2013b).

Литература

Дворецкий А. Г., Дворецкий В. Г. Динамика популяционных показателей камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в губе Дальнезеленецкая Баренцева моря в 2002–2008 гг. // Вопросы рыболовства. 2010а. Т. 11. № 1(41). С. 100–111.

Дворецкий А. Г., Дворецкий В. Г. Исследования биологии камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в губе Долгой (Баренцево море) // Изв. ТИНРО. 2010б. Т. 160. С. 44–56.

Дворецкий А. Г., Дворецкий В. Г. Эпифауна крабов-литодид в Баренцевом море. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 410 с.

Дворецкий А. Г., Дворецкий В. Г. Сообщество обрастателей камчатского краба в губе Дальнезеленецкая (Восточный Мурман, Баренцево море): сравнительный анализ сезонных особенностей // Тр. КарНЦ РАН. 2013а. № 2. Сер. Биогеография. Вып. 14. С. 78–85.

Дворецкий А. Г., Дворецкий В. Г. Видовой состав макросимбионтов и обрастателей камчатского краба в прибрежье Баренцева моря (губа Дальнезеленецкая) в 2010 году // Вестн. МГТУ. 2013б. Т. 16. № 3. С. 452–459.

Дворецкий А. Г., Дворецкий В. Г. Некоторые черты биологии камчатского краба в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море) в летний период // Рыбное хозяйство. 2013в. № 5. С. 79–84.

Дворецкий А. Г., Дворецкий В. Г. Особенности биологии камчатского краба в прибрежье Баренцева моря в летний период // Вестн. СПбГУ. 2014. Сер. 3. Вып. 1. С. 5–13.

Дворецкий А. Г., Кузьмин С. А. Симбионты камчатского краба в прибрежье Мурмана Баренцева моря // Вопросы рыболовства. 2008. Т. 9. № 3(35). С. 526–535.

Dvoretzky A. G. Epibionts of the great spider crab, *Hyas araneus* (Linnaeus, 1758), in the Barents Sea // Polar Biol. 2012. Vol. 35(4). P. 625–631.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Limb autotomy patterns in *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815), an invasive crab, in the coastal Barents Sea // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2009a. Vol. 377. P. 20–27.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Some aspects of the biology of the amphipods *Ischyrocerus anguipes* associated with the red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, in the Barents Sea // Polar Biol. 2009b. Vol. 32(3). P. 463–469.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Distribution of amphipods *Ischyrocerus* on the red king crab, *Paralithodes camtschaticus*: Possible interactions with the host in the Barents Sea // Estuar. Coast. Shelf Sci. 2009c. Vol. 82(3). P. 390–396.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Fouling community of the red king crab, *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815), in a subarctic fjord of the Barents Sea // Polar Biol. 2009d. Vol. 32(6). P. 1047–1054.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Epifauna associated with an introduced crab in the Barents Sea: a 5-year study // ICES J. Mar. Sci. 2010a. Vol. 67. P. 204–214.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Checklist of fauna found in zooplankton samples from the Barents Sea // Polar Biol. 2010b. Vol. 33. P. 991–1005.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Population biology of *Ischyrocerus commensalis*, a crab-associated amphipod, in the southern Barents Sea: a multi-annual summer study // Mar. Ecol. 2011. Vol. 32. № 4. P. 498–508.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Population dynamics of the invasive lithodid crab, *Paralithodes camtschaticus*, in a typical bay of the Barents Sea // ICES J. Mar. Sci. 2013a. Vol. 70. P. 1255–1262.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Copepods associated with the red king crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) in the Barents Sea // Zool. Stud. 2013b. Vol. 52. № 17. P. 1–7.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Size-at-age of juvenile red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the coastal Barents Sea // Cah. Biol. Mar. 2014. Vol. 55. № 1. P. 43–48.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Commercial fish and shellfish in the Barents Sea: Have introduced crab species affected the population trajectories of commercial fish? // Rev. Fish Biol. Fisheries. 2015a. Vol. 25. № 2. P. 297–322.

Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Size at maturity of female red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, from the coastal zone of Kola Peninsula (southern Barents Sea) // Cah. Biol. Mar. 2015b. Vol. 56. № 1. P. 49–54.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ПРОДУКЦИЯ ЗООПЛАНКТОНА ГУБЫ ДРОЗДОВКА (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)

В. Г. Дворецкий, А. Г. Дворецкий

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Баренцево море – это крупнейший шельфовый водоем, по площади и биопродуктивности не уступающий наиболее продуктивным дальневосточным морям. В нем формируется богатая промысловыми видами флора и фауна. Наиболее продуктивны прибрежные экосистемы Баренцева моря, где формируется высокая первичная продукция.

Важным элементом морских прибрежных экосистем являются зоопланктонные сообщества. Запас зоопланктона определяет величину кормовой базы личинок и молоди рыб (Тимофеев, 2000). Основная часть исследований зоопланктона Баренцева моря была проведена в прибрежных районах (Дворецкий, 2007, 2008, 2011а,б, 2012а,б; Дворецкий, Дворецкий, 2008, 2009а,б, 2010, 2012, 2013а,б,в, 2014а,б, 2015а,б; Dvoretzky, Dvoretzky, 2009а,б,с,д,е, 2010а,б, 2011, 2012, 2013а,б,с, 2014; Dvoretzky, 2011, 2012). Вместе с тем, зоопланктон некоторых участков практически не изучался. Один из таких районов – губа Дроздовка и прилегающая акватория южной части Баренцева моря.

Целью работы было исследование состава, количественного распределения и продукционных особенностей зоопланктона в губе Дроздовка в летний период.

Материал и методы

Для анализа состояния зоопланктонного сообщества в рейсе РМН-1066 “Викинг-1” проведен отбор проб в августе 2011 г. Исследования проведены на двух разрезах в губе Дроздовка и на входе в губу Ивановская (ст. 22а) (рис. 1). Орудием лова служила сеть Джели. Отбор проб проводили в слое от дна до поверхности, фиксировали с использованием формалина.

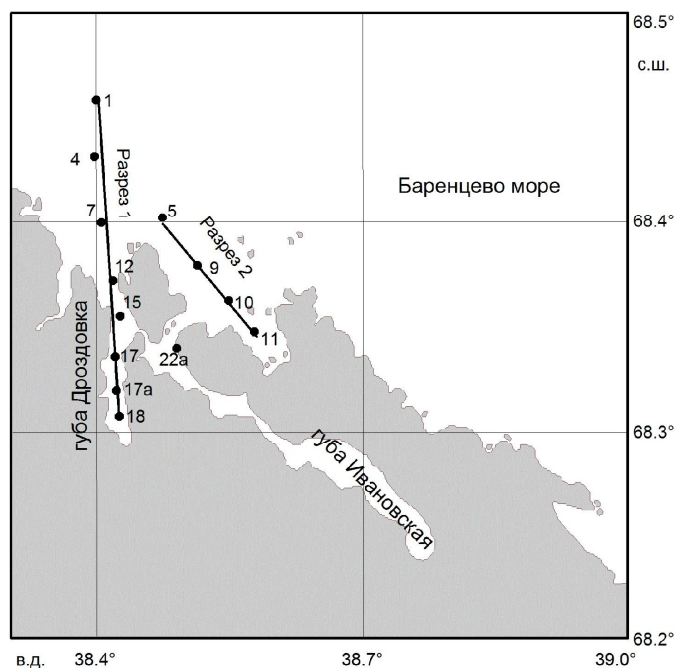


Рис. 1. Расположение станций отбора проб и разрезов, выполненных в прибрежной части Баренцева моря в летний период 2011 г.

Камеральная обработка проб проводилась по стандартным методикам (Dvoretzky, Dvoretzky, 2009а,б,с, 2012, 2013а,б,с; Дворецкий, 2012б). Численность определяли в экземплярах на 1 м^3 с учетом объема профильтрованной воды. Сырую биомассу отдельных видов и суммарную биомассу рассчитывали при помощи номограмм, а также по таблицам весов морских гидробионтов и размерно-весовым зависимостям. Продукцию кормового зоопланктона вычисляли по опубликованным ранее методикам (Дворецкий, 2009а, Дворецкий, 2012б).

Для представления расположения станций в двухмерном пространстве переменных использовали непараметрическое многомерное масштабирование, входными данными служила матрица сходства станций по Брю-Куртису.

Результаты и обсуждение

Данные о гидрологических характеристиках в исследуемом районе представлены в табл. 1. В целом средние значения температуры и солености хорошо соответствуют средне-многолетним величинам, типичным для летнего сезона в пределах мурманской прибрежной водной массы.

Таблица 1

**Гидрологические показатели воды на разрезах
в прибрежной части Баренцева моря в летний период 2011 г.**

Показатель	Разрез 1			Разрез 2		
	Минимум	Максимум	Среднее	Минимум	Максимум	Среднее
Глубина, м	2	109	33.9	28	63	27.6
Температура, °С	4.3	9.8	7.5	6.5	9.6	7.8
Соленость, ‰	33.0	34.3	33.9	33.7	34.0	33.9

Всего на исследованной акватории было отмечено 39 таксонов зоопланктона (табл. 2). Количество таксонов на отдельных станциях варьировало от 18 (ст. 4) до 30 (ст. 5). Веслоногие ракообразные доминировали на всей исследованной акватории, наиболее часто встречались *Acartia longiremis*, *Calanus finmarchicus*, *Oithona similis*, *Pseudocalanus* spp. и *Temora longicornis*. Среди других представителей сообщества лидирующее положение по встречаемости занимали ювенильные стадии двустворчатых моллюсков, науплии усоногих ракообразных и молодь крылоногих моллюсков.

Таблица 2

**Состав и встречаемость зоопланктонных организмов
в губе Дроздовка и прилегающей акватории Баренцева моря в августе 2011 г.**

Таксон	Разрез 1	Разрез 2	Ст. 22а
<i>Acartia longiremis</i> (Lilljeborg, 1853)	+	+	+
<i>Calanus finmarchicus</i> (Gunner, 1765)	+	+	+
<i>Centropages hamatus</i> (Lilljeborg, 1853)	+	+	+
Соперода (яйца)	+	+	+
Соперода (науплии)	+	+	+
<i>Cyclopina gracilis</i> Claus, 1863	+	+	+
<i>Eurytemora affinis</i> (Poppe, 1880)	+	+	+
<i>Harpacticus uniremis</i> Krøyer, 1842	+	–	–
<i>Microcalanus pusillus</i> Sars G. O., 1903	+	+	+
<i>Microsetella norvegica</i> (Boeck, 1865)	+	–	–
<i>Oithona atlantica</i> Farran, 1908	+	+	+
<i>Oithona similis</i> Claus, 1866	+	+	+
<i>Pseudocalanus</i> spp. I–IV	+	+	+
<i>Pseudocalanus minutus</i> (Krøyer, 1845) V–VI	+	+	+
<i>Pseudocalanus acuspes</i> (Giesbrecht, 1881) V–VI	+	+	+
<i>Temora longicornis</i> (Müller O. F., 1785)	+	+	+
<i>Tisbe furcata</i> (Baird, 1837)	+	+	+
<i>Evadne nordmanni</i> Lovén, 1836	+	+	+
<i>Podon leuckartii</i> (G. O. Sars, 1862)	+	+	+
<i>Boroecia borealis</i> (Sars, 1866)	+	+	+
<i>Discoconchoecia elegans</i> (Sars, 1866)	+	+	+
<i>Thyssanoessa</i> spp. (фурцилии)	+	+	+
<i>Mysis oculata</i> (Fabricius, 1780)	+	–	–
<i>Euphysa</i> spp. (juv.)	–	–	+
<i>Euphysa flammea</i> (Linko, 1905)	+	+	+
<i>Obelia geniculata</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–

Таксон	Разрез 1	Разрез 2	Ст. 22а
<i>Obelia</i> spp.	+	–	–
<i>Rathkea octopunctata</i> (Sars, 1835)	+	+	+
<i>Tiaropsis multicirrata</i> (Sars, 1835)	+	–	–
<i>Bivalvia</i> (juv.)	+	+	+
<i>Cirripedia</i> (циприсовидные личинки)	+	+	+
<i>Cirripedia</i> (науплии)	+	+	+
<i>Auricularia</i>	+	+	–
<i>Echinopluteus</i>	+	+	–
Gastropoda (личинки)	+	+	+
<i>Ophiopluteus</i>	+	+	–
Polychaeta (личинки)	+	+	–
<i>Limacina helicina</i> Phipps, 1774 (juv.)	+	+	+
<i>Parasagitta elegans</i> (Verrill, 1873)	+	+	+
<i>Fritillaria borealis</i> Lohmann, 1896	+	+	+
<i>Oikopleura labradoriensis</i> Lohmann, 1892	+	+	+
<i>Beroe cucumis</i> Fabricius, 1780	+	+	+
Pisces (икра)	+	+	–
Pisces (личинки)	+	–	–

Состав зоопланктона губы Дроздовка и смежных вод в августе 2011 г. в целом хорошо соответствовал полученным ранее данным о фауне пелагических организмов прибрежных районов Баренцева моря (Дворецкий, 2007, 2008; Dvoretzky, Dvoretzky, 2010a,b, 2012, 2013c; Дворецкий, Дворецкий, 2015a). В то же время стоит отметить большее количество таксонов. Обычно в мористых районах Баренцева моря количество видов в одной пробе не превышает 10–15 (Dvoretzky, Dvoretzky, 2010a,b, 2012, 2013c; Дворецкий, Дворецкий, 2015a). Скорее всего, это связано с более высоким разнообразием условий в прибрежье, где зоопланктонное сообщество включает морские, неритические и донные виды (Dvoretzky, Dvoretzky, 2010a,b).

На первом разрезе суммарная численность зоопланктона колебалась в широком диапазоне: максимум отмечен на ст. 18 – 11709 экз/м³, а минимум на ст. 1 – 1314 экз/м³, средняя величина составила 5757±1305 экз/м³. По обилию преобладали веслоногие ракообразные, на долю которых в среднем приходилось 89±2 % общей численности (табл. 3). Массовыми видами были *O. similis* (35±4 %), *C. finmarchicus* (18±5 %), *T. longicornis* (13±3 %) и *A. longiremis* (12±3 %). Общая биомасса зоопланктона изменялась от 384 до 1082 мг/м³, в среднем составляя 604±78 мг/м³. По биомассе преобладали копеподы (89±3 %) (табл. 3). Среди других групп относительно высокий вклад в биомассу вносили гребневики *Beroe cucumis* (7±3 %). Общая продукция изменялась от 13.6 до 33.4 мг/м³ в сутки, в среднем составляя 21.0±2.5 мг/м³ в сутки. На долю копепод приходилось более 90% продукции зоопланктона (табл. 3).

На втором разрезе интервал изменения численности зоопланктона был меньше, чем на первом (табл. 3): минимальная величина зарегистрирована на ст. 9 (3217 экз/м³), максимальная – на ст. 11 (6134 экз/м³), среднее значение было в 1.3 раза ниже чем на первом разрезе. Доминирующее положение принадлежало трем видам – *O. similis* (38±7 %), *C. finmarchicus* (24±6 %) и *T. longicornis* (11±1 %). Суммарная биомасса зоопланктона варьировала от 317 до 1259 мг/м³, средняя величина была в 1.4 раза выше, чем на первом разрезе (табл. 3). По биомассе в сообществе преобладала крупная копепода *C. finmarchicus*, на долю которой приходилось 78±8 %. Общая продукция колебалась в диапазоне 13.7–40.2 мг/м³ в сутки при средней величине 25.4±5.5 мг/м³ в сутки (табл. 3).

Подобное распределение веслоногих рачков и других таксономических групп зоопланктона в целом можно оценить как типичное для прибрежной экосистемы Баренцева моря (Дворецкий, 2007, 2008; Dvoretzky, Dvoretzky, 2010a,b, 2012, 2013c; Дворецкий, Дворецкий, 2015b). Анализ пространственного распределения количественных показателей показывает

мозаичность локализации зоопланктона. В отношении численности прослеживается тенденция возрастания общего количества планктеров в направлении от моря (ст. 12) к кутовой части губы Дроздовка, где обилие зоопланктона было в 3.5 раза выше, чем на входе в губу. Минимальная численность отмечена в наиболее глубоководной точке, однако за счет преобладания крупных копепод биомасса здесь была сопоставима с величинами, зарегистрированными на других станциях.

Т а б л и ц а 3

Количественная характеристика зоопланктона губы Дроздовка и прилегающей акватории Баренцева моря в летний период 2011 г.

Группа	Разрез 1		Разрез 2		Ст. 22а
	Мин.–макс.	Ср.±SE	Мин.–макс.	Ср.±SE	
Численность, экз/м ³					
Копеоды	1228–10883	5112±1185	3074–5644	4030±558	3597
Кладоцеры	0–231	104±31	15–143	52±30	35
Меропланктон	68–1086	391±122	92–226	144±29	184
Птероподы	10–195	86±26	23–51	40±7	6
Аппендикулярии	0–133	30±15	4–42	16±9	9
Гребневики	0–24	5±3	0–20	8±4	9
Прочие	1–76	29±9	0–34	18±7	8
Биомасса, мг/м ³					
Копеоды	345.6–880.1	531.5±62.8	299.2–1248.4	734.3±196.8	171.8
Кладоцеры	0–10.9	4.9±1.5	0.7–6.6	2.4±1.4	1.7
Меропланктон	1.3–31.6	7.4±4	1.2–4	2.5±0.5	9.2
Птероподы	0.7–13.7	6±1.8	1.6–3.6	2.8±0.5	0.4
Аппендикулярии	0–8.1	1.8±0.9	0.2–2	0.7±0.4	0.5
Гребневики	0–167	50.2±24.9	0–276.4	72.6±68	4.3
Прочие	0–6.4	1.7±0.8	0–2.3	0.9±0.5	0.3
Продукция, мг/м ³ в сутки					
Копеоды	12.7–32.5	19.7±2.5	11.8–39.4	24.4±5.7	7.4
Кладоцеры	0–0.002	< 0.01	0–0.001	< 0.01	< 0.01
Меропланктон	0.3–1.3	0.7±0.1	0.3–1.4	0.8±0.2	0.1
Птероподы	0–0.3	0.10±0.01	0–0.1	0.10±0.01	< 0.01
Аппендикулярии	0–1.8	0.4±0.2	0.1–0.4	0.2±0.1	0.1
Прочие	0–0.2	< 0.01	0–0.001	< 0.01	< 0.01

ПРИМЕЧАНИЕ. Ср. – среднее, SE – ошибка среднего.

Основные причины, которые обуславливают разную численность и биомассу, – это комплекс океанологических и климатических факторов, структура экотопа и биологический статус организмов зоопланктона (Dvoretzky, Dvoretzky, 2010a,b, 2012, 2013c). В нашем случае гидрологические показатели в пределах акватории варьировали слабо: градиент средней температуры воды составил 1.9 °С, а градиент солености – 0.46 ‰, поэтому, скорее всего, отличия в распределении и структуре зоопланктона связаны с биологическими особенностями массовых организмов (Дворецкий, 2007, 2008, 2011a,б, 2012a,б; Дворецкий, Дворецкий, 2008, 2009a,б, 2010, 2013a,б,в, 2014a,б, 2015б; Dvoretzky, Dvoretzky, 2009a,b,c,d,e, 2012, 2014; Dvoretzky, 2012). В частности, стоит указать на то, что в пределах губ и заливов Кольского полуострова возможно формирование обособленных группировок зоопланктона, которые существенно отличаются по составу и особенностям жизненных циклов типичных представителей от сообществ смежных акваторий (Тимофеев, 2000; Dvoretzky, Dvoretzky, 2012б, 2013a,б,с, 2014).

На рисунке 2 показаны результаты многомерного непараметрического масштабирования. Было выделено две группы станций (кластеров): первая объединяла станции, расположенные в губе Дроздовка, вторая включала мористые станции прилегающей к рассматриваемым

губам акватории. В губах количество зоопланктона, выраженное в терминах суммарной численности, было в 2.2 раза выше, чем на смежной акватории. В то же время общая биомасса зоопланктона на мористых станциях была в 1.2 раза больше, чем в губах. Подобная картина хорошо объясняется составом доминирующих групп каждого из выделенных групп. В губе Дроздовка и на входе в губу Ивановская преобладали мелкие веслоногие ракообразные *O. similis*, *A. longiremis* и *T. longicornis*, которые совместно составляли более 60 % общей численности зоопланктона.

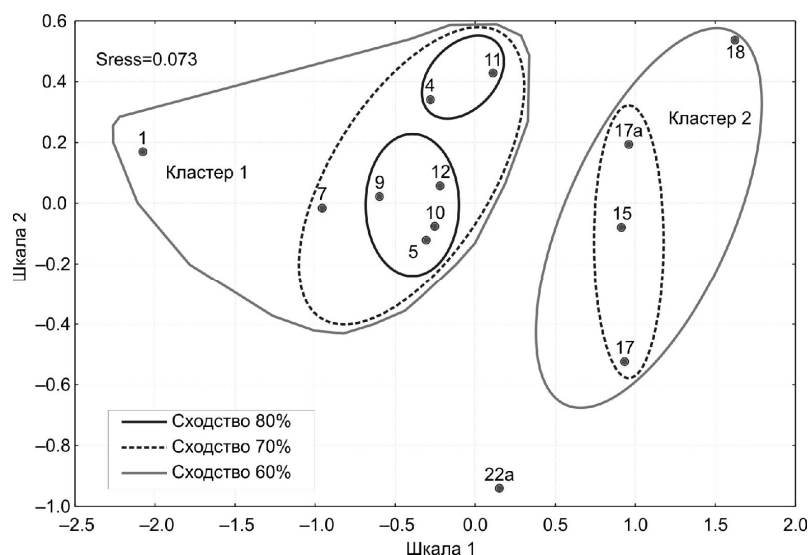


Рис. 2. Результаты многомерного непараметрического масштабирования станций отбора проб по численности зоопланктона в губе Дроздовка и прилегающей акватории Баренцева моря в августе 2011 г.

На прилегающей акватории открытого моря наряду с *O. similis* высокую относительную численность имели крупные копеподы *C. finmarchicus*. Этот вид преобладал по биомассе в пределах станций обеих групп, но на станциях первой группы его вклад составлял 40 ± 9 %, тогда как на станциях второй группы доля *C. finmarchicus* в суммарной биомассе сообщества достигала 79 ± 4 %. Отмеченные особенности распределения во многом связаны с протеканием жизненных циклов двух наиболее распространенных представителей баренцевоморского зоопланктона – *C. finmarchicus* и *O. similis* (Дворецкий, 2007, 2008; Дворецкий, Дворецкий, 2009б, 2012, 2013а,б,в, 2014а,б, 2015б; Dvoretzky, Dvoretzky, 2009с,д,е, 2011; Dvoretzky, 2011, 2012).

Стоит обратить внимание на достаточно высокие показатели биомассы зоопланктона и продукции копепод в губе Дроздовка и прилегающей акватории. Так средние величины для всего района исследований составили 637 ± 85 и 17.1 ± 8.5 мг/м³ в сутки соответственно. По литературным данным, суммарная биомасса зоопланктона в прибрежной зоне в зависимости от сезона варьирует от 10–50 мг/м³ зимой до 100–800 мг/м³ летом (Тимофеев, 2000; Дворецкий, 2012б; Dvoretzky, Dvoretzky, 2013с; Дворецкий, Дворецкий, 2015б). При этом летом биомасса редко превышает 500 мг/м³. Скорее всего, столь значительную биомассу в губе Дроздовка можно связать с тем, что принос популяции калянуса обусловил увеличение средних размеров в сообществе, и, соответственно, биомассы. Кроме того, мелкие всеядные виды интенсивно размножались, обеспечивая свой вклад в повышение биомассы зоопланктона. Продукция зоопланктона также была высокой в наших исследованиях. Для примера укажем, что продукция копепод в юго-восточной части моря в среднем равна 5.0 ± 0.8 мг/м³ в сутки (Дворецкий, Дворецкий, 2009а), что примерно в 3 раза ниже, чем в губе Дроздовка.

Таким образом, в летний период губу Дроздовка и прилегающие к ней участки можно охарактеризовать как водоем со значительной продуктивностью зоопланктона.

Литература

- Дворецкий В. Г. Особенности популяционной структуры *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) в Белом и Баренцевом морях // Докл. РАН. 2007. Т. 414. № 4. С. 557–560.
- Дворецкий В. Г. Распределение и репродуктивные свойства *Oithona similis* (Copepoda, Cyclopoida) в южной части Баренцева моря // Вопросы рыболовства. 2008. Т. 9. № 1(33). С. 66–82.
- Дворецкий В. Г. Распределение личинок эвфаузиид и десятиногих ракообразных в весеннем планктоне южной части Баренцева моря // Изв. РАН. Сер. Биол. 2011а. № 4. С. 463–469.
- Дворецкий В. Г. Межгодовые вариации трофической структуры и биоразнообразия зоопланктонных сообществ в южной части Баренцева моря // Изв. ТИНРО. 2011б. Т. 165. С. 185–195.
- Дворецкий В. Г. Структура популяции и скорость продукции яиц *Temora longicornis* (copepoda) в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море) в середине летнего периода // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 3. 2012а. Вып. 2. С. 35–43.
- Дворецкий В. Г. Продукция кормового зоопланктона в Баренцевом море в летний период // Изв. ТИНРО. 2012б. Т. 168. С. 169–183.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Динамика численности и биомассы зоопланктона Кольского залива (Баренцево море) // Докл. РАН. 2008. Т. 422. № 2. С. 273–275.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Летняя продукция копепод в Баренцевом море // Докл. РАН. 2009а. Т. 428. № 3. С. 423–425.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Продукция поздних стадий развития *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) в Кольском заливе (Баренцево море) // Тр. Зоол. ин-та РАН. 2009б. Т. 313. № 4. С. 397–405.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Распределение биомассы зоопланктона в Баренцевом море в 2007 г. // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 161. С. 162–171.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Динамика биомассы зоопланктона и *Calanus finmarchicus* в прибрежье Баренцева моря в различных термических условиях // Изв. РАН. Сер. Биол. 2012. № 6. С. 667–672.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Зимний зоопланктон юго-западной части Баренцева моря (март 2007 г.) // Рыбное хозяйство. 2013а. № 2. С. 74–78.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Генеративная продукция планктонного рачка *Pseudocalanus minutus* в прибрежье Баренцева моря // Бюл. Москов. общ-ва испытателей природы. Отд. биол. 2013б. Т. 118. Вып. 4. С. 34–38.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Суточная продукция *Acartia longiremis* в Баренцевом море в летний период // Изв. ТИНРО. 2013в. Т. 175. С. 263–269.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Генеративная продукция массовой планктонной копеподы *Calanus finmarchicus* в прибрежье Баренцева моря // Вестн. МГТУ. 2014а. Т. 17. № 1. С. 112–117.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Годовой продукционный цикл зоопланктона в южной части Баренцева моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014б. № 4. С. 90–96.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Распределение и продукционные характеристики кормового зоопланктона у берегов Кольского полуострова летом 2008 года // Рыбное хозяйство. 2015а. № 1. С. 59–63.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Экология зоопланктонных сообществ Баренцева моря и сопредельных вод. СПб.: Реноме, 2015б. 736 с.
- Тимофеев С. Ф. Экология морского зоопланктона. Мурманск: Изд-во МГПИ, 2000. 216 с.
- Dvoretzky V. G. Distribution of *Calanus* species off Franz Josef Land (Arctic Barents Sea) // Polar Sci. 2011. Vol. 5. P. 361–373.
- Dvoretzky V. G. Seasonal mortality rates of *Oithona similis* (Cyclopoida) in a large Arctic fjord // Polar Sci. 2012. Vol. 6. 263–269.
- Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Summer mesozooplankton structure in the Pechora Sea (southeastern Barents Sea) // Estuar. Coast. Shelf Sci. 2009а. Vol. 84. P. 11–20.
- Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Summer mesozooplankton distribution near Novaya Zemlya (eastern Barents Sea) // Polar Biol. 2009б. Vol. 32. № 5. P. 719–731.
- Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Life cycle of *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) in Kola Bay (Barents Sea) // Mar. Biol. 2009с. Vol. 156. № 6. P. 1433–1446.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Morphological plasticity in the small copepod *Oithona similis* in the Barents and White Seas // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2009d. Vol. 385. P. 165–178.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Spatial variations in reproductive characteristics of the small copepod *Oithona similis* in the Barents Sea // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2009e. Vol. 386. P. 133–146.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Mesozooplankton structure in Dolgaya Bay (Barents Sea) // Polar Biol. 2010a. Vol. 33. P. 703–708.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Checklist of fauna found in zooplankton samples from the Barents Sea // Polar Biol. 2010b. Vol. 33. P. 991–1005.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Copepod communities off Franz Josef Land (northern Barents Sea) in late summer of 2006 and 2007 // Polar Biol. 2011. Vol. 34. P. 1231–1238.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Estimated copepod production rate and structure of mesozooplankton communities in the coastal Barents Sea during summer–autumn 2007 // Polar Biol. 2012. Vol. 35. P. 1321–1342.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Epiplankton in the Barents sea: Summer variations of mesozooplankton biomass, community structure and diversity // Cont. Shelf Res. 2013a. Vol. 52. P. 1–11.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Summer mesozooplankton community of Moller Bay (Novaya Zemlya Archipelago, Barents Sea) // Oceanologia. 2013b. Vol. 55(1). P. 205–218.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Structure of mesozooplankton community in the Barents Sea and adjacent waters in August 2009 // J. Nat. Hist. 2013c. V. 47(31–32). P. 2095–2114.

Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Egg production rates of two common copepods in the Barents Sea in summer // Polar Sci. 2014. Vol. 8. P. 298–305.

ВЛИЯНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА ПОВЕДЕНИЕ ГРЕНЛАНДСКОГО ТЮЛЕНЯ В НЕВОЛЕ

А. А. Зайцев, Ю. В. Литвинов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Содержание тюленей в открытых вольерных комплексах наиболее оптимально для проведения исследовательских работ, связанных с наблюдением за поведением животного. Это дает возможность постоянно видеть объект наблюдения и при этом сохранять весь спектр абиотических факторов естественной среды, влияющих на него. В то же время вольер ограничивает жизненное пространство животного и существенно его обедняет (Руководство ..., 2008). Содержание в неволе также сопряжено с возникновением девиантных форм поведения у животного. Одной из таких поведенческих форм является “зоопарковская стереотипия” – многократно повторяющиеся движения, которые часто наблюдаются у животных в неволе (Попов, 2010). Одной из возможных причин возникновения данного отклонения можно назвать невозможность удовлетворения какой-либо потребности или действия. В работе С. В. Попова (2011) указывается, что стереотипия – это циклическое восприятие связи между собственными движениями и определенными внешними стимулами, направленное на оптимизацию уровня возбуждения (стресса) в сторону его уменьшения путем снижения неопределенности внешней среды.

Сотрудниками ММБИ КНЦ РАН на протяжении многих лет проводятся исследования по адаптации различных видов настоящих тюленей к условиям неволи. Накоплена обширная база знаний по физиологии, этологии, биохимии крови и прикладному использованию различных видов (Гренландский ..., 2001; Современные ..., 2003; Экспериментальные ..., 2007). Этологические исследования, проведенные на пяти особях гренландского тюленя *Pagophilus groenlandicus* Erxleben, 1777 в 2005 г., подробно описывают структуру поведения животных и

степень их активности в разные периоды суток, а также характеризуют изменения, вызванные воздействием “беспокоящего фактора” (Экспериментальные ..., 2007). В 2011 году исследования были повторно проведены на одном из пяти используемых ранее тюленей. Полученные материалы позволили более детально рассмотреть структуру суточного поведения животного (Зайцев, 2011).

В большинстве представленных выше работ периоды активности тюленей описываются как движение по повторяющимся траекториям. При этом в некоторых случаях данное поведение может занимать до 80 % общего бюджета времени животного (Экспериментальные ..., 2007). Описываемое поведенческое проявление можно охарактеризовать только как стереотипию. Возможной причиной такого поведения, по-видимому, является попытка животного удовлетворить естественную потребность в движении. При оценке степени активности тюленей в большинстве случаев используют именно данную форму поведения. По этой причине не является возможным определение влияния внешних факторов среды на тюленя за счет анализа параметров стереотипичного поведения (интенсивность, смена цикличности, соотношение с другими формами поведения).

Помимо такой формы поведения как локомоция, к которой в том числе относится и рассматриваемое выше цикличное плавание, существует еще ряд форм, составляющих двигательную активность животного. Среди них можно отметить манипуляционную и исследовательскую активность, игру и др. (Дьюсбери, 1981).

Материалы были получены на акваполигоне ММБИ (г. Полярный). Объект наблюдения – один из двух самцов гренландского тюленя в возрасте 1 года, содержащихся в вольере (длина 8 м, ширина 4 м, глубина подводной части 2 м, высота надводной части 1 м). Для отдыха животного на суше был оборудован деревянный помост шириной 1 м. Кормление животных проводилось 2 раза в сутки (в 10 и 17 часов).

Слежение за животным велось при помощи камеры наружного наблюдения (черно-белая камера МВК – 08, цилиндр Д № 60 на 75 мм, 40 ТВЛ, 01ЛК-F2, объектив М12). Запись видеоматериала производилась посредством ТВ-тюнера, установленного на персональном компьютере, при этом фиксировались все случаи проявления изучаемых действий (Руководство ..., 2008).

При обработке видеоматериала регистрировались следующие поведенческие проявления:

- 1) нахождение животного в активном состоянии под водой;
- 2) нахождение животного в активном состоянии на поверхности;
- 3) отдых в воде (животное расположено в толще воды или на поверхности без поступательных движений);
- 4) нахождение на помосте.

Данные по температуре воздуха, атмосферному давлению и скорости ветра были взяты с сайта www.rp5.ru (метеостанция “Мурманск”, Россия, WMO_ID=22113), данные по состоянию геомагнитного поля были предоставлены сотрудниками Мурманского центра мониторинга геофизической обстановки (ФГБУ “Мурманское УГМС” МЦ МГФО) станции наблюдения “Ловозеро” (68° с. ш. 35° в. д.).

Нами были выбраны 11 трехчасовых временных отрезков (с 09 до 12 часов) за следующие периоды: 19–21.02.2011, 27–28.01.2012, 9–10.03.2012, 20–21.03.2012, 27.03.2012, 30.03.2012 гг. В качестве количественных характеристик поведения животного в активном состоянии использовали среднюю продолжительность апноэ и нахождения на поверхности, количество всплытий в минуту, процентное отношение нахождения под водой или на поверхности от общего бюджета времени; при пассивном состоянии (отдых) – процентное отношение нахождения на помосте или отдых в воде от общего бюджета времени.

Максимальное количество всплытий в минуту за первый час (2.6 вспл/мин) зафиксировано 19.02.2011 г., за три часа (2.7 вспл/мин) – 21.02.2011 г. Минимальное количество всплы-

тий без учета периодов с длительным нахождением тюленя на помосте зарегистрировано 9–10.03.2012 г. и составляет 1.5 вспл/мин (для первого часа и для трех часов) (рис. 1). Максимальное значение средней продолжительности апноэ за первый час отмечено 9.03.2012 г. – 32 с, минимальное – 16 с – без учета периодов с длительным нахождением тюленя на помосте – 21.03.2012 г. (рис. 2).

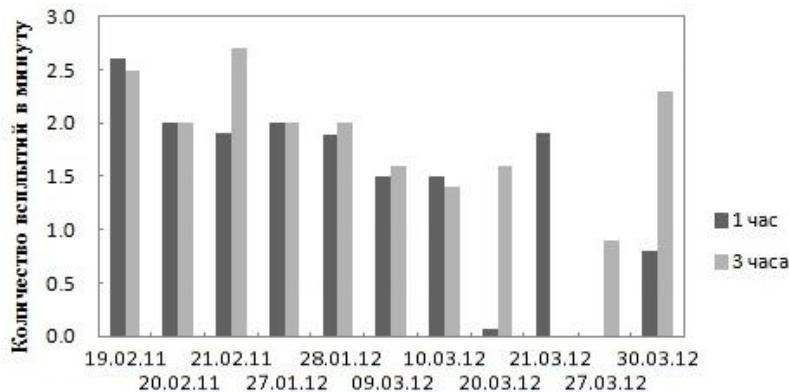


Рис. 1. Диаграмма количества всплытий, совершаемых тюленем в минуту

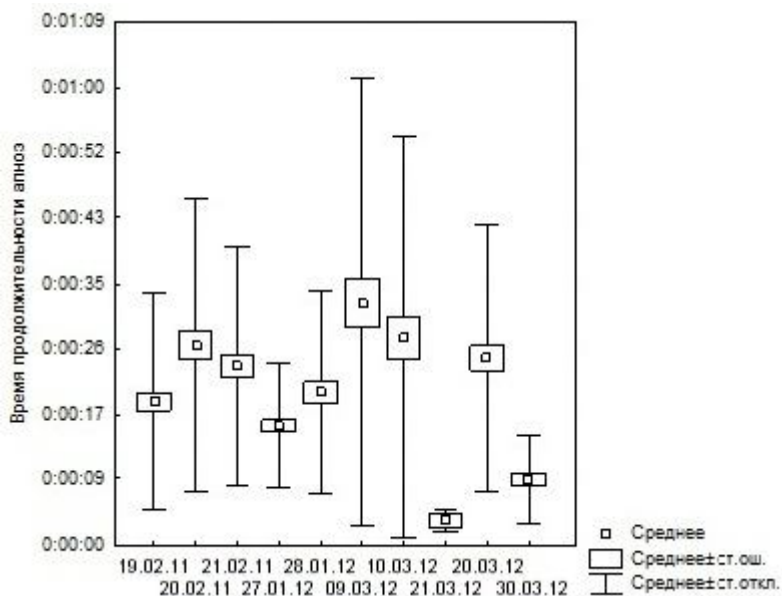


Рис. 2. Размах средней продолжительности апноэ за первый час

Плавание под водой занимает большую часть бюджета времени предшествующего утреннему кормлению. Исключением являются дни, когда тюлень большее количество времени (от 68.6 до 100 %) проводил на помосте – 20.03, 27.03, 30.03.2012 г. Предположительно, такое поведение приурочено к начальному этапу линьки тюленя. Нахождение тюленя в неподвижном состоянии в воде в утреннее время перед кормлением встречается редко и при достаточной продолжительности может свидетельствовать об отклонении в состоянии здоровья животного (Зайцев, 2013). Данное поведение было отмечено 28.01.2012 г. (один раз продолжительностью 11 с), 09.03.2012 г. (девять раз общей продолжительностью 3 мин 25 с) и 10.03.2012 г. (один раз продолжительностью 19 с).

Для определения зависимости между изменением поведения тюленя и абиотическими факторами среды были рассмотрены следующие показатели: температура воздуха (на высоте 2 м от земли), атмосферное давление, скорость ветра (средняя за 10 мин на высоте 10–12 м над землей), состояние геомагнитного поля (K-индекс) (таблица).

Характеристика абиотических параметров среды

Дата	Температура воздуха, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Скорость ветра, м/с	К-индекс
19.02.2011 г.	-23.8	762.5	4	2
20.02.2011 г.	-16.3	762.2	6	2
21.02.2011 г.	-15.7	768.1	7	3
27.01.2012 г.	-12.3	781.3	7	1
28.01.2012 г.	-14.2	782.6	6	2
09.03.2012 г.	-3.5	753.2	10	8
10.03.2012 г.	-1.3	741.4	10	5
20.03.2012 г.	-9.9	751.0	3	1
21.03.2012 г.	-8.3	755.3	4	0
27.03.2012 г.	-11.9	756.8	4	2
30.03.2012 г.	-9.4	740.7	3	1

Несмотря на то, что 9 и 10 марта 2012 г. отмечено соответствие значительных отклонений в поведенческих характеристиках (частоте всплытий, средней продолжительности апноэ) и параметрах среды (температуры воздуха, скорости ветра, состояния геомагнитного поля), зависимости между большинством данных значений не обнаружено. Единственными показателями параметров среды и поведения животного, между которыми удалось выявить корреляцию, стали К-индекс состояния геомагнитного поля и стандартное отклонение от средней продолжительности апноэ ($r = 0.7166$) (рис. 3). Рассматривая представленную диаграмму рассеивания, необходимо отметить, что если исключить даты при которых в течение часа животное основное время провело на помосте (20.03, 27.03, 30.03.2012 г.), происходит увеличение корреляции до $r = 0.826$. В то же время точка, соответствующая дате 09.03.2012 г., является “выбросом”, обеспечивающим высокий уровень корреляции, а точка 21.03.2012 г. – это единственное значение при котором К-индекс равняется нулю. Существует мнение, указывающее на то, что низкий уровень геомагнитного поля (< 5 нТл) может негативно сказываться на состоянии живых организмов (Левин и др., 1989). Таким образом, можно предположить, что в данном случае корреляция является не линейной, а представленные данные необходимо рассматривать тремя разными блоками (К-индекс равный нулю – низкий уровень состояния геомагнитного поля, от 1 до 4 – “нормальный” уровень и от 5 до 9 – магнитные бури).

Необходимо отметить, что высокая активность тюленя до кормления является фазой суточного биологического ритма, захваченного человеческим фактором (потребность животного в пище синхронизирована с графиком кормления). Голод является одним из сильнейших стимулов, что непременно оказывает влияние на восприимчивость животного к сторонним раздражителям в данный период времени.

Изменение температурного режима в течение года является частью процессов, участвующих в формировании биологических ритмов животного, имеющих сезонную цикличность. В условиях Крайнего Севера температура служит лимитирующим фактором для многих живых организмов. В то же время тюлени, как и все млекопитающие, являются пойкилотермными животными, что наряду с особенностями их анатомо-физиологических характеристик существенно расширяет зону оптимума касательно температуры окружающей среды. Возможно, именно по этой причине колебания, имеющие слабовыраженный характер не находят достоверного отражения в структуре поведения тюленя. Максимальная разница в значениях атмосферного давления, сопровождающего периоды наблюдений представленных в данной работе, составляет 41.9 мм ртутного столба, что в несколько раз меньше, чем перепад давления, оказываемого на тюленя в момент погружения в воду (глубина подводной части вольера 2 м). Данное положение дает нам возможность предположить, что именно по этой причине не удалось обнаружить соответствия изменений в поведении тюленя с изменениями

атмосферного давления. Скорость ветра – один из немногих факторов, оказывающих непосредственное физическое воздействие на животных, что может быть связано с уровнем комфорта животного. Предположительно, данный фактор наибольшее влияние может оказывать в периоды, когда животное находится на помосте. Животное в активном состоянии большую часть времени проводит под водой, влияние ветра на него в этот период ограничено.

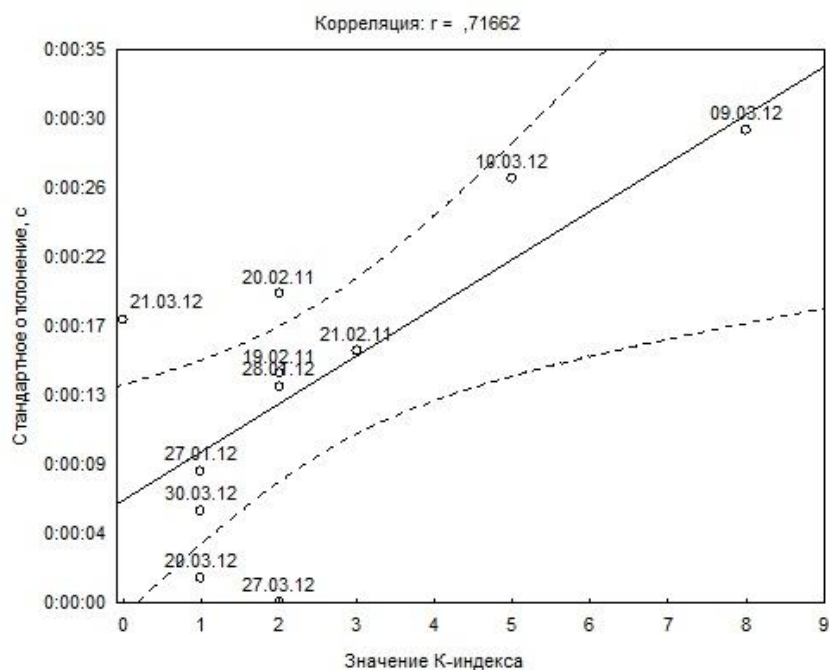


Рис. 3. Зависимость К-индекса геомагнитного поля и от стандартного отклонения апноэ за первый час

Не вызывает сомнений тот факт, что состояние геомагнитного поля в той или иной степени влияет на все живые организмы. У многих животных были обнаружены системы, позволяющие воспринимать изменения магнитного поля и даже ориентироваться с его помощью в пространстве (Walker et al., 1985; Wiltschko, Wiltschko, 2003; Magnetic ..., 2005). На основе моделирования было выдвинуто предположение о возможности ориентирования китообразных по градиенту магнитных полей (Evidence ..., 1992). Показано влияние геомагнитных возмущений на пищевую активность гидробионтов и подавление их значимых биоритмов (Степанюк, Баландина, 2004). Негативное влияние геомагнитных бурь на человека подтверждено многочисленными исследованиями; также существуют данные о том, что население северных регионов реагирует на магнитные бури более выражено, нежели жители средней полосы (Попова и др., 2014). На основе исследований, проводимых на афалинах и гренландских тюленях, были сделаны выводы об отсутствии у данных животных специализированных сенсорных структур, отвечающих за рецепцию магнитного поля (Кузнецов, Карасик, 1990; Влияние ..., 2004). В то же время было выдвинуто предположение о возможности восприятия дельфинами магнитного поля как неопределенного беспокойства (Кузнецов, Карасик, 1990).

С учетом вышесказанного можно предположить, что возможная зависимость между увеличением стандартного отклонения средней продолжительности апноэ и увеличением геомагнитной активности имеет логическое обоснование. Стандартное отклонение является мерой вариативности (изменчивости) признака, т. е. в нашем случае она показывает, на какую величину в среднем отклоняются наблюдения от среднего значения апноэ. Увеличение

данного показателя свидетельствует о том, что с возрастанием уровня активности геомагнитного поля происходит увеличение разброса продолжительности нахождения животного под водой (поведение животного становится более разнообразным). Возможно, из-за отсутствия механизмов восприятия и контроля оказываемого воздействия (изменения активности геомагнитного поля) происходит увеличение уровня стресса.

Литература

Влияние стресса и магнитного поля на сердечную деятельность гренландского тюленя *Pagophilus groenlandicus* / Г. Г. Матишов, В. М. Муравейко, А. С. Гладких, А. В. Муравейко // Докл. РАН. 2004. Т. 397. № 4. С. 558–562.

Гренландский тюлень: современный статус вида и его роль в функционировании систем Белого и Баренцева морей / Отв. ред. академик РАН Г. Г. Матишов. Мурманск: ООО “МИП-999”, 2001. 220 с.

Дьюсбери Д. Поведение животных: сравнительные аспекты. М., 1981. 480 с.

Зайцев А. А. Структура суточного поведения гренландского тюленя в условиях вольерного содержания // Материалы XXIX конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, посвященной 140-летию со дня рождения Г. А. Клюге “Морские исследования экосистем европейской Арктики” (г. Мурманск, май 2011 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2011. С. 74–78.

Зайцев А. А. Изменение суточной динамики поведения гренландского тюленя, вызванные патологическими изменениями в организме // Материалы XXXI конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, посвященной 135-летию со дня рождения К. М. Дерюгина “Океанография и биология арктических морей” (г. Мурманск, май 2013). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2013. С. 80–85.

Кузнецов В. Б., Карасик В. М. Вегетативные реакции афалины на изменение магнитного поля // Тезисы докладов X Всесоюзного совещания по изучению, охране и рациональному использованию морских млекопитающих “Морские млекопитающие” (г. Светлогорск Калининградской области, 2–5 октября 1990 г.). М.: Изд-во ВНИРО, 1990. С. 164–165.

Левина Р. В., Смирнов Р. В., Олимпиаченко Т. С. К вопросу о влиянии гипогеомагнитного поля на теплокровных животных // Космическая биология и авиакосмическая медицина. 1989. № 1. С. 45–47.

Попова Е. А., Андронов С. В., Попов А. И. Изменения физиологических показателей жителей Крайнего Севера под влиянием астрономических возмущений // Вестн. Челябинского гос. ун-та. Образование и здравоохранение. 2014. № 13(342). Вып. 4. С. 74–77.

Попов С. В. Неопределенность внешней среды и возбуждение/стресс как детерминанты поведения // Журн. общей биологии. 2010. Т. 71. № 4. С. 287–297.

Попов С. В. Механизмы поведения млекопитающих: роль стресса и неопределенности среды: Дис. ... док. биол. наук. М., 2011. 225 с.

Руководство по научным исследованиям в зоопарках // Евроазиатская региональная ассоциация зоопарков и аквариумов. Московский зоологический парк / Ред. С. В. Попов. М., 2008. 165 с.

Современные проблемы физиологии и экологии морских животных / Под ред. акад. Г. Г. Матишова. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. 366 с.

Степанюк И. А., Баландина Н. Л. Изменчивость активности гидробионтов в условиях геомагнитных возмущений // Биологические эффекты солнечной активности: Тез. докл. семинара, Пушинона-Оке. М.: ИКИ РАН, 2004. С. 23–25.

Экспериментальные исследования морских млекопитающих в условиях Кольского залива / Отв. ред. Г. Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. 254 с.

Evidence that fin whales respond to the geomagnetic field during migration / M. M. Walker, J. L. Kirschvink, A. Gufran, A. E. Dizon // J. Exp. Biol. 1992. Vol. 171. P. 67–78.

Magnetic orientation and navigation in Marine Turtles, Lobsters, and Molluscs: concepts and conundrums / S. D. Cain, L. C. Boles, J. H. Wang, K. J. Lohmann // Integrative and Comparative Biology: Oxford J., 2005. Vol. 45. Iss. 3. P. 539–546.

Wiltschko R., Wiltschko W. Avian navigation: from historical to modern concepts // Animal Behaviour. 2003. Vol. 65. P. 257–272.

Walker M. M., Kirschvink J. L., Dizon A. E. Magnetoreception and biomineralization of magnetite in fish // Magnetite Biomineralization in Organism. New York: Plenum Press, 1985. Vol. 5. P. 417–497.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕСЯТИНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ (CRUSTACEA: DECAPODA) БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ АКВАТОРИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТРАЛОВЫХ СЪЕМОК 2011 ГОДА

О. Л. Зимина¹, Д. В. Захаров²

¹Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

²Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства
и океанографии им. Н. М. Книповича, г. Мурманск

Введение

Десятиногие ракообразные широко распространены в арктических морях и являются важной частью бентосных и неcobентосных сообществ Баренцева моря. Они играют важную роль в питании рыб и других организмов. Данная группа не отличается большим видовым разнообразием, но отдельные представители являются важными объектами промысла и формируют значительные скопления.

Фауна десятиногих ракообразных евразийских морей Полярного бассейна, в том числе Баренцева моря, изучена относительно хорошо. В опубликованных работах (Яшнов, 1948; Соколов, 2001, 2003, 2009; Василенко, 2009; Петряшев, 2009) приведены систематические таблицы, сведения по биологии, экологии и биогеографическом статусе видов Decapoda в морях Полярного бассейна. Характерной чертой группы является наличие свободноплавающей пелагической личинки, благодаря которой происходит расселение вида. Ранние стадии онтогенеза особенно чувствительны к лимитирующим факторам среды (Thorson, 1950), поэтому многие виды являются стенобионтными и придерживаются районов распространения водных масс определенного происхождения. В связи с этим некоторые виды десятиногих ракообразных используются в качестве видов-индикаторов водных масс и температурных условий при оценке климатических изменений (Blacker, 1965; Golikov, 1968; The distribution ..., 1984; Changes ..., 2009). Однако имеющиеся в литературе данные о пространственном распределении видов декапод по акватории Баренцева моря крайне отрывочны, что не позволяет составить целостной картины зависимости их распространения от океанографических условий.

Ежегодные траловые съемки Баренцева моря и прилегающих акваторий Норвежского и Гренландского морей, проводимые совместно Институтом морских исследований (IMR, г. Берген, Норвегия) и Полярным научно-исследовательским институтом рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО, г. Мурманск, Россия), предоставляют уникальную возможность получать современные оперативные сведения о видовом составе и распределении крупных форм зообентоса по акватории Баренцева моря (Distribution ..., 2015). Применяющийся при проведении съемок донный трал "Campelen-1800" является орудием специализированного лова креветок, что делает десятиногих ракообразных постоянным компонентом прилова, а их видовой состав достигает 17 % от общего количества видов бентоса в улове (Мегабентос ..., 2010).

Баренцево море имеет достаточно сложную топографию и гидрологический режим. Для большей части моря характерны глубины 100–300 м. Имеется несколько банок с глубинами 50–200 м и глубоководные впадины и желоба с глубинами до 500 м, в основном у северных и западных окраин. В Баренцевом море выделяют 4 основных типа водных масс: атлантические, баренцевоморские, арктические и прибрежные. Определяющее влияние на гидрологический режим моря оказывает теплое Норвежское течение. В западную часть Баренцева моря оно проникает в виде Нордкапского течения, разделяясь далее на несколько

ветвей. Часть вод Норвежского течения следует вдоль континентального склона на север и называется Шпицбергенским. В дальнейшем эти воды огибают архипелаг Шпицберген и следуют вдоль склона на восток, частично проникая в Баренцево море с севера по глубоководным желобам Франц-Виктории и Святой Анны. В юго-западной части Баренцева моря в придонном слое в течение всего года наблюдаются положительные температуры, при продвижении на восток влияние атлантических вод ослабевает и в северо-восточной части Баренцева моря придонные воды имеют отрицательную температуру. Теплые атлантические воды распространяются по желобам и впадинам, в то время как на возвышенностях, поднятиях и плато находятся холодные воды промежуточного слоя, более подверженные сезонному изменению температур (Добровольский, Залогин, 1982; Матишов, 1986; Ожигин, Ившин, 1999; Matishov et al., 2009; Voitsov et al., 2012).

С конца 1980-х гг. в Баренцевом море отмечается период потепления, связанный с увеличением адвекции атлантических вод, продолжающийся по настоящее время (Климатические ..., 2010).

Материал и методы

Работа основана на материалах по Decapoda, полученных в ходе ежегодной экосистемной съемки Баренцева моря. Материал собирался с борта научно-исследовательских судов Института морских исследований (“Helmer Hansen”, “Christina E”, “Johan Hjord”) и ПИНРО (“Вильнюс”) в августе–сентябре 2011 г. (рис. 1) при помощи учетного донного трала “Campelen-1800”, представляющего собой активное сетное орудие лова для ловли северной креветки. Трал выполнен из капроновой дели с шагом ячеи 125 мм, в кутовой части снабжен мелкочаеистой вставкой с размером ячеи 22 мм; вертикальное раскрытие составляет 4 м, горизонтальное – 15 м. Время траления – 15 мин со средней скоростью 3 узла. В случае изменения времени траления, производился пересчет улова на 15 мин. На всех судах траления выполнялись по единой методике и с применением одинаковых орудий лова. Сбор и обработка материала осуществлялись специалистами на борту: “Helmer Hansen” и “Christina E” – О. Л. Зиминной (ММБИ КНЦ РАН), “Johan Hjord” – О. С. Любиной (ММБИ КНЦ РАН), “Вильнюс” – Д. В. Захаровым (ПИНРО).

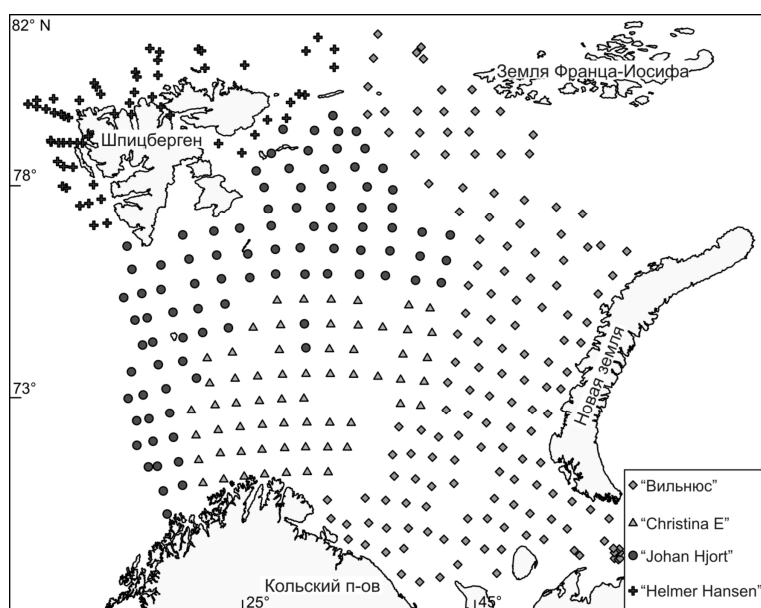


Рис. 1. Карта-схема расположения траловых станций в Баренцевом море и на сопредельной акватории в 2011 г.

Ракообразные из приловов зообентоса идентифицировали по возможности до видового уровня на борту судна, определяли массу (с точностью до 0.1 г) и количество особей. Проанализирован материал с 363 траловых станций (рис. 1).

Анализ распределения видов в зависимости от условий среды и выделение экологических группировок производили при помощи анализа канонических соответствий (ССА; Legendre, Legendre 1998) на основе данных о присутствии (отсутствии) видов. В качестве средовых переменных использовали данные по глубине, придонной температуре и солености на станциях. Вычисления и построение графиков выполняли в программе PAST (Hammer et al., 2001).

Результаты и обсуждение

В Баренцевом море, согласно последним сводкам (List ..., 2001; Соколов, 2003), встречается 40 видов Decapoda. Нами отмечено 25 видов Decapoda из 10 семейств (таблица).

Список видов десятиногих ракообразных Баренцева моря и прилегающей акватории по результатам траловых съемок 2011 г.

Таксон	Биогеографическая характеристика
Отряд Decapoda	
Подотряд Dendrobranchiata	
Семейство Sergestidae	
<i>Eusergestes arcticus</i> (Krøyer, 1855)	panok
Подотряд Pleocyemata	
Инфраотряд Caridea	
Семейство Acanthephyridae	
<i>Hymenodora glacialis</i> (Buchholz, 1874)	b atl deep
Семейство Crangonidae	
<i>Pontophilus norvegicus</i> (M. Sars, 1861)	b atl
<i>Sabinea sarsii</i> Smith, 1879	b atl
<i>Sabinea septemcarinata</i> (Sabine, 1824)	hb-a cp
<i>Sclerocrangon boreas</i> (Phipps, 1774)	hb-a cp
<i>Sclerocrangon ferox</i> (Sars G. O., 1877)	hb-a cp
Семейство Pandalidae	
<i>Atlantopandalus propinquus</i> (Sars G. O., 1870)	st-b atl
<i>Pandalus borealis borealis</i> Krøyer, 1838	b-a ws
<i>Pandalus montagui</i> Leach, 1814	b-a atl
Семейство Pasiphaeidae	
<i>Pasiphaea multidentata</i> Esmark, 1866	st-b atl
<i>Pasiphaea tarda</i> Krøyer, 1845	panok deep
Семейство Thoridae	
<i>Eualus gaimardii gaimardii</i> (H. Milne-Edwards, 1837)	hb-a
<i>Lebbeus polaris</i> (Sabine, 1824)	hb-a cp
<i>Spirontocaris liljeborgii</i> (Danielssen, 1859)	hb-a atl
<i>Spirontocaris spinus</i> (Sowerby, 1805)	hb-a
Инфраотряд Anomura	
Семейство Lithodidae	
<i>Lithodes maja</i> (Linnaeus, 1758)	b atl
<i>Paralithodes camtschaticus</i> (Tilesius, 1815)	b pac
Семейство Munididae	
<i>Munida sarsi</i> Huus, 1935	b atl
Семейство Paguridae	
<i>Pagurus pubescens</i> Krøyer, 1838	b-a ws
Инфраотряд Brachyura	
Семейство Oregoniidae	
<i>Hyas araneus</i> (Linnaeus, 1758)	b-a ws
<i>Hyas coarctatus</i> Leach, 1816	b atl
<i>Chionoecetes opilio</i> (O. Fabricius, 1788)	b-a pac atl

ПРИМЕЧАНИЕ. b – бореальный, b-a – бореально-арктический, hb-a – высокобореально-арктический, st-b – субтропическо-бореальный, atl – атлантический, pac – тихоокеанский, ws – широкораспространенный, panok – панокеанический, deep – глубоководный.

Особенностью фауны декапод исследованного района является большое количество бореальных видов (40 %). Их распространение в Баренцевом море в основном ограничено западной частью и районами проникновения атлантических вод в северной глубоководной и южной частях моря. Бореально-арктические виды составляют 44 %.

Анализ распределения видов в зависимости от условий среды (температуры, солености, глубины) методом ССА позволил выделить несколько обобщенных экологических групп Decapoda (рис. 2).

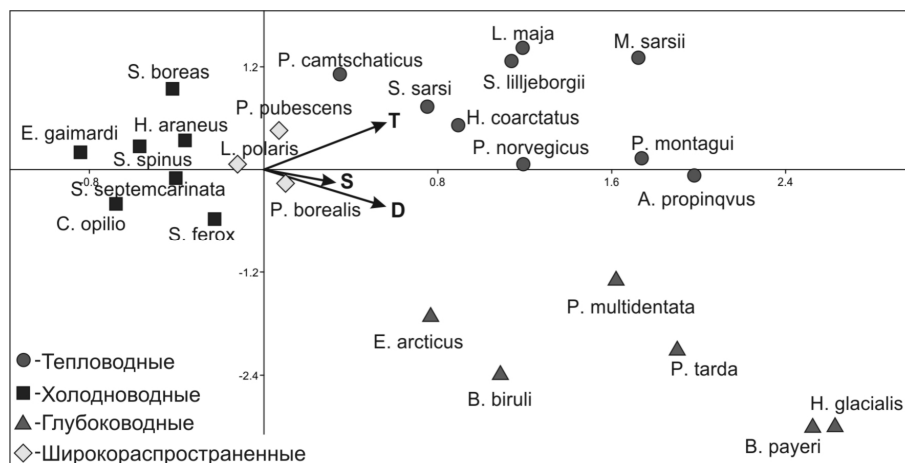


Рис. 2. Ординация методом ССА видов Decapoda в зависимости от факторов среды: Т – придонная температура, S – соленость, D – глубина

Тепловодные виды средних глубин, “индикаторы” атлантических вод в Баренцевом море – *Munida sarsi*, *Lithodes maja*, *Spirontocaris lilljeborgii*, *Paralithodes camtschaticus*, *Sabinea sarsi*, *Hyas coarctatus*, *Pontophilus norvegicus*, *Pandalus montagui*, *Atlantopandalus propinquus*. Обитают в западной и юго-западной частях исследованной акватории, их распространение ограничено атлантической водной массой с высокой температурой и соленостью. В юго-западной части Баренцева моря распространяются примерно до 34° в. д., огибают Шпицберген, некоторые виды проникают в центральную и восточную части Баренцева моря со струями теплого течения.

Глубоководные виды трансформированной атлантической водной массы, приуроченные к водам высокой солености и несколько пониженной температуры – *Bythocaris biruli*, *B. payeri*, *Pasiphaea multidentata*, *P. tarda*, *Eusergestes arcticus*, *Hymenodora glacialis*. Встречены в районах континентального склона на севере и западе исследованной акватории.

Преимущественно холодноводные виды, приуроченные к арктической и баренцевоморской водным массам с низкой температурой – *Sclerocrangon ferox*, *S. boreas*, *Sabinea septemcarinata*, *Eualus gaimardi*, *Chionoecetes opilio*, *Spirontocaris spinus*, *Hyas araneus*. Не встречаются в атлантической водной массе в юго-западной части Баренцева моря. В районе Шпицбергена они преимущественно прижаты к его побережью.

Виды, распространенные по всей исследованной акватории в широком диапазоне условий среды, встречающиеся как в атлантической, так и в арктической водных массах – *Pandalus borealis*, *Lebbeus polaris*, *Pagurus pubescens*.

Представители первых трех групп распределены по исследованной акватории закономерно, в целом повторяя картину распределения придонных температур в 2011 г. (рис. 3а). В связи с этим можно провести границу современного распространения “тепловодных” и “холодноводных” видов декапод в Баренцевом море и на прилегающей акватории (рис. 3б).

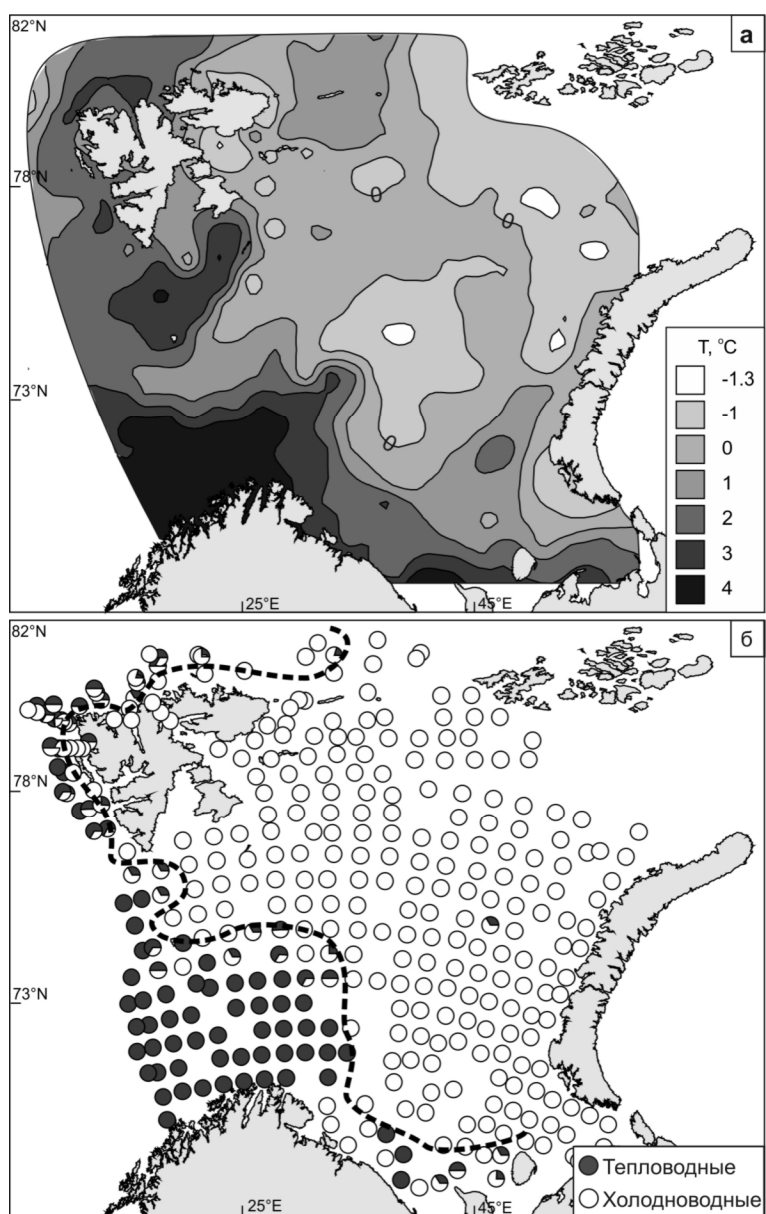


Рис. 3. Распределение придонной температуры в районе исследований в 2011 г. (по: Distribution ..., 2015) (а) и распространение “тепловодных” и “холодноводных” видов декапод (б)

Положение границы распространения “тепловодных” и “холодноводных” видов декапод в целом соответствует зоогеографическим границам, проводимым по распространению других систематических групп зообентоса на современном этапе (Захаров, Любин, 2012; Distribution ..., 2015), и отражает смещение зоогеографических границ на северо-восток, по сравнению с границами, проводимыми ранее (Golikov, 1968; Антипова и др., 1989; Галкин, 1992; Bryazgin, 1997), что вероятно связано с продолжающимся потеплением.

* *
*

Небольшое количество видов, относительная простота видовой идентификации, частая встречаемость в приловах учетных тралений делают декапод удобным объектом при проведении мониторинга в Баренцевом море. Распределение отдельных групп видов по акватории отражает гидрологические условия и может быть использовано для изучения влияния клима-

тических изменений на фауну моря. Полученные карты распространения экологических групп декапод могут использоваться в качестве фоновой картины состояния фауны в теплый климатический период, начавшийся в конце 1980-х годов и продолжающийся до настоящего времени.

Литература

- Антипова Т. В., Денисенко Н. В., Семенов В. Н. Распределение донной фауны и проблемы биогеографического районирования северных морей // Жизнь и среда полярных морей. Л.: Наука, 1989. С. 146–157.
- Василенко С. В. Инфраотряд Brachyura // Иллюстрированные определители свободноживущих беспозвоночных евразийских морей и прилегающих глубоководных частей Арктики. Т. 1. Коловратки, морские пауки и ракообразные: усоногие, тонкопанцирные, эвфаузииды, неполнохвостые, крабы, мизиды, гиперииды, капреллиды. М.; СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2009. С. 111–120.
- Галкин Ю. И. Климат и распределение арктических моллюсков-букцинид // Проблемы кайнозойской палеоэкологии и палеографии морей Северного Ледовитого океана. М.: Наука, 1992. С. 125–31.
- Добровольский А. Д., Залогин Б. С. Моря СССР. М.: Изд-во МГУ, 1982. 192 с.
- Захаров Д. В., Любин П. А. Фауна, экология и распределение моллюсков семейства Vucsinidae (Mollusca, Gastropoda) в Баренцевом море и сопредельных акваториях // Вестн. МГТУ 2012. Т. 4. №15. С. 749–757.
- Климатические изменения морских экосистем европейской Арктики / Г. Г. Матишов, С. Л. Дженюк, Д.В. Моисеев, А.П. Жичкин // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3(86). С. 7–21.
- Матишов Г. Г. Геоморфология дна в экосистемах моря // Жизнь и условия ее существования в бентали Баренцева моря. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1986. С. 5–26.
- Мегабентос Баренцева моря / П. А. Любин, Н. А. Анисимова, Л. Л. Йоргенсен и др. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 27–30 окт. 2010 г.). Вып. 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 192–200.
- Ожигин В. К., Ившин В. А. Водные массы Баренцева моря. Мурманск: Изд. ПИПРО, 1999. 48 с.
- Петряшев В. В. Инфраотряд Anomura // Иллюстрированные определители свободноживущих беспозвоночных евразийских морей и прилегающих глубоководных частей Арктики. Т. 1. Коловратки, морские пауки и ракообразные: усоногие, тонкопанцирные, эвфаузииды, неполнохвостые, крабы, мизиды, гиперииды, капреллиды. М.; СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2009. С. 101–111.
- Соколов В. И. Десятиногие ракообразные (Crustacea Decapoda) евразийских морей Полярного бассейна: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2001. 24 с.
- Соколов В. И. Фауна десятиногих ракообразных (Crustacea, Decapoda) Баренцева моря // Тр. ВНИРО. 2003. Т. 142. С. 25–76.
- Соколов В. И. Креветкообразные декаподы подотрядов Dendrobrachiata и Pleocyemata // Иллюстрированные определители свободноживущих беспозвоночных евразийских морей и прилегающих глубоководных частей Арктики. Т. 1. Коловратки, морские пауки и ракообразные: усоногие, тонкопанцирные, эвфаузииды, неполнохвостые, крабы, мизиды, гиперииды, капреллиды. М.; СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2009. С. 72–101.
- Яшинов В. А. Отряд Decapoda // Определитель фауны и флоры северных морей СССР. М.: Советская наука, 1948. С. 328–344.
- Blacker R. W. Recent changes in the benthos of West Spitsbergen Fishing grounds // Special publications. International commission for the Northwest Atlantic Fisheries. 1965. Vol. 6. P. 791–794.
- Boitsov V. D., Karsakov A. L., Trofimov A. G. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 // ICES J. Mar. Sci. 2012. Vol. 69. № 5. P. 833–840.
- Bryazgin V. F. Diversity, distribution and ecology of benthic amphipods (Amphipoda, Gammaridea) in the Barents Sea sublittoral // Polish Polar Rec. 1997. Vol. 18. № 2. P. 89–106.
- Changes in the decapod fauna of an Arctic fjord during the last 100 years (1908–2007) / J. Berge, P. E. Renaud, K. Eiane et al. // Polar Biol. 2009. Vol. 32. № 7. P. 953–961.
- Distribution of benthic megafauna in the Barents Sea: baseline for an ecosystem approach to management / L. L. Jørgensen, P. A. Lyubin, H. R. Skjoldal et al. // ICES J. Mar. Sci. 2015. Vol. 72. № 2. P. 595–613.
- Golikov A. N. Distribution and variability of long-lived benthic animals as indicators of currents and hydrological conditions // Sarsia. 1968. Vol. 34. P. 199–208.

Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. Past: paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4. № 1. P. 1–9.

Legendre P., Legendre L. *Numerical Ecology*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 1998. 853 p.

List of species of free-living invertebrates of Eurasian Arctic seas and adjacent deep waters // *Explorations of the fauna of the seas*. 2001. Vol. 51(59). 132 p.

Matishov G. G., Matishov D. G., Moiseev D. V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // *Oceanologia*. 2009. Vol. 51. № 3. P. 321–340.

The distribution of the benthic hydrographic indicator species in Svalbard waters / M. F. Dyer, G. J. Cranmer, P. D. Fry, W. G. Fry // *J. Mar. Biol. Ass. UK*. 1984. Vol. 64. № 3. P. 667–677.

Thorson G. Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates // *Biological Reviews*. 1950. Vol. 25. № 1. P. 1–45.

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ УЯЗВИМОСТИ БИОТЫ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТИ

О. П. Калинка, А. Н. Карнатов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение

Активизация работ по поиску и добыче нефти, а также ее транспортировки в условиях континентального шельфа требует более строгого отношения к вопросам экологической безопасности. Имеющиеся правовые и нормативные документы декларируют оценку ущерба природе в понятиях и категориях экономических потерь, вводятся положения уязвимости природных комплексов (экосистем), в том числе и морских, к основным видам антропогенных воздействий (СП 47.13330.2012 ..., 2012). В рекомендациях некоторых международных организаций (ИМО/ИРЕСА/ОГР ..., 2012) говорится о том, что необходимо учитывать различную уязвимость прибрежно-морских зон при ликвидации нефтеразливов. Если для расчета ущерба рыбным запасам существуют методики, то по оценке уязвимости в современной экологической нормативно-правовой базе нет никаких четких методических руководств, равно как и нет единого мнения, как уязвимость рассчитывать и каким образом представлять. Поэтому исследования в данном направлении являются актуальными и достаточно сложными, особенно в части биологических объектов.

Цель настоящей работы – оценка коэффициентов уязвимости биоты Кольского залива от воздействия нефти в рамках метрической шкалы, что необходимо для построения карт интегральной экологической уязвимости акватории залива.

В большинстве случаев коэффициенты уязвимости от воздействия нефти задаются одним или несколькими параметрами в относительных единицах (баллах, рангах), либо в процентах (SFT ..., 2004; Offringa, Låhr, 2007; BRISK ..., 2009; Погребов, 2010; DNV ..., 2011). В качестве обоснования приводятся лишь критерии, с учетом которых оценивается уязвимость, а конкретные значения основаны, главным образом, на субъективном мнении экспертов и поэтому неоднозначны. Это связано с многообразием видов, населяющих морские экосистемы, индивидуальными и популяционными особенностями этих видов, а также различиями условий нефтяных разливов, их масштабов и продолжительности. В проведенном нами исследовании дана попытка представления коэффициентов уязвимости групп/подгрупп биоты Кольского залива от нефти не в рангах или баллах, а в единицах метрической шкалы.

Биологическая уязвимость

Коэффициент уязвимости биоты V_b^g определяется ее индивидуальной подверженностью к действию нефти и вычисляется по формуле

$$V_b^g = \frac{E^g \cdot R^g}{S^g},$$

где S^g – чувствительность; E^g – потенциальное воздействие; R^g – восстанавливаемость g -ой группы/подгруппы биоты (Offringa, Låhr, 2007; Шавыкин, 2015). Конкретные значения параметров, определяющих уязвимость (E^g , S^g , R^g) от негативного воздействия нефти, представлены с учетом имеющихся данных о биологии основных экологических групп организмов и их поведенческих особенностей.

Учитываемые группы/подгруппы биоты. Виды биоты, обитающие в Кольском заливе, объединены в экологические группы (фито-, зообентос, морские птицы), дополнительно в группах выделены подгруппы организмов, что необходимо для учета различного характера воздействия на них нефти. Группа зообентоса разделена на макрозообентос (донные беспозвоночные животные с длиной тела 1.5–30.0 мм) и мегазообентос (донные организмы более 30 мм) мобильный (способный передвигаться, мигрировать на большие расстояния) и немобильный (прикрепленный, малоподвижный). Группа морских птиц включает подгруппу водных (большую часть времени плавающие на поверхности воды, например, утки) и околоводных (чайковые – большую часть времени проводящие на литорали или в полете, а также кулики – обитающие вдоль береговой линии, в зоне заплеска) птиц. Для группы фитобентоса, на основании характера рассматриваемого воздействия, выделения дополнительных подгрупп не проводилось.

Рассматриваемый тип нефти. Благодаря положительной плавучести и низкой растворимости в воде сырая нефть и большинство нефтепродуктов, поступающих в морскую среду, локализуется преимущественно на границе раздела моря с атмосферой и береговой линией в виде пленки. В зависимости от динамики вод (волнение, турбулентное перемешивание и др.), а также свойств самих водных масс (термо- и галоклин) глубина распространения нефти может быть различной. Для условий Кольского залива, с учетом рассматриваемой нефти среднего типа (плотность – 850–950 кг/м³), принята максимальная глубина, на которую может распространяться загрязнение, до 5 м от поверхности, так как в прибрежье и мелководных участках при турбулентном перемешивании и взаимодействии с донными осадками есть вероятность осаждения ее на дно.

Потенциальное воздействие E^g – это вероятность соприкосновения (контакта) биоты с нефтью при разливе и характер ее загрязнения в зависимости от длительности пребывания на водной поверхности, литорали или берегу. Подобная вероятность с учетом возможной смертности выполнена для морских млекопитающих и птиц (French-McCaу, 2009). Аналогично оценено потенциальное воздействие нефти на макрофитобентос и подгруппы зообентоса. Предполагается, что наибольшему негативному влиянию подвержены организмы, непосредственно связанные с поверхностным слоем и обитающие в прибрежной зоне или на мелководьях, а также неподвижные формы и виды, у которых отсутствует поведенческая реакция избегания нефтяного загрязнения. Основываясь на данных Р.Г.Форда (Ford, 1985), мы полагаем, что максимальная вероятность загрязнения нефтью у подгруппы водных птиц (гагарообразных, гусеобразных, чистиковых) составляет 90 %. Их жизнь связана в основном с водной поверхностью, где они кормятся и отдыхают; в период линьки, утратив способность к полету, птицы проводят практически все время на воде (Speich et al., 1991). Для подгруппы околоводных птиц бюджет времени, связанный с жизнедеятельностью на воде, значительно

ниже. Чайковые проводят много времени в полете или на берегу (на скалах, литорали), а кулики обитают большей частью в береговой зоне, на литорали и заходят в воду только на мелководье. Согласно имеющимся данным (French-McCaу, 2009), а также предварительным натурным наблюдениям и экспертным оценкам, потенциальное воздействие нефти на них можно принять равным 35 %. Для макрофитов на литорали и мелководье вероятность контакта с нефтью при ее разливе – довольно высока. Прикрепленные к субстрату растения будут подвергаться воздействию толстых пленок нефти, которая их накроет, например, при отливе; есть вероятность воздействия на них нефти, растворенной в толще воды под пленкой. Однако макрофиты покрыты слизистой оболочкой, которая предохраняет растительную ткань от налипания нефти (Патин, 2008). В случае сильного загрязнения, когда нефть обволакивает талломы водорослей, может происходить их обламывание (ИРЕСА ..., 2004; Патин, 2008), что приводит лишь к частичному повреждению растений. Таким образом, можно предположить, что потенциальное воздействие нефти на фитобентос составит около 70 %. Подгруппы зообентосных организмов обитают на морском дне, поэтому соприкосновение их с нефтью возможно при выносе пятна нефти в мелководную зону и на литораль. Неподвижные формы зообентоса в большей степени подвержены контакту с нефтью (Научно-методические ..., 1997), так как не в состоянии покинуть загрязненный район, а при возможности укрыться в поясе макрофитов, воздействие на данный тип зообентоса будет ниже, чем на прикрепленные растения. Кроме того подгруппа макрозообентоса включает неподвижные виды и ведущие малоподвижный образ жизни, которые могут зарываться или закрываться, укрываясь от загрязнения (Moles, 1998; Robertson, 1998; Venesjärvi, 2012). В то время как среди немобильного мегазообентоса таких малоподвижных видов, способных укрыться, меньше. Это позволяет утверждать, что для макрозообентоса вероятность соприкосновения с нефтью ниже, чем у немобильного мегазообентоса, что составляет, соответственно, примерно 40 и 60 % и учитывает значение этого параметра для макрофитов. Известно, что подвижные организмы мегазообентоса (такие как крабы) способны избегать нефтяное загрязнение (Percy, 1976; Percy, Mullin, 1977; NCM, 2007), поэтому риск соприкосновения и воздействия на них нефти будет предположительно минимальным (10 %) среди донных организмов.

Чувствительность S^g . Оценивая значения летальных концентраций (LC_{50}) нефти для зообентосных организмов и макрофитобентоса можно выявить различия в их чувствительности к воздействию нефти (Шавыкин, Ильин, 2010). Однако разброс показателей токсичности нефтяных углеводородов чрезвычайно велик, так как их значения определяется множеством факторов: вид и стадия развития организмов (их физиологические и другие особенности), а также тип и состав нефти, форма ее нахождения, продолжительность воздействия (Матишов, 1990; Патин, 2008). Это показывает определенную трудность выбора конкретных значений летальных концентраций, поэтому целесообразно оперировать диапазонами значений LC_{50} для групп организмов при воздействии определенного типа нефти. Гибель морских организмов наблюдается на начальных стадиях нефтяного разлива. Вероятность летального поражения резко снижается по мере выветривания и удаления из морской среды высокотоксичных легких фракций нефти. Многими авторами приводятся летальные концентрации ароматических углеводородов для бентосных групп биоты (NOAA ..., 1985; Samiullah, 1985; French-McCaу, 2009). В рамках настоящей работы рассматривается комплексное воздействие сырой нефти (в том числе плотностью 850–950 кг/м³) с содержанием 10 % токсичных ароматических фракций, диапазоны летальных концентраций которой для разных групп биоты представлены в исследовании (O'Sullivan, Jacques, 2001). Для дальнейших расчетов по отдельным типам биоты взяты средние значения диапазонов LC_{50} , предполагая, что их распределение ассиметрично в диапазоне (поэтому допустимо усреднением по экстремальным точкам). Затем вычислив среднее арифметическое из них, получали величину, которая будет использоваться как LC_{50} для подгрупп зообентоса и макрофитобентоса (таблица).

Для птиц, обитающих на акватории залива и литорали, действующим фактором является толщина пленки нефти на поверхности воды. Так зарубежные ученые (Ioxische ..., 1996; Koops et al., 2004) приводят следующие данные. Толщина порогового слоя, начиная с которого будет отчетливо проявляться негативное действие нефти на птиц, составляет 25 мкм (25 мл на 1 м²). Такая толщина слоя нефти, приводящая к 50 %-й гибели птиц, будет использована как летальная (LT₅₀, таблица). Это в определенной мере аналогично действию нефтяных углеводородов (LC₅₀, мг/л) на организмы в толще воды. При этом требуется сопоставить концентрацию нефти в воде и толщину пленки нефти на поверхности, привести их к единым единицам измерения для дальнейших расчетов. Однозначно решить подобный вопрос сложно из-за отсутствия необходимых данных, поэтому предлагается на данном этапе использовать в качестве параметра S^g для водной толщи отношение LC₅₀:ПДК (ПДК – предельно допустимая концентрация для нефти – 0.05 мг/л), а для пленки нефти отношение LC₅₀:ПДТ (ПДТ – предельная минимальная толщина пленки нефти не влияющая на жизнедеятельность птиц – 0.04 мкм; по: Horn, FrenchMcCaу, 2014). Таким образом, единицы измерения параметра чувствительности S^g для птиц и бентоса будут одинаковы. При таком подходе для птиц мы имеем LC₅₀:ПДТ = 25:0.04 = 625, и именно это значение будет использовано, для остальных групп биоты показатели S^g приведены в таблице.

Экспертные оценки параметров уязвимости (S^g, E^g, R^g) в значениях метрической шкалы и итоговые коэффициенты уязвимости V_b^g групп/подгрупп биоты Кольского залива

Тип биоты	LC ₅₀ , мг/л	Среднее значение LC ₅₀ , мг/л	S ^g	E ^g , %	R ^g , годы	V _b ^g	~ V _b ^g · 100
		ПДК – 0.05 мг/л					
Макрофиты	100–1000	550	11000	70	5	0.03182	3.2
Макрозообентос	10–100 (полихеты) 50–500 (двустворчатые моллюски) 100–1000 (гастроподы)	290	5800	40	4	0.02759	2.8
Мегазообентос немобильный	50–500 (двустворчатые моллюски) 100–1000 (гастроподы)	410	8200	60	4	0.02927	2.9
Мегазообентос мобильный	10–100 (ракообразные)	55	1100	10	3.5	0.03182	3.2

Окончание

Тип биоты	LT ₅₀ , мг/л	S ^g	E ^g , %	R ^g , годы	V _b ^g	~ V _b ^g · 100
		ПДТ – 0.04 мкм				
Птицы водные	25	625	90	2	0.28800	28.8
Птицы околководные:						
чайковые	25	625	35	3	0.16800	16.8
кулики	25	625	35	3	0.16800	16.8

Восстанавливаемость R^g. Репродуктивные стратегии организмов и их популяционные особенности в большой степени влияют на время восстановления морской экосистемы в районе аварийного разлива (NCM ..., 2007). Особое влияние также оказывают природные

условия среды (обилие пищевых ресурсов, доступность местообитаний), продолжительность нефтяного воздействия, степень поражения популяции и др. Для макрофитов экспериментальное изучение данных процессов позволило определить, что на Мурмане полное восстановление биомассы фукоидов и массовых видов растений на литоральной площадке в 1 м² происходит за 4 года (Макаров и др., 2007). Данную цифру можно использовать как минимальную на защищенных от прибоя участках. Скорость восстановления фитоценозов на открытых берегах существенно снижается (Vadas et al., 1990). Поэтому нами принято среднее время восстановления макрофитов – 5 лет. Сроки восстановления макро- и мегазообентоса в Баренцевом море после воздействия тралов представлены в работе сотрудников ПИНРО (Воздействие ..., 2013). Относительное время возможного восстановления полностью разрушенных видовых сообществ зообентоса до исходного состояния в целом по Баренцеву морю не ранее чем через 5 лет. В примерах по расчету ущерба рыбным запасам приводится время восстановления бентоса – 3 года (Методика ..., 2012). С учетом имеющихся данных, в настоящем исследовании взято усредненное время восстановления макрозообентоса и немобильного мегабентоса – 4 года. Расчеты по восстановлению биомассы краба (подгруппа мобильного мегабентоса) в Кольском заливе в зависимости от размерной структуры, соотношения полов, плодовитости самок, смертности (молоди и взрослых) показали, что после однократного уничтожения 10 % особей восстановление до исходного уровня произойдет через 3.47 года, 20 % – через 4.16 года (личное сообщение А.Г. Дворецкого). С учетом этого время восстановления для подгруппы мобильного мегабентоса принято равным 3.5 года.

По литературным данным, сроки восстановления различных видов птиц очень разнообразны. В расчетах Р. Г. Форда с соавторами (Modelling ..., 1982) показано, что для двух видов кайр при одноразовой гибели 10 % взрослых особей и птенцов потребуется 3–10 лет, в случае гибели 5 % – от 2 до 6 лет. После катастрофы танкера “Еххон Valdez” в 1989 г. у берегов Аляски большинство популяций, включая кайр, считались “восстановленными” за 1.5 и 2.5 года. Сроки восстановления других видов птиц (исландский гоголь, большой баклан, моевка, крохали, поганки, сизые чайки, гагары) были намного больше – от 3 до 9 лет (Vessel ..., 2009). Однако часть видов не восстановилась, в некоторых случаях отмечались тенденции повышения только через 9 лет после аварийного разлива (An evaluation ..., 2001). При этом птицы (утки, гуси), входящие в подгруппу водных имеют относительно более высокую репродуктивность (Cramp, Simmons, 1977, 1983; Clark, 1984), чем околоводные, так как раньше начинают размножаться, в одной кладке до 7–8 яиц в год. У околоводных птиц (чайки, кулики) репродуктивный потенциал несколько ниже (Состояние ..., 2013), поэтому скорость их восстановления будет низкой. Доля общей численности птиц Кольского залива (максимум летом) составляет около 0.5 % от общей их популяции в Баренцевоморском регионе. При нефтеразливе в Кольском заливе, по экспертной оценке, может погибнуть не более 5–10 % общего числа находящихся здесь птиц. С учетом сказанного, можно принять время восстановления для водных птиц Кольского залива – 2 года и для чайковых и куликов – около 3 лет (таблица).

Заключение и выводы

По результатам анализа литературных материалов и экспертного мнения профильных специалистов, дана оценка потенциального воздействия средней по плотности нефти на группы/подгруппы биоты Кольского залива, их индивидуальной чувствительности к нефти и способности к восстановлению после ее разлива. Все величины представлены в единицах метрической шкалы, на этой основе рассчитаны коэффициенты уязвимости рассмотренных объектов, показывающие количественные различия к действию на них нефти. Наиболее уязвимыми являются птицы, так как они очень чувствительны к нефтяному загрязнению. Причем

примерно в 2 раза выше уязвимость птиц водных ($V^g = 28.8$), чем околоводных ($V^g = 16.8$), что обусловлено длительным пребыванием на водной поверхности и высоким риском контакта с нефтью водных птиц. Практически на порядок ниже уязвимость бентосных организмов. Макрофиты и мобильный мегабентос (крабы) имеют равные коэффициенты уязвимости ($V^g = 3.2$). Макрофиты более толерантны к нефти и способны выживать при концентрациях в 10 раз превышающие таковые для крабов, что обусловлено более высоким уровнем биологического развития последних. Подвижность крабов и способность избегать загрязнения определяют их низкую, по сравнению с макрофитами, вероятность контакта с нефтью, что при сравнительной скорости восстановления уравнивает уязвимость этих групп биоты. Различия в коэффициентах уязвимости между подгруппами макрозообентоса и немобильного мегабентоса незначительны ($V^g = 2.8$ и $V^g = 2.9$ соответственно). Это обусловлено тем, что мелкие формы бентоса гибнут при более низких значениях концентрации нефти, но потенциальное воздействие оказываемое нефтью при разливе на крупный неподвижный бентос выше в связи с отсутствием у них защитных механизмов укрытия (зарывание и др.).

Представленные численные значения параметров уязвимости подлежат дальнейшему уточнению, но даже такие примерные и усредненные величины предпочтительнее по сравнению с рангами, так как дают возможность производить с ними арифметические действия и более корректно отражают реальную картину уязвимости биоты. Необходимо дополнительное изучение особенностей экологии и восприимчивости биологических организмов к разным типам нефти в натуральных и лабораторных условиях и получение сопоставимых экспериментальных данных. Это позволит определить более точные количественные значения параметров уязвимости различных групп/подгрупп/видов биоты, а также строить карты интегральной уязвимости прибрежно-морских акваторий. Создание подобных карт представляет собой важный этап в деле готовности и реагирования на чрезвычайные ситуации в первую очередь при аварийных разливах нефти. По результатам инженерно-экологических изысканий карты уязвимости могут способствовать принятию предложений к программе производственного экологического мониторинга.

Литература

Воздействие тралового промысла на донные экосистемы Баренцева моря и возможности снижения уровня негативных последствий [Электронный ресурс]. Мурманск: WWF, 2013. 52 с. URL: <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/868> (Дата обращения 15.09.2014).

Макаров М. В., Рыжик И. В., Воскобойников Г. М. Восстановление зарослей фукусовых водорослей на литорали Баренцева моря // Тр. ВНИРО. 2007. Т. 147. С. 376–380.

Матишов Г. Г. Кризис экосистемы Баренцева моря. Причины дестабилизации: Препр. Ч. 1. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1990. 66 с.

Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам (утв. Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации по Приказу Федерального агентства по рыболовству от 25 ноября 2011 года № 1166), действующая с 13 июля 2012. [Электронный ресурс] <http://docs.cntd.ru/document/902333025> (Дата обращения 04.04.2016)

Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта) / Под ред. Г. Г. Матишова и Б. А. Никитина. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 393 с.

Патин С. А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: Изд-во ВНИРО, 2008. 507 с.

Погребов В. Б. Интегральная оценка экологической чувствительности биоресурсов береговой зоны к антропогенным воздействиям // Основные концепции современного берегопользования. СПб.: Изд. РГГМУ, 2010. Т. 2. С. 43–85.

Состояние популяций морских птиц, гнездящихся в регионе Баренцева моря. Тромсе: Норвежский полярный ин-т, 2013. 216 с.

СП 47.13330.2012. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. 117 с.

Шавыкин А. А. Методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти. Пример карт для Кольского залива // Вестн. Кольского научного центра РАН. 2015. № 2(21). С. 113–123.

Шавыкин А. А., Ильин Г. В. Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2010. 110 с.

An evaluation of marine bird population trends following the Exxon Valdez oil spill, Prince William Sound, Alaska / B. K. Lance, D. B. Irons, S. J. Kendall, L. L. McDonald // Mar. Poll. Bull. 2001. Vol. 42. № 4. P. 298–309.

BRISK (Project on sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea) [Electronic resource]. Method note. Document № P-070618-1-01. Admiral Danish Fleet HQ, National Operations, Maritime Environment. 2009. Ver. 0.2. 42 p. URL: http://meeting.helcom.fi/c/document_library/get_file?p_l_id=83433&folderId=504938&name=DLFE-38440.pdf (Дата обращения 15.09.2014).

Clark R. B. Impact of Oil Pollution on Seabirds // Environ. Poll. 1984. Series A, 33. P. 1–22.

Cramp S., Simmons K. E. L. The Birds of the Western Palearctic. New York; Oxford: Oxford University Press, 1977. Vol. I. 722 p.

Cramp S., Simmons K. E. L. The Birds of the Western Palearctic. New York; Oxford: Oxford University Press, 1983. Vol. III. 913 p.

DNV (Det Norske Veritas) [Electronic resource]. Assessment of the Risk of Pollution from Marine Oil Spills in Australian Ports and Waters. Final Report, 2011. 50 p. URL: http://www.amsa.gov.au/forms-and-publications/environment/publications/Other-Reports/documents/DNV_Final_Report.pdf (Дата обращения 21.02.2014).

Ford R. G. A Risk Analysis Model for Marine Mammals and Seabirds: A Southern California Bight Scenario, Final Report to U.S. Department of the Interior, Minerals Management Service MMS 85-0104, Pacific OCS Region, Los Angeles, CA, 1985. 236 p.

French-McCay D. State-of-the-art and research needs for oil spill impact assessment modeling // Proceedings of the 32nd AMAP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, Emergencies Science Division. Canada, Ottawa: Environment Canada, 2009. P. 601–653.

Horn M., French-McCay D. Helburne basin venture exploration drilling project. Appendix G – Spill fate and behaviour modelling. Trajectory modelling in support of the Shelburne basin exploration drilling program. Model description, approach, and summary of results, 2014. P. 130.

IMO/IPIECA/OGP [Electronic resource]. Sensitivity mapping for oil spill response. London, 2012. 39 p. URL: <http://www.ipieca.org/publication/sensitivity-mapping-oil-spill-response-0> (Дата обращения 12.09.2014).

Ioxische effecten van olie in het aquatische / M. C. Th. Scholten, N. H. B. M. Kaag, H. P. Dokkum et al. TNO-rapport R95/230. 1996. 52 p.

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). The main directions of the biological impacts of oil pollution. IPIECA report series. London: IPIECA, 2004. Vol. 1. 24 p.

Koops W., Jak R. G., Van der Veen D. P. C. Use of dispersants in oil spill response to minimize environmental damage to birds and organisms // Interspill conference proceedings. 2004. Presentation № 429. 21 p.

Modelling the sensitivity of colonially breeding marine birds to oil spills: guillemot and kittiwake populations on the Pribilof Islands, Bering Sea // J. Applied Ecology. 1982. № 19. P. 1–31.

Moles A. Sensitivity of 10 aquatic species to long-term crude oil exposure // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1998. № 61. P. 102–107.

NCM (Nordic Council of Ministers). Short- and long-term effects of accidental oil pollution in waters of the Nordic Countries. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2007. 69 p.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Outer continental shelf environmental assessment program (OCSEAP) // Final reports of principal investigators. Vol. 36. Part 1. Seattle, USA: NOAA, 1985.

Offringa H., Låhr J. SafetyAtSea. An integrated approach to map ecologically vulnerable areas in marine waters in the Netherlands (V-maps). Report № A09. Revision № 4. Centre for Ecosystem Studies, 2007. 93 p.

O'Sullivan A. J., Jacques T. G. Impact reference system. Effects of Oil in the Marine Environment: Impact of Hydrocarbons on Fauna and Flora. Belgium: European Commission, 2001. 79 p.

Percy J. A. Responses of Arctic marine crustaceans to crude oil and oil-tainted food // Environ. Poll. 1976. Vol. 10. P. 155–162.

Percy J. A., Mullin T. S. Effects of crude oils on the locomotory activity of Arctic marine invertebrates // Mar. Poll. Bull. 1977. Vol. 2. № 2. P. 35–39.

Robertson A. Petroleum hydrocarbons // AMAP Assessment Report: Arctic Pollution Issues / S. J. Wilson, J. L. Murray, H. P. Huntington (Eds.). Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 1998. P. 661–701.

Samiullah Y. Biological effects of marine oil pollution // Petrochemical Pollution. England: Elsevier, 1985. Vol. 2. № 4. P. 235–264.

SFT (Statens forurensningstilsyn). Beredskap mot akutt forurensning. Modell for prioritering av miljøressurser ved akutte oljeutslipp langs kysten. TA-nummer 1765/2000. Oslo: Statens forurensningstilsyn, 2004. 16 p.

Speich S. M., Manuwal D. A., Wahl T. R. The Bird/Habitat Oil Index: A Habitat Vulnerability Index Based on Avian Utilization // Wildlife Soc. Bull. Vol. 19. 1991. P. 216–221.

Vadas R. L., Wright W. A., Miller S. L. Recruitment of *Ascophyllum nodosum*: wave action as a source of mortality // Mar. Ecol. Progr. Ser. 1990. Vol. 61. P. 263–272.

Venesjärvi R. The effects of oil spills on the marine environment // Environmental administration guidelines: The ecological effects of oil spills in the Baltic Sea – the national action plan of Finland. Helsinki, 2012. P. 27–28.

Vessel and facility response plans for oil: 2003 Removal Equipment Requirements and Alternative Technology Revisions – Final Programmatic Environmental Impact Statement. Prepared by: Commandant (CG-523) [project manager T. Steiner]. SW Washington, 2009. 951 p.

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ В БУРОЙ ВОДОРОСЛИ *FUCUS VESICULOSUS* ИЗ РАЗНЫХ БИОТОПОВ МУРМАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

М. П. Клиндух

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Свободные аминокислоты – обязательный биохимический компонент любого растительного организма. Они участвуют во всех его жизненных процессах. Их роль в обмене веществ очень важна, а функции в клетке многочисленны и разнообразны.

Пул свободных аминокислот в растениях обычно представлен 20–30 аминокислотами, состав и соотношение которых зависят от вида, условий произрастания, сезона сбора и возраста растений, а также от исследуемой части растения. Любое изменение в метаболизме клетки сразу же отражается на составе пула свободных аминокислот (Клочкова, Березовская, 1997; Биохимия ..., 2004).

Качественный и количественный состав свободных аминокислот наиболее полно изучен для различных видов бурых водорослей, произрастающих на побережье Камчатки (Клочкова, Березовская, 1997). На Белом море в процессе комплексного исследования химического состава бурых водорослей был определен качественный и количественный состав как свободных аминокислот, так и тотальных (Репина, 2005; Комплексное ..., 2012). Качественный состав и количественное содержание свободных аминокислот в бурых водорослях Баренцева моря изучен слабо. Нами ранее исследован состав и содержание свободных аминокислот некоторых видов фукусовых водорослей, произрастающих в различных губах Баренцева моря, а также в Белом и Балтийском морях (Клиндух и др., 2011; Клиндух, Облучинская, 2013, 2015; Клиндух, 2015).

Цель данной работы – исследовать влияние места произрастания и возраста на состав и содержание свободных аминокислот бурой водоросли *Fucus vesiculosus* из различных биотопов Мурманского побережья Баренцева моря.

Материал и методы

Материал для исследования собран в экспедиции ММБИ по губам и заливам Кольского полуострова в апреле 2014 г.

Объектом исследования послужили водоросли *F. vesiculosus* в возрасте 5+...7+ лет и молодые (ювенильные) растения в возрасте – 0–1+ лет. Всего было исследовано 6 проб взрослых растений и 5 проб ювенильных водорослей. Проба формировалась не менее чем из 7–10 растений. Для определения содержания свободных аминокислот у взрослых растений брали среднюю часть таллома, молодые растения использовали целиком.

Извлечение свободных аминокислот из растительного материала проводили методом трехкратной мацерации с использованием 70 %-го этанола в качестве экстрагента. Определение аминокислот проводили по модифицированной нами методике на жидкостном хроматографе фирмы Shimadzu LC-20AD Prominence (Япония) с детектором на фотодиодной матрице Shimadzu SPD-M20A Prominence и хроматографической колонкой Supelco C18 (США). Хроматографический анализ проводили в режиме градиентного элюирования и температуре термостата колонки 55–60 °С. В качестве подвижной фазы использовали растворы ацетата натрия с рН 5.5 и 4.05 и раствор изопропилового спирта в ацетонитриле. Детектирование осуществляли при длине волны 254 нм.

Определение содержания свободных аминокислот проводили в четырехкратной повторности. Все полученные данные были обработаны в программе Microsoft Excel с использованием математических и статистических формул (Ивантер, Коросов, 2003).

Результаты и обсуждение

В исследуемых образцах бурых водорослей были определены качественный состав и количественное содержание свободных аминокислот. Состав свободных аминокислот в *F. vesiculosus* был представлен 20 различными аминокислотами, содержание которых составило от 2.24 до 10.69 мг/г абсолютно сухой массы водорослей (рис. 1).

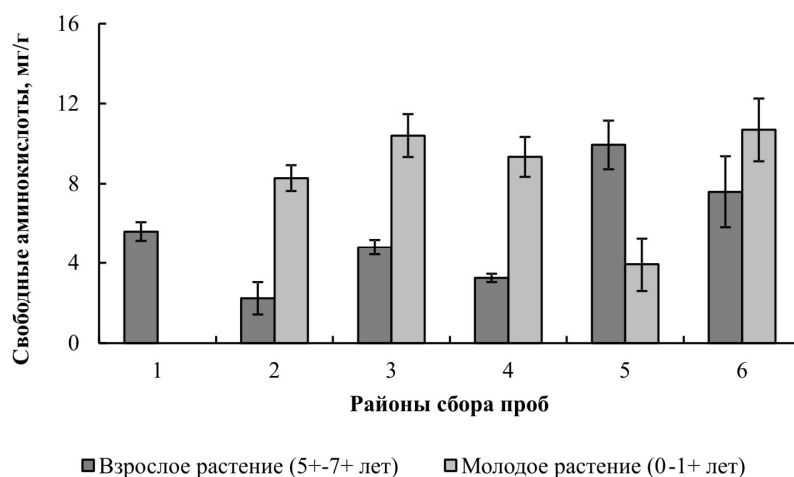


Рис. 1. Суммарное содержание свободных аминокислот в *F. vesiculosus* из различных биотопов Баренцева моря:

1 – бухта Девкина Заводь; 2 – губа Ура; 3 – район Абрам-мыса; 4 – бухта Белокаменная; 5 – бухта Корабельная; 6 – бухта Оскара

Суммарное количество свободных аминокислот в средней части таллома взрослых растений отличалось в разных местах произрастания водорослей (рис. 1). У *Fucus vesiculosus* из губы Ура и бухты Белокаменная суммарное содержание свободных аминокислот оказа-

лось ниже, чем в водорослях из других биотопов. Фукусы, собранные в бухтах Корабельная и Оскара, содержали наибольшее количество свободных аминокислот в средней части таллома, чем остальные образцы. Для молодых растений не наблюдалось существенной разницы в суммарном содержании свободных аминокислот из разных мест произрастания. Исключением оказались ювенильные водоросли из бухты Корабельная, которые содержали в 2–2.5 раза меньше свободных аминокислот, по сравнению с молодыми растениями из других биотопов.

Молодые водоросли из губы Ура, с литорали в районе Абрам-мыса и бухты Белокаменная содержали в 2.2–3.7 раза больше свободных аминокислот по сравнению со средней частью таллома взрослых растений. У ювенильных и взрослых растений из бухты Оскара содержание свободных аминокислот было практически одинаковым. А молодых растения фукусов из бухты Корабельная содержали в 2.5 раза меньше свободных аминокислот, чем 5–7-летние водоросли. Сумма свободных аминокислот у молодых растений оказалась выше, чем у взрослых в основном за счет более высокой доли аланина и глутаминовой кислоты.

Суммарное содержание незаменимых аминокислот составило от 0.22 до 1.17 мг/г абсолютно сухой массы водорослей (рис. 2). Фукусы, произрастающие в губе Ура, на литорали в районе Абрам-мыса и в бухте Белокаменная содержали меньше незаменимых аминокислот, чем взрослые водоросли из других исследуемых биотопов. Среди ювенильных водорослей сумма незаменимых аминокислот оказалась более высокой у водорослей из бухт Белокаменная, Оскара и на литорали в районе Абрам-мыса. Для молодых растений, собранных в губе Ура, на литорали Абрам-мыса и в бухте Белокаменная, характерно более высокое содержание суммы незаменимых аминокислот, по сравнению с взрослыми водорослями. А в бухтах Корабельная и Оскара у молодых и взрослых *F. vesiculosus* суммарное содержание незаменимых аминокислот оказалось одинаковым.

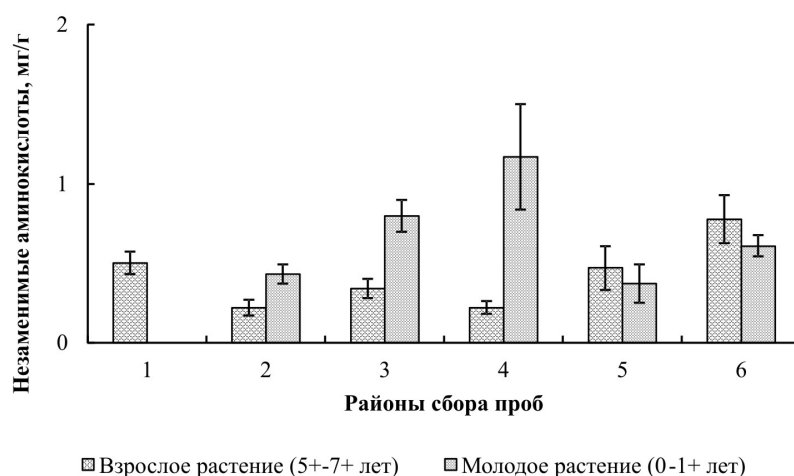


Рис. 2. Суммарное содержание незаменимых аминокислот в *F. vesiculosus* из различных биотопов Баренцева моря:

1 – бухта Девкина Заводь; 2 – губа Ура; 3 – район Абрам-мыса; 4 – бухта Белокаменная; 5 – бухта Корабельная; 6 – бухта Оскара

Наиболее массовыми свободными аминокислотами являются аланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты. В сумме они составляли от 36 до 85 % от общего содержания свободных аминокислот у *F. vesiculosus*. Некоторые пробы водорослей содержали достаточно высокие количества пролина (взрослые растения с литорали в районе Абрам-мыса и бухты Белокаменная; молодые растения из бухты Корабельная) или цистина с цистеином (взрослые растения из губы Ура и молодые растения из бухты Корабельная). Преобладание в составе свободных аминокислот аланина, аспарагиновой и глутаминовой кислот характерно для

представителей бурых водорослей, произрастающих в различных районах Мирового океана (Citharel, Villereit, 1965; Ключкова, Березовская, 1997). Содержание аргинина, гистидина, гидроксипролина и тирозина в исследуемых образцах фукуса из разных мест сбора оказалось незначительным. Образец расхождения фенолтиокарбамильных производных свободных аминокислот представлен на рис. 3.

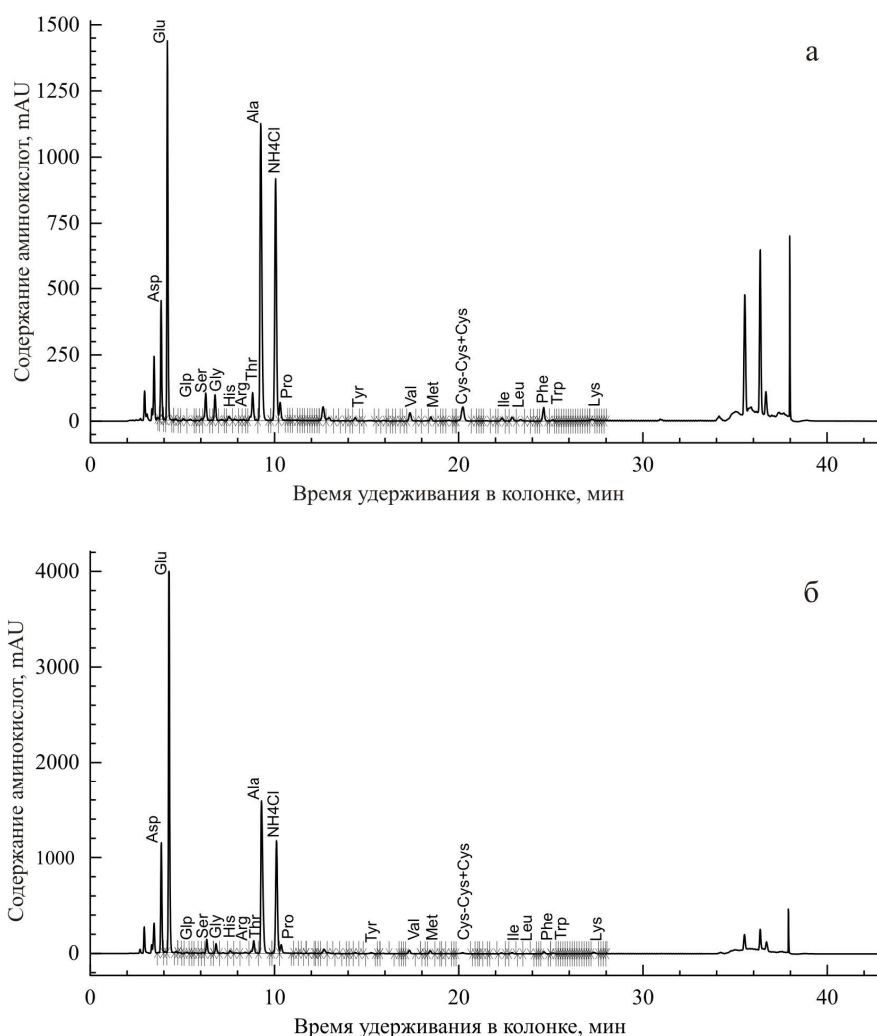


Рис. 3. Хроматограмма свободных аминокислот взрослой (а) и молодой (б) водоросли *F. vesiculosus* из бухты Оскара

Из 20 свободных аминокислот, обнаруженных в *F. vesiculosus*, 8 относились к группе незаменимых: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин. Суммарное содержание незаменимых аминокислот в пробах *F. vesiculosus* составило от 4.7 до 12.5 % от суммы свободных аминокислот. В наибольшем количестве среди незаменимых аминокислот у исследованных образцов фукуса пузырчатого содержались треонин и фенилаланин (рис. 3).

При исследовании свободных аминокислот в *F. vesiculosus* было определено относительно высокое содержание хлорида аммония. Данное соединение может образовываться при распаде амидов до соответствующих аминокислот в присутствии соляной кислоты. Амиды являются запасной и транспортной формой азота в растительном организме (Биохимия ..., 2004). Их высокое содержание в исследуемых нами образцах бурых водорослей, вероятнее всего, связано с тем, что водоросли в весенний период запасают азот для процессов

роста и развития. Для многих растений характерно накапливание соединений азота и фосфора в тканях весной, а затем использование их на ростовые процессы (Kain, 1979). У водорослей, собранных в бухте Белокаменная и на литорали в районе Абрам-мыса, больше амидов содержали молодые растения, чем средняя часть таллома взрослых растений. А у водорослей, произрастающих в бухтах Оскара, Корабельная и губе Ура, средняя часть таллома взрослых растений и ювенильные особи содержали одинаковое количество амидов. Так же для взрослых растений *F. vesiculosus* из бухт Оскара и Корабельная характерно более высокое содержание хлорида аммония чем в других биотопах.

Для каждого биотопа характерны свои показатели факторов внешней среды. Воздействие этих факторов оказывает влияние на метаболизм водорослей, а значит и на содержание в них различных веществ. В весенний период у *F. vesiculosus* наблюдается активный процесс фотосинтеза, появляются молодые проростки и побеги, происходит интенсивный рост слоевища. Известно, что у бурых высокоорганизованных водорослей транспорт фотоассимилятов направлен из зрелых, наиболее интенсивно фотосинтезирующих зон, в молодые участки. Вероятно, более низкое содержание свободных аминокислот в средней части таллома взрослых водорослей по сравнению с молодыми растениями из губы Ура, района Абрам-мыса и бухты Белокаменная связано с оттоком аминокислот из зрелой части таллома в апикальную (молодую) часть. У водорослей из бухт Корабельная и Оскара подобных различий в содержании свободных аминокислот взрослых и молодых растений не наблюдается. Это может быть связано с тем, что эти бухты располагаются восточнее остальных мест сбора водорослей, а значит температура морской воды в них ниже вследствие снижения влияния теплого течения Гольфстрим на прибрежные воды. Вероятно, это оказывает воздействие на процессы роста и развития, которые у водорослей из бухт Корабельная и Оскара могут быть смещены на более поздний период по отношению к водорослям из губы Ура, района Абрам-мыса и бухты Белокаменная.

Выводы

Место произрастания и возраст растений не влияют на качественный состав исследованных свободных аминокислот бурой водоросли *F. vesiculosus*.

Для всех изученных образцов *F. vesiculosus* характерно преобладание в составе свободных аминокислот аланина, глутаминовой и аспарагиновой кислот.

Количественное содержание и соотношение свободных аминокислот зависят от условий произрастания и возраста водорослей. Суммарное содержание свободных аминокислот большинства ювенильных водорослей выше, чем в средней части таллома взрослых растений.

Наибольшее общее количество свободных аминокислот среди взрослых растений было выше у водорослей, произрастающих в бухтах Оскара и Корабельная. Для молодых растений не отмечено изменений в суммарном содержании свободных аминокислот в зависимости от места произрастания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Мурманской области и РФФИ (грант 14-04-98807 р_север_а) по результатам совместного (регионального) конкурса проектов фундаментальных исследований в рамках государственной программы Мурманской области “Развитие экономического потенциала и формирование благоприятного предпринимательского климата”.

Литература

Биохимия растений / Л. А. Красильникова, О. А. Авксентьева, В. В. Жмурко, Ю. А. Садовниченко. Ростов н/Д.: Феникс; Харьков: Торсинг, 2004. 224 с.

Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию: Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд. ПетрГУ, 2003. 304 с.

Клиндух М. П. Исследование свободных аминокислот бурых и красных водорослей Баренцева моря методом ВЭЖХ // Арктическое морское природопользование в XXI веке – современный баланс научных традиций и инноваций (к 80-летию ММБИ КНЦ РАН): Тез. докл. Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 1–3 апреля 2015 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2015. С. 107–109.

Клиндух М. П., Облучинская Е. Д. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // Вестн. МГТУ. 2013. Т. 16. № 3. С. 466–471.

Клиндух М. П., Облучинская Е. Д. Содержание свободных аминокислот в разных частях таллома и в онтогенезе бурой водоросли *Fucus vesiculosus* // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Мурманск: Изд. МГТУ, 2015. С. 222–226.

Клиндух М. П., Облучинская Е. Д., Матишов Г. Г. Сезонные изменения содержания маннита и пролина в бурой водоросли *Fucus vesiculosus* L. Мурманского побережья Баренцева моря // Докл. РАН. 2011. Т. 441. № 1. С. 1–4.

Клочкова Н. Г., Березовская В. А. Водоросли камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав / Отв. ред. д.б.н. В. С. Леви. Владивосток; Петропавловск-Камчатский: Дальнаука, 1997. 155 с.

Комплексное исследование химического состава бурых водорослей Белого моря / К. Г. Боголицын, П. А. Каплицин, Н. В. Ульяновский, О. А. Пронина // Химия растительного сырья. 2012. № 4. С. 153–160.

Репина О. И. Фукоиды Белого моря: химический состав и перспективы использования // Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки: Матер. второй науч.-практ. конф. М.: Изд-во ВНИРО, 2005. С. 216–219.

Citharel J., Villereit S. Recherches sur les constituants azotes des algues marines. II-Les principaux acides amines de *Fucus spiralis* L. et leur variation au cours de la croissance de l'algue // Bull. Soc. Fr. Physiol. Veget. 1965. Vol. 11. № 4. P. 343–350.

Kain (Jones) J. M. A view of genus *Laminaria* // Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 1979. Vol. 17. P. 101–161.

ВИДОВОЙ СОСТАВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАКОВИННЫХ GASTROPODA В РАЙОНЕ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ

Е. Н. Кроль

Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск

Изучение раковинных брюхоногих моллюсков в районе Новой Земли началось с работы А. Миддендорфа (Middendorff, 1849), где была описана часть зоологического материала, собранного в экспедиции К. М. Бэра. В 1873 году О. Мерхом (Mörch, 1873) была опубликована тематическая статья по моллюскам по итогам экспедиции Маака на Новую Землю. По результатам экспедиций А. Э. Норденшельда 1875–1876 и 1878–1880 гг., во время которых судно заходило в район Новой Земли, в 1878 г. вышла работа У. Лехе (Leche, 1878), а в 1885 г. – К. Ауривиллиуса (Aurivillius, 1885). В этих публикациях приведены данные о местонахождении и численности моллюсков класса Gastropoda по маршруту экспедиции. В 1927 году К. М. Дерюгин публикует постанционные видовые списки, полученные в результате прибрежных исследований в заливе Моллера и губе Черная. В 1928 году в работе Д. Тиле (Thiele, 1928) были приведены данные по видовому составу некоторых классов моллюсков, известных из арктических морей на тот момент, в том числе и раковинных Gastropoda из района Новой Земли.

После этого в течение нескольких десятилетий было проведено большое количество гидробиологических исследований прибрежной зоны Новой Земли, однако результаты многих из них не были опубликованы, а из опубликованных следует отметить работы, посвященные комплексному изучению донных биоценозов (Голиков, Аверинцев, 1977; Донные ..., 2011).

Цель настоящей работы – изучение распространения раковинных брюхоногих моллюсков в районе западного побережья архипелага Новая Земля и прилегающей акватории Баренцева моря.

Материал и методы

Материал, послуживший основой для настоящего исследования, был получен в ходе рейсов НИС “Дальние Зеленцы” в 1992, 1993, 1995, 2000, 2004, 2005, 2006 и 2008 гг. Пробы отбирали дночерпателем ван-Вина и лишь две из них – тралом Сигсби. Материал был получен с 48 станций. Территориально их можно разделить на четыре группы: восточная часть Баренцева моря в районе Новой Земли (район 1 – 24 станции), открытый бассейн Северного Ледовитого океана (район 2 – 6 станций), губа Черная (район 3 – 4 станции), внутренние акватории у южной части архипелага (район 4 – 15 станций).

Всего был просмотрен 1071 экз. моллюсков, из которых 35 – пустые раковины.

Результаты и обсуждение

В просмотренном материале было зарегистрировано 58 видов раковинных Gastropoda, из которых для района Новой Земли впервые были отмечены 27 видов: *Admete solida* (Aurivillius, 1885), *Alvania scrobiculata* (Møller, 1842), *Anatoma* sp., *Trichotropis conicus* Møller, 1842, *Buccinum fragile* Verkrusen, 1878, *Colus sabini* (Gray, 1824), *Diaphana glacialis* Odhner, 1907, *Diaphana hiemalis* (Couthouy, 1839), *Frigidoalvania janmayeni* (Friele, 1878), *Liostomia eburnea* (Stimpson, 1851), *Mølleria costulata* (Møller, 1842), *Neptunea communis* (Middendorff, 1848), *Obesotoma simplex* (Middendorff, 1849), *Obtusella tumidula* (G. O. Sars, 1878), *Oenopota impressa* (Beck in Mörch, 1869), *Onoba improcera* (Warén, 1996), *Philine quadrata* (S. Wood, 1839), *Philine lima* (Brown, 1827), *Laona finmarchica* (M.Sars, 1859), *Piliscus commodus* (Middendorff, 1851), *Propebela rugulata* (Reeve, 1846), *Pseudopolinices nanus* (Møller, 1842), *Tectura virginea* (Müller, 1776), *Toledonia limnaeoides* (Odhner, 1913), *Trichotropis bicarinata* (Sowerby I, 1825), *Turritellopsis stimpsoni* Dall, 1919, *Retifusus roseus*(?) (Dall, 1877).

Наиболее часто в районе 1 встречались *Cylichna alba* (Brown, 1827) (43 %), *Frigidoalvania cruenta* (Odhner, 1915) (35 %), *Lepeta caeca* (Müller, 1776) (52 %); в районе 2 – *Cylichnoides scalpta* (Reeve, 1855) (33 %), *Frigidoalvania janmayeni* (Friele, 1878) (33 %) и *Lepeta caeca* (33 %); в районе 3 – *Cylichna alba* (Brown, 1827) (75 %), *Cylichnoides scalpta* (Reeve, 1855) (75 %), *Retusa turrita* (Møller, 1842) (75 %); в районе 4 – *Cylichna alba* (33 %), *Cylichna occulta* (Mighels et Adams, 1842) (33 %) и *Solariella obscura* (Couthouy, 1838) (40 %). Данные по плотности поселения и биомассе приведены в таблице.

Плотность поселения и биомасса раковинных Gastropoda по районам

Характеристика	Районы			
	1	2	3	4
Максимальная численность, экз/м ²	800.00	53.33	155.00	513.33
Средняя численность, экз/м ²	96.67	23.89	105.75	140.33
Вид-доминант по численности, экз/м ²	<i>Margarites costalis</i> – 560	<i>Frigidoalvania janmayeni</i> – 36.67	<i>Retusa turrita</i> – 112.5	<i>Cylichna alba</i> – 130
Максимальная биомасса, г/м ²	8.60	1.58	0.61	10.43
Средняя биомасса, г/м ²	1.10	0.76	0.28	1.08
Вид-доминант по биомассе, г/м ²	<i>Cryptonatica affinis</i> – 8.48	<i>Laona finmarchica</i> – 1.58	<i>Margarites costalis</i> – 0.54	<i>Admete solida</i> – 5.48
Всего видов	39	10	18	31

В пределах исследованной акватории 27 видов были встречены не более одного раза.

По собственным и литературным данным из района западного побережья Новой Земли известно 89 видов раковинных Gastropoda, что составляет 44.72 % от баренцевоморской фауны группы, включающей не менее 199 видов (Golikov et al., 2001; Chaban, 2001; Nekhaev, 2014). Фауна архипелага Новая Земля намного беднее таковой Шпицбергена, где отмечено 160 видов раковинных брюхоногих моллюсков (The marine ..., 2004), но она сопоставима с видовым разнообразием Земли Франца-Иосифа, состоящим из 85 видов (Нехаев, 2008).

Районы 1 и 4 оказались наиболее богатыми по видовому составу, что, возможно, обусловлено большим количеством станций.

В районе Новой Земли идентифицировано 253 вида донных беспозвоночных (Донные ..., 2011), т. е. 67 видов раковинных брюхоногих моллюсков, отмеченных нами, составляют 26.5 % от всех видов известных в этом районе.

Литература

Голиков А. Н., Аверинцев В. Г. Особенности некоторых донных экосистем в южной части Баренцева моря и у мыса Желания (Новая Земля) // Биология моря. 1977. № 2. С. 63–73.

Дерюгин К. М. Гидробиологические исследования у Новой Земли // Работы Новоземельской экспедиции Государственного гидрологического института. 1927. Вып. 4. С. 4–16.

Донные сообщества у берегов атлантических архипелагов / Е. А. Фролова, О. С. Любина, О. Ю. Зимина и др. // Наземные и морские экосистемы. М.; СПб.: Паулсен, 2011. С. 181–209.

Нехаев И. О. Видовой состав и структура фауны брюхоногих моллюсков акватории Земли Франца-Иосифа // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики: Матер. Междунар. науч. конф. М.: ГЕОС, 2008. Вып. 8. С. 263–269.

Aurivillius C. W. S. Öfversigt öfver de af Vega-expeditionen insmalade arktiska hafsmollusker. II. Placophora och Gastropoda // Vega-expeditionens. 1885. Vol. 47. P. 311–384.

Chaban E. M. Subclass Opisthobranchia: order Cephalaspidea / List of species of free-living invertebrates of Eurasian and Arctic seas and adjacent deep waters // Explorations of the fauna of the Seas. 2001. Vol. 51(59). P. 108–109.

Golikov A. N., Sirenko B. I., Chaban E. M. Class Gastropoda. Subclass Pectinibranchia / List of species of free-living invertebrates of Eurasian and Arctic seas and adjacent deep waters // Explorations of the fauna of the Seas. 2001. Vol. 51(59). P. 104–108.

Leche W. Öfversigt öfver de af Svenska Expeditionerna till Novaja Semlja och Jenissej 1875 och 1876 issamlade Half-Mollusker // Handlingar Svenska Vetenskaps-Akademiens. 1878. Vol. 16(2). P. 78–85.

Middendorff A. Th. Beiträge zu einer Malacozoologia Rossica. II. Aufzählung und Beschreibung der zur Meeresfauna Russlands gehörigen einschaler // Mémoires de l'Académie Impériale des Sciences de Saint-Petersbourg. 1849. Serie 6. Sciences Mathématique, Physique et Naturelles. Vol. 8(5–6). P. 329–516.

Mörch O. A. L. Mollusques de la Nouvelle-Zemble (Novaja Semlja) // J. de conchyliologie. 1873. Serie 3. Vol. 13. P. 37–38.

Nekhaev I. O. Marine shell-bearing Gastropoda of Murman (Barents Sea): an annotated check-list // Ruthenica. 2014. Vol. 24 (2). P. 75–121.

The marine macro-organisms in Svalbard waters / R. Palerud, B. Gulliksen, T. Brattegard et al. // A catalogue of the terrestrial and marine animals of Svalbard. Norwegian Polar Institute. 2004. Skrifter 201. P. 5–55.

Thiele J. Arktische Loricaten, Gastropoden, Scaphopoden und Bivalven // Fauna Arctica. Jena. 1928. Vol. 5. P. 564–631.

СПОРООБРАЗОВАНИЕ И УЛЬТРАСТРУКТУРА ГАМЕТОФИТОВ И “МОЛОДЫХ” СПОРОФИТОВ ЛАМИНАРИИ САХАРИСТОЙ *SACCHARINA LATISSIMA*

Е. О. Кудрявцева

Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск

Ламинариевые водоросли являются зарослеобразующими в сублиторальной зоне Баренцева моря, основными объектами промысла. Несмотря на обилие информации о ламина-

риевых водорослях в литературе, некоторые аспекты их биологии остаются малоизученными. К таким “белым пятнам” можно отнести сведения об ультрамикроскопическом строении гаметофитов и “молодых” спорофитов ламинарии, данные о формировании спорогенной ткани и развитии спор, морфологии полового процесса. В задачи нашей работы входило описание изменений в клетках спорогенной ткани ламинарии *Saccharina latissima* (*Laminaria saccharina*) в процессе спорообразования, а также получение и описание гаметофитов и “молодых” спорофитов.

В онтогенезе ламинарии чередуются две жизненные формы: макроскопический спорофит и микроскопический гаметофит. В центральной части пластины спорофита в период спороношения развивается спорогенная ткань, которая может занимать до 2/3 площади таллома. По литературным (Киреева, Щапова, 1938; Блинова, Макаров, 1987) и нашим данным, большая часть растений начинает спороносить на втором году жизни, массовое спороношение отмечается в июле–сентябре.

В пределах спорогенной ткани расположены спорангии, в которых путем редукционного деления образуются зооспоры. Покинув спорангий, зооспоры в течение короткого периода времени ведут пелагическую жизнь, после чего оседают на субстрат и теряют жгутики (Воскобойников, Камнев, 1991). Осевшие споры (эмбриоспоры) округляются и прорастают, образуя мужские и женские гаметофиты, на которых формируются гаметангии. В результате слияния гамет образуется зигота, из которой развивается макроскопический спорофит.

Из спорофитов ламинарии со зрелой спорогенной тканью нами были получены зооспоры, из которых затем на предметных стеклах в чашках Петри удалось вырастить гаметофиты и “молодые” однослойные спорофиты. Фрагменты спорогенной ткани, полученные гаметофиты и спорофиты фиксировались глютаровым альдегидом и тетраоксидом осмия, заливались эпоксидными смолами для последующего получения на ультрамикротоме срезов толщиной 1–2 мкм и 30–40 нм для исследований методами световой и электронной микроскопии соответственно.

Проведенный микроскопический анализ спорогенной ткани позволил описать изменения, происходящие в вегетативных и репродуктивных клетках в процессе спорообразования.

Вегетативная ткань на поперечных срезах (рис. 1а) представлена тремя самостоятельными слоями клеток. Наружный слой – ассимиляционный, или корковый, представлен несколькими рядами плотно прилегающих друг к другу фотосинтезирующих клеток. В нем выделяют меристодерму – поверхностный ряд клеток, способных делиться и формировать органы размножения. Глубже лежат промежуточный слой (сформирован крупными, сильно вакуолизированными клетками без хлоропластов) и сердцевина.

Клетки меристодермы дают начало формированию спорогенной ткани (рис. 1б). Спорогенная ткань у ламинариевых представлена сорусами зооспорангиев (мешковидных клеток до 60–65 мкм в длину, в которых образуются споры) и парафизами (удлиненными клетками булабовидной формы с расширенной уплощенной верхушкой длиной 80–90 мкм). Спорогенная ткань развивается с обеих сторон пластины (Блинова, Макаров, 1987).

Спорангии перед началом спорообразования достигают 15 мкм в длину и 5–7 мкм в ширину, центральное положение в них занимает крупное ядро. Хлоропласты без пластоглобул, расположены пристенно, их количество 1–3 на срезах клеток. Число граноподобных структур в хлоропластах невелико, различим периферический кольцевой тилакоид. Количество митохондрий на срезах спорангиев достигает 5–6, лежат они в большинстве случаев пристенно. Большую площадь в спорангиях занимает агранулярный эндоплазматический ретикулум.

С началом процесса спорообразования размер спорангиев увеличивается до 20–30 мкм в длину и 7–15 мкм в ширину. Большая часть органоидов смещена в центральную часть клеток. На срезах спорангиев на данном этапе спорообразования можно увидеть множество ядер (от 2 до 7) без сформированных ядрышек (рис. 2а). В цитоплазме наблюдается большое количество липидных капель.

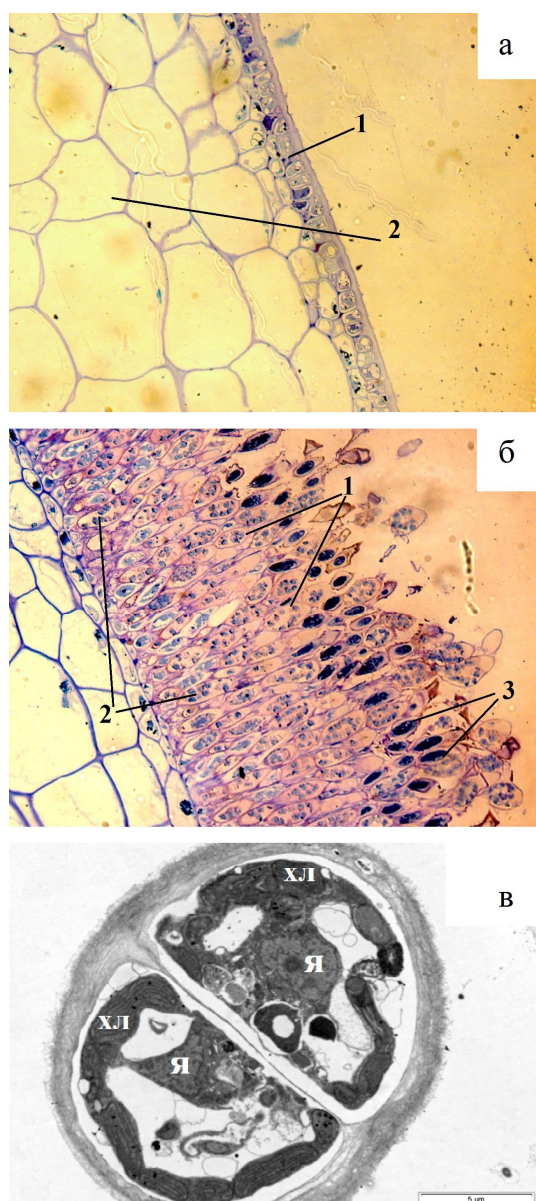


Рис. 1. Клеточная структура тканей *S. latissima* и молодых спорофитов:

а – вегетативная ткань (1 – ассимиляционный слой клеток, 2 – промежуточный слой); б – спорогенная ткань (1 – спорангии, 2 – формирующиеся зооспоры, 3 – верхушки парафиз); в – “молодой” спорофит (Хл – хлоропласт, Я – ядро)

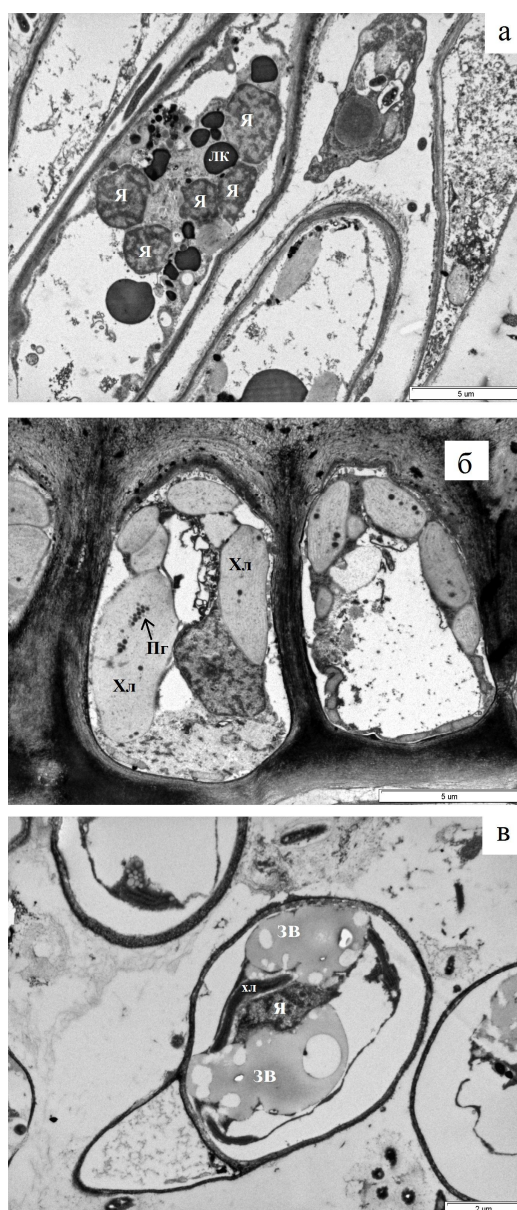


Рис. 2. Ультраструктура клеток тканей *S. latissima* и вегетативного гаметофита:

а – спорангий с поделившимися ядрами будущих зооспор внутри (ЛК – липидная капля, Я – ядро); б – клетки ассимиляционного слоя спорогенной ткани (Хл – хлоропласт, Пг – пластоглобулы); в – первая клетка гаметофита (ЗВ – запасное вещество)

Следующий этап спорообразования характеризуется присутствием в спорангиях обособленных групп формирующихся спор, еще не ограниченных мембранами от остальной части клетки. На срезах таких спор можно различить 1–2 хлоропласта, размеры которых достигают 2 мкм в длину и 0.4–0.5 мкм в ширину. Хлоропласты ограничены наружной мембраной, но внутренняя мембранная система находится в процессе формирования. На срезах формирующихся спор встречается до 9 митохондрий, по размеру несколько превышающих митохондрии вегетативных клеток. Большинство митохондрий содержат кристы трубчатой формы, однако встречаются митохондрии с кристами, по форме близкими к пластинчатым.

Такая форма крист характерна для органоидов с высоким уровнем энергетической активности. Внутреннее пространство спорангиев на срезах заполнено пузырьками – вероятно, производными диктиосом. Кроме того, в спорангиях отмечается наличие телец неизвестной природы, которые, по-видимому, принимают участие в образовании оболочек спор.

В расположенных рядом друг с другом спорангиях можно наблюдать различные стадии спорогенеза, что согласуется с литературными данными об асинхронности формирования зооспор в спорогенной ткани ламинарии и их выхода во внешнюю среду (Блинова, Макаров, 1987; Воскобойников, Камнев, 1991).

Ассимиляционный слой спорогенной ткани представлен тремя-четырьмя слоями клеток. Хлоропласты здесь крупные (2.5–4.3 мкм в длину и 0.9–2.3 мкм в ширину), расположены в клетках пристенно, их количество 3–7 на срезах клеток. Тилакоиды упакованы по 3 в многочисленные стопки параллельно продольной оси пластид. На срезах хлоропластов в небольших количествах присутствуют пластоглобулы, расположенные одиночно или рядами по 3–5 (рис. 2б). В большинстве случаев хлоропласты контактируют друг с другом наружными мембранами или через мембраны эндоплазматического ретикулаума, образуя фотосинтетический ретикулум. Площадь пластидома на срезах клеток составляет в среднем 45.5 %, но может достигать 65 %. Количество митохондрий в клетках 1–6, они также лежат пристенно и имеют округлую или эллиптическую форму. Диаметр органелл составляет 0.4–0.7 мкм. На срезах митохондрий видны трубчатые кристы. В стенках клеток промежуточного слоя наблюдаются многочисленные перфорации, клетки контактируют между собой посредством плазмодесм. В сердцевине отмечено присутствие толстостенных клеток, выполняющих, по-видимому, механическую функцию.

Сформировавшиеся зооспоры покидают спорангии и приобретают подвижность. Наличие самостоятельной подвижности спор после выхода из спорогенной ткани в окружающую среду является отличительным признаком спор ламинарии по сравнению с большим числом представителей других систематических групп водорослей.

Форма зооспор варьирует от округлой до грушевидной, размеры составляют 6.5–7.5 мкм. Зооспоры ламинариевых, в отличие от зооспор бурых водорослей других порядков, не имеют стигм. Они передвигаются в толще воды с помощью двух жгутиков: переднего перистого и заднего бичевидного. На большинстве срезов подвижных зооспор ламинарии присутствуют 1–2 хлоропласта, размеры которых в длину составляют 2–5.2 мкм, а ширину 0.8–1.5 мкм. В ряде случаев в зооспорах удается увидеть делящийся хлоропласт. У исследованных зооспор встречаются хлоропласты как с четко выраженной упаковкой по 3 тилакоида, так и такие, у которых ламеллярная система морфологически не оформлена. Строма пластид равномерно насыщена рибосомами. Пиреноид и пластоглобулы не обнаружены. До 35–60 % площади среза большинства подвижных спор занято бесструктурным веществом, по-видимому, являющимся запасным. На этой стадии развития на срезах многих зооспор обнаруживается не более 5 митохондрий, локализованных преимущественно пристенно. Форма митохондрий округлая, диаметр составляет 1.2–1.8 мкм.

Продолжительность пелагической жизни зооспор зависит от температуры воды и может составлять более суток, прежде чем спора осядет на субстрат и прикрепится к нему (Макаров, 1992). Диаметр осевших спор (эмбриоспор) колеблется от 8 до 12 мкм. Хлоропласты в эмбриоспорах локализованы в основном в центральной части, в них полностью сформирована ламеллярная система (Воскобойников, Камнев, 1991). Площадь пластидома на срезах клетки больше чем на предыдущих стадиях развития. Митохондрий значительно меньше, чем в подвижных спорах, их количество 2–4 на срезе клеток и расположены они пристенно.

Клетки гаметофитов ламинарии имеют округлую или вытянутую эллиптическую форму, их диаметр колеблется в пределах 3–9 мкм (рис. 2в). В первой клетке гаметофита ядро расположено в центре, затем, в процессе роста, у 2–3-клеточных гаметофитов ядра сдвигаются к периферии. Хлоропласты без пластоглобул, лежат пристенно, их количество 1–3 на

срезах клеток, они имеют небольшие размеры (1.4–2.3 мкм в длину, 0.3–0.5 мкм в ширину) и занимают в среднем лишь 4.6 % площади среза клетки. В хлоропластах можно различить по 2–4 стопки тилакоидов. Большую площадь на срезах клеток гаметофитов занимает бесструктурное вещество, по всей вероятности, запасное – в среднем 28.4 % площади клетки, в отдельных случаях до 40–45 %.

В клетках “молодых” однослойных спорофитов ламинарии (рис. 1в) хлоропласты объединены в единый фотосинтетический ретикулум. Тилакоиды плотно упакованы по 3 в пачки. Также прослеживается связь между митохондриями через ретикулярные мембраны и контакты между наружными мембранами, что может свидетельствовать о наличии энергообмена между митохондриями, а также между хондриомом и пластидомом. Число и размер митохондрий, количество крист и рибосом на срезах отдельных органоидов значительно превышают таковые у клеток сформировавшихся растений.

Таким образом, нам удалось описать некоторые стадии спорообразования у ламинарии. В близко расположенных спорангиях можно наблюдать различные стадии спорогенеза, что свидетельствует об асинхронности данного процесса в пределах одного растения. Деструктивные процессы в пластине ламинарии начинаются уже к моменту формирования спорогенной ткани. В гаметофитах ламинарии хлоропласты имеют слабое развитие, что выражено минимальным парциальным объемом на срезе клетки и неразвитой внутренней мембранной системой по сравнению с другими стадиями онтогенеза. На стадии “молодого” спорофита фотосинтетический аппарат в большинстве клеток сформирован, занимает относительно большой (до 30 %) парциальный объем клетки, образуя непрерывный фотосинтетический ретикулум из отдельных хлоропластов, имеет сформированную систему фотосинтетических мембран.

Прослеживается отчетливая взаимосвязь между перестройками энергетического аппарата водоросли на разных стадиях развития и изменением направленности генеральной жизненной функции организма.

Автор выражает признательность научному руководителю д.б.н. Григорию Михайловичу Воскобойникову за помощь при проведении экспериментов и подготовке работы к печати.

Литература

- Блинова Е. И., Макаров В. Н. Инструкция по биотехнологии культивирования ламинарии сахаристой в двухгодичном цикле в Баренцевом море. М.: Изд-во ВНИРО. 1987. 33 с.
- Воскобойников Г. М., Камнев А. Н. Морфофункциональные изменения хлоропластов в онтогенезе водорослей. СПб.: Наука. 1991. 96 с.
- Киреева М. С., Шапова Т. Ф. Темп роста, возраст и спороношение *Laminaria saccharina* и *Laminaria digitata* Кольского залива // Тр. ВНИРО. 1938. Т. 7. С. 24–49.
- Макаров В. Н. Поведение зооспор *Laminaria saccharina* (Phaeophyta): Препр. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1992. 32 с.

БИОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ГРУППЫ КРУПНЫХ ФОРМ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ВОДАХ

Д. Ю. Лазарева, И. Е. Манушин

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства
и океанографии им. Н. М. Книповича, г. Мурманск

Введение

Двустворчатые моллюски – одна из основных групп зообентоса, играющая важную функциональную роль в морских экосистемах. Отдельные виды двустворчатых моллюсков

представляют интерес как потенциальные объекты промысла. Данная работа основана на материалах совместных экосистемных съемок Баренцева моря, выполненных Полярным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО, г. Мурманск, Россия) и Институтом морских исследований (IMR, г. Берген, Норвегия) в 2005–2015 гг.

Цель работы – изучение особенностей пространственного распределения крупных форм двустворчатых моллюсков в Баренцевом море и сопредельных водах.

Задачами данного исследования было изучить распределение биогеографических групп крупных форм двустворчатых моллюсков и установить границы распространения тепловодных и холодноводных видов.

Материал и методы

Материал был собран криветочным тралом “Campelen-1800”, оснащенным “рубашкой” с шагом ячеи 125 мм, имеющей в кутовой части вставку с размером ячеи 22 мм. Стандартное время траления во время съемки составляет 15 мин, средняя скорость – 3.2 ± 0.01 узла, горизонтальное раскрытие трала – 15 м. Средняя учетная площадь одного траления составляет 22224 ± 134 м² (Приловы ..., 2010).

Проанализированы материалы, собранные в следующих рейсах научно-исследовательских судов: “Christina E.” (2011 г.), “G. O. Sars” (2006–2015 гг.), “Johan Hiort” (2006–2015 гг.), “Helmer Hanssen” (2011–2015 гг.), “Jan Majen” (2006–2010 гг.), “Вильнюс” (2007–2015 гг.), “Смоленск” (2005–2007 гг.), “Фритъоф Нансен” (2005, 2006, 2010 гг.). Обработаны уловы 4368 донных тралений, из которых представители двустворчатых моллюсков были отмечены в 2967. Распределение уловов представлено на рис. 1. Обработка уловов и таксономическая идентификация моллюсков проводилась в полевых условиях на борту судна. Исследованием не охвачены литоральные и мелководные виды (например, *Macoma balthica*, *Mya arenaria*), обитающие в местах, где отбор материала не производился, и мелкие формы (например, *Mendicula ferruginosa*), не попавшие в трал за счет небольшого размера.

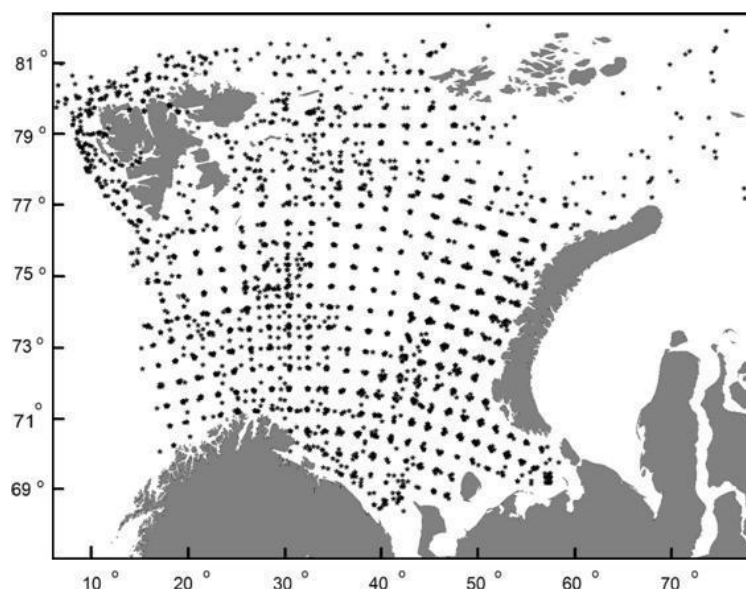


Рис. 1. Карта-схема распределения уловов двустворчатых моллюсков в съемках 2005–2015 гг.

Для характеристики условий обитания видов в Баренцевом море использованы данные о придонных температурах, полученные в ходе гидрологического зондирования непосред-

венно в точках тралений. Все приведенные в работе температурные параметры получены в августе–сентябре (стандартный период проведения экосистемных съемок) и характеризуют летние условия обитания видов.

Данные для характеристики температурного диапазона встречаемости моллюсков в пределах всего ареала позаимствованы из литературных источников (Филатова, 1948; Антипова, 1979) и открытых интернет-ресурсов (Encyclopedia ..., 2016; OBIS ..., 2016).

Биогеографические характеристики видов взяты из литературных источников (Филатова, 1948; Фауна ..., 2010). Для видов, не представленных в этих источниках, биогеографический статус был определен на основе карт распределения (OBIS ..., 2016) и основных типов ареалов (Иллюстрированные ..., 2009).

Для анализа характера распределения двустворчатых моллюсков в Баренцевом море в зависимости от их температурной толерантности для 34 из 55 видов, встреченных в траловых уловах, использовались графики Тьюки из пакета программ Statistica 10. 21 вид не рассматривался по причине малого количества проб с моллюсками или отсутствия данных по температуре на станции.

Результаты и обсуждение

Непосредственно в акватории Баренцева моря насчитывается 96 видов двустворчатых моллюсков (List ..., 2001). В результате проведенных исследований составлен список крупных форм двустворчатых моллюсков Баренцева моря и сопредельных вод по состоянию на 2015 г. (таблица).

Биогеографический статус и температурная толерантность крупных форм двустворчатых моллюсков Баренцева моря и сопредельных вод по литературным сведениям (Филатова, 1948; Антипова, 1979; Иллюстрированные ..., 2009; Фауна ..., 2010; Encyclopedia ..., 2016; OBIS ..., 2016) и данным ПИНРО

Вид	Биогеографический статус*	Температура встречаемости в пределах ареала, °С*	Температурная группа	Температура встречаемости в Баренцевом море, °С
<i>Arctica islandica</i>	Б	1.2–6.6	–	3.0
<i>Astarte acuticostata</i>	А, Б-А	–1.0...6.4	–	2.3
<i>Astarte arctica</i>	Б, Б-А	–0.2...7.4	Тепловодный	1.5–5.7
<i>Astarte borealis</i>	Б-А	–1.7...15.5	Эвритермный	–1.8...8.6
<i>Astarte crebricostata</i>	Б	4.0–4.4	Эвритермный	0.4–4.8
<i>Astarte crenata</i>	Б-А	–1.8...9.0	Эвритермный	–1.9...7.3
<i>Astarte elliptica</i>	Б, Б-А	–1.8...7.0	Холодноводный	–1.1...2.3
<i>Astarte montagui</i>	Б-А	–1.7...5.5	–	–
<i>Astarte subaequilatera</i>	Б	3.6–23.5	Эвритермный	0.4–4.8
<i>Astarte sulcata</i>	Б	0.4–7.1	–	–
<i>Batharca glacialis</i>	Б-А	–1.8...11.1	Эвритермный	–1.8...7.6
<i>Batharca pectunculoides</i>	Б-А	–1.3...7.1	Эвритермный	1.5–4.5
<i>Chlamys islandica</i>	Б-А	–2.1...17.4	Эвритермный	–1.9...7.3
<i>Ciliatocardium ciliatum</i>	Б-А	–1.8...10.8	Эвритермный	–1.8...6.4
<i>Cuspidaria arctica</i>	Б-А	–1.8...5.3	Эвритермный	–1.0...4.2
<i>Cuspidaria glacialis</i>	Б, Б-А	–1.0...9.8	–	0.4
<i>Cuspidaria obesa</i>	Б-А	–0.8...8.5	–	–
<i>Cyclopecten hoskynsi</i>	Б, Б-А	–1.3...12.9	Тепловодный	2.2–6.0
<i>Delectopecten vitreus</i>	Б	–1.3...16.4	Эвритермный	1.6–4.2
<i>Ennucula tenuis</i>	Б-А	–1.8...5.5	Эвритермный	–0.3...4.3
<i>Heteranomia squamula</i>	Б, Б-А	–1.4...7.7	Тепловодный	2.5–4.7
<i>Hiatella arctica</i>	Б-А	–1.8...25.0	Эвритермный	–1.8...7.6
<i>Hiatella rugosa</i>	Б	15.8–17.3	Тепловодный	3.4–7.3

Окончание

Вид	Биогеографический статус*	Температура встречаемости в пределах ареала, °С*	Температурная группа	Температура встречаемости в Баренцевом море, °С
<i>Karnekampia sulcata</i>	Б	-1.4...25.0	Тепловодный	0.2-7.6
<i>Limatula gwyni</i>	Б	3.9-8.5	-	-
<i>Limatula hyperborea</i>	А	-1.6...5.4	-	-0.7
<i>Limopsis cristata</i>	Б	3.3-11.8	-	-
<i>Lyonsia arenosa</i>	Б-А	-1.4...1.2	-	1.2
<i>Macoma calcarea</i>	Б-А	-1.8...5.9	Эвритермный	-1.8...4.5
<i>Macoma moesta</i>	Б-А	-1.5...6.6	-	-
<i>Modiolula phaseolina</i>	Б	5.0-16.6	-	-
Modiolus modiolus	Б	-0.3...12.9	Эвритермный	-1.7...7.4
<i>Monia patelliformis</i>	Б	7.9-8.3	-	-
<i>Musculus discors</i>	Б-А	-1.0...9.2	Эвритермный	-0.7...6.1
<i>Musculus glacialis</i>	Б-А	-1.4...2.0	-	-
<i>Musculus laevigatus</i>	Б-А	-1.7...9.2	Эвритермный	-1.8...5.2
<i>Musculus niger</i>	Б-А	-1.8...9.2	Эвритермный	-0.5...2.5
<i>Mya truncata</i>	Б-А	-1.1...23.7	Эвритермный	-1.1...4.9
<i>Mytilus edulis</i>	Б	-1.5...9.9	Тепловодный	-0.2...8.8
<i>Nuculana pernula</i>	Б-А	-1.8...8.7	Эвритермный	-1.8...5.2
<i>Palliolum tigrinum</i>	Б	5.4-7.7	-	-
<i>Pandora glacialis</i>	Б-А	-1.4...1.3	Эвритермный	0.3-0.7
<i>Panomys norvegica</i>	Б-А	-1.6...10.8	Эвритермный	0.2-0.7
<i>Parvicardium pinnulatum</i>	Б	3.5-25.6	-	2.3
<i>Pseudamussium peslutrae</i>	Б	3.5-25.6	Тепловодный	0.2-8.4
Serripes groenlandicus	А, Б-А	-1.6...13.8	Тепловодный	-0.2...9.1
<i>Similipecten greenlandicus</i>	А, Б-А	-1.7...5.6	Эвритермный	-1.7...6.6
<i>Spisula elliptica</i>	Б	2.2-7.4	-	4.7
<i>Thracia myopsis</i>	Б-А	-1.6...4.9	-	3.1
<i>Thracia septentrionalis</i>	Б	6.4-12.9	-	-
<i>Yoldia hyperborea</i>	А, Б-А	-1.6...14.4	Эвритермный	-1.8...5.0
<i>Yoldiella intermedia</i>	Б-А	-1.8...4.1	Эвритермный	-0.1...3.8
<i>Yoldiella lenticula</i>	А, Б-А	-1.6...4.9	Холодноводный	-1.4...4.0
<i>Yoldiella lucida</i>	Б	-0.4...5.8	-	-
<i>Yoldiella nana</i>	А, Б-А	-1.6...8.3	-	2.5

* По литературным данным.

ПРИМЕЧАНИЕ. Б – бореальный вид, Б-А – бореально-арктический, А – арктический. Полужирным отмечены виды, отнесенные нами к условной температурной группе, не совпадающей с биогеографическим статусом.

На основе полученных данных построена карта распределения арктических и бореальных видов двустворчатых моллюсков (рис. 2а,б). Из рисунка видно, что в отдельных случаях места поймки определенных видов не соответствуют предполагаемому температурному режиму в данных районах (рис. 2в): бореальные виды встречаются в акваториях с низкими температурами (например, в районе Новоземельского мелководья), а арктические, наоборот, с высокими (например, в районе Мурманского мелководья).

Отсутствие четких границ распространения как бореальных, так и арктических видов отмечено в районе архипелага Шпицберген. У побережья Кольского полуострова отсутствие бореальных видов и присутствие арктических противоречит как литературным данным, так и природным условиям в районе Мурманского побережья. Объяснением отсутствия бореальных видов в наших уловах может служить избирательность орудия лова для крупных особей, в то время как бореальные виды представлены здесь более мелкими особями. Арктические виды встречались на больших глубинах. Таким образом, использование биогеографических

характеристик видов для фаунистического районирования Баренцева моря дало весьма расплывчатое представление о современном положении границы между бореальной и арктической биогеографическими областями.

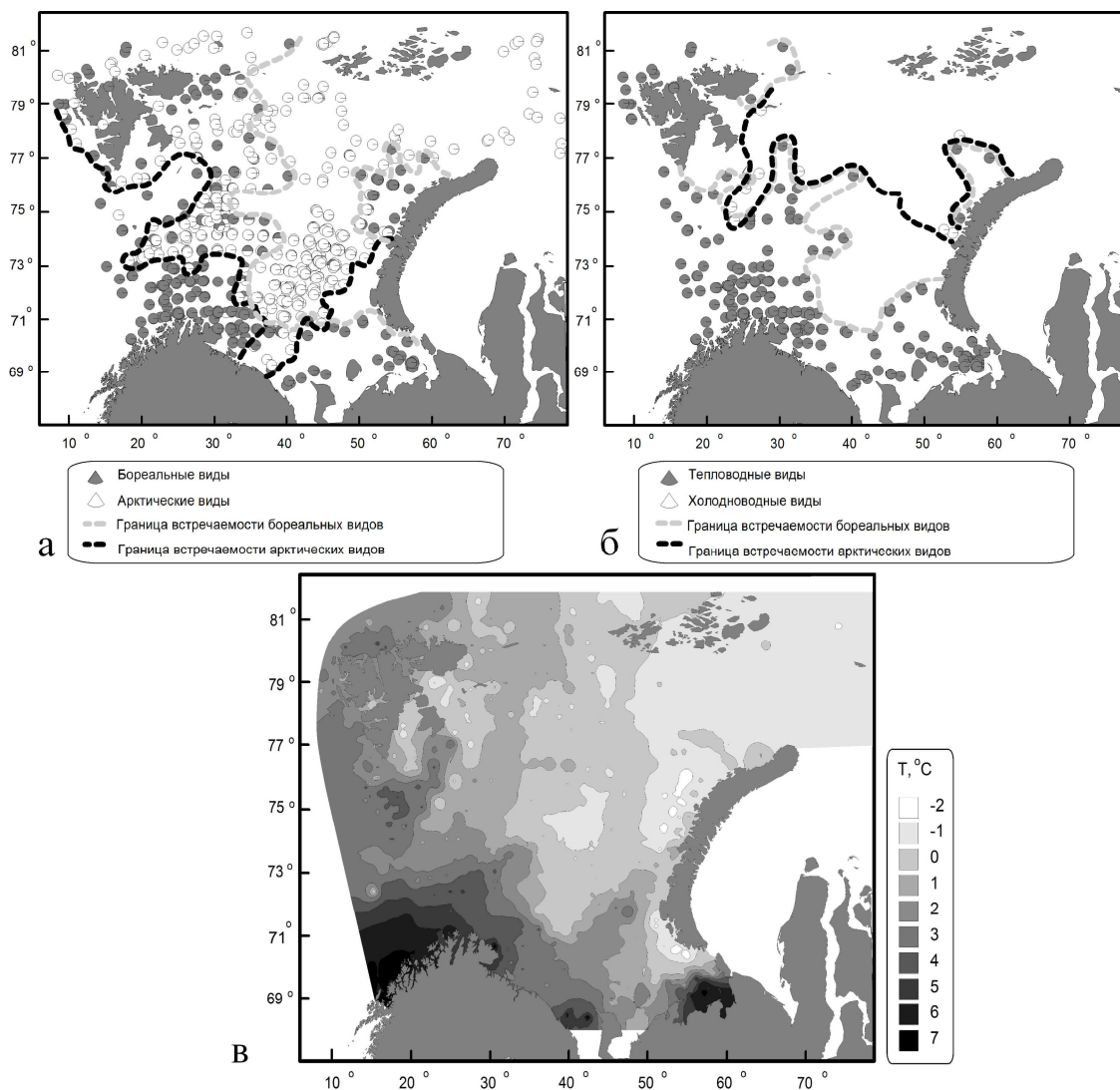


Рис. 2. Распределение двустворчатых моллюсков:

а – бореальные и арктические виды (по: Филатова, 1948; Иллюстрированные ..., 2009; WoRMS ..., 2016; OBIS ..., 2016); б – тепловодные и холодноводные виды (по данным ПИНРО); в – среднееголетняя придонная температура в период исследований

Известно, что географические границы распространения видов (биогеографические характеристики) определяются диапазоном их температурной толерантности (Жирков, 2010). Исходя из этого, мы предположили, что каждая биогеографическая группа видов должна характеризоваться определенным диапазоном температур в пределах изученной акватории.

Ранжированный ряд температур встречаемости (рис. 3а) был проанализирован с помощью расчета расстояния между медианами (рис. 3б). Наибольшее расстояние было выявлено между двумя парами видов (*Astarte elliptica* и *Nuculana pernula*, *Delectopecten vitreus* и *Astarte arctica*), что использовано в качестве критерия деления видов на 3 группы, условно обозначаемые как холодноводные (2 вида), тепловодные (24 вида) и эвритермные (8 видов) (рис. 3). Значения медиан температурных диапазонов холодноводных видов располагаются ниже 0 °C, что свидетельствует об их приспособленности к низким температурам. Разброс значе-

ний температур тепловодных видов располагается выше нуля, а их медианы выше 3 °С. И, соответственно, температурный диапазон эвритермных видов охватывает как положительные значения, так и отрицательные, их медианы находятся от 0 до 3 °С.

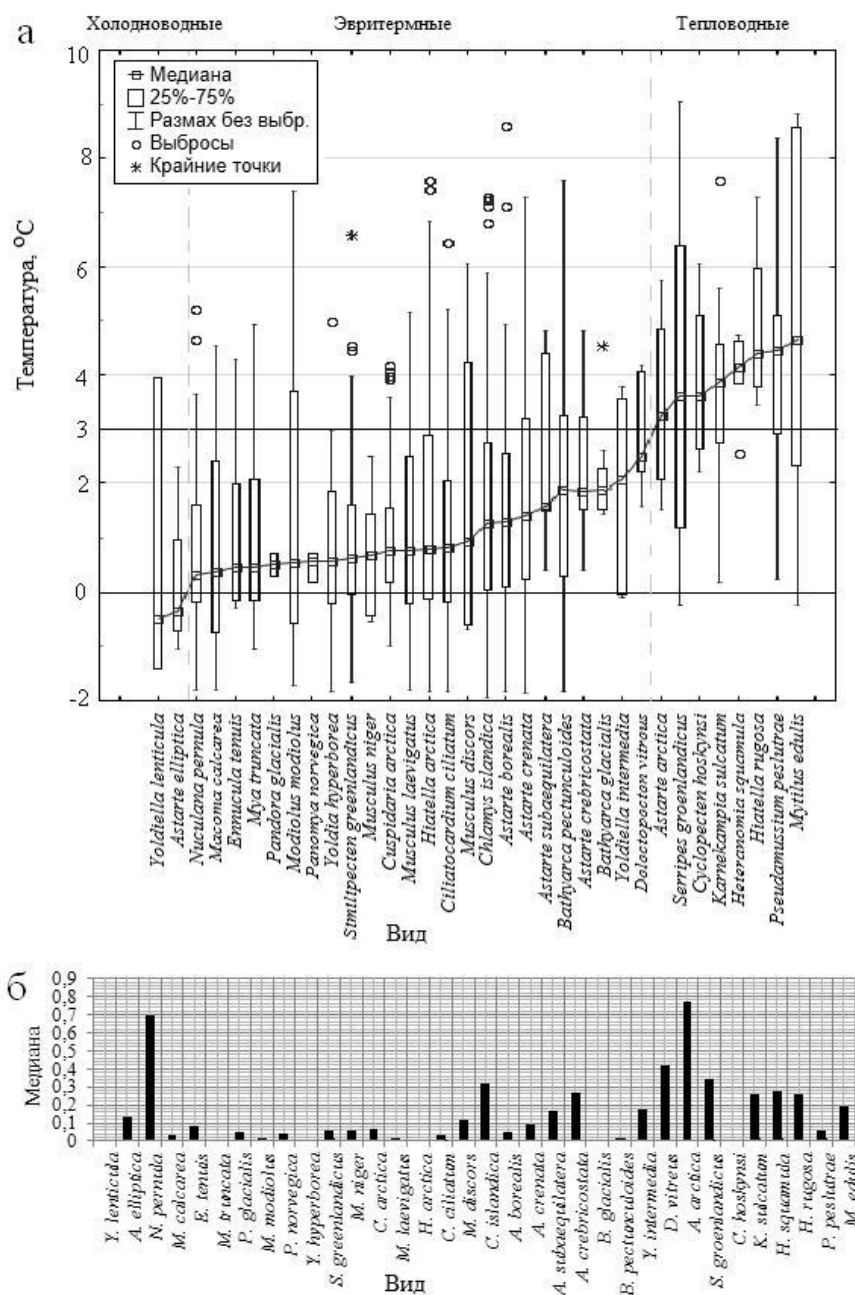


Рис. 3. Температурные диапазоны обитания двустворчатых моллюсков Баренцева моря и сопредельных вод в 2005–2015 гг.: а – ранжированные по величине медианы; б – разница между значениями медиан ранжированных видов

Сравнение полученных данных с литературными источниками позволило оценить соответствие выделенных нами по температурной толерантности экологических групп характеру их биогеографического распространения (таблица). Для 91 % проанализированных видов их биогеографическая характеристика совпала с температурной: тепловодные виды имели boreальный характер распространения, холодноводные – арктический, а эвритермные – boreально-арктический.

Большинство видов моллюсков в Баренцевом море встречались в пределах температурных диапазонов, указанных в литературных источниках (Антипова, 1979; Encyclopedia ..., 2016; OBIS ..., 2016), но с незначительными отклонениями. Полученные нами данные позволяют уточнить современные температурные диапазоны встречаемости некоторых баренцевоморских двустворчатых моллюсков.

Несоответствие температурной группы с биогеографическим статусом моллюска *Serripes groenlandicus* связано с тем, что в трал попадали моллюски преимущественно на мелководьях, где в летний период температура воды была высокая. Представители *Astarte elliptica* были обнаружены в районе с преобладанием холодных течений из Арктики.

Представители *Modiolus modiolus* нами зарегистрированы в местах с более низкой температурой воды, чем ранее.

Полученное распределение моллюсков позволило выделить северную границу распространения тепловодных видов и южную границу распространения холодноводных видов. Эти границы очерчивают область в районе Центрального желоба, где представлены только эвритермные виды, обитающие на глубинах около 300 м.

Граница распространения холодноводных видов близка к границе района преобладания арктических видов над остальными группами по А. А. Шорыгину (1928). Граница распространения тепловодных видов также соответствует ареалу бореальных и видов, приуроченных к субарктическим условиям существования. Стоит упомянуть, что исследования вышеупомянутого автора проходили в холодный климатический период, в то время как данное исследование, наоборот, в теплый (Многолетние ..., 2012). Этот факт отражается в продвижении бореальных видов на север Баренцева моря в ходе наблюдающегося в последние десятилетия потепления.

Тепловодные виды двустворчатых моллюсков имеют большую область распространения в Баренцевом море по сравнению с группой тепловодных декапод, выделенных с применением метода канонического анализа соответствия (ССА), обусловленных температурой и глубиной обитания (Десятиногие ..., 2015). Возможное объяснение этого может заключаться в различии применяемых методик.

* *
*

Данная работа является частью комплексных исследований экосистемы Баренцева моря. Показано, что распределение крупных форм арктических и бореальных двустворчатых моллюсков зависит от распределения температур по всей акватории Баренцева моря. Виды *S. groenlandicus*, *A. elliptica*, *M. modiolus* нуждаются в уточнении биогеографического статуса, так как в нашем исследовании выявлены расхождения с литературными данными. Проведена граница распространения тепловодных и холодноводных видов в текущий климатический период, в котором отмечаются более высокие температуры по сравнению с предыдущим теплым периодом – 1930–середина 1960-х годов (Многолетние ..., 2012).

Литература

Антипова Т. В. Распределение, экология, рост и продукция двустворчатых моллюсков Баренцева и Карского морей: Дис. ... канд. биол. наук. Мурманск, 1979. 230 с.

Десятиногие ракообразные Баренцева моря и прилегающей акватории: видовой состав и особенности распределения / О. Л. Зиминая, П. А. Любин, Л. Л. Йоргенсен и др. // *Arthropoda Selecta*. 2015. Vol. 24(3). С. 417–428.

Жирков И. А. Жизнь на дне. Био-география и био-экология бентоса. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. 453 с.

Иллюстрированные определители свободноживущих беспозвоночных евразийских морей и прилегающих глубоководных частей Арктики. Т. 1. Коловратки, морские пауки и ракообразные: усоногие, тонкопанцерные, эвфаузииды, неполнохвостые, крабы, мизиды, гиперииды, капреллиды / Под ред. Б. И. Сиренко. М.; СПб.: Тов-во науч. изд. КМК, 2009. 189 с.

Многолетние изменения в макрозообентосе юго-восточной части Баренцева моря / И. Е. Манушин, Н. А. Анисимова, П. А. Любин и др. // Материалы XIII научного семинара “Чтения памяти К. М. Дерюгина”. СПб., 2012. С. 100.

Приловы макрозообентоса в ихтиологических донных тралениях как показатель интенсивности тралового промысла / П. А. Любин, Н. А. Анисимова, И. Е. Манушин, Н. Е. Журавлева // Вестн. МГТУ. 2010. Т. 13. Вып. 4(1). С. 641–646.

Фауна беспозвоночных Восточно-Сибирского моря, закономерности распределения и структура донных сообществ // Исследования фауны морей. Вып. 66(74). СПб., 2010. 327 с.

Филатова З. А. Класс Bivalvia (Lamellibranchiata) – двусторчатые моллюски // Определитель фауны и флоры северных морей СССР / Под общей ред. Н. С. Гаевской. М.: Советская наука, 1948. С. 405–446.

Шорыгин А. А. Иглокожие Баренцева моря // Тр. Плав. мор. науч. ин-та. 1928. Т. 3. Вып. 4. 128 с.

Encyclopedia of Life [Electronic resource] / Global access to knowledge about life on Earth. URL: <http://www.eol.org/>. Загл. с экрана (англ.) (Дата обращения 01.02.2016).

List of species of free-living invertebrates of Eurasian Arctic seas and adjacent deep waters // Explorations of the fauna of the seas. 2001. Vol. 51(59). 132 p.

OBIS [Electronic resource] / Ocean Biogeographic Information System. URL: <http://www.iobis.org/mapper/>. Загл. с экрана (англ.) (Дата обращения 01.02.2016).

WoRMS [Electronic resource] / World Register of Marine Species. URL: <http://www.marinespecies.org/>. Загл. с экрана (англ.) (Дата обращения 01.02.2016).

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДКОВ В ВЕРХОВЬЕ ЗАЛИВА ГРЕН-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Н. И. Мещеряков

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение

Изучение особенностей распределения рыхлых отложений в прибрежной зоне фьордов архипелага Шпицберген – важная задача, решение которой даст возможность дополнить представления о закономерностях осадконакопления в перигляциальной обстановке. Наибольший интерес представляют побережья, недавно освободившиеся от льда в результате интенсивного отступления ледников (30 м/год) в Арктике (Мавлюдов, 2004). Сформированный здесь рельеф относительно нов, однако подвержен динамичным изменениям в результате деятельности экзогенных процессов (Тарасов, 2012). Примечательным в этом отношении является залив Грен-фьорд, верховье которого недавно освободилось от ледникового покрова, при этом на молодые ледниково-аккумулятивные формы рельефа существенное влияние оказывают процессы перигляциальной денудации и эрозии.

Район работ расположен у о. Западный Шпицберген (рис. 1), он включает в себя напорную морену ледника Гренфьорд, примыкающую к ней зандровую равнину, а также мелководье кута залива Грен-фьорд. Более подробное описание региона представлено в литературе (Лаврушин, 1969; Об условиях ..., 2003; Тарасов, Кокин, 2007; Мещеряков, 2014).

Материал и методы

Работа выполнена в 2012–2015 гг. в верховье залива Грен-фьорд, где были отобраны поверхностные пробы грунта напорной морены и зандровой равнины, а также пробы донных отложений кута залива. Расстояние между береговыми точками отбора проб 50 м. Морские станции выполняли на расстоянии 100 м от берегового уреза воды при приливе с шагом 50 м.

Всего отобрано 10 поверхностных проб грунта и 5 дночерпательных проб донных отложений. На литорали в период отлива применялось ручное ударное бурение для получения керна (рис. 2).



Рис. 1. Схема района работ

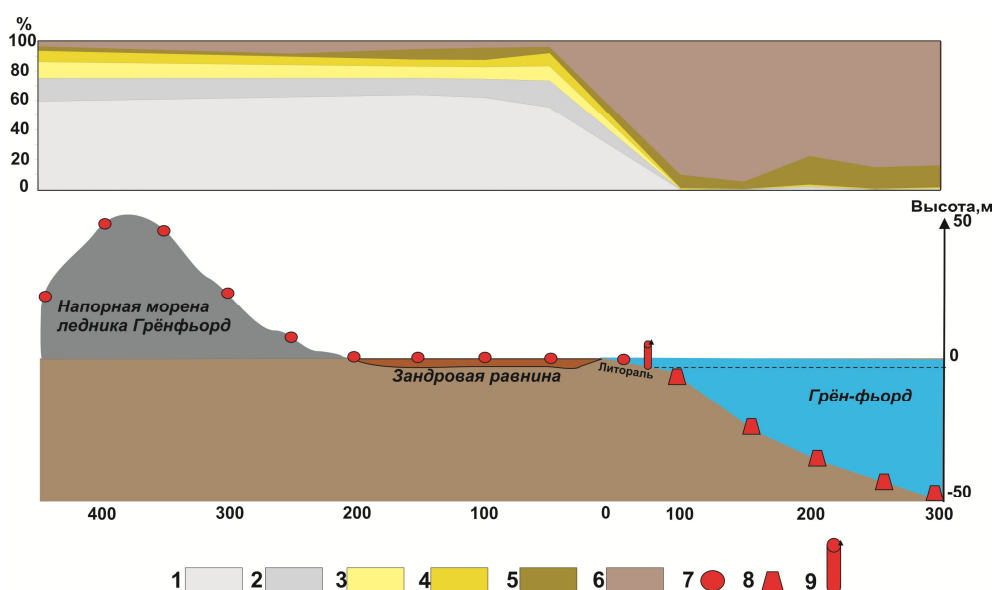


Рис. 2. Распределение гранулометрического состава донных отложений в районе работ:

1 – > 2.0 мм; 2 – 2.0–1.0 мм; 3 – 1.0–0.5 мм; 4 – 0.5–0.25 мм; 5 – 0.25–0.1 мм; 6 – < 0.1 мм; 7 – точки отбора проб ледниковых отложений; 8 – точки взятия дночерпательных проб; 9 – точка взятия литологической колонки

Отбор проб проводили озерным дночерпателем. В полевых условиях визуально описывали керновый материал, гранулометрический анализ выполняли в лабораторных условиях биогеостанции ММБИ в Баренцбурге. Обработка проб грунта производилась по стандартной методике.

Результаты

Морена ледника Гренфьорд имеет дугообразную форму. Высота морены в центральной части составляет 40–45 м, ширина более 500 м. К периферии моренный комплекс уменьшается до 15–20 м в высоту и 100 м в ширину. Гранулометрический состав морены относительно однороден. Она сложена в основном плохо сортированным валунно-галечно-гравийным материалом с примесью разнозернистого песка, доля алеврито-пелитового материала незначительна. К северному склону морены примыкают зандровая равнина и зандровые конусы. Западный конус разделяет зандровую равнину на две части (восточную и западную). Зандровая равнина сложена хорошо сортированным гравийно-галечным материалом (до 80 %) с примесью более мелких фракций, что прослеживается вплоть до литорали. Резкое изменение гранулометрического состава происходит на мелководье кута залива. Здесь до глубины 4–5 м сформирована подводная терраса шириной до 35 м, затем идет крутой склон, переходящий на глубине 50 м в днище фьорда (Об условиях ..., 2003). Дисперсный состав осадков представлен преимущественно алеврито-пелитовыми фракциями с примесью мелкозернистого песка. С глубиной содержание пелитового материала резко увеличивается, а доля более крупных фракций снижается. На глубине 30 м, в пределах 200 м от берега, доля крупного алеврита снижается от 20 до 3 %.

В результате ручного бурения был получен разрез отложений литорали (таблица). Вскрытая мощность разреза составила 96 см. Важно отметить, что в разрезе колонка отложений имеет слоистую структуру. Слои отличаются друг от друга по мощности, цвету, плотности, гранулометрическому составу, содержанию в своей структуре органики, степени окатанности слагающих зерен.

Гранулометрический состав донных отложений, %

Номер слоя	Глубина, см	Размерность фракции, мм						
		< 2	2–1	1–0.5	0.5–0.25	0.25–0.1	0.1–0.05	> 0.05
1	5–10	46.4	20	9.3	5.9	3.9	4.4	10.1
2	30–35	43.6	25.7	13.7	7.0	3.2	2.0	4.8
3	45–51	53.91	10.2	6.0	4.9	11.6	7.2	6.2
4	51–59	1.5	1.2	0.9	1.7	20.7	50.1	23.9
5	59–64	–	0.2	0.4	2.6	9.4	38.2	49.2
6	64–65.5	–	0.7	2.7	21.0	18.5	16.1	41.0
7	65.5–70	0.1	0.3	0.5	2.5	3.7	16.9	76.0
8	70–71	2.0	3.2	3.3	23.5	18.6	13.0	36.4
9	71–72	0.1	0.8	0.6	1.2	2.5	12.0	82.8
10	72–73	8.8	5.3	3.1	5.1	9.5	13.2	55.0
11	73–78	20.0	16.8	9.2	11.3	17.2	10.8	14.7
12	78–82	9.3	5.6	3.0	6.0	20.1	29.9	26.1
13	82–86	–	–	–	0.8	15.6	54.9	28.7
14	86–88	–	–	–	9.7	42.9	29.3	18.0
15	88–91	0.6	0.9	0.4	1.0	6.1	41.4	49.6
16	91–96	8.1	3.7	1.2	0.7	3.6	30.2	52.5

Наиболее четко выделяются 2 пачки: верхняя (0–55 см) и нижняя (55–96 см). Верхняя пачка представлена преимущественно грубообломочным материалом. В гранулометрическом составе преобладает гравийно-галечная фракция (более 60 %) с примерно равными примесями разнозернистого песка и алеврито-пелитового материала. Нижняя пачка представляет собой илесто-глинистый материал с тонкими прослойками гравийно-галечного материала и разнозернистого песка. В гранулометрическом составе пачки доля алеврито-пелитовых фракций в отдельных точках достигает 75 %. Количество разнозернистого песка и гравийно-галечного материала в прослойках может достигать 50 и 35 % соответственно.

* *
*

Распределение осадков в районе работ имеет характерные особенности, связанные в первую очередь с деятельностью ледника Гренфьорд, а также с флювиогляциальными потоками. Гранулометрический состав морены отражает перемещение материала льдом вследствие подвижек ледника Гренфьорд. Незначительное количество мелких фракций в составе напорной морены, наличие флювиогляциального рельефа в районе (зандровой равнины, конусы выноса) свидетельствуют о размывании моренного комплекса тальми ледниковыми потоками и выносе тонкозернистого материала в залив. Поступление осадочного материала в кут залива в настоящее время связано с деятельностью р. Гренфьорд и руч. Бретъёрна. Отложение выносимых водотоками осадков происходит в основном на мелководье (до глубины 30 м) в пределах 200 м от берега.

Структура полученного ядра позволяет сделать вывод, что осадконакопление в районе имеет определенную цикличность. Динамика осадкообразования приурочена к изменениям климатических условий в регионе.

Автор считает приятным долгом выразить благодарность проф. Г. А. Тарасову за постоянное внимание к работе и помощь в организации и проведении наблюдений.

Литература

- Лаврушин Ю. А. Четвертичные отложения Шпицбергена. М.: Наука, 1969. 181 с.
- Мавлюдов Б. Р. О деградации горно-долинных ледников Шпицбергена // Комплексные исследования Шпицбергена. Вып. 4. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. С. 207–216.
- Мещеряков Н. И. Некоторые вопросы формирования зандровой равнины в верховье залива Грен-фьорд (Западный Шпицберген) // Вестн. МГТУ. 2014. Т.17. № 1. С. 153–156.
- Об условиях седиментогенеза в заливе Грен-фьорд (Западный Шпицберген) / Г. А. Тарасов, Д. А. Костин, М. В. Митяев, М. В. Герасимова // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 3. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. С. 91–98.
- Тарасов Г. А. Быстроменяющийся гляциально-перигляциальный ландшафт Западного Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Вып. 12. М.: ГЕОС, 2012. С. 232–238.
- Тарасов Г. А., Кокин О. В. Новые данные о возрасте напорного вала ледника Гренфьорд // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 7. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. С. 85–92.

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЙОНОВ ОРГАНИЗАТОРОВ ЯДРЫШКА В ЛИМФОЦИТАХ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Т. В. Минзюк

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Окрашивание серебром белков районов организаторов ядрышка, участвующих в процессах биосинтеза и созревания пре-рРНК (Howell, Black, 1980; Improvement ..., 1986; Челлидзе, Зацепина, 1988), позволяет выявлять изменения функциональной активности ядрышка клеток. Увеличение числа, размеров и изменение формы, окрашенных серебром ядрышкообразующих районов (АгЯОР), наблюдается в клетках с высокой пролиферативной активностью (Мамаев, 1991; Leek et al., 1991; Relation ..., 1991; Derenzini, Treré, 2001). Морфометрические параметры АгЯОР в клетках используют в изучении межхромосомной, межклеточной, межиндивидуальной, межвидовой и межпопуляционной изменчивости. Например, обнару-

жена некоторая разница в активности ЯОР у лиц из различных этнических групп (Mikelsaag, Plus, 1979; Population ..., 1981; Polymorphisms ..., 1982; Мамаев, Мамаева, 1992). Проводятся цитогенетические исследования по внутривидовому разделению животных на группы по локализации ЯОР в клетках (Ядрышкообразующие ..., 1995; Цитогенетическое ..., 2003).

Исследований, направленных на описание морфологии и оценке активности ядрышкообразующих районов в интерфазных клетках морских млекопитающих очень мало. Так, Н. Н. Кавцевичем и А. С. Юрко (2007) определены некоторые морфометрические параметры интерфазных AgЯОР лимфоцитов периферической крови гренландского тюленя.

Цель настоящей работы – морфометрическая оценка окрашенных серебром ядрышкообразующих районов в лимфоцитах крови разных видов морских млекопитающих.

Материал и методы

Объектами исследований были гренландский тюлень *Pagophilus groenlandica* Erxleben, 1777 (n = 117), серый тюлень *Halichoerus grypus* Fabricius, 1791 (n = 38), тюлень-хохлач *Cystophora cristata* Erxleben, 1777 (n = 13, 1–1.5 мес.), кольчатая нерпа *Phoca hispida* Schreber, 1775 (n = 1, взрослое животное), морской заяц *Erignathus barbatus* Erxleben, 1777 (n = 6, взрослые животные), афалина *Tursiops truncatus ponticus* Barabash-Nikiforov, 1940 (n = 11, взрослые животные), обыкновенная морская свинья *Phocoena phocoena* Linnaeus, 1758 (n = 3, взрослые животные) и белуха *Delphinapterus leucas* Pallas, 1776 (n = 2, взрослые животные).

У гренландских тюленей были выделены бельки в возрасте 1 недели (n = 38), серки в возрасте 1–1.5 мес. [“нормальные” – хорошо упитанные детеныши массой 30–35 кг (n = 27), “заморыши” – массой 10–15 кг (n = 36) и 3–4 мес. (n = 6)], а также взрослые животные (n = 10). Кроме этого материал брали у 4 животных, содержащихся в аквакомплексе экспериментального полигона ММБИ КНЦ РАН (Сайда-губа, Кольский залив) с 2001 по 2004 гг.

Серые тюлени были представлены особями в возрасте до 1 недели (n = 8), 2–3 недели – питающиеся молоком (n = 6), 1–1.5 мес. – завершившие молочное питание (n = 12), 3–4 мес. – самостоятельно питающиеся рыбой щенки (n = 6), 1 год (n = 4) и 3.5 года (n = 2) – взрослые животные.

Кровь у тюленей брали из внутривенной вены (Geraci, Smith, 1975), у хохлачей – во время промысла из правого желудочка сердца (в шприц с гепарином), у китообразных – из вен хвостового плавника. Для выделения белков районов организаторов ядрышек мазки крови окрашивали азотнокислым серебром по методике У. Хоуэлла и Д. Блэка (Howell, Black, 1980). Мазки погружали на 30 мин в окрашивающий раствор, состоящий из 2 частей 50 %-го раствора нитрата серебра и 1 части 1 %-го раствора муравьиной кислоты в 2 %-м растворе желатина. С помощью микроскопа Axio Imager M1, оснащенного цифровой видеокамерой AxioCam (фирмы Zeiss), фотографировали не менее 100 окрашенных лимфоцитов для каждого животного. Препараты изучали, используя масляную иммерсию (объектив ув. 100, окуляр ув. 10). Определяли следующие морфометрические параметры ядра и ядрышкообразующих районов в лимфоцитах: площадь, диаметр, периметр и показатель округлости ПО. В программе анализа изображения AxioVision показатель формы определяется автоматически по формуле

$$ПО = 4\pi \frac{S}{P^2},$$

где S – площадь выделенной области; P – периметр выделенной области. Неровность контура объекта рассчитывали по формуле как частное от деления площади S на периметр P. Мерой активности ядрышек служила относительная площадь окрашенных серебром районов организаторов ядрышка, определенная как отношение площади ядрышкообразующего района SAgЯОР к площади ядра лимфоцита SЯдра. Статистическую обработку результатов проводили мето-

дами вариационной статистики с использованием программ Microsoft Excel Windows XP и Statistica 6.0. Рассчитывали среднее и ошибку среднего ($M \pm m$), для оценки достоверности различий между средними величинами использовали t-критерий Стьюдента, различия при $p < 0.05$ рассматривались как статистически значимые.

Ядра лимфоцитов морских млекопитающих, как правило, округлые или слегка вытянутые с небольшими неровностями контуров (рисунки 1, 2). Часть лимфоцитов имеет в ядре небольшое характерное впячивание (бобовидная форма). Встречаются клетки с широким и с узким ободком цитоплазмы.

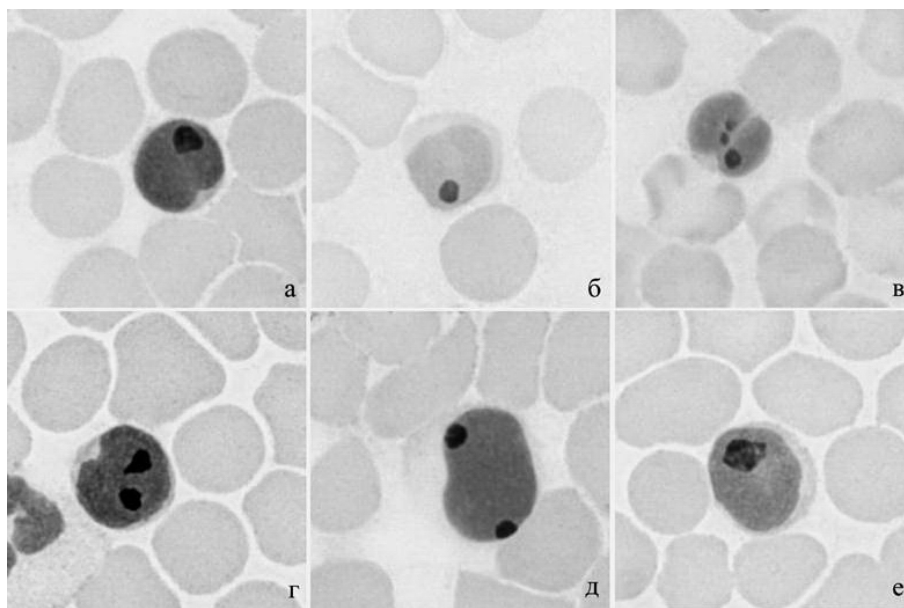


Рис. 1. Лимфоциты “типичные” для всех возрастных групп (а, б), для бельков (в), серок (г, д) и взрослых животных (е) гренландских тюленей. Окраска нитратом серебра

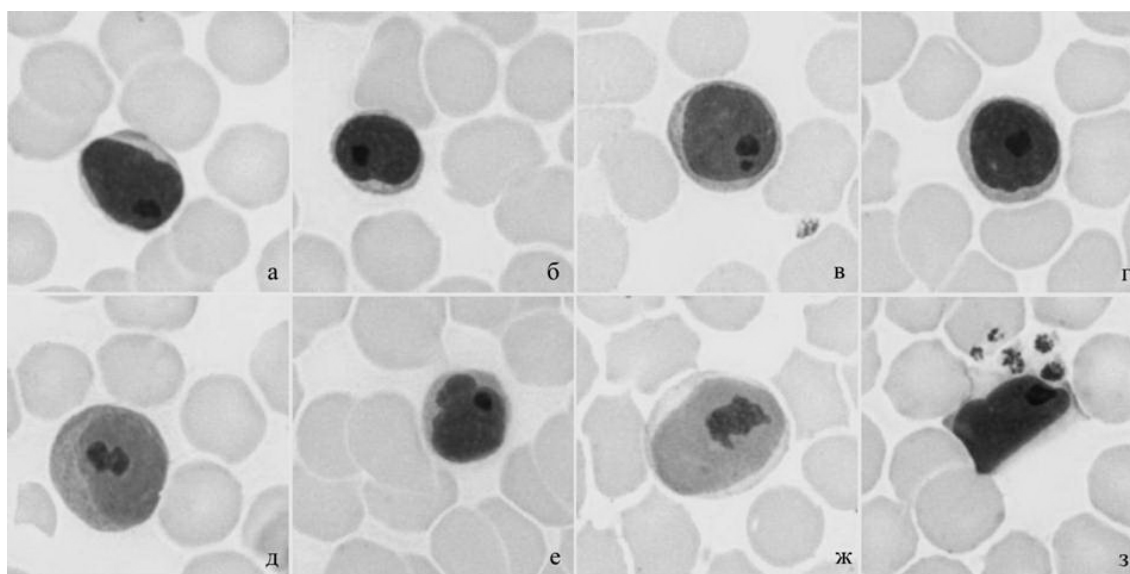


Рис. 2. Лимфоциты серых тюленей:
а–г – “типичные”; д – с АгЯОР в форме четок; е – с “дольчатым” ядром; ж – с заостренными углами в АгЯОР; з – широкоцитоплазматные. Окраска нитратом серебра

Окрашенные серебром районы организаторов ядрышка (AgЯОР) у морских млекопитающих также округлой (рисунки 1, 2), зачастую вытянутой формы, изредка с неровностями краев. В одноядрышковых лимфоцитах AgЯОР располагается в центре ядра или несколько смещен к периферии. В лимфоцитах же с большим числом AgЯОР они в основном лежат на некотором расстоянии друг от друга, изредка близко или сливаются.

Почти у всех рассмотренных морских млекопитающих преобладают лимфоциты с одним AgЯОР (80–90 %) и только у хохлача в возрасте 1–1.5 мес. – с двумя AgЯОР (46.96±2.59 %).

У бельков гренландских тюленей (рис. 1в) преобладают лимфоциты с высоким ядерно-цитоплазматическим отношением, AgЯОР по форме округлые и их абсолютный размер (диаметр) ниже по сравнению с другими возрастными группами животных ($p < 0.001$) (табл. 1). У щенков в возрасте 1–1.5 мес. (рис. 1г,д) ядрышкообразующие районы встречаются вытянутые, с заостренными углами, преимущественно располагаются в центре; если AgЯОР более одного, то они лежат на расстоянии друг от друга. У взрослых тюленей этого вида форма ядра округлая с небольшим неровностями контура, встречаются широкоцитоплазменные клетки, AgЯОР зачастую с заостренными углами (рис. 1е).

Т а б л и ц а 1

Размер ядра и AgЯОР в лимфоцитах гренландских тюленей (среднее±стандартная ошибка), мкм

Возрастная группа	SAgЯОР:SЯдра	Диаметр ядра	Диаметр AgЯОР
Бельки, 1 неделя	0.087±0.001	7.19±0.18	1.68±0.06
Серки, 1–1.5 мес.:			
“нормальные”	0.095±0.001	8.24±0.15*	2.28±0.09*
“заморыши”	0.092±0.001	8.55±0.12*	2.41±0.22*
Серки, 3–4 мес.	0.104±0.001	8.30±0.18*	2.31±0.10*
Взрослые	0.082±0.001	8.73±0.02*	2.20±0.05*

*Достоверность различий по отношению к группе бельков ($p < 0.001$).

В ходе постнатального онтогенеза у гренландского тюленя изменяется форма и ядра, и районов организаторов ядрышка. При этом у тюленей с 1–1.5 до 3–4 мес. увеличивается количество неправильных по форме ядер и AgЯОР. Содержание “полиморфных” (неправильных по форме, с заостренными углами) AgЯОР ($p < 0.05$) в 2 раза выше у щенков самостоятельно питающихся рыбой по сравнению с группой щенков 1–1.5 мес. (10 и 5 % соответственно). Следует отметить, что у щенков гренландского тюленя, начавших самостоятельно питаться рыбой, наблюдаются и наибольшие относительные размеры AgЯОР, несмотря на то, что абсолютный размер и ядра и AgЯОР не отличаются от такового щенков в возрасте 1–1.5 мес. (табл. 1).

Во всех возрастных группах серых тюленей преобладают клетки с бобовидным ядром (рис. 2). В многоядрышковых лимфоцитах AgЯОР сближены и часто сливаются (рис. 2д). В первые 3–4 мес. у щенков серого тюленя преобладают неправильные по форме AgЯОР (вытянутые, с неровными очертаниями контуров). Лимфоциты взрослых тюленей характеризуются преобладанием широкоцитоплазменных клеток (рис. 2з).

В ходе постнатального онтогенеза у гренландских и серых тюленей изменяется абсолютные размеры и ядра, и районов организаторов ядрышка (таблицы 1, 2). Средний диаметр ядра у взрослых серых и у гренландских тюленей выше, чем у щенков (таблицы 1, 2), при этом абсолютный размер ядра на всех возрастных этапах в среднем изменяется незначительно, исключение составляют AgЯОР у бельков гренландских тюленей (табл. 1).

Относительные размеры окрашенных серебром ядрышкообразующих районов у тюленей в постнатальном онтогенезе заметно изменяются. У взрослых животных относительная площадь AgЯОР (SAgЯОР:SЯдра) достоверно ниже, чем у щенков ($p < 0.05$) (таблицы 1, 2).

Размер ядра и AgЯОР в лимфоцитах серых тюленей (среднее±стандартная ошибка), мкм

Возрастная группа	S _{AgЯОР} :S _{Ядра}	Диаметр ядра	Диаметр AgЯОР
До 1 недели, новорожденные	0.127±0.001	6.93±0.29	1.97±0.08
2–3 недели, питающиеся молоком	0.134±0.001	6.58±0.25	1.89±0.04
1–1.5 мес., завершившие молочное питание	0.122±0.001	6.83±0.23	1.99±0.07
3–4 мес., щенки питающиеся рыбой самостоятельно	0.104±0.001	6.95±0.05	2.05±0.05
3.5 года, взрослые	0.087±0.006*	7.68±0.31*	2.08±0.11

* Достоверность различий $p < 0.05$ по отношению к остальным группам.

У гренландских тюленей, находящихся в условиях неволи, средний диаметр ядра составляет 8.05 ± 0.09 мкм, диаметр AgЯОР – 1.86 ± 0.03 , относительная площадь AgЯОР 0.073 ± 0.001 . Данные размерные показатели ядра и AgЯОР ниже аналогичных у диких животных (в возрасте 3–4 мес. и взрослые) (табл. 1).

В лимфоцитах хохлача обнаруживаются один или два крупных AgЯОР (диаметр 2–5 мкм), остальные же по размеру в несколько раз меньше, располагаются в ядре эксцентрично, на значительном расстоянии друг от друга; преобладают AgЯОР с заостренными углами. По размеру ядра щенки хохлача уступают щенкам гренландского тюленя и отличаются наименьшими размерами районов организаторов ядрышка среди рассмотренных ластоногих в своей возрастной группе.

Морфометрические параметры лимфоцитов морских зайцев, находящихся в условиях неволи, резко отличаются от размерных параметров клеток у животных в природе. В условиях неволи у зайца, как и у гренландского тюленя, наблюдаются лимфоциты с большим ядром и AgЯОР (табл. 3). Преобладают клетки широкоцитоплазменные, с ядром бобовидной формы. Взрослые морские зайцы, обитающие в естественной среде, характеризуются самыми высокими показателями относительного размера и низкими значениями абсолютного размера AgЯОР с преобладанием среди них “полиморфных” форм. Известно, что чем больше величина относительного размера AgЯОР, тем крупнее в данном лимфоците AgЯОР и его относительная площадь, и, соответственно, более интенсивно происходят процессы подготовки клеток к пролиферации. Таким образом, морские зайцы в условиях неволи характеризуются высокой пролиферативностью лимфоидных клеток по сравнению с животными в природе. У гренландских же тюленей в условиях океанариума, наоборот, наблюдается низкая пролиферативная активность.

Лимфоциты кольчатой нерпы небольшие по размеру, встречаются как клетки с узким ободком цитоплазмы, так и с широким (табл. 3). Относительный размер AgЯОР у кольчатой нерпы низкий, что проявляется в преобладании наиболее округлых форм ядра и AgЯОР по сравнению с остальными рассмотренными ластоногими.

Среди рассмотренных китообразных лимфоциты в крови афалин отличаются крупным ядром с наибольшими значениями неровности контура и ядра и организаторов ядрышка (табл. 3), редко встречаются широкоцитоплазменные клетки. Одноядрышковые лимфоциты содержат относительно крупный округлый центральнорасположенный AgЯОР. В клетках с двумя AgЯОР, как правило, один из них крупнее. В многоядрышковых лимфоцитах районы организаторов ядрышка располагаются отдельно друг от друга.

У обыкновенной морской свиньи и белухи преобладают “типичные” лимфоциты с небольшим по диаметру ядром. У обыкновенной морской свиньи иногда встречаются клетки с “дольчатым” ядром; при наличии двух AgЯОР они имеют вытянутую форму, часто с причудливыми очертаниями. У белухи AgЯОР в лимфоцитах крови правильной округлой формы, изредка вытянутой; ядро имеет от одного до трех впячиваний контура.

**Форма и размер ядра и АгЯОР в лимфоцитах
морских млекопитающих (среднее±стандартная ошибка)**

Вид	Число АгЯОР в одном лимфоците	Ядро		
		Диаметр, мкм	Показатель округлости	Неровность контура
Ластоногие				
Гренландский тюлень, n = 9 (2)	1.28±0.05	8.73±0.02	0.724±0.004	1.75±0.01
Серый тюлень, n = 2	1.12±0.03	7.68±0.31	0.786±0.004	1.61±0.06
Кольчатая нерпа, n = 1	1.10±0.01	7.26±0.01	0.927±0.006	1.65±0.03
Морской заяц в условиях:				
неволи, n = 3	1.10±0.03	8.66±0.37	0.756±0.003	1.78±0.08
в природе, n = 3	1.09±0.03	7.79±0.15	0.803±0.040	1.65±0.02
Китообразные				
Афалина, n = 3	1.15±0.04	7.46±0.10	0.762±0.027	1.54±0.04
Обыкновенная морская свинья, n = 3	1.10±0.01	6.61±0.32	0.932±0.018	1.51±0.08
Белуха, n = 2	1.14±0.04	6.89±0.16	0.857±0.092	1.50±0.05

Окончание табл. 3

Вид	АгЯОР			
	Относительная площадь	Диаметр, мкм	Показатель округлости	Неровность контура
Ластоногие				
Гренландский тюлень, n = 9 (2)	0.082±0.003	2.20±0.05	0.834±0.004	0.47±0.01
Серый тюлень, n = 2	0.085±0.006	2.08±0.11	0.883±0.010	0.46±0.02
Кольчатая нерпа, n = 1	0.108±0.003	2.12±0.06	0.911±0.007	0.47±0.01
Морской заяц в условиях:				
неволи, n = 3	0.094±0.002	2.47±0.11	0.825±0.019	0.53±0.02
в природе, n = 3	0.066±0.001	1.86±0.40	0.812±0.004	0.39±0.01
Китообразные				
Афалина, n = 3	0.086±0.005	1.99±0.06	0.861±0.019	0.44±0.01
Обыкновенная морская свинья, n = 3	0.099±0.010	1.92±0.03	0.897±0.008	0.43±0.01
Белуха, n = 2	0.103±0.003	2.03±0.05	0.909±0.027	0.46±0.01

Таким образом, для морских млекопитающих свойственны различные морфологические варианты ядер лимфоцитов и окрашенных серебром ядрышкообразующих районов, что, по-видимому, обусловлено межвидовыми различиями. Ядра лимфоцитов по размеру в основном средние (диаметр 7–10 мкм) или мелкие (диаметр менее 7 мкм). Диаметры ядра и АгЯОР лимфоцитов ластоногих в среднем выше, чем таковые у китообразных. Преобладают лимфоциты с узким ободком цитоплазмы, округлой формой ядра и эксцентрично расположенным АгЯОР. У взрослых животных относительная площадь АгЯОР с возрастом уменьшается, а абсолютный размер ядра и районов организаторов ядрышка, наоборот, незначительно увеличивается. Вероятно, возрастание размеров ядра лимфоцита и суммарной площади ядрышкообразующих районов не влечет за собой увеличение пролиферативной активности клетки.

Сравнительный анализ морфометрических параметров АгЯОР (табл. 3) в лимфоцитах взрослых ластоногих и китообразных показал, что у всех животных преобладают лимфоциты с одним АгЯОР, абсолютный размер АгЯОР у ластоногих в среднем выше, чем таковой у китообразных. При этом средние показатели относительного размера организаторов ядрышка у взрослых животных разных видов достоверно отличаются друг от друга, следовательно, интенсивность синтеза белка в лимфоцитах у ластоногих и китообразных различна и, вероятно, видоспецифична.

Литература

Кавцевич Н. Н., Юрко А. С. Активность организаторов ядрышка в лимфоцитах гренландских тюленей разного возраста // Докл. РАН. 2007. Т. 416. № 5. С. 706–708.

Мамаев Н. Н. Морфофункциональная характеристика окрашенных серебром ядрышек и ядрышко-вых организаторов нормальных и патологических клеток человека // Цитология. 1991. Т. 33. № 9. С. 87.

Мамаев Н. Н., Мамаева С. Е. Структура и функция ядрышкообразующих районов хромосом: молекулярные, цитологические и клинические аспекты // Цитология. 1992. Т. 34. № 10. С. 3–25.

Цитогенетическое и аллозимное исследование сусликов группы “major” (*Spermophilus*, Sciuridae, Rodentia) / В. П. Кораблев, Л. В. Фрисман, М. В. Цвирка и др. // Проблемы эволюции. Владивосток: Дальнаука, 2003. Т. 5. С. 151–166.

Челидзе П. В., Зацепина О. В. Морфофункциональная классификация ядрышек // Успехи современной биологии. 1988. Т. 105. № 2. С. 252–267.

Ядрышкообразующие районы и В-хромосомы лесных мышей (Mammalia, Rodentia, *Apodemus*) / Г. Г. Боекорев, И. В. Картавцева, И. В. Загороднюк и др. // Генетика. 1995. Т. 31. № 2. С. 185–192.

Derenzini M., Treré D. Silver-stained nucleolar organizer regions (AgNOR) // Pathologica. 2001. Vol. 93. № 2. P. 99–105.

Geraci J. R., Smith T. G. Functional hematology of ringed seals (*Phoca hispida*) in the Canadian arctic // J. Fish. Res. Board Can. 1975. Vol. 32. P. 2559–2564.

Howell W. M., Black D. A. Controlled silver staining of nucleolus organizer regions with protective colloidal developer: a 1-step method // Experientia. 1980. Vol. 36. P. 1014–1015.

Improvement in the staining and in the visualization of the argyrophilic proteins of the nucleolar organizer region at the optical level / D. Ploton, M. Menager, P. Jeannesson et al. // Histochemical J. 1986. Vol. 18. № 1. P. 5–14.

Leek R. D., Alison M. R., Sarraf C. E. Variations in the occurrence of silver-staining nucleolar organizer regions (AgNORs) in non-proliferating and proliferating tissues // J. Pathol. 1991. Vol. 165. № 1. P. 43–51.

Mikelsaar A. V., Ilus T. Populational polymorphisms in silver staining of nucleolus organizer regions (NORs) in human acrocentric chromosomes // Human Genetics. 1979. Vol. 51. № 3. P. 281–285.

Polymorphisms of Ag-stained nucleolar organizer regions in man / A. F. Zakharov, A. Z. Davudov, V. A. Benjush et al. // Human Genetics. 1982. Vol. 60. № 4. P. 334–339.

Population heteromorphisms of Ag-stained nucleolar organizer regions (NORs) in the acrocentric chromosomes of East Indians / R. S. Verma, C. Benjamin, J. Rodriguez et al. // Human Genetics. 1981. Vol. 59. № 4. P. 412–415.

Relation between nucleolar size and growth characteristics in small cell lung cancer cell lines / T. Matsumoto, T. Terasaki, K. Mukai et al. // Japan. J. Cancer Res. 1991. Vol. 82. № 7. P. 820–828.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРСКОГО МОРЯ

М. А. Павлова

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Карское море относится к окраинным морям Российской Федерации. Его бассейн принимает наибольший в Арктическом регионе объем пресного стока (около 1350 км³ в год), который не только трансформирует поверхностные воды моря, но и способствует формированию в его пелагиали разнотипных биотопов (Петров, 1989).

Поступающие с речными водами растворенные и взвешенные органические вещества (РОВ и ВОВ) служат источником углерода и энергии для сообществ бактерий, чья биомасса является пищевым субстратом для представителей гетеротрофного микропланктона.

В комплексе факторов, определяющих функционирование бактериоценозов Карского моря, помимо пресного стока, можно выделить низкотемпературный режим, продолжительность ледостава, короткий период вегетации фитопланктона – основного поставщика автотонного РОВ, и, как следствие, олиготрофный статус вод большую часть года.

Бактериопланктон арктических морей наиболее полно изучен в Баренцевом море (Terlinskaya, Dudarenko, 1984; Теплинская, 1990; Байтаз и др., 1995; Мишустина и др., 1997; Бай-

таз, 1998; Distribution ..., 2002; Bacterial ..., 2008; Венгер, 2011; Влияние ..., 2016) и районах Канадской Арктики (Steward et al., 1996; Evidence ..., 2008; Payet, Suttle, 2008). Сведения о состоянии бактериальных сообществ Карского моря продолжают оставаться малочисленными.

История его микробиологических исследований берет начало с 1930-х годов и связана с именами русских ученых В. С. Буткевича (1938, 1958) и Б. Л. Исаченко (1951). В районах Карского моря на судах “Георгий Седов” (1930 г.), “Сибиряков” (1933 г.) и “Садко” (1935 г.) ими собран обширный материал по качественному составу планктонных бактерий, сообщества которых по численности достигали единиц и десятков тысяч клеток в 1 мл воды. Изучение влияния температуры и солености воды на вертикальное распределение планктонных бактерий показало, что их количество в северной части моря увеличивается до прослойки теплых трансформированных атлантических вод, а затем, по мере нарастания глубины, уменьшается и достигает минимальных значений в холодных придонных водах.

Следующий этап изучения карскоморского бактериопланктона приходится на 1980-е годы. Исследованиями микробиологов Мурманского морского биологического института (экспедиция 1981 г. на НИС “Дальние Зеленцы”) было показано, что его концентрации в осенний период достигали сотен тысяч клеток в 1 мл воды. Максимум обилия регистрировали на юго-западе моря в районе циклонического круговорота. Для большей части акватории отмечено снижение численности бактерий с глубиной. Лишь в зоне активного влияния атлантических вод (северная оконечность архипелага Новая Земля) распределение микроорганизмов по водной толще было однородным (Теплинская, 1990).

В работах 1930-х и 1980-х годов количественные характеристики бактериопланктона определялись либо методом предельных разведений на жидких питательных средах (Исаченко, 1937), либо методом прямого счета на мембранных фильтрах с окраской препаратов неспецифическим красителем карболовым эритрозином (Teplinskaya, Dudarenko, 1984). В настоящее время установлено, что результаты, полученные данными методами, не отражают истинных сведений о концентрации микроорганизмов в воде (Старосила, 2006). Так, численность бактерий, определяемая методом прямого счета, на 2–4 порядка превышает таковую, полученную культивированием микроорганизмов на питательных средах (Сорокин, 1983), а использование карболового эритрозина в качестве красителя приводит к недоучету в общем бактериопланктоне клеток мелких размерных фракций (Кузнецов, Дубинина, 1989).

Современный этап в изучении микробных сообществ Карского моря берет начало от введения в практику гидробиологических наблюдений эпифлуоресцентной микроскопии и флуорохромных красителей – акридина оранжевого (Francisco et al., 1973) и флуорескамина (Поглазова, Мицкевич, 1984), позволяющих четко дифференцировать микроорганизмы от посторонних частиц.

Осенью 1991 года в рейсе на НИС “Дальние Зеленцы” сотрудниками ММБИ В. А. и О. Н. Байтаз современными методами исследованы структурные характеристики бактериальных сообществ Байдарацкой губы. Средние значения их численности и биомассы составляли, соответственно, $0.5 \cdot 10^6$ кл/мл и 106.6 мг/м^3 . Величины обилия возрастали от мористых участков губы к кутовым. В вертикальном распределении отмечено уменьшение исследуемых параметров с глубиной (Байтаз, Байтаз, 1993).

В экспедиции на НИС “Дмитрий Менделеев” в сентябре–октябре 1993 г. сотрудниками Института микробиологии РАН исследованы открытая часть Карского моря и районы стока Оби и Енисея. В морской части акватории численность и биомасса бактерий варьировали от $0.02 \cdot 10^6$ до $0.28 \cdot 10^6$ кл/мл и от 0.7 до 265.3 мг/м^3 соответственно. Наибольшее обилие микроорганизмов отмечено в слое пикноклина, наименьшее – в нижележащих слоях. На северо-востоке моря наблюдалось минимальное содержание численности и биомассы планктонных бактерий – $(0.02–0.05) \cdot 10^6$ кл/мл и $2–25 \text{ мг/м}^3$ соответственно. На северо-западе их численность была выше $(0.1–0.3) \cdot 10^6$ кл/мл, однако, из-за доминирования клеток мелких размерных

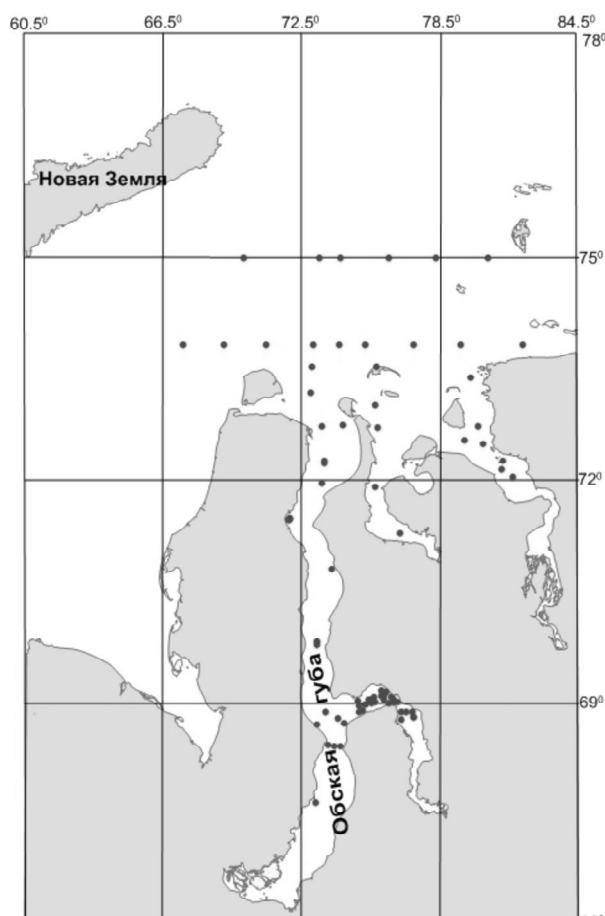
фракций биомасса оставалась достаточно низкой (30–60 мг/м³). По мере приближения к устьям рек концентрация микроорганизмов увеличивалась. В эстуариях Оби и Енисея величины показателей составляли $(0.02–0.55) \cdot 10^6$ кл/мл и 9.6–707.4 мг/м³ (Мицкевич, Намсараев, 1994).

В XXI веке микробиологические исследования Карского моря были продолжены. В пелагиали его глубоководных и мелководных участков, наряду с распределением основных количественных параметров, впервые определены продукционные характеристики бактериопланктона (Меон, Амон, 2004; Планктонные ..., 2012; Романова, 2012; Вириопланктон ..., 2015). При этом отечественными и зарубежными специалистами в качестве красителя для микроскопии стал повсеместно использоваться флуорохром DAPI (Porter, Feig, 1980), что позволяет корректно сравнивать полученные результаты.

В связи с разработкой проектов по освоению газоконденсатных месторождений п-ова Ямал и прилегающего к нему шельфа в последнее время особое внимание уделяется изучению состояния водных экосистем и их сообществ в обширной эстуарной зоне моря и Обско-Тазовской губе в частности.

Сотрудниками ММБИ в 2012–2014 гг. выполнены работы в пресноводной части Обско-Тазовской губы (рисунок). Полученные данные свидетельствуют, что в наиболее теплый период года (август–сентябрь) на фоне активной вегетации фитопланктона численность планктонных бактерий изменялась от $1.5 \cdot 10^6$ до $4.9 \cdot 10^6$ кл/мл, биомасса – от 70.5 до 517.3 мг/м³, средние размеры клеток – от 0.030 до 0.210 мкм³. Показатели относительно равномерно распределялись по вертикали водной толщи и характеризовались статистически сходными величинами в поверхностных и придонных водах.

Сравнительный анализ не выявил значительных межгодовых различий в структуре летне-осеннего бактериопланктона. С 2012 по 2014 годы его средняя численность незначительно снизилась (от $2.8 \cdot 10^6$ до $2.5 \cdot 10^6$ кл/мл). В то же



время величина средней биомассы возросла в 1.9 раза (от 122.1 до 237.4 мг/м³) за счет увеличения объема клеток (от 0.045 до 0.099 мкм³). Значения указанных параметров по годам достоверно не различались, что свидетельствует о стабильности условий существования микробных сообществ, и согласно классификации, предложенной А. И. Копыловым и Д. Б. Косолаповым (2007), позволяют охарактеризовать воды исследуемого района как мезотрофные.

На пресноводных участках Обской губы и Енисейского залива в 2009 г. численность и биомасса бактериопланктона составляли $(2.5–3.6) \cdot 10^6$ кл/мл и 254–518 мг/м³ (Планктонные ..., 2012). Для этого района также характерен значительный уровень бактериальной продукции – 13.5 мг С/м³ в сутки (Меон, Амон, 2004). Столь высокие показатели развития микробных сообществ, вероятно, определялись наличием легкодоступного РОВ, поступающего с речным стоком и продуцируемого микрорфотосинтетиками.

Карта-схема отбора проб бактерио- и вириопланктона Карского моря в августе–сентябре 2012–2014 гг.

По направлению к северным районам продукция бактериопланктона снижалась. Ее величина в эстуарной зоне по разным данным варьировала от 1.3 до 5.8 мг С/м³ в сутки (Meon, Amon, 2004; Вириопланктон ..., 2015).

Наши исследования распресненных акваторий – северный участок Обской губы, Енисейский залив, Гыданская губа – в 2013 г. показали, что на фоне активной вегетации фитопланктона диапазоны численности от $0.26 \cdot 10^6$ до $1.68 \cdot 10^6$ кл/мл и биомассы от 4.0 до 101.6 мг/м³ бактерий были ниже в 3 и 7 раз соответственно, чем таковые при “цветении” фитопланктона в более южных пресноводных участках. По данным Н. Д. Романовой (2012), летом 2010 г. в эстуарной зоне численность бактерий варьировала в более широких пределах – $(0.05-3.30) \cdot 10^6$ кл/мл. При этом ее средняя величина – $(1.2 \pm 0.9) \cdot 10^6$ кл/мл – была сопоставима с полученным нами значением – $(0.88 \pm 0.05) \cdot 10^6$ кл/мл.

Согласно работам зарубежных коллег (Meon, Amon, 2004), в центральной части Карского моря, подверженной влиянию стока рек, численность микроорганизмов летом 2001 г. изменялась от $0.46 \cdot 10^6$ до $1.78 \cdot 10^6$ кл/мл, в среднем составляя $0.90 \cdot 10^6$ кл/мл, величина их продукции достигала 4.3 мг С/м³ в сутки. В наших исследованиях в августе–сентябре 2013 г. при более широком диапазоне численности $(0.06-2.34) \cdot 10^6$ кл/мл, ее среднее значение $(0.91 \pm 0.14) \cdot 10^6$ кл/мл оставалось на уровне 2001 г. Биомасса бактерий изменялась от 7.3 до 152.5 мг/м³ (55.3 ± 5.7 мг/м³).

На северных участках Карского моря численность и продукция были значительно ниже. Численность бактерий изменялась от $0.02 \cdot 10^6$ до $0.60 \cdot 10^6$ кл/мл, а уровень продукции был близок к нулю (максимум – 0.49 мг С/м³ в сутки) (Романова, 2012). Стоит отметить, что в Карском море на развитие микробных сообществ в первую очередь влияют концентрации легкодоступного РОВ планктонного происхождения, содержание которого варьирует от 6 до 16 % (Amon, Meon, 2004).

Одним из факторов, регулирующих качественный и количественный состав бактериопланктона, являются вирусы – самый многочисленный компонент морских экосистем, они могут вызывать гибель более чем у 60 % бактериального сообщества (Weinbauer, 2004). В результате вирусного лизиса клеток микроорганизмов в окружающую среду поступает значительное количество легкодоступного органического вещества, которое не переходит на более высокие трофические уровни, а вновь активно включается в метаболизм гетеротрофных бактерий (Wommack, Colwell, 2000; Копылов, Косолапов, 2011).

Наиболее распространенные методы исследования вириопланктона – эпифлуоресцентная и трансмиссионная электронная микроскопия (ТЭМ). Первая из них обычно применяется для учета общего числа вирусов (Noble, Fuhrman, 1998), тогда как вторая незаменима для определения аспектов взаимодействия вируса с клеткой хозяина и морфологических характеристик фага (Дрюккер, Дутова, 2009).

Сведения об экологии вирусов в Карском море впервые получены в экспедициях 2009 и 2011 гг. сотрудниками Института океанологии им. П. П. Ширшова и Института биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН на НЭС “Михаил Сомов” и НИС “Академик Мстислав Келдыш” (Планктонные ..., 2012; Вириопланктон ..., 2015).

Летом 2009 года численность вириопланктона в пресных водах Обского и Енисейского заливов изменялась от $8.3 \cdot 10^6$ до $26.7 \cdot 10^6$ частиц/мл, среднее – $(21.5 \pm 3.5) \cdot 10^6$ частиц/мл; соотношение вирус:бактерия ($N_v:N_b$) варьировало от 3 до 8 (в среднем 7). Между обилием вирусов и бактерий наблюдалась высокая положительная зависимость ($r = 0.9$, при $p \geq 0.05$). Электронно-микроскопические исследования показали, что в среднем 9.8 % бактериопланктона было инфицировано фагами. Количество зрелых вирусных частиц в клетке варьировало от 5 до 66, а вирусиндуцированная смертность составляла 12.9 ± 3.1 % от бактериальной продукции (Планктонные ..., 2012).

В сентябре 2011 года концентрация вирусных частиц в устье р. Енисей находилась в диапазоне от $3.0 \cdot 10^6$ до $5.8 \cdot 10^6$ частиц/мл, в среднем – $(4.5 \pm 0.8) \cdot 10^6$ частиц/мл. Вирусы

по обилию превышали своих потенциальных хозяев – бактерий – в среднем в 2 раза и инфицировали 1.5 % их общей численности. При среднем количестве 13 ± 6 фагов в клетке смертность бактериопланктона от вирусного лизиса достигала 12.6 ± 1.9 % (Вириопланктон ..., 2015).

В эстуарии Енисея в 2011 г. количество вирусов варьировало от $0.1 \cdot 10^6$ до $5.5 \cdot 10^6$ частиц/мл (в среднем $(0.9 \pm 0.4) \cdot 10^6$ частиц/мл) и превышало количество бактерий от 2 до 6 раз. Вирусной инфекции было подвержено 0.6 % бактериального сообщества, в одной клетке регистрировали в среднем 14 ± 4 фагов. Вирусиндуцированная гибель бактериопланктона составляла 4.4 ± 0.7 % от его продукции (Вириопланктон ..., 2015).

На глубоководных северных участках Карского моря количественные параметры вириопланктона были существенно ниже, чем в зоне влияния речных вод. Численность вирусов составляла $(0.1 - 1.1) \cdot 10^6$ частиц/мл, соотношение вирус:бактерия изменялось от 2 до 29. В общей численности бактериопланктона доля зараженных вирусами клеток была минимальной – 0.5 %, внутри одной бактерии в среднем регистрировали до 12 ± 3 фагов. Вирусиндуцированная смертность бактерий соответствовала показателям в эстуарии Енисея – 4.0 ± 0.5 % (Вириопланктон ..., 2015).

В целом, по сведениям А. И. Копылова с соавторами (Вириопланктон ..., 2015), в период открытой воды в акватории Карского моря вирусы-бактериофаги играли небольшую роль в контроле над численностью и продукцией бактериопланктона.

Существенным дополнением к ранее полученным материалам послужили результаты наблюдений, выполненных ММБИ в центральной и эстуарной частях моря в 2013 г. (НЭС “Профессор Молчанов”), а также в пресноводной области Обско-Тазовской губы в 2014 г. (ПТС-83) (рисунок).

Анализ результатов исследований 2013–2014 гг. показал, что в пресных водах Обско-Тазовской губы численность вирусов изменялась от $4.6 \cdot 10^6$ до $26.9 \cdot 10^6$ частиц/мл, в среднем – $(13.9 \pm 1.0) \cdot 10^6$ частиц/мл. Соотношение $N_v:N_b$ варьировало от 2 до 10 (среднее – 6). Число вирусных контактов в сутки составило 19–180, в среднем – 71, что в 2 раза ниже, чем в 2009 г. Численность вириопланктона зависела от количества ($r = 0.55$, при $p \geq 0.05$) и объема бактериальных клеток ($r = -0.47$ при $p \geq 0.05$).

В эстуарных районах Карского моря количественные параметры вириопланктона несколько снижались. Обилие вирусов составляло $(1.1 - 26.5) \cdot 10^6$ частиц/мл, в среднем – $(11.3 \pm 0.9) \cdot 10^6$ частиц/мл, что значительно превышало значения 2011 г. Соотношение $N_v:N_b$ изменялось от 3 до 53 (среднее – 15). Число вирусных контактов составило 0–57 (в среднем – 21). Достоверной зависимости между численностью бактерий и вирусов не обнаружено. Мы полагаем, что несмотря на достаточный для активизации вирусной инфекции уровень развития бактериопланктона (более 10^4 кл/мл; цит. по: Заварзин, 2003), влияние вирусов на него было незначительным. Возможной причиной этого следует считать повышенные концентрации минеральной взвеси в районе исследований, нередко превышающие 10 мг/л (Буренков и др., 2010). Прикрепляясь к частицам взвеси, вирусы могут выводиться из оборота (Natural ..., 2006).

В центральной части моря в 2013 г. численность вирусов варьировала в широких пределах – 0.6–38.3 частиц/мл (в среднем – 8.6 ± 1.8 частиц/мл). Их количество превышало таковое бактерий в 11 раз, а число потенциальных контактов изменялось от 0 до 156 (в среднем – 21). Корреляция между обилием бактерий и вирусов равнялась 0.57 при $p \geq 0.05$. Распределение бактерий и вирусов определялось температурой ($r = 0.81$ и $r = 0.72$), соленостью ($r = -0.82$ и $r = -0.77$) воды и содержанием в ней хлорофилла ($r = 0.58$ и $r = 0.81$).

Таким образом, анализ литературных и собственных данных показал, что сообщества планктонных бактерий и вирусов Карского моря характеризуются значительной пространственной изменчивостью. Максимум своего развития они достигают в период летней функциональной активности фитопланктона. В меридиональном направлении обилие бактерий и вирусов снижается от устьев рек к глубоководным северным участкам моря.

Характер распределения бактериопланктона определялся концентрацией доступных органических соединений планктонного происхождения и гидрологическими факторами среды. Влияние вирусов на сообщества бактерий летне-осеннего периода в целом было незначительным.

Литература

- Байтаз В. А., Байтаз О. Н.* Микробиологические исследования. Общий бактериопланктон и бактериобентос // Гидробиологические исследования Байдарацкой губы Карского моря в 1990–1991 гг.: Препр. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1993. С. 6–13.
- Байтаз В. А., Байтаз О. Н., Мишустина И. Е.* Морфометрия клеток бактериопланктона Баренцева моря // Докл. РАН. 1995. Т. 343. № 6. С. 883–887.
- Байтаз О. Н.* Пространственно-временная изменчивость бактериопланктона Баренцева моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1998. 25 с.
- Буткевич В. С.* О бактериальном населении морских вод в высокоширотных арктических областях // Докл. АН СССР. 1938. Т. 19. № 8. С. 651–652.
- Буткевич В. С.* Бактериальное население арктических морей и его распределение в воде и грунтах // Изб. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1958. Т. 2. С. 77–134.
- Буренков В. И., Гольдин Ю. А., Кравчишина М. Д.* Распределение концентрации взвеси в Карском море в сентябре 2010 г. по судовым и спутниковым данным // Океанология. 2010. Т. 50. № 5. С. 842–849.
- Венгер М. П.* Бактериопланктон северо-восточной части Баренцева моря // Вестн. Южного науч. центра РАН. 2011. Т. 7. № 4. С. 55–60.
- Вириопланктон Карского моря: влияние вирусов на смертность гетеротрофных бактерий / А. И. Копылов, А. Ф. Сажин, Е. А. Заботкина, Н. Д. Романова // Океанология. 2015. Т. 55. № 4. С. 620–631.*
- Влияние вирусов на бактериопланктон открытой и прибрежной части Баренцева моря / М. П. Венгер, А. И. Копылов, Е. А. Заботкина, П. Р. Макаревич // Биология моря. 2016. Т. 42. № 1. С. 19–26.*
- Дрюккер В. В., Дутова Н. В.* О новом трофическом звене в водных экосистемах // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2009. Т. 1. № 1. С. 48–58.
- Заварзин Г. А.* Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2003. 348 с.
- Исаченко Б. Л.* Микробиологические исследования морей СССР (1917–1937) // Микробиология. 1937. Т. 6. Вып. 8. С. 964–982.
- Исаченко Б. Л.* Исследования над бактериями Северного Ледовитого океана (1914) // Изб. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1951. Т. 1. С. 111–185.
- Копылов А. И., Косолапов Д. Б.* Микробиологические индикаторы эвтрофирования пресных вод // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем: Сб. матер. Междунар. конф. СПб.: Лема, 2007. С. 176–181.
- Копылов А. И., Косолапов Д. Б.* Микробная “петля” в планктонных сообществах морских и пресноводных экосистем. Ижевск: КнигоГрад, 2011. 332 с.
- Кузнецов С. И., Дубинина Г. А.* Методы изучения водных микроорганизмов. М.: Наука, 1989. 288 с.
- Мицкевич И. Н., Намсараев Б. Б.* Численность и распределение бактериопланктона в Карском море в сентябре 1993 г. // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 704–708.
- Мишустина И. Е., Байтаз О. Н., Москвина М. И.* Бактериопланктон Баренцева моря. Исследования 1983–1993 гг. // Планктон морей Западной Арктики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. С. 7–50.
- Петров В. С.* Природные условия Карского моря. Физико-географическая характеристика // Экология и биоресурсы Карского моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1989. С. 4–6.
- Планктонные вирусы, гетеротрофные бактерии и нанофлагелляты в пресных и морских водах бассейна Карского и Баренцева морей / А. И. Копылов, Д. Б. Косолапов, Е. А. Заботкина и др. // Биология внутренних вод. 2012. № 3. С. 24–31.*
- Поглазова М. Н., Мицкевич И. Н.* Применение флуорескамина для определения количества микроорганизмов в морской воде эпифлуоресцентным методом // Микробиология. 1984. Т. 53. № 5. С. 850–858.
- Романова Н. Д.* Структурно-функциональные характеристики бактериопланктона Карского моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2012. 26 с.
- Сорокин Ю. И.* Определение численности и биомассы бактериопланктона в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М.: Наука, 1983. С. 126–128.
- Старосила Е. В.* Новые методы и направления исследований в водной микробиологии (обзор) // Гидробиол. журн. 2006. Т. 42. № 3. С. 51–60.
- Теплинская Н. Г.* Процессы бактериальной продукции и деструкции органического вещества в северных морях. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1990. 106 с.

Amon R. M. W., Meon B. The biogeochemistry of dissolved organic matter and nutrients in two large Arctic estuaries and potential implications for our understanding of the Arctic Ocean system // *Marine Chemistry*. 2004. Vol. 92. P. 311–330.

Bacterial biomass and activity in the marginal ice zone of the northern Barents Sea / H. Tammert, K. Olli, M. Sturluson, H. Hodal // *Deep-Sea Res. II*. 2008. Vol. 55. P. 2199–2209.

Distribution of bacterial biomass and activity in the marginal ice zone of the central Barents Sea during summer / M. H. Howard-Jones, V. D. Ballard, A. E. Allen et al. // *J. Mar. Systems*. 2002. Vol. 38. P. 7–91.

Evidence that viral abundance across oceans and lakes is driven by different biological factors / J. L. Clasen, S. M. Brigden, J. P. Payet, C. A. Suttle // *Freshwater Biology*. 2008. Vol. 53. P. 1090–1100.

Francisco D. E., Mah R. A., Rabin A. C. Acridine orange-epifluorescence technique for counting bacteria in natural waters // *Trans. Amer. Microscop. Soc.* 1973. Vol. 92. P. 416–421.

Meon B., Amon R. M. W. Heterotrophic bacterial activity and fluxes of dissolved free amino acids and glucose in the Arctic rivers Ob, Yenisei and the adjacent Kara Sea // *Aquat. Microb. Ecol.* 2004. Vol. 37. P. 121–135.

Natural and anthropogenic forcing on the dynamics of virioplankton in the Yangtze river estuary / N. Jiao, Y. Zhao, T. Luo, X. Wang // *J. Mar. Biol. Ass. UK*. 2006. Vol. 86. № 3. P. 543–550.

Noble R. T., Fuhrman J. A. Use of SYBR Green I for rapid epifluorescence counts of marine viruses and bacteria // *Aquat. Microb. Ecol.* 1998. Vol. 14. № 2. P. 113–118.

Payet J. P., Suttle C. A. Physical and biological correlates of virus dynamics in the southern Beaufort Sea and Amundsen Gulf // *J. Mar. Syst.* 2008. Vol. 74. P. 933–945.

Porter J., Feig Y. S. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora // *Limnol. Oceanogr.* 1980. Vol. 25. P. 943–948.

Steward G. F., Smith D. C., Azam F. Abundance and production of bacteria and viruses in the Bering and Chukchi seas // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1996. Vol. 131. P. 287–300.

Teplinskaya N. G., Dudarenko O. N. The bacterioplankton of the Barents and Kara seas // *ICES C.M.* 1984. L:4. P. 1–18.

Weinbauer M. G. Ecology of prokaryotic viruses // *FEMS Microbiol. Rev.* 2004. Vol. 28. № 2. P. 127–181.

Wommack K. E., Colwell R. R. Viruses in aquatic ecosystems // *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 2000. Vol. 64. № 1. P. 69–114.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗРЕЗА “КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН” В НОЯБРЕ–ДЕКАБРЕ 2015 ГОДА

И. А. Пастухов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение

Океанографический разрез “Кольский меридиан” расположен в центральной части Баренцева моря к северу от Кольского залива по 33°30' в. д. Его общая протяженность составляет свыше 500 миль. Разрез находится в области распространения теплых вод системы Нордкапского течения и опресненных вод Мурманского прибрежного течения. Глубина на разрезе варьирует от 150 до 310 м и в среднем составляет 245 м (Карсаков, 2010).

Мурманским морским биологическим институтом с 3 ноября по 13 декабря 2015 г. на разрезе “Кольский меридиан” и в окрестностях архипелага Шпицберген проведена комплексная научно-исследовательская экспедиция на НИС “Дальние Зеленцы” (рис. 1), в ходе которой были получены данные по следующим гидрохимическим показателям: растворенный кислород, фосфаты, кремний, нитритный и нитратный азот.

Цель наших исследований – описание гидрохимического режима Баренцева моря в исследованный период в рамках ежегодного мониторинга на разрезе “Кольский меридиан”.

Материал и методы

На 11 станциях разреза нами отобрано 40 проб. Образцы воды отбирались батометром Нискина: с поверхности, над пиноклином, на уровне пиноклина, под пиноклином и в при-

донном слое. Все аналитические определения выполнены сразу же после отбора проб воды, непосредственно на борту судна. Измерение нитритов (NO_2), нитратов (NO_3), фосфатов (PO_4) и кремния (Si) осуществлялись на фотоколориметре КФК-2МП по стандартным гидрохимическим методикам. Неорганический растворенный фосфор (P-PO_4^{3-}) определяли по методу Морфи-Райли, растворенный кремний (Si-SiO_3^{2-}) – методом Королева, нитритный (N-NO_2^-) и нитратый азот (N-NO_3^-) – методом Бендшнайдера и Робинсона, растворенный кислород (O_2) – методом Винклера (Агатова и др., 1991).

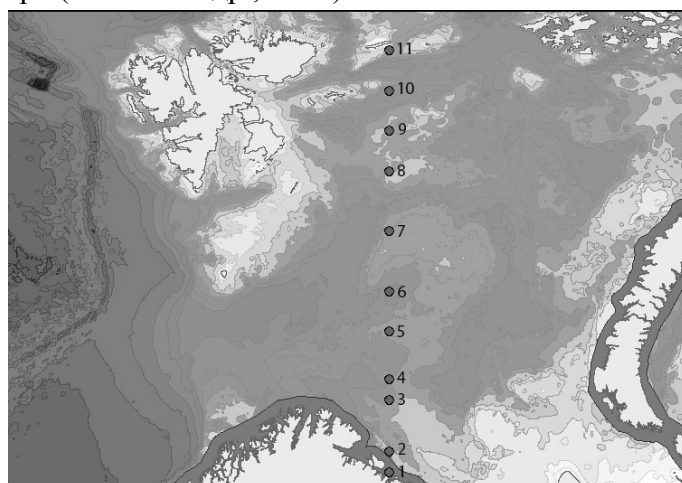


Рис. 1. Карта-схема станций на разрезе “Кольский меридиан” в ноябре–декабре 2015 г.

Результаты и обсуждение

В распределении биогенов были отмечены следующие особенности.

На центральных станциях разреза в слое галоклина отмечено снижение концентрации практически всех биогенных элементов (рис. 2). Такое распределение может быть признаком затока атлантических вод, бедных биогенами.

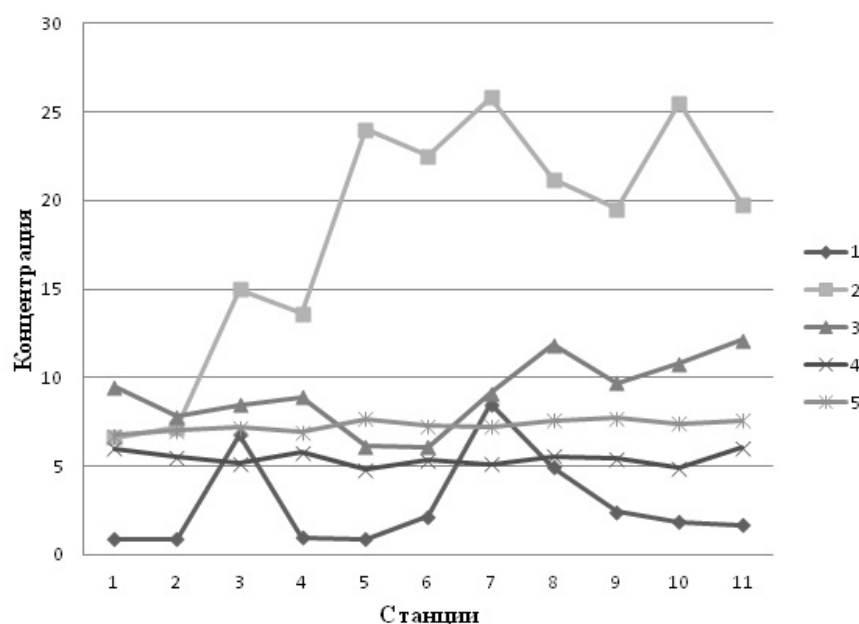


Рис. 2. Содержание биогенов и O_2 в воде на разрезе “Кольский меридиан” (среднее по всем исследуемым горизонтам):

1 – NO_2 (мкг/л); 2 – NO_3 ($\cdot 10^{-1}$, мкг/л); 3 – Si ($\cdot 10^{-1}$, мкг/л); 4 – PO_4 ($\cdot 10^{-1}$, мкг/л); 5 – O_2 (мл/л)

Концентрация биогенов увеличивается от поверхности ко дну, а концентрация кислорода – от дна к поверхности. Это характеризует состояние вод как зимнее (Гидрометеорология ..., 1992).

Содержание нитратного азота, а также кремния увеличивается в направлении с юга на север. Такое распределение этих биогенных элементов свидетельствует о серьезном влиянии арктических водных масс (Гидрометеорология ..., 1992).

Обобщающий график распределения биогенных элементов (усредненный показатель для каждой станции) позволяет наглядно иллюстрировать высказанные нами предположения (рис. 3).

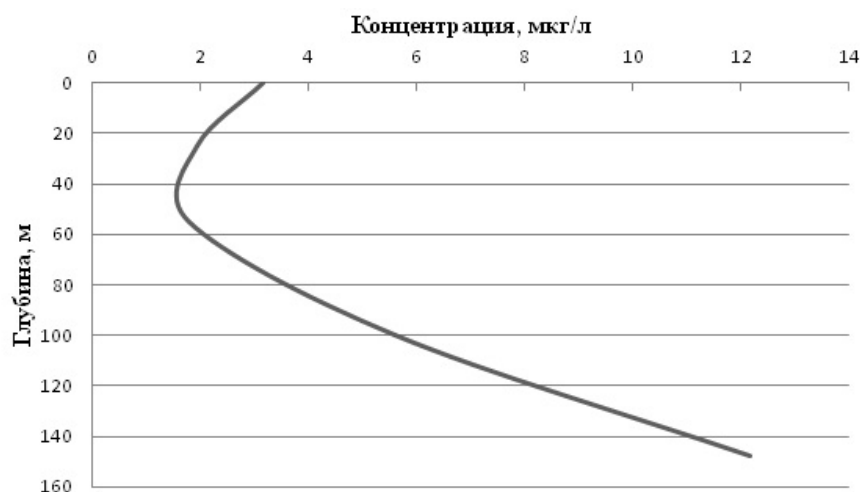


Рис. 3. Типичное распределение биогенных элементов в толще воды на примере нитритного азота в центральной части Баренцева моря

Нитриты в море присутствуют либо в следовых концентрациях, либо в незначительных количествах в глубоких слоях моря, что свидетельствует об окончании интенсивной деятельности окислительных процессов и переходе к зимнему типу распределения (Гидрометеорология ..., 1992). Однако станции 3 и 7 отличались “всплесками” содержания нитритного азота, что может быть объяснено контактом водных масс разного генезиса и развития на этом участке аномальной для данного сезона активности продуцентов.

В зимний период горизонтальное и вертикальное распределение нитратов в море выравнивается (Биогенные ..., 1985). Содержание нитратного азота во всех пробах имело значительные концентрации, что характеризует состояние водных масс как зимнее. Однако имеется небольшой градиент концентрации, что отмечалось и ранее (Пастухов, 2014). В ходе конвективного перемешивания происходит увеличение содержания биогенных веществ в поверхностном слое за счет транспортировки их из более глубоких слоев (Гидрометеорология ..., 1992).

Фосфор играет определяющую роль в генетике и метаболизме живых организмов. Отсутствие или минимальное количество фосфатов в морской воде может быть лимитирующим фактором продуктивности моря. Распределение и содержание фосфатов в море определяется интенсивностью биохимических процессов, взаимодействием различных водных масс и глубиной конвективного перемешивания. Максимальная концентрация фосфатов в придонном слое наблюдается осенью, когда наиболее интенсивно идет регенерация органического вещества (Гидрометеорология ..., 1992). В октябре–ноябре происходит усиленная минерализация органического вещества, образовавшегося в течение вегетационного периода (Титов, 1995). Высокое содержание фосфатов типично для ноября, такие концентрации характеризуют состояние вод как зимнее (Несветова, Цехоцкая, 1987). В осенне-зимний период вертикальное перемешивание выравнивает концентрации фосфатов по вертикали. Концентрации фосфатов

(от 40 до 70 мкг/л) в поверхностном слое еще не достигли зимнего уровня (80–90 мкг/л), однако уже наблюдается характерное для января плавное увеличение их содержания с юго-востока на северо-запад моря (Несветова, 2002).

Наиболее высокое содержание кремния в верхнем слое наблюдается зимой, вертикальное распределение отличается постепенным увеличением концентраций от поверхностного слоя к придонному (Гидрометеорология ..., 1992). В зимний период при отсутствии организмов низших трофических уровней динамические факторы становятся решающими. Именно поэтому в районе контакта с атлантическими водными массами, мы можем наблюдать снижение концентрации Si (рис. 2).

* *
*

Полученные нами данные характеризуют гидрохимическое состояние Баренцева моря в ноябре–декабре на разрезе “Кольский меридиан” как зимнее.

В распределении биогенных веществ в данный период главную роль играют гидрологические показатели: перемещение водных масс, конвективное перемешивание и др.

Литература

Агатова А. И., Налетова И. А., Зубаревич В. Л. Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство. М.: Агропромиздат, 1991. 224 с.

Биогенные элементы и режим кислорода / Г. В. Ильин, Г. И. Несветова, В. С. Петров, Л. К. Цехоцкая // Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1985. С. 46–63.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрометеорологические условия / Отв. ред. Ф. С. Терзиев. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 182 с.

Карсаков А. Л. Закономерности и особенности режима вод Баренцева моря (по наблюдениям на вековом разрезе “Кольский меридиан”): Дис. ... канд. географ. наук. Мурманск, 2010. 199 с.

Несветова Г. И. Гидрохимические условия функционирования экосистемы Баренцева моря. Мурманск: Изд. ПИПРО, 2002. 295 с.

Несветова Г. И., Цехоцкая Л. К. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов в водах Баренцева моря // Комплексные океанологические исследования Баренцева и Белого морей. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1987. С. 35–44.

Пастухов И. А. Гидрохимические показатели разреза “Кольский меридиан” в ноябре 2013 года // Материалы XXXII конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института (г. Мурманск, май 2014 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2014. С. 54–63.

Титов О. В. Трансформация фосфатов и первичная продукция в Баренцевом море: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. СПб., 1995. 20 с.

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТЕЙ ГРЕНЛАНДСКИХ И СЕРЫХ ТЮЛЕНЕЙ К ОБОБЩЕНИЮ И АССОЦИИ ЦВЕТОВЫХ СТИМУЛОВ

М. В. Пахомов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Многие анатомические и физиологические особенности органов зрительной системы указывают на то, что зрение играет важную роль в жизни ластоногих для различных биологических функций, таких как добыча пищи, ориентация и коммуникация. Как члены отряда хищных, ластоногие имеют фронтально расположенные глаза и расширенное бинокулярное поле обзора, что предполагает хорошее восприятие глубины.

Зрительная система ластоногих функционирует в двух отличных по оптическим характеристикам средах – воздушной и водной, а также подвергается резким перепадам освещенности. Если в воздушной среде световой поток мало изменяется на дистанциях зрительного восприятия, то в водной среде он подвергается более сильному преломлению, ослаблению, рассеянию и спектральным смещениям.

Использование психофизических методов исследования позволило установить способность к различению цветов у ряда видов ластоногих: капского морского котика *Arctocephalus pusillus*, южноамериканского морского котика *Arctocephalus australis* (Scholtyssek, Dehnhardt, 2013) и калифорнийского морского льва *Zalophus californianus* (Griebel, Schmid, 1992), гренландского *Phoca groenlandica*, обыкновенного *Phoca vitulina* и серого *Halichoerus grypus* тюленей (Lavigne, Ronald 1975; Wartzok, McCormick, 1978).

Поведенческие реакции позволяют полностью оценить весь зрительный процесс от рецепции до изменения поведения и поэтому являются самыми информативными и объективными методами исследования таких процессов как цветовое зрение ластоногих.

В ходе предыдущих работ (Пахомов, 2014, 2015) была показана возможность выработки дифференцировочного условного рефлекса у кольчатых нерп, гренландских и серых тюленей. Гренландские тюлени дифференцировали только синий и красный цвета. Серые тюлени и кольчатые нерпы могли отличать друг от друга пять основных спектральных цветов (красный, желтый, зеленый, голубой, синий), а также их от аналогичных им по светлоте оттенков серого.

Тем не менее, результаты этих экспериментов демонстрировали только тот факт, что подопытные животные способны запомнить один цвет и выбирать объект этого же цвета из двух предложенных, т. е. действуя методом исключения. В то же время наиболее современная трактовка цветового зрения постулирует, что цветовосприятие – это способность фотоактивного излучения с определенным набором длин волн вызывать схожие реакции фотофиксирующих устройств у биологических объектов с развитой нервной системой – ощущений (Исаев, Теплых, 2011). Это означает, что если животное ощущает цвет, то оно способно, во-первых, запомнить это ощущение, во-вторых, сравнить это ощущение с ощущением той же модальности и, в-третьих, ассоциировать его с ощущением другой модальности. Наиболее оптимальная методика исследования такой сенсорно-когнитивной функции ластоногих как цветовосприятие – обучение животного методом “выбор по образцу”, где в качестве основного стимула используется цвет объекта, а в качестве ассоциативного – звук. Если исследуемый тюлень будет способен сравнить цвет демонстрируемого объекта и цвет объекта цели, а также ассоциировать цвет с определенным звуком, то можно будет заключить, что цвет объекта является для тюленя значимым стимулом, участвующем в когнитивной деятельности животного. С этой целью была выполнена экспериментальная работа с группой тюленей.

Работы проводились на аквакомплексе ММБИ (г. Полярный) с 2013 по 2015 гг. Исследуемыми животными были 4 особи гренландского тюленя *Pagophilus groenlandicus* Erxleben, 1777 беломорской популяции и 4 особи серого тюленя *Halichoerus grypus* Fabricius, 1791 из Баренцева моря. Животные длительное время содержались в вольерах, были domestцированы, питались размороженной рыбой. Ранее данные особи уже участвовали в работах по изучению цветового зрения, в ходе которых обучались дифференцировочному условному рефлексу, где стимулом выступал цвет объекта. К началу экспериментальных работ все животные были здоровы, имели стабильную “установку на обучение”, в ходе ряда научно-исследовательских и научно-практических работ были обучены парадигме “выбор по образцу”.

Концепция эксперимента заключалась в исследовании способности подопытных особей запомнить три цвета и при демонстрации объекта выбрать табличку того же цвета. Так же исследовалась способность подопытных особей связывать цвет с определенной голосовой командой.

Для проведения эксперимента были изготовлены три таблички из пластика размером 20x20 см. Таблички размещались на штативе на расстоянии 40 см друг от друга, штатив крепился на стенку вольера на высоту 5 см от уровня воды. Крепление табличек позволяло быстро изменять их взаиморасположение, чтобы тюлень не ассоциировал цвет объекта или голосовую команду с местоположением таблички. Также были изготовлены три группы демонстрационных объектов: объекты с простой геометрией (кегля, цилиндр, куб, параллелепипед, шар) и объекты со сложной геометрией (макеты утюга и утенка). Таблички и демонстрационные объекты были окрашены водостойкими акриловыми красками: “сигнальный красный” (RAL 3001), “зеленый” (RAL 6029), “небесно-синий” (RAL 5015).

В качестве звуковых стимулов использовались голосовые команды: “рэд” – для красного цвета, “грин” – для зеленого цвета и “блю” – для синего цвета.

Работы проводили в светлое время суток при естественной дневной освещенности (прямые солнечные лучи: 1200–1400 Лк у поверхности воды; рассеянная освещенность при облачности: 800–1100 Лк у поверхности воды) и отсутствии атмосферных осадков, влияющих на видимость, а также раздражающих факторов (активные работы на акватории, значительное волнение и сильный ветер).

Схема эксперимента выглядела следующим образом: в вольере закреплялся штатив с табличками; тюлень по команде тренера занимал стартовую позицию на расстоянии 2 м от табличек; тюленю в течение 5–10 с предъявлялся демонстрационный объект, затем подавалась команда “ищи” жестом и одновременно произносилась голосовая команда (“ищи” или одна из соответствующих цвету демонстрационного объекта); если тюлень касался таблички того же, что и демонстрационный объект цвета, то получал пищевое подкрепление.

Эксперимент проводили в два этапа: обучения и тестирования. На этапе обучения тюленя тренировали, во-первых, по команде занимать стартовую позицию и касаться таблички, во-вторых, рассматривать демонстрационный объект в руке тренера. Затем постепенной заменой голосового варианта команды “ищи” вводили голосовую команду, соответствующую одному из трех цветов. На данном этапе использовались методики обучения ластоногих, разработанные в ходе научно-исследовательских работ ММБИ (Матишов и др., 2015). Тюленей последовательно обучали ассоциировать красный цвет, затем синий и зеленый. Данный этап занимал в среднем на каждый цвет по 5 тренировок у серых тюленей и по 10 тренировок у гренландских тюленей.

На этапе тестирования с каждым животным было проведено три серии экспериментов по 20 тренировок. На каждой тренировке было по 15 предъявлений (каждый цвет демонстрировался 5 раз за тренировку). Такое относительно небольшое количество предъявлений за тренировку было выбрано для того чтобы исключить влияние усталости и насыщения у подопытного животного. Таким образом, в каждой серии для каждого цвета была получена выборка в 300 испытаний, достаточная для оценки достоверности результатов методом биномиального распределения.

На первой серии тестовых тренировок тюленю предъявлялись и демонстрационный объект, и голосовая команда. На второй серии – только демонстрационный объект и жестовая команда “ищи”, голосовая команда не подавалась. На третьей серии тюленю подавалась только голосовая команда, без предъявления демонстрационного объекта.

Анализ результатов эксперимента показал, что все 4 особи гренландского тюленя смогли достоверно ассоциировать только красный цвет: доля верных ответов составила в среднем 83.5 % – при предъявлении демонстрационного объекта и голосовой команды (стандартное отклонение составило 1.75 %); 84.75±2.25 % – при предъявлении только демонстрационного объекта; 85±5.5 % – при подаче только голосовой команды. Причем ошибки распознавания относительно равномерно распределились между синим и зеленым цветом (45 и 55 % соответственно). При демонстрации синего и зеленого цветов доля верных ответов во всех сери-

ях не превышала 49.25 % – для зеленого цвета и 47 % – для синего, показывая случайность выбора. В 94 % неверных ответов гренландские тюлени путали синий и зеленый цвета между собой и только в 4 % случаев путали эти цвета с красным.

В первой серии тестовых тренировок, когда предъявлялись и демонстрационный объект, и голосовая команда, серые тюлени верно распознавали красный цвет в 96 ± 1 % испытаний, зеленый – в 87.75 ± 0.75 % и синий – в 94.25 ± 0.75 %. Во второй серии тестовых тренировок, когда тюленю демонстрировался только объект, доля верных ответов снизилась и составила: красный – 84 ± 0.5 %, зеленый – 82 ± 0.5 %, синий – 93 ± 1.5 %. В третьей серии тестовых тренировок, когда тюленю подавалась только голосовая команда, доля верных ответов относительно первой серии изменилась незначительно: красный – 84 ± 1 %, зеленый – 81 ± 0.5 %, синий – 81.5 ± 1 %. Ошибки распознавания распределились равномерно между всеми цветами.

Ряд исследований, представленных в научной литературе, показали отсутствие у ластоногих синечувствительных пигментов (Reichl et al., 2001) и неспособность некоторых представителей дифференцировать цвет, несмотря на наличие колбочек в сетчатке (Scholtyssek et al., 2015), что согласуется с результатами для подопытных гренландских тюленей, которых традиционно относят к монохроматам (Reichl et al., 2001). Гренландские тюлени используют колбочковый аппарат только с длинноволновыми фотопигментами, так как в данном исследовании они четко дифференцировали красный цвет от средневолнового зеленого и коротковолнового синего. Если бы подопытные тюлени ориентировались только по светлоте, то, учитывая спектр поглощения родопсина палочек ластоногих, зеленый цвет должен был отличаться от красного и синего цветов, которые являются более темными.

Результаты для серых тюленей, полученные в ходе предыдущих и данного исследований, не согласуются с литературными данными, относящих серых тюленей либо к дихроматам (Reichl, Moutairou, 1998), либо к ахроматам (Robinson, Newman, 2002). Данные о проведении с серыми тюленями поведенческих экспериментов, изучающих их цветовое зрение, в научной литературе отсутствуют. Способность подопытных особей серого тюленя дифференцировать друг от друга объекты разных цветов и ассоциировать несколько цветов со звуковыми стимулами показывает наличие у этих животных развитого аппарата цветовосприятия. Данное явление можно объяснить популяционными различиями серых тюленей, обитающих на побережье Кольского полуострова и Норвегии, которые участвовали в данном эксперименте и серыми тюленями, обитающими на севере Британских островов и Исландии, а также относительно обособленной группой серых тюленей обитающих близ Новой Шотландии, данные о которых присутствуют в научной литературе. Также современные теории цветовосприятия имеют массу противоречий (Исаев, Теплых, 2011), когда цитологические и иммунологические исследования показывают отсутствие у животного определенных фотопигментов в колбочках сетчатки и, следовательно, отказывая таким животным в цветовом зрении, в то время как поведенческие эксперименты демонстрируют способность этих животных различать цвета. Так, опыты, проведенные с лошадьми (Photopigment ..., 2001), крысами (Spectral ..., 2000), летучими мышами (Wang, Oakley, 2004), собаками и лисами (Photopigments ..., 1993) показали, что эти животные, несмотря на отсутствие некоторых типов фотопигментов, были способны дифференцировать цвет объектов.

Литература

Исаев А. А., Теплых Д. А. Философия цвета. Феномен цвета в мышлении и творчестве. М: Флинта, 2011. 180 с.

Матишов Г. Г., Войнов В. Б., Михайлюк А. Л. Руководство по подготовке морских млекопитающих в составе биотехнических систем в Арктике. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2015. 212 с.

Пахомов М. В. Видовые особенности зрительной системы арктических ластоногих // Современные проблемы экологии и природопользования: Сб. матер. регион. науч.-практ. конф., посвященной 15-летию со дня основания кафедры биоэкологии, Мурманск, 27–28 февраля 2014 г. Мурманск: Изд. МГТУ, 2014. С. 27–32.

Пахомов М. В. К вопросу об использовании цвета предмета как условного раздражителя при работе с арктическими тюленями // Арктическое морское природопользование в XXI веке – современный баланс научных традиций и инноваций (к 80-летию ММБИ КНЦ РАН): Тез. докл. Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 1–3 апреля 2015 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2015. С. 191–193.

Griebel U., Schmid A. Color vision in the California sea lion (*Zalophus californianus*) // Vision Res. 1992. Vol. 32. Iss. 3. P. 477–482.

Lavigne D. M., Ronald K. Pinniped visual pigments // Comparative Biochemistry and Physiology. Pt. B: Comparative Biochemistry, 1975. Vol. 52. № 2. P. 325–329.

Peichl L., Moutairou K. Absence of shortwavelength sensitive cones in the retinae of seals (*Carnivora*) and African giant rats (*Rodentia*) // European J. Neuroscience. 1998. Vol. 10. P. 2586–2594.

Peichl L., Behrmann G., Kroger R. H. H. For whales and seals the ocean is not blue: a visual pigment loss in marine mammals // European J. Neuroscience. 2001. Vol. 13. P. 1520–1528.

Photopigments of dogs and foxes and their implications for canid vision / G. H. Jacobs, J. F. Deegan, M. A. Crognale, J. A. Fenwick // Visual Neuroscience. 1993. Vol. 10. P. 173–180.

Photopigment basis for dichromatic color vision in the horse / J. Carroll, C. J. Murphy, M. Neitz et al. // J. of Vision. 2001. Vol. 1. P. 80–87.

Robinson P. R., Newman L. A. An investigation of the color vision of Marine Mammals // Investigative ophthalmology et visual science. 2002. Vol. 43. P. 4544.

Scholtyssek C., Dehnhardt G. Brightness discrimination in a South African fur seal (*Arctocephallus pusillus*) // Vision Res. 2013. Vol. 84. P. 26–32.

Scholtyssek C., Kelber A., Dehnhardt G. Why do seals have cones? Behavioural evidence for colour-blindness in harbour seals // Animal cognition. 2015. Vol. 18. Iss. 2. P. 551–560.

Spectral tuning of dichromats to natural scenes / C. C. Chiao, M. Vorobyev, T. W. Cronin, D. Osorio // Vision Res. 2000. Vol. 40. P. 3257–3271.

Wang D., Oakley T. Molecular evolution of bat color vision genes // Molecular Biology and Evolution. 2004. Vol. 21. P. 295–302.

Wartzok D., McCormick M. G. Color discrimination by a Bering Sea spotted seal, *Phocalargha* // Vision Res. 1978. Vol. 18. P. 781–784.

ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РАЗРЕЗЕ “КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН”

А. А. Тихомирова, К. А. Бобров

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение

Основным источником информации о сезонных и многолетних изменениях океанографического режима Баренцева моря является стандартный разрез “Кольский меридиан”. Первые океанографические исследования на нем датированы 1900 г., и на сегодняшний день в базе данных имеются сведения о более чем 30 тыс. станций. Океанографический разрез “Кольский меридиан” расположен в центральной части Баренцева моря к северу от Кольского залива по 33°30’ в. д. Общая протяженность разреза 600 миль (19 станций). Глубина на станциях варьирует от 150 до 310 м. Разрез пересекает прибрежную и основную ветви Мурманского течения и центральную ветвь Нордкапского течения (Климатические ..., 2010). Данная работа – попытка оценить весь объем имеющихся в открытом доступе материалов и провести количественный анализ по типам данных. В работе также анализируются данные, полученные в рейсе ММБИ в декабре 2015 г.

Материал и методы

Оценка изученности гидрологических условий на разрезе “Кольский меридиан” выполнена на основе баз открытого доступа (World ..., 2013; Атласа ..., 2014). Выборка данных из баз была выполнена для района с координатами 33°10’–33°50’ в. д., 69°50’–80° с. ш.

Измерения термохалинных характеристик водных масс в ходе научно-исследовательского рейса на судне “Дальние Зеленцы” в декабре 2015 г. проводились с помощью STD-зондов SEACAT SBE 19 (2001) и SEACAT PROILER SBE 19plus (2005) способом вертикального профилирования от поверхности до дна. Температура, соленость и давление измерялись в непрерывном режиме каждые 0.25 с. Время и координаты для каждой станции фиксировались с использованием GPS-приемника. Данные обрабатывались с помощью программного обеспечения и по методикам от производителя зонда (SEACAT ..., 2005). Статистические характеристики рассчитаны в программе MS Excel. Обработка данных и построение временных распределений осуществлялась с помощью ГИС-пакета Ocean Data View (Schlitzer, 2013). Вертикальные распределения температуры и солености воды на разрезе выполнены в программе Surfer (<http://goldensoftware.com/products/surfer>).

Результаты

Изученность гидрологических условий. Базы океанологических данных открытого доступа содержат данные разных типов. Типы и количество данных для исследуемого района представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Т а б л и ц а 1

**Типы наборов данных и количество станций,
представленных в базах данных (World ..., 2013; Атлас ..., 2014)**

Тип данных	Характеристика данных	World ..., 2013	Атлас ..., 2014
OSD	Данные, полученные с помощью батометров, STD-зондов и батитермосалинографов низкого разрешения	17767	21564
STD	Данные, полученные с помощью STD-зондов и батитермосалинографов высокого разрешения	764	1236
MBT	Данные, полученные с помощью механических батитермосалинографов, цифровых батитермографов, микробатитермографов	4755	5236
XBT	Данные, полученные с помощью обрывных батитермографов	183	45
SUR	Данные из поверхностного слоя	2	–
APB	Данные, полученные с помощью автономных батитермографов, установленных на ластоногих животных	6	6
PFL	Данные, полученные с помощью дрейфующих буев-профилографов	1	1

Наибольшее количество данных получено с помощью батометров, STD-зондов и батитермосалинографов низкого разрешения – OSD (39331 станций). Исследования с помощью этих приборов велись до 1990 г. Данные, полученные с помощью механических батитермосалинографов, цифровых батитермографов, микробатитермографов (MBT), использовались наравне с STD-зондом низкого разрешения, и в 1950–1992 гг. выполнена 9991 станция. С 1971 по 1995 годы с помощью обрывных батитермографов (XBT) сделаны 228 станций. Данные из поверхностного слоя (SUR) представлены 2 станциями начала XX века. Также в массиве данных присутствуют значения с дрейфующих буев-профилографов (PFL), выполненные в 1999 г. В 2010 году были получены 12 значений с помощью автономных батитермографов, установленных на ластоногих животных (APB). Начиная с 1980 г., основным прибором для получения данных служит STD-зонд высокого разрешения – STD (2000 станций). Основной массив данных является не периодическим и преобладающий сезон – весенне-осенний.

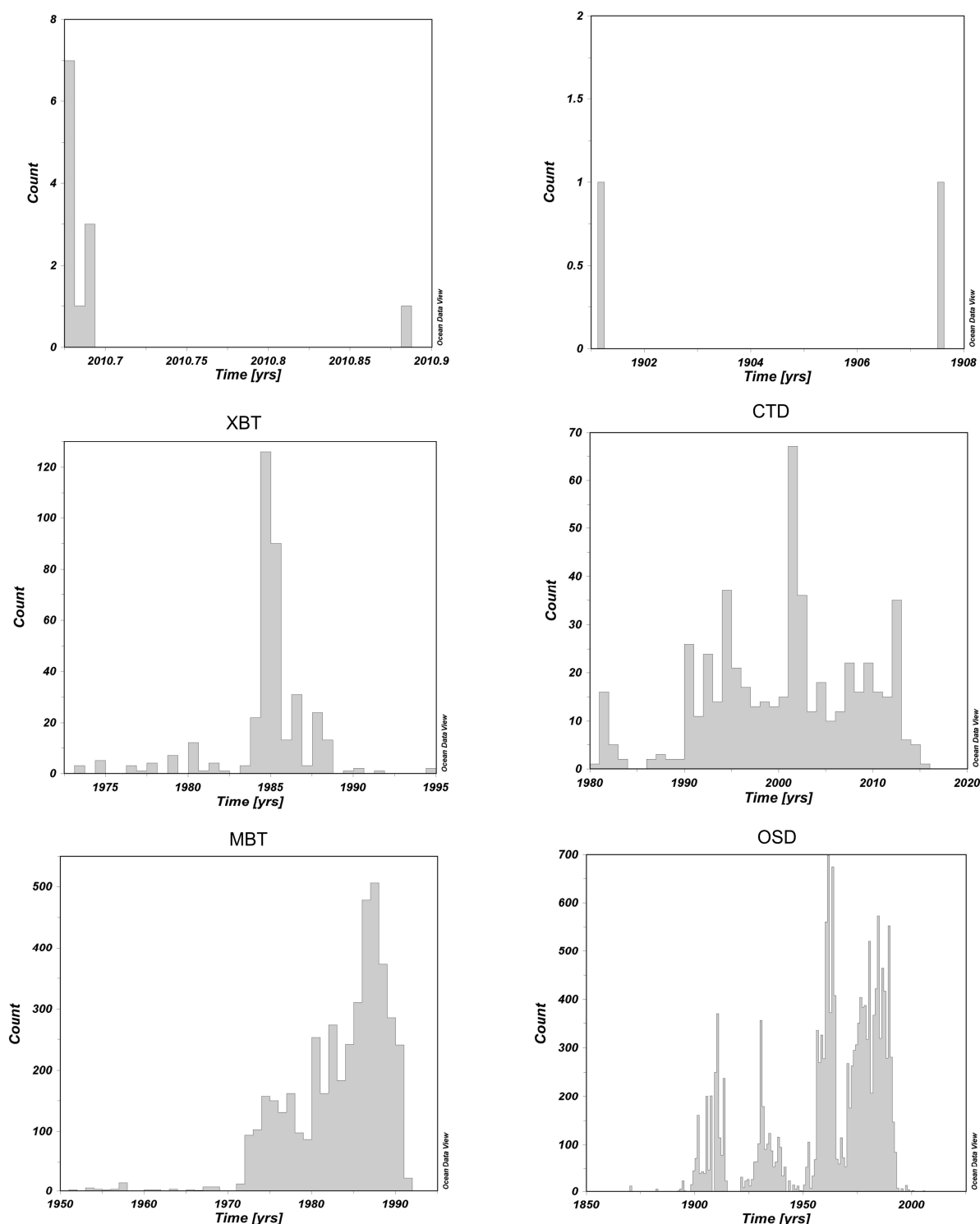


Рис. 1. Временное распределение станций в районе разреза “Кольский меридиан” по типам данных в 1900–2014 гг.

Особенности термохалинной структуры вод в 2015 г. В ноябре–декабре 2015 года было выполнено вертикальное СТД-профилирование на 33 станциях разреза (рис. 2). Однако временные различия в исследовании участков разреза усложняет их объединение. Как правило, разрез регулярно исследуется только до 74° с. ш. (Терещенко, 1997), что соответствует

первым 10 станциям. Исследования ММБИ охватывают весь разрез, включая районы севернее 74° с. ш. Нами выполнен анализ для участка от 69.5° до 76° с. ш., в который входит 17 станций (56–72).

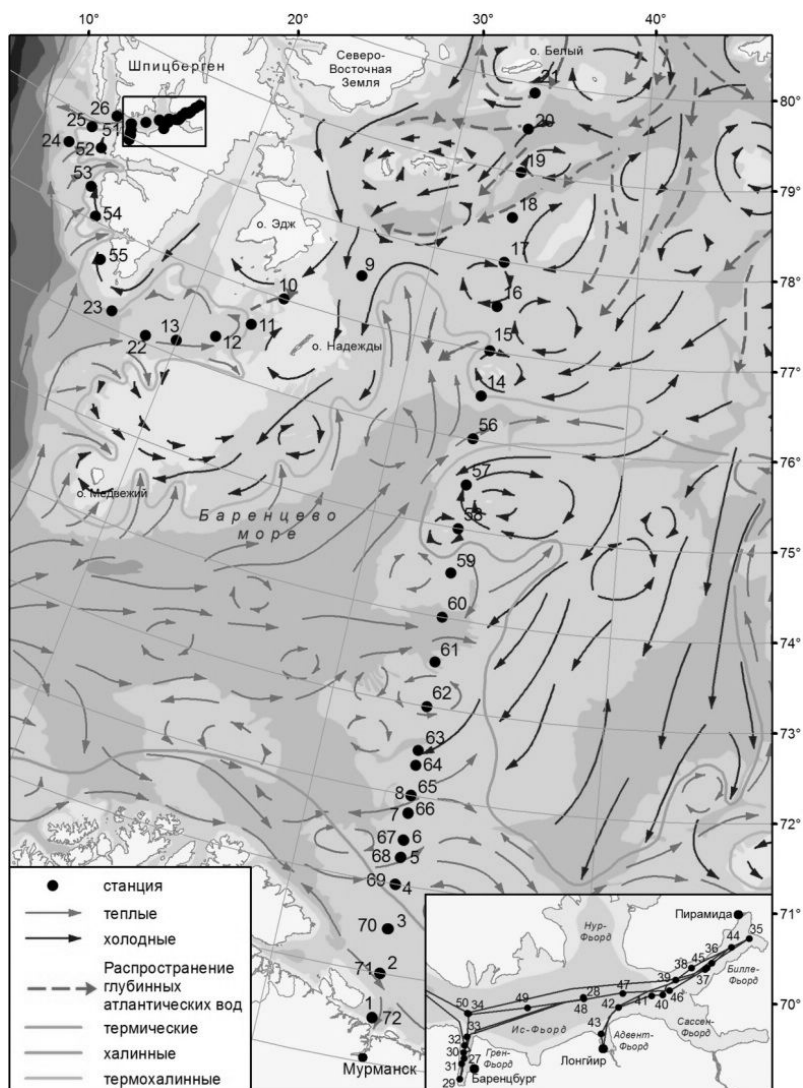


Рис. 2. Расположение станций, выполненных в рейсе на НИС “Дальние Зеленцы” 04.11–12.12.2015 г. (батиметрическая основа по: Matishov, 1997; схема циркуляции по: Климатические ..., 2010)

Гидрологическая ситуация характеризовалась относительной равномерностью распределения температуры и солёности (рис. 3). Максимальная температура воды – 6.4°C – зафиксирована в прибрежном поверхностном слое, минимальная температура – 2.2°C – в глубинном слое на 76° с. ш. Солёность во всей водной толще изменялась от 34.20% в прибрежной зоне до 35.20% на 76° с. ш. Зону влияния атлантических вод в зимний период характеризуют повышенная солёность и температура более 3.39°C (Химические ..., 1997). Охлаждение во всей толще воды наблюдалось к 75.5° с. ш., тем самым показывая снижение влияния атлантических вод. Изогалина 35.00% , также характеризующая мощность атлантического потока вод, обнаружена в районе 73° с. ш. и отмечалась вплоть до 76° с. ш. Соответственно, можно сделать вывод о продвижении Нордкапского течения на восток, по сравнению с усредненными многолетними данными, на основе которых построена схема циркуляции Баренцева моря. Это можно объяснить тем, что многолетние данные включают в себя по большей части исследования в весенне-летний сезон, а данная экспедиция проходила в зимний период.

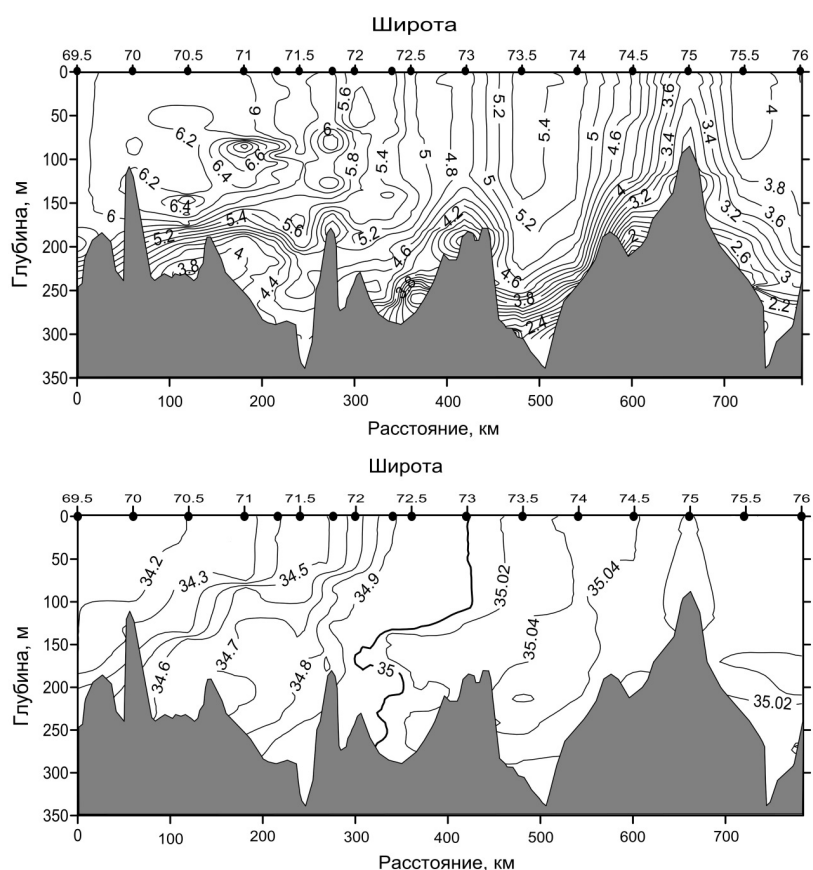


Рис. 3. Вертикальное распределение температуры (а) и солености (б) на станциях 56–72 (9–12 декабря 2015 г.)

По полученным в рейсе данным были рассчитаны аномалии средневзвешенной температуры и солености. Для этого использовались нормы температуры и солености, рассчитанные сотрудниками ММБИ В. А. Голубевым и А. Н. Зуевым (Климатический ..., 2004; Зуев, Голубев, 2004). Аномалии температуры и солености получены путем вычитания из значений температуры и солености воды, зарегистрированных на станциях стандартных разрезов, норм температуры и солености, рассчитанных по многолетним рядам наблюдений от поверхности до максимальной глубины погружения прибора через каждые 5 м.

Для оценки уровня термохалинного состояния вод Баренцева моря В. В. Терещенко с соавторами (1985) были предложены количественные показатели, в которых использовались величины среднеквадратических отклонений температуры (σ_T) и солености (σ_S). Уровень теплового состояния вод оценивается по пяти градациям:

аномально-холодный год	$-\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} > \sigma_T$,
холодный год	$0.5\sigma_T < -\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} \leq 1.5\sigma_T$,
нормальный год	$\pm\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} \leq 0.5\sigma_T$,
теплый год	$0.5\sigma_T < \Delta T \text{ } ^\circ\text{C} \leq 1.5\sigma_T$,
аномально-теплый год	$\Delta T \text{ } ^\circ\text{C} > 1.5\sigma_T$.

Халинное состояние вод характеризовалось по величине аномалий солености (ΔS) по 3 градациям:

пониженная соленость	$-\Delta S > 0.5\sigma_S$,
нормальная соленость	$\pm\Delta S \leq 0.5\sigma_S$,
повышенная соленость	$\Delta S > 0.5\sigma_S$.

Расчет аномалий средневзвешенной температуры и солености (таблицы 2, 3) в струях Мурманского прибрежного и Мурманского, Нордкапского течений показал, что сохраняются относительно высокие положительные значения во всех слоях для температуры, особенно для Нордкапского течения и отрицательные аномалии солености для Мурманского течения. Наибольшие значения аномалий температуры наблюдаются в слое 0–200 м (около 1.93 °С) на ст. 9, наименьшие на ст. 4 в слое 150–200 м (0.90 °С). Максимальные и минимальные значения средних взвешенных величин солености отмечены в слое 0–50 м (соответственно, 0.06 ‰ – ст. 7 и –0.39 ‰ – ст. 4).

Т а б л и ц а 2

Аномалии средней взвешенной температуры на разрезе “Кольский меридиан” в декабре 2015 г., °С

Слой, м	Станции										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\Delta T_{\text{сред}}$
0–50	1.75	1.58	1.45	1.60	1.36	1.19	1.12	1.43	1.91	1.83	1.52
0–100	1.71	1.56	1.44	1.83	1.34	1.31	1.16	1.46	1.92	1.83	1.56
150–200	1.65	–	1.51	0.90	1.61	1.40	1.56	1.08	1.91	1.92	1.43
0–200	1.67	–	1.48	–	1.44	1.39	1.34	–	1.93	1.87	1.55
0–дно	1.61	1.78	1.09	1.51	1.46	1.37	1.24	1.41	1.92	1.54	1.40

Т а б л и ц а 3

Аномалии средней взвешенной солености на разрезе “Кольский меридиан” в декабре 2015 г., ‰

Слой, м	Станции										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\Delta S_{\text{сред}}$
0–50	–0.03	–0.35	–0.31	–0.39	–0.25	–0.15	0.06	0.03	0.03	0.03	–0.13
0–100	–0.12	–0.37	–0.28	–0.33	–0.24	–0.10	0.05	0.03	0.03	0.03	–0.13
150–200	–0.19	–	–0.01	–0.12	–0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.00
0–200	–0.16	–	–0.20	–	–0.16	–0.04	0.04	–	0.03	0.03	–0.08
0–дно	–0.14	–0.35	–0.18	–0.20	–0.13	–0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	–0.06

Среднеквадратические отклонения температуры (σT) и солености (σS) равны 0.21 и 0.39 соответственно. Это позволяет утверждать, что декабрь 2015 г. был аномально теплым с нормальной соленостью за исключением станций 2–5, где наблюдалась пониженная соленость.

* *
*

На основе баз открытого доступа (World ..., 2013; Атлас ..., 2014) был проведен количественный анализ изученности векового разреза “Кольский меридиан”, а также выполнено сравнение данных экспедиции ММБИ 2015 г. с усредненными многолетними данными.

Океанографические исследования, выполненные на разрезе “Кольский меридиан” осенью–зимой 2015 г., показали относительно высокие значения температуры и нормальные значения солености, которые указывают на то, что декабрь 2015 г. был аномально теплым. По этим данным можно делать косвенные оценки о поступлении тепла из Атлантического океана в Баренцево море. Результаты исследований позволили уточнить основные черты термохалинной структуры вод Баренцева моря и определить направления для дальнейшей работы.

Литература

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. Ма-тишов, С. В. Бердников, А. П. Жичкин и др. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2014. 256 с. (+CD).

Зуев А. Н., Голубев В. А. Комплексная база океанографических данных по Баренцеву и Белому морям // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы “Исследование природы Мирового океана” федеральной целевой программы “Мировой океан”). Вып. 1. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. С. 31–36.

Климатический атлас морей Арктики-2004: Ч. 1. База данных Баренцева, Карского, Лаптевых и Белого морей – океанография и морская биология / Г. Г. Матишов, А. Н. Зуев, В. А. Голубев и др. Вашингтон: Silver Spring, MD, 2004. 148 с.

Климатические изменения морских экосистем европейской Арктики / Г. Г. Матишов, С. Л. Дженюк, Д. В. Моисеев, А. П. Жичкин // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3(86). С. 7–21.

Терещенко В. В. Сезонные и межгодовые изменения температуры и солености воды основных течений на разрезе “Кольский меридиан” в Баренцевом море. Мурманск: Изд. ПИНРО, 1997. 71 с.

Терещенко В. В., Двинина Е. А., Боровая Л. И. Справочный материал по температуре воды в Баренцевом море. Мурманск, 1985. 72 с.

Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение) / Г. Г. Матишов, Л. Г. Павлова, Г. В. Ильин и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 404 с.

Matishov G.G. Bathymetric Map of the Barents and West Kara Seas. Russian Academy of Sciences, Murmansk Marine Biological Institute / Scale 1:2500000 72° N Latitude. Murmansk, 1997.

Schlitzer R. Ocean Data View, 2013 [Electronic resource]. URL: <http://odv.awi.de>

SEACAT SBE 19. Conductivity, temperature, depth recorder. Operating manual. Washington, USA, 2001.

SEACAT PROFILER SBE 19plus. User Manual, Version 012. Bellevue, Washington, USA, 2005.

World Ocean Database 2013 [Electronic resource] / S. Levitus (Ed.); A. Mishonov (Techn. Ed.). NOAA Atlas NESDIS 72. 2013. 209 p. URL: <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/WOD13/>

СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ И ФИТОСТЕРИНОВ В БУРЫХ ВОДОРОСЛЯХ *FUCUS VESICULOSUS* БАРЕНЦЕВА МОРЯ

А. В. Ткач

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Полифенолы и стеринны являются вторичными метаболитами высших растений и водорослей, обладающими биологической активностью.

К фенолам принято относить ароматические соединения, которые в своей молекуле содержат бензольное ядро с одной или несколькими гидроксильными группами. Природные фенолы часто проявляют высокую биологическую активность. Функции их в растениях весьма разнообразны и еще не все известны. Однако считается, что почти все фенольные соединения являются активными метаболитами клеточного обмена и играют существенную роль в различных физиологических процессах – дыхании, фотосинтезе, росте, развитии и репродукции. Некоторые полифенолы защищают растения от патогенных микроорганизмов и грибковых заболеваний (Bhakuni, Rawat, 2005).

Бурые водоросли накапливают большое количество полифенольных соединений, главным образом, флоротаннинов, которые являются продуктами полимеризации флороглюцина (1,3,5-тригидроксibenзола) (рис. 1a) (Van Alstyne, 1995). Полифенолы водорослей обладают антиоксидантной и антибактериальной активностью (Antioxidative ..., 2003), а также обеспечивают устойчивость макрофитов к поеданию гастроподами *Littorina littorea* (Geiselman, McConell, 1981).

Общее содержание полифенолов для бурых водорослей *Fucus vesiculosus* Баренцева и Белого морей находится в диапазоне от 15.4 до 18.4 % абсолютно сухой массы (Клиндух, Облучинская, 2013). В спиртовых вытяжках этот показатель составляет 1.75–4.15 % (Клиндух, Облучинская, 2015).

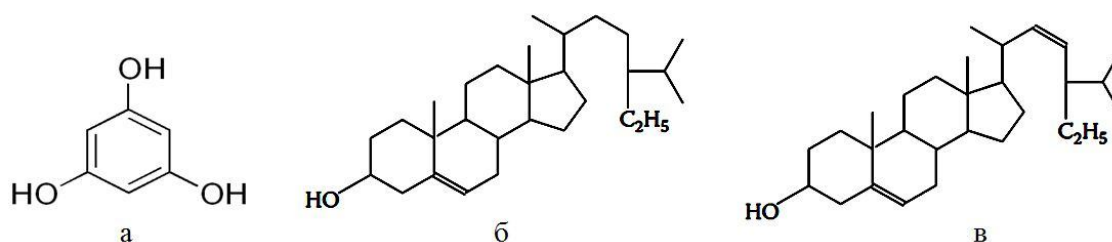


Рис. 1. Структурные формулы флороглуцина (а), β -ситостерина (б), стигмастерина (в)

Полифенолы, выделенные из морских водорослей, являются новым ценным сырьем для растительных лекарственных препаратов, которые ранее создавались на основе высших наземных растений (Морские ..., 2012).

Препараты на основе фенольных соединений широко используются в качестве противомикробных, противовоспалительных, кровоостанавливающих, желчегонных, диуретических, гипотензивных, тонизирующих, вяжущих и слабительных средств. Они, как правило, малотоксичны и не вызывают побочных эффектов (Яковлев, 2006).

Стерины (стеролы) – органические спирты, относящиеся к группе стероидов, составная часть неомыляемой фракции животных и растительных липидов. К растительным стеринам относятся тритерпеновые спирты, стероидные сапонины, стероидные гликоалколоиды, фитостероиды, брассикостероиды (Дадали, Тутельян, 2007). Наиболее распространенные растительные стерины – ситостерин (рис. 1б) и стигмастерин (рис. 1в).

Фитостерины водорослей изучены недостаточно. Недавние исследования подтвердили, что стерины водорослей и их производные обладают различной биологической активностью (Determination ..., 2008). В большинстве работ отмечается антиоксидантное действие фитостеринов, выявлен противовоспалительный эффект данных соединений. Фитостерины бурых водорослей также проявляют цитотоксическое, противогрибковое действие, оказывают положительное влияние на организм в борьбе с диабетом и остеопорозом. Так же есть данные о том, что фитостерины, такие как фуко- и ситостерин, усиливают секрецию тканевого активатора плазминогена из клеток эндотелия, тем самым влияя на антисвертывающую систему крови (Fucosterol ..., 2012).

Согласно литературным данным (Determination ..., 2008), в различных видах бурых водорослей суммарное количество стерина находится в диапазоне 1.55–4.53 %. По данным А. И. Аразашвили (1980), в водорослях может содержаться 0.002–0.18 % стерина, иногда 4 %.

Содержание фитостеринов водорослей Баренцева моря остается малоизученным.

Цель исследования – изучить содержание фитостеринов и полифенолов в бурых водорослях *F. vesiculosus* Мурманского побережья Баренцева моря.

Материал и методы

Объектом исследования послужили водоросли вида *F. vesiculosus* в возрасте 4+...7+, собранные в апреле 2014 г. в приливоотливных зонах разных районов Мурманского побережья Баренцева моря: куту губы Печенга, губе Лодейная, бухте Оскара (рис. 2). Места сбора отличаются по географическому расположению (Западный и Восточный Мурман), степени антропогенного загрязнения (Облучинская и др., 2013), абиотическим факторам (Кольский ..., 2009).

Для изучения использовали по одной пробе из каждого района, сформированных не менее чем из 7–10 растений. Полученные образцы были заморожены и хранились при температуре $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Рис. 2. Районы сбора материала

Полифенолы и стерины извлекали из замороженного материала методом перколяции 50 %-м этанолом.

Содержание общих полифенолов определяли по модифицированной методике с реактивом Фолина-Чокальтеу (Bärlocher, Graça, 2005) в пересчете на флороглюцин (Merck, кат. № 203-611-2).

Для количественного определения суммы фитостеринов использовали реакцию с 72 %-й H_2SO_4 и 8 %-м раствором ванилина (Минина, Легостаева, 1989). Содержание суммы стериннов определяли в пересчете на стигмастерин (Fluka, кат. № 85860). Подобраны условия проведения реакции и концентрации реагентов для исследуемых водорослей. Измерения проводили методом спектрофотометрии.

Абсолютно сухую массу образцов выявляли согласно общепринятой методике (ГОСТ 26185–84, 2004). Определение содержания полифенолов и фитостеринов проводили в трехкратной повторности.

Все полученные данные были обработаны в программе Microsoft Excel с использованием математических и статистических формул (Ивантер, Коросов, 2003).

Результаты и обсуждение

Результаты исследования представлены на диаграммах (рис. 3).

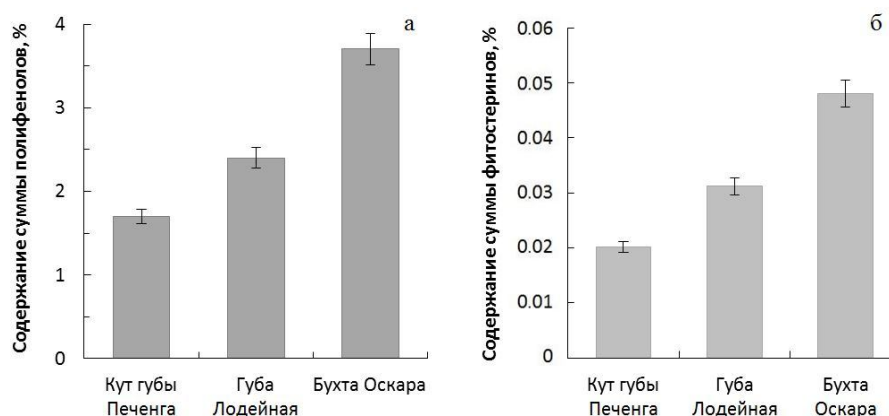


Рис. 3. Содержание суммы полифенолов (а) и фитостеринов (б) в пересчете на флороглюцин и стигмастерин соответственно, % абсолютно сухой массы

Наибольшее количество полифенолов – 3.7 % абсолютно сухой массы – содержится в образцах из бухты Оскара. В этих же образцах зафиксировано наибольшее, по сравнению с остальными исследуемыми пробами водорослей, количество фитостеринов – 0.048 %. Эти показатели выше таковых значений у водорослей губы Лодейная в 1.5 раза (полифенолы – 2.4 %, фитостерины – 0.031 %), у водорослей губы Печенга в 2 раза (полифенолы – 1.7 %, фитостерины – 0.020 %).

Наши данные сопоставимы с таковыми других авторов. Однако, в связи с малой изученностью содержания фитостеринов и полифенолов в бурых водорослях *F. vesiculosus* Баренцева моря, существует необходимость в дальнейших исследованиях, чтобы установить комплекс абиотических и биотических условий и возможные закономерности накопления данных веществ.

* *
*

В бурых водорослях *Fucus vesiculosus* Мурманского побережья Баренцева моря содержание фитостеринов составляет 0.0009–0.0012 % абсолютно сухой массы, полифенолов – 1.7–3.7 % абсолютно сухой массы. Наибольшее количество полифенолов и фитостеринов отмечено у водорослей бухты Оскара, наименьшее – губы Печенга.

Литература

Аразашвили А. И. Биологически активные вещества и другие природные соединения морских водорослей. Тбилиси: Изд. Ин-та фармакохимии, 1980. 335 с.

ГОСТ 26185–84. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. Введен 01.01.85. М.: Изд-во стандартов, 2004. 34 с.

Дадали В. А., Тутельян В. А. Фитостерины – биологическая активность и перспективы практического применения // Успехи современной биологии. 2007. Т. 127. С. 258–740.

Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию: Учеб. пос. Петрозаводск: Изд. ПетрГУ, 2003. 304 с.

Клиндух М. П., Облучинская Е. Д. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // Вестн. МГТУ. 2013. Т. 16. № 3. С. 466–471.

Клиндух М. П., Облучинская Е. Д. Химический состав и антиоксидантная активность настоек фукусовых водорослей // Фармация. 2015. № 3. С. 8–11.

Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / Отв. ред. Г. Г. Матишов. М.: Наука, 2009. 381 с.

Минина С. А., Легостаева А. Б. Способ количественного определения действующих веществ в сырье и лекарственных формах женьшеня // Бюл. изобр. 1989. № 18. А.с. 1480568 (СССР).

Морские водоросли – перспективный источник полифенольных антиоксидантов и комплексов эссенциальных фосфолипидов / В. Г. Спрыгин, Н. Ф. Кушнерова, С. Е. Фоменко, Л. А. Сизова // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2012. Т. 14. № 1–9. С. 2299–2302.

Облучинская Е. Д., Алешина Е. Г., Матишов Д. Г. Сравнительная оценка загрязнения металлами губ и заливов Мурманска по индексу МПИ (Metal pollution index) // Докл. РАН. 2013. Т. 448. № 5. С. 588–591.

Яковлев Г. П. Лекарственное сырье растительного и животного происхождения. Фармакогнозия: Учеб. пос. СПб.: СпецЛит, 2006. 845 с.

Antioxidative properties of brown algae polyphenolics and their perspectives as chemopreventive agents / K. Kang, Y. Park, H. Hwang et al. // Arch. Pharm. Res. 2003. Vol. 26. № 4. P. 286–293.

Bärlocher F., Graça M. A. S. Total Phenolics // Methods to Study Litter Decomposition: A Practical Guide / M. A. S. Graça, F. Bärlocher, M. O. Gessner (Eds.). Dordrecht: Springer, 2005. P. 97–100.

Bhakuni D. S., Rawat D. S. Bioactive marine natural products. New York: Springer, 2005. 400 с.

Determination of total sterols in brown algae by Fourier transform infrared spectroscopy analytica / N. Bouzidi, Y. Daghbouche, E.M. Hattab et al. // Chimicaacta. 2008. Vol. 616. P. 185–189.

Geiselman J.A., McConell O.J. Polyphenols in Brown Algae *Fucus vesiculosus* and *Ascophyllum nodosum*: Chemical Defenses against the Marine Herbivorous Snail, *Littorina littorea* // J. Chem. Ecol. 1981. Vol. 7. № 6. P. 1115–1133.

Van Alstyne K. L. Comparison of three methods for quantifying brown algal polyphenolic compounds // J. Chem. Ecol. 1995. Vol. 21. P. 45–58.

Fucosterol isolated from *Undariapinnatifida* inhibits lipopolysaccharide-induced production of nitric oxide and pro-inflammatory cytokines via the inactivation of nuclear factor- κ B and p38 mitogen-activated protein kinase in RAW264.7 macrophages / M.-S. Yoo, J.-S. Shin, H.-E. Choia et al. // Food Chemistry. 2012. Vol. 135. P. 967–975.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ *FUCUS VESICULOSUS* L. БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Е. М. Фисак, М. В. Колбеева

Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск

Введение

Большой интерес вызывают механизмы адаптации водорослей к условиям зимы за полярным кругом. Температура воздуха на побережье Баренцева моря, воздействующая на водоросли в зимний период при отливе, может опускаться до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самая низкая температура воды (до $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) отмечена в феврале–марте. Освещение в зимние месяцы минимально: в декабре интенсивность света составляет до 3 Вт/м^2 (Адаптация ..., 2015). Интенсивность фотосинтеза и рост талломов водорослей в полярную ночь минимальны, преобладают дыхательные процессы (Рыжик, 2014).

Адаптации к зимнему периоду у водорослей формируются на разных уровнях организации: от клеточного (ферменты, накопление запасных веществ и т. д.) до организменного. Большой интерес вызывает работа ферментов антиоксидантной системы, например, каталазы, пероксидазы, так как они первыми реагируют на изменение условий окружающей среды. Каталаза – фермент, отвечающий за обезвреживание избыточного количества перекиси водорода в клетках живых организмов, у большинства гидробионтов, в том числе макрофитов, проявляет максимальную ответную реакцию на изменение качества среды (Шахматова, Мильчакова, 2014).

Флоротаннины бурых водорослей – вторичные метаболиты, которые выполняют функцию адаптации к различным стрессовым ситуациям как абиотического происхождения (ультрафиолетовое излучение, механическое воздействие волн, колебания температуры и т. д.), так и биотического (например, поедание водорослей различными гидробионтами, заражение патогенными микроорганизмами) (Dai, Mumper, 2010; Bhattacharya et al., 2010). Однако функции флоротаннинов на сегодняшний день не изучены до конца.

Целью данной работы было определить изменение активности фермента каталазы и содержания флоротаннинов в клетках бурой водоросли в ответ на действие факторов окружающей среды в зимний период. Данная работа является частью исследования сезонных изменений физиологических параметров бурой водоросли *Fucus vesiculosus* L.

Материал и методы

Объектом исследования был выбран фукус пузырчатый *Fucus vesiculosus*, являющийся доминирующим в фитоценозах литорали Кольского залива и относящийся к числу промысловых (Яшкина и др., 2014).

Исследования были проведены на участке литорали в южном колене Кольского залива у пос. Абрам-Мыс.

Физиологические показатели определяли у 4–5-летних водорослей в апикальной, средней части и основании таллома.

Для определения активности каталазы использовали модифицированный спектрометрический метод, основанный на способности пероксида водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс. Отобранные участки слоевища водорослей массой 0.5 г гомогенизировали в фосфатном буфере и центрифугировали при 8000 об/мин в течение

15 мин. Полученная жидкость отфильтровывалась и использовалась в дальнейшем. Для этого к 0.1 мл надосадочной жидкости прибавляли по 2 мл 0.03 %-го раствора перекиси. В холодную пробу вместо супернатанта вносили 0.1 мл дистиллята. Опыт останавливали через 10 мин добавлением 1 мл 4 %-го молибдата аммония.

При определении содержания полифенолов использовали стандартный метод Фолина-Дениса, который основан на окислении фенольных веществ реактивом Фолина-Дениса, содержащим фосфомолибдат натрия и вольфрамат натрия. Навеску водорослей (в пределах 5 г) растирали в ступке с этанолом на холоде. Для лучшего разрушения клеток водорослей использовали кварцевый песок. Материал переносили в колбу, кипятили в течение 10–15 мин на водяной бане, затем этанол сливали в мерную колбу. Экстракцию повторяли 5–6 раз. Весь экстракт рекомендовано упаривать при 45 °С до определенного объема (5–10 мл), мы получившийся объем довели во всех пробирках до 10 мл.

В спиртовом экстракте определяли фенольные вещества с реактивом Фолина-Дениса при длине волны 725 нм (Negi, 2015).

Измерения проводили в 3-кратной повторности.

Обработка результатов исследования была выполнена с помощью программы Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и обсуждение

Активность каталазы в зимний период уменьшается с декабря по январь, в феврале отмечается ее увеличение. Период измерений пришелся на полярную ночь и выход из нее. Выход из полярной ночи характеризуется повышением уровня фотосинтетически активной радиации и увеличением интенсивности физиологических процессов. Следствием этого является повышение активности каталазы в феврале (рис. 1).

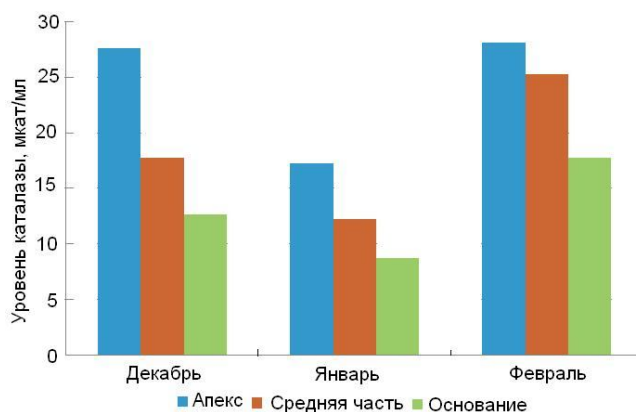


Рис. 1. Уровень каталазы в различных частях *F. vesiculosus*

На активность фермента оказывает влияние и температура. Мы предполагаем, что основным фактором, который повлиял на снижение активности фермента в январе, была температура. В январе господствовали минимальные температуры – до –35 °С, что, по-видимому, и повлияло на работу фермента.

Анализ активности фермента по участку таллома показал, что активность каталазы уменьшается в ряду: апикальная часть – средняя часть – основание (рис. 1). Апикальная часть наиболее метаболически активный участок таллома, так как в нем идет интенсивное деление клеток, рост, поэтому он характеризуется большей активностью фермента.

Флоротаннины определяли в различных частях таллома “взрослого” растения и проростках (“сеголетках”), возраст которых менее года.

Содержание полифенолов в талломах максимально в феврале, причем из всех частей водоросли наибольшее содержание флоротаннинов представлено в средней части слоевища (рис. 2). В декабре максимум полифенолов наблюдается в средней и апикальной частях, в то время как в стволике оно минимально. В январе максимальная концентрация полифенолов отмечена в стволике. В сеголетках количество полифенолов увеличивается с декабря по февраль (рис. 2). В целом прослеживается тенденция увеличения содержания полифенольных соединений в талломах *F. vesiculosus* к февралю.

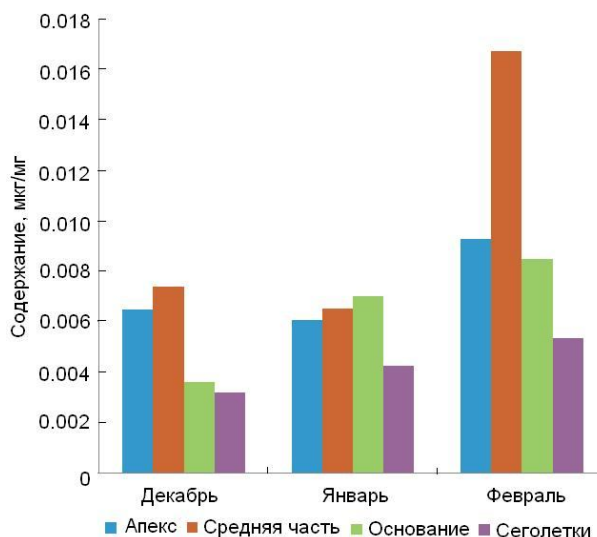


Рис. 2. Содержание полифенолов в разных частях таллома и сеголетках *F. vesiculosus*

Можно предположить, что повышение концентрации флоротаннинов к февралю связано с окончанием полярной ночи и, следовательно, увеличением фотопериода и интенсивности фотосинтетических процессов в талломах водорослей.

Еще одной возможной причиной увеличения концентрации таннинов может быть активизация роста. Предполагается, что они являются частью клеточной стенки и активно участвуют в ее формировании (Connan et al., 2007), служат осморегуляторными веществами (Koivikko, 2008). Это подтверждается изменением концентрации флоротаннинов у сеголеток, у которых растение полностью представлено молодыми, активно растущими клетками.

Таким образом, активность каталазы в клетках *F. vesiculosus* увеличивается в ряду: основание – средняя часть – апекс. В январе активность каталазы минимальна, что может быть связано с низкими температурами, характерными для данного периода времени. Содержание флоротаннинов в зимний период увеличивается с декабря по февраль.

Литература

- Адаптация и регуляция роста у макрофитов Баренцева моря / Г. М. Воскобойников, М. В. Макаров, С. В. Малавенда, И. В. Рыжик // Вестн. Кольского научного центра РАН. 2015. № 2(21). С. 40–48.
- Лейте В. Определение органических загрязнений питьевых, природных и сточных вод / Пер. с англ. под общ. ред. Ю. Ю. Лурье. М.: Химия, 1975. 122 с.
- Рыжик И. В. Содержание растворимых флоротаннинов у *Fucus vesiculosus* L. Кольского залива // Современные проблемы экологии и природопользования. Мурманск: Изд. МГТУ, 2014. С. 192–195.
- Шахматова О. А., Мильчакова Н. А. Влияние экологических условий на активность каталазы массовых видов черноморских макроводорослей // Альгология. 2014. Т. 24. № 4. С. 461–476.
- Яшкина А. А., Плотникова Е. А., Шошина Е. В. Влияние гидродинамического фактора на параметры макрофитов как объекта фитообрастания на биопозитивных конструкциях // Вестн. МГТУ. 2015. Т. 17. № 1. С. 190–193.

Bhattacharya A., Sood P., Citovsky V. The roles of plant phenolics in defence and communication during *Agrobacterium* and *Rhizobium* infection // *Molecular plant pathology*. 2010. № 11 С. 705–719.

Dai J., Mumper R. J. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties // *Molecules*. 2010. № 15. С. 44–45.

Connan S., Deslandes E., Ar Gall E. Influence of day–night and tidal cycles on phenol content and antioxidant capacity in three temperate intertidal brown seaweeds // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2007. С. 360–365.

Koivikko R. Brown algal phlorotannins: improving and applying chemical method. Turku, Finland: Turun Yliopisto, 2008. 61 p.

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕДЕНИЯ СЕРОГО ТЮЛЕНЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

А. П. Яковлев

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение

Магнитные поля, в том числе и геомагнитное, являются важным абиотическим фактором, оказывающим различные влияния на поведение и состояние живых объектов. На сегодняшний день доказан и подробно описан механизм магниторецепции у представителей птиц (Wiltschko, Wiltschko, 2003), рыб (Walker et al., 1985), рептилий (Magnetic ..., 2005) и некоторых других животных (Муравейко, 1988), обнаружены магнитотаксисы у бактерий (Stolz ..., 1986). Ряд исследований достоверно установили влияние магнитных полей на физиологические процессы: селективный перенос ионов через мембраны (Liboff, McLeod, 1988), ориентацию полюсов клеток при митотическом и мейотическом делении (The influence ..., 1975), магнитоориентированность делящейся зиготы на разных стадиях эмбриогенеза у разных видов животных (Embryological ..., 1982), обострение кардио- и нейропатологий у человека в период магнитных бурь (Стерликова, 1990).

Особый интерес для исследования влияния магнитных полей на физиологические процессы представляют ластоногие, обитающие в Арктическом регионе. Из-за близости к северному магнитному полюсу интенсивность глобальных магнитных бурь и естественных колебаний геомагнитного поля в этом регионе на порядок превосходит показатели экваториальных областей. Для Арктики также характерны локальные суббури и пульсации (Паркинсон, 1986).

Таким образом, арктические ластоногие подвержены воздействию мощных электромагнитных полей с различными пространственно-временными и частотно-амплитудными характеристиками. Одной из первых ответных реакций организма животного на возникающие изменения параметров абиотических факторов, в том числе и электромагнитного поля, является изменение в его поведении.

Труднодоступность мест обитания ластоногих и их образ жизни исключают возможность проведения данных исследований в естественной среде. Оборудование, способное генерировать электромагнитные поля (ЭМП) близкие по характеристикам геомагнитному полю, недоступно большинству исследователей физиологии ластоногих и требует для эксплуатации специфических инженерно-физических знаний и навыков. Совместно со специалистами Полярного геофизического института КНЦ РАН был создан экспериментальный стенд для изучения влияния низкочастотных электромагнитных полей (нчЭМП) на поведение настоящих тюленей.

Вопрос о магниторецепции и магнитонавигации у настоящих тюленей, обитающих в Арктике, до сих пор остается дискуссионным. С одной стороны, например, анализ траектории миграции гренландского тюленя в открытых водах Баренцева моря (Моисеев, Духно, 2011) показывает наличие протяженных прямых участков пути, при фактическом отсутствии

визуальных ориентиров, что позволяет логично предположить наличие магнитонавигационной системы у этих животных. С другой стороны, ряд эпизодических исследований, представленный в научной литературе, отражает лишь воздействие магнитных полей на отдельные физиологические или поведенческие показатели (Kirschvink et al., 1986; Kirschvink, 1990; Влияние ..., 2004; Behavioural ..., 2014). Однако полномасштабных и комплексных работ, касающихся изучения магниторецепции ластоногих или степени воздействия ЭМП на их физиологию и поведение в современной научной литературе не представлено.

Цель данных исследований – выявление изменений в поведении настоящих тюленей при воздействии на их организм ЭМП с различными частотными характеристиками.

Материал и методы

Объект исследования – половозрелая самка серого тюленя *Halichoerus grypus* Fabricius, 1791 в возрасте 9 лет. Животное было отловлено в 2005 г., содержалось на аквакомплексе ММБИ в Кольском заливе в условиях открытого вольерного комплекса, которые фактически идентичны естественным. Поэтому имеет минимальные физиологические отклонения от своих диких сородичей.

Исследования проводились в аквариальной, оборудованной бассейном с объемом чаши 35 м³. Центральная часть бассейна была оснащена деревянным помостом (120х60 см), расположенным на уровне среза воды.

Температурный режим в аквариальной был установлен в пределах 16±2 °С, продолжительность светового периода составляла 9 ч. Бассейн был заполнен пресной водой. Кормление животного осуществлялось 2 раза в сутки: в утреннее и вечернее время. На протяжении всего периода исследования тюлень получал одинаковое по массе и составу количество корма.

Искусственное магнитное поле генерировалось с помощью экспериментального источника ЭМП, разработанного сотрудниками ПГИ КНЦ РАН, с возможностью генерации поля напряженностью в 1.5–2 раза превышающую напряженность геомагнитного поля. Источник ЭМП состоит из задающего генератора с перестраиваемой несущей частотой в диапазоне от 0.01 до 36 Гц и излучающей антенны, огибающей бассейн по периметру, образуя горизонтальную рамку.

Наблюдение за испытуемым животным осуществлялось посредством камеры наружного наблюдения (корпусная видеокамера WAT-137LH с объективом TG2Z3514FCSComputar 1/3", 3.5–8.0 мм, APD-DD, 77°–35° в термокожухе SVS26). Видеоматериал записывался с помощью TV-тюнера kWorld, установленного на персональный компьютер. Видеонаблюдение велось в течение 3 ч (с 13 до 16 ч) на протяжении 26 сут.

Задающий ЭМП генератор, система видеонаблюдения и другое исследовательское оборудование располагалось в отдельном помещении, контакт животного с человеком во время проведения экспериментов был исключен.

Экспериментальные данные получены с использованием методов сплошного протоколирования (непрерывная и максимально полная запись всех действий животного) и регистрации отдельных поведенческих проявлений (во время наблюдения фиксируются все случаи проявления изучаемых действий) (Попов, Ильченко, 1990). Продолжительность воздействия на животное нчЭМП составляла 20 мин во время второго часа наблюдения для каждого дня проведения эксперимента, кроме дней фоновых наблюдений. Фоновые значения представляют собой усредненный результат за 4 сут. наблюдений. При обработке видеоматериала учитывались следующие поведенческие проявления: нахождение животного под водой, нахождение животного на поверхности, выход на помост, специфические позы и движения (при наличии).

Была проведена серия экспериментов по воздействию ЭМП с частотами 0.01, 0.1, 1, 2–36 Гц с шагом в 2 Гц на тюленя. Повышение частоты ЭМП происходило последовательно от 0.01 до 36 Гц. Период наблюдения за животным составлял 3 ч и был разбит на три временных отрезка по 1 ч. Первый час наблюдения был фоновым (до воздействия ЭМП). Непосредственное воздействие на животное нчЭМП осуществлялось со второго часа наблюдения. Третий час отражал динамику в поведении животного после окончания воздействия искусственно генерируемого электромагнитного поля, т. е. животное возвращалось в зону с естественными характеристиками магнитных полей.

Результаты и обсуждение

Наиболее целесообразным и простым в использовании неинвазивным методом изучения реакции организма животного в ответ на изменения условий среды является метод наблюдения. Акты всплытия-погружения физиологически закреплены в общей картине поведения ластоногих, поскольку продиктованы необходимостью дыхания животных. Основным критерием оценки изменения поведения животного был выбран показатель частоты всплытий в минуту, отражающий активность животного в данный промежуток времени, как наиболее стабильный и легко регистрируемый акт поведения. На рисунке 1 представлены данные, отражающие усредненное количество всплытий в минуту за каждый из трех временных отрезков.

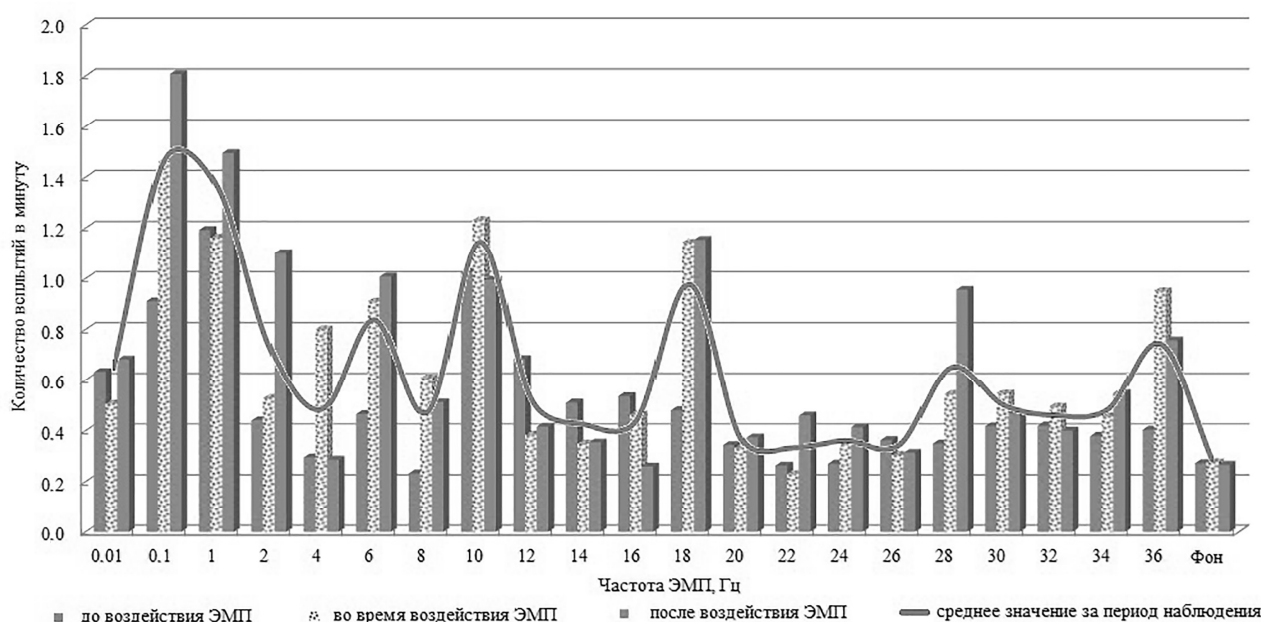


Рис. 1. Усредненные значения всплытий, совершаемых тюленем за 1 мин

В первый час наблюдений параметр частоты всплытий значительно варьировал, достигая максимальных значений в экспериментах с частотами 1 и 10 Гц – 1.19 и 1.03 актов в минуту соответственно. Минимальные показатели отмечались при фоновых наблюдениях (0.27 акта в минуту) и в экспериментах с частотами 22 и 24 Гц (0.26 и 0.27 акта в минуту соответственно).

Во время воздействия низкочастотного ЭМП, количество всплытий значительно изменялось от эксперимента к эксперименту и носило волнообразный характер (рис. 2). Максимальные значения наблюдались при частотах 0.1, 10 и 18 Гц (1.46, 1.23 и 1.14 акта в минуту соответственно). Минимальное количество всплытий было зафиксировано при генерации частот ЭМП в 22–26 Гц (0.23–0.35 акта в минуту), а также при фоновых наблюдениях (0.28 акта в минуту).

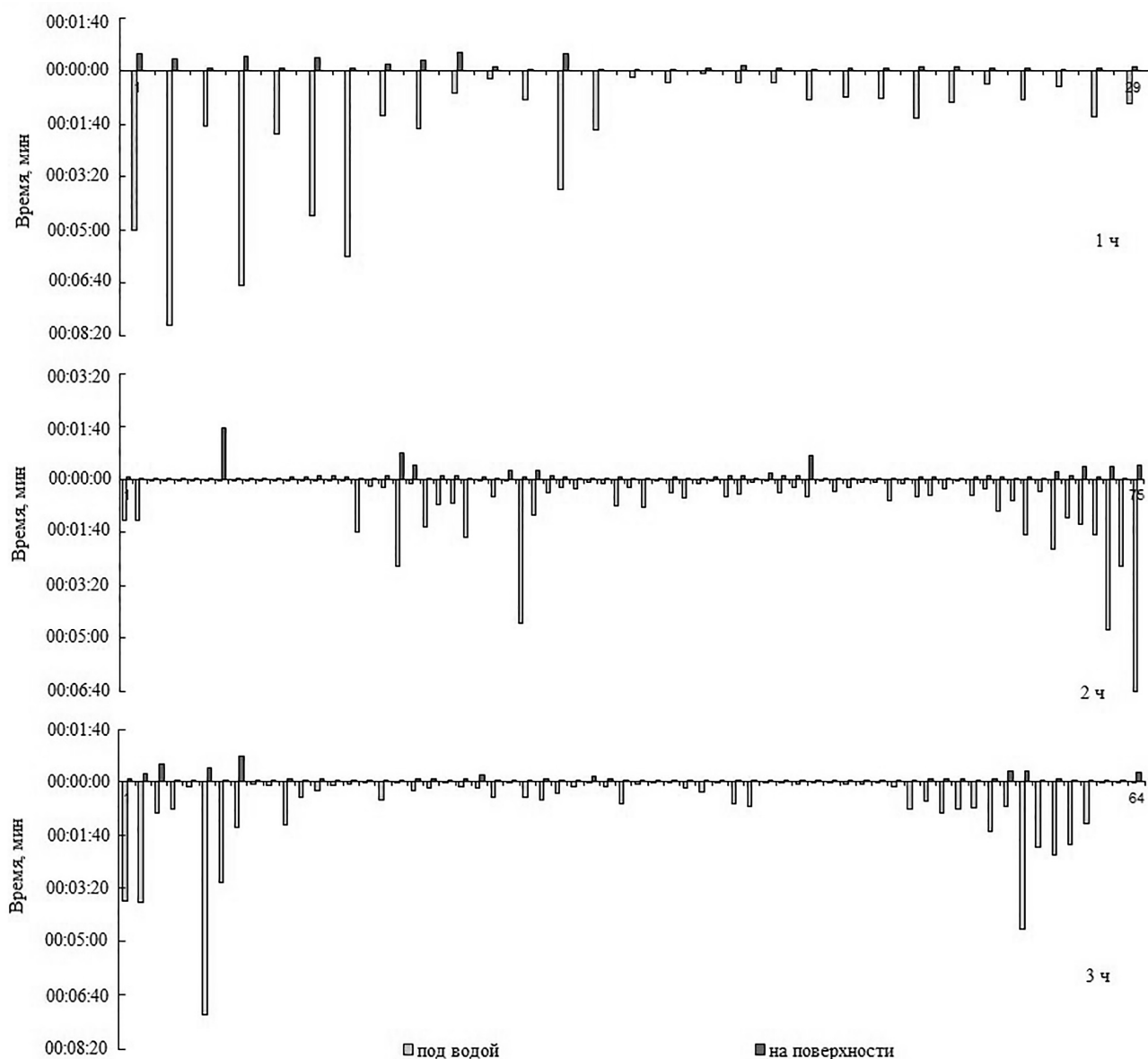


Рис. 2. Ритмограмма всплытий–погружений тюленя в течение 3 ч наблюдений при воздействии на него ЭМП с частотой 18 Гц

Третий час наблюдений характеризовался тремя основными типами изменений в поведении тюленя: 1) количество актов всплытий за минуту возросло до уровня как при воздействии низкочастотных ЭМП; 2) количество всплытий увеличивалось в 1.5–2.5 раза по сравнению с периодом воздействия (0.01–2, 18, 28 Гц); 3) количество актов всплытия в минуту снижалось в 0.5–1.5 раза по сравнению с периодом воздействия нчЭМП (4, 8, 16, 36 Гц). Во время фоновых наблюдений данный показатель находился практически на одном уровне до, во время и после воздействия нчЭМП.

Важно отметить, что именно в течение периода воздействия на подопытное животное электромагнитных полей с частотами 4–12, 16–18, 32–36 Гц отмечались нехарактерные поведенческие акты: увеличение числа выходов на помост; тюлень, опираясь на хвост, вытягивал голову над водой; животное топорщило вибрисы и совершало движения челюстями, напоминающими укус. При отсутствии генерации искусственного нчЭМП подобных поведенческих актов не зарегистрировано.

Ниже приведены ритмограммы, отражающие количество актов всплытия–погружения и их продолжительность для каждого из трех часов наблюдений при воздействии на тюленя

электромагнитного поля с частотой 18 Гц и фоновая ритмограмма. Детальное рассмотрение ритмограмм позволяет выделить периоды отдыха и активности животного, а также интенсивность процесса перехода из одного состояния в другое.

В эксперименте с генерируемым ЭМП с частотой 18 Гц (рис. 2) в начале первого часа наблюдений животное продолжительное время (8 мин 1 с) находилось под водой, совершая непродолжительные всплытия для дыхания длительностью от 2 до 32 с. Всего за первый час было совершено 29 всплытий, что свидетельствует о спокойном, размеренном поведении тюленя. На втором часе наблюдений, во время которого происходило воздействие на животное ЭМП с частотой 18 Гц, его активность резко выросла. Всего зарегистрировано 75 актов всплытий. Подавляющее число всплытий длилось от 1 до 5 с. Продолжительность погружений в основном не превышала 1 мин 30 с, однако к завершению второго часа были зарегистрированы периоды отдыха животного под водой в течение 4–8 мин. Третий час наблюдений охарактеризовался двумя промежутками времени с длительными периодами отдыха под водой, чередующимися с кратковременными всплытиями. Однако между ними активность животного возросла. Всего было зафиксировано 64 акта всплытия.

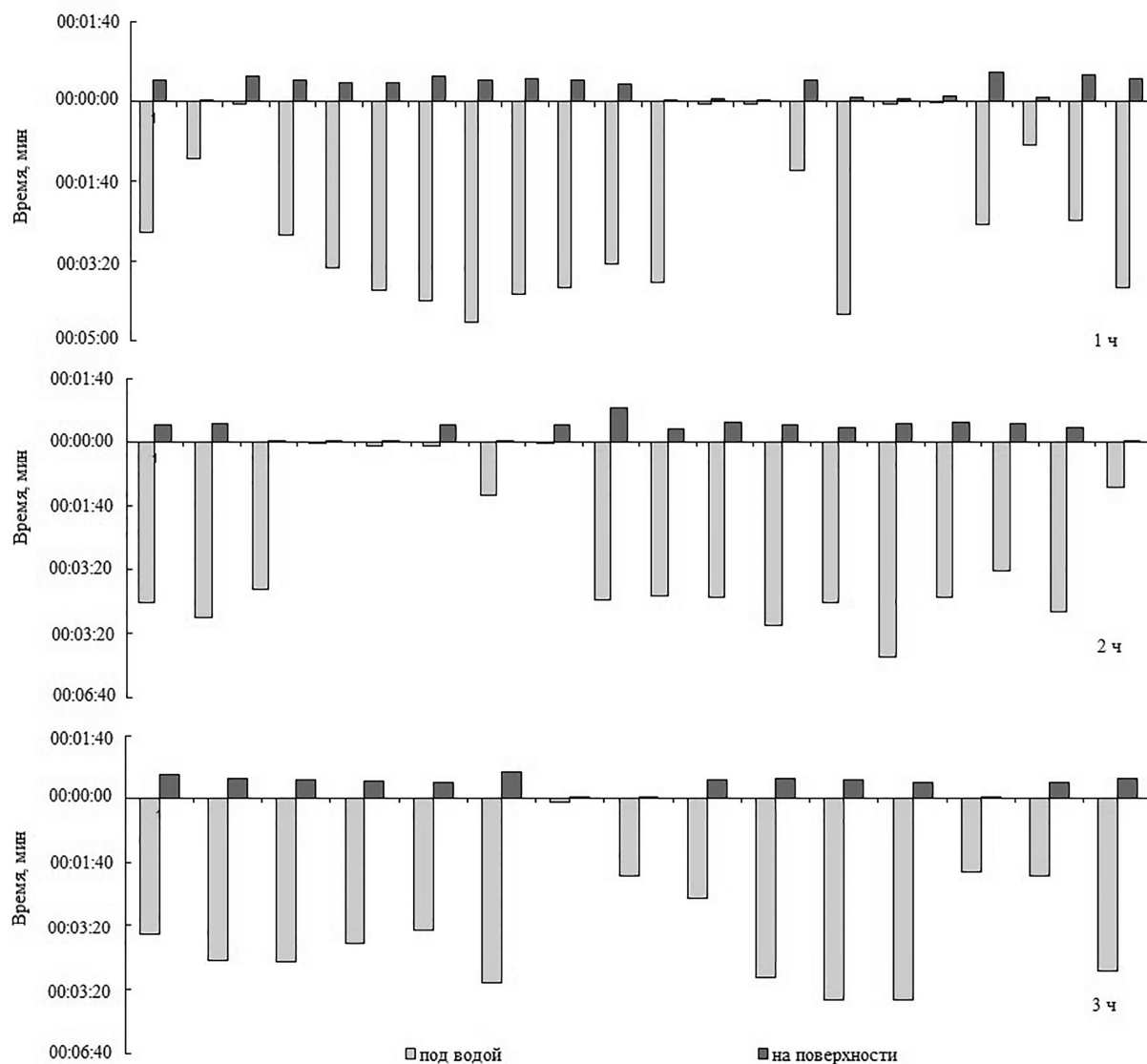


Рис. 3. Ритмограмма всплытий–погружений тюленя в течение 3 ч наблюдений при отсутствии воздействия на него искусственно генерируемых ЭМП (фоновые наблюдения)

При анализе фоновых наблюдений (рис. 3) фиксировали длительные акты погружений (от 160 до 370 с) и кратковременные всплытия (20–50 с), чередовавшиеся в каждом часе наблюдений с непродолжительными периодами повышенной активности животного с кратковременными всплытиями и погружениями длительностью 1–7 с. За первый час наблюдений зафиксировано 14 всплытий, за второй – 18 и за третий час – 15. Низкая двигательная активность и продолжительные апноэ в течение всего периода наблюдений характеризуют поведение животного как спокойное.

Заключение

Наблюдение неспецифических поведенческих актов и данные о количестве актов всплытий в минуту позволили выделить ряд частот (2–8, 16–20, 34–36 Гц), при воздействии которых наблюдались значительные отклонения показателей от их фоновых значений.

Стоит отметить, что при детальном рассмотрении активности животного в течение 3-часового периода наблюдений отчетливо прослеживается следующая модель поведения: период до воздействия ЭМП характеризуется относительно равномерным числом актов всплытий–погружений и низкой активностью животного; во время воздействия ЭМП активность животного возрастает, среднее время его нахождения на поверхности увеличивается; в период после окончания воздействия ЭМП у тюленя наблюдается постепенное затухание активности, уменьшение числа актов всплытий, намечается тенденция к стабилизации поведенческих реакций. Напротив, при рассмотрении фоновой ритмограммы на протяжении трех часов наблюдается стабильно низкая двигательная активность животного, не сопровождающаяся резкими увеличениями количества актов всплытий.

Среднее время, проведенное животным под водой, на поверхности и на помосте, значительно варьирует как в большую, так и в меньшую стороны относительно фоновых значений. По-видимому, это может быть связано как с особенностями поведения конкретного животного в данный промежуток времени, так и с угнетающим или возбуждающим эффектом воздействия низкочастотных электромагнитных полей на организм животного.

Проведенные эксперименты показали, что при генерации ЭМП с частотными характеристиками 2–8, 16–20, 34–36 Гц наблюдается рост возбуждения животного, возникают специфические поведенческие акты.

Для более детального понимания процессов, происходящих при воздействии на серого тюленя низкочастотных электромагнитных полей, необходимо продолжить исследования в данном направлении.

Литература

*Влияние стресса и магнитного поля на сердечную деятельность гренландского тюленя *Pagophilus groenlandicus** / Г. Г. Матишов, В. М. Муравейко, А. С. Гладких, А. В. Муравейко // Докл. РАН. 2004. Т. 397. № 4. С. 558–562.

Мусеев Д. В., Духно Г. Н. Геоинформационный анализ передвижений арктических ластоногих со спутниковыми метками // Дистанционные методы в зоологии: Матер. науч. конф. (28–29 ноября 2011 г., г. Москва). М., 2011 С. 54.

Муравейко В. М. Электросенсорные системы животных. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1988. 110 с.

Паркинсон У. Введение в геомагнетизм. М.: Мир, 1986. 525 с.

Попов С. В., Ильченко О. Г. Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе. М.: Изд. Моск. зоопарк, 1990. 77 с.

Стерликова И. В. Роль геомагнитных пульсаций с частотным диапазоном, близким к биоритмам, в статистике сердечно-сосудистых и нервных заболеваний. Деп. в ВИИМИ, 1990. № Д-18353. 24 с.

Behavioural evidence of magnetoreception in dolphins: detection of experimental magnetic fields / D. Kremers, L. J. Marulanda, M. Hausberger, A. Lemasson // *Naturwissenschaften*. 2014. Vol. 101. Iss. 11. P. 907–918.

Embryological changes induced by weak, extremely low frequency electromagnetic fields / J. M. R. Delgado, J. Leal, J. L. Monteagudo, M. G. Gracia // *J. Anatomy*. 1982. Vol. 134. P. 533–551.

Kirschvink J. L. Geomagnetic sensitivity in cetaceans: an update with the U.S. live stranding records // *Sensory Abilities of Cetaceans* / J. A. Thomas, R. Kastelein (Eds.). New York: Plenum Press, 1990. P. 639–649.

Kirschvink J. L., Dizon A. E., Westphal J. A. Evidence from strandings for geomagnetic sensitivity in Cetaceans // *J. Exp. Biol.* 1986. Vol. 120. P. 1–24.

Liboff A. R., McLeod B. R. Kinetics of channelized membrane ions in magnetic fields // *Bioelectromagnetics*. 1988. Vol. 8. P. 39–51.

Magnetic Orientation and Navigation in Marine Turtles, Lobsters, and Molluscs: Concepts and Conundrums / S. D. Cain, L. C. Boles, J. H. Wang, K. J. Lohmann // *Integrative and Comparative Biology*. 2005. Vol. 45. Iss. 3. P. 539–546.

Stolz J. F., Chang S-B. R., Kirschvink J. S. Magnetotactic bacteria and single-domain magnetite in hemipelagic sediments // *Nature*. 1986. Vol. 321. P. 849–851.

The influence of a magnetic field on chromosome sets and cell division / M. T. Tsoneva, P. R. Penchev, G. B. Karev, S. S. Gishin // *Genetika*. 1975. Vol. 11. № 3. P. 153–160.

Walker M. M., Kirschvink J. L., Dizon A. E. Magnetoreception and biomineralization of magnetite in fish // *Magnetite Biomineralization in Organisms*. New York: Plenum Press, 1985. Vol. 5. P. 417–497.

Wiltschko R., Wiltschko W. Avian navigation: from historical to modern concepts // *Animal Behaviour*. 2003. Vol. 65. P. 257–272.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Дженюк С. Л., Моисеев Д. В. Дмитрий Геннадьевич Матишов – океанолог (к 50-летию со дня рождения)	5
Ахметчина О. Ю. Формирование структуры фауны мшанок (Bryozoa) в условиях архипелага Земля Франца-Иосифа	9
Баданин Ю. А., Дерябин А. А. Результаты экспедиции в Баренцево и Карское моря по трассе Севморпути зимой 2015 года	14
Валуйская Д. А., Бобров К. А. Особенности распространения техногенных радионуклидов в Баренцевом море на примере разреза “Кольский меридиан”	17
Дворецкий А. Г., Дворецкий В. Г. Копеподы, заселяющие камчатского краба в Баренцевом море	20
Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Распределение и продукция зоопланктона губы Дроздовка (Баренцево море)	24
Зайцев А. А., Литвинов Ю. В. Влияние абиотических факторов среды на поведение гренландского тюленя в неволе	31
Зимина О. Л., Захаров Д. В. Видовой состав и особенности распределения десятиногих ракообразных (Crustacea: Decapoda) Баренцева моря и прилегающей акватории по результатам траловых съемок 2011 года	37
Калинка О. П., Карнатов А. Н. Оценка коэффициентов уязвимости биоты Кольского залива от воздействия нефти	43
Клиндух М. П. Состав и содержание свободных аминокислот в бурой водоросли <i>Fucus vesiculosus</i> из разных биотопов Мурманского побережья Баренцева моря	50
Кроль Е. Н. Видовой состав и распределение раковинных Gastropoda в районе западного побережья архипелага Новая Земля	55
Кудрявцева Е. О. Спорообразование и ультраструктура гаметофитов и “молодых” спорофитов ламинарии сахаристой <i>Saccharina latissima</i>	57
Лазарева Д. Ю., Манушин И. Е. Биогеографические группы крупных форм двустворчатых моллюсков в Баренцевом море и сопредельных водах	61
Мецерьков Н. И. Особенности распределения осадков в верховье залива Грен-фьорд (Западный Шпицберген)	68
Минзюк Т. В. Морфометрические параметры районов организаторов ядрышка в лимфоцитах морских млекопитающих	71
Павлова М. А. Микробиологические исследования Карского моря	77
Пастухов И. А. Гидрохимические показатели разреза “Кольский меридиан” в ноябре-декабре 2015 года	83
Пахомов М. В. Изучение способностей гренландских и серых тюленей к обобщению и ассоциации цветковых стимулов	86
Тихомирова А. А., Бобров К. А. Океанографические исследования на разрезе “Кольский меридиан”	90
Ткач А. В. Содержание полифенолов и фитостеринов в бурых водорослях <i>Fucus vesiculosus</i> Баренцева моря	96
Фисак Е. М., Колбеева М. В. Физиологические особенности <i>Fucus vesiculosus</i> L. Баренцева моря в зимний период	100
Яковлев А. П. Изменение параметров поведения серого тюленя при воздействии электромагнитных полей	103

CONTENTS

	Page
<i>Dzhenyuk S. L., Moiseev D. V.</i> Dmitry Gennadievich Matishov – an oceanologist (on the 50 th anniversary of his birth)	5
<i>Akhmetchina O. Y.</i> Formation of the structure of moss animals fauna (Bryozoa) off the Franz Josef Land Archipelago	9
<i>Badanin Y. A., Deryabin A. A.</i> Results of the expedition to the Barents and Kara Seas along the Northern Sea Route in winter 2015	14
<i>Valuiskaya D. A., Bobrov K. A.</i> Distribution of man-made radionuclides in the Barents Sea in the area of the Kola Transect	17
<i>Dvoretsky A. G., Dvoretsky V. G.</i> Copepods living in the red king crab of the Barents Sea	20
<i>Dvoretsky V. G., Dvoretsky A. G.</i> Distribution and production of zooplankton in Drozdovka Bay (Barents Sea)	24
<i>Zaitsev A. A., Litvinov Y. V.</i> Effects of abiotic environmental factors on the behavior of Greenland seals living in captivity	31
<i>Zimina O. L., Zakharov D. V.</i> Species composition and distribution of decapods (Crustacea: Decapoda) in the Barents Sea and adjacent waters, results of trawl surveys of 2011	37
<i>Kalinka O. P., Karnatov A. N.</i> Determining vulnerability coefficients for the Kola Inlet biota to impacts produced by oil and petroleum products	43
<i>Klindukh M. P.</i> Composition and contents of free amino acids in the brown algae <i>Fucus vesiculosus</i> living in different habitats of Murman Coast of the Barents Sea	50
<i>Krol E. N.</i> Species composition and distribution of snails (Gastropoda) in the area of the western coast of the Novaya Zemlya Archipelago	55
<i>Kudryavtseva E. O.</i> Formation of spores and the ultrastructure of gametophytes and young sporophytes in the laminaria algae <i>Saccharina latissima</i>	57
<i>Lazareva D. Y., Manushin I. E.</i> Biogeographic groups of large forms of bivalve mollusks in the Barents Sea and adjacent waters	61
<i>Mescheriakov N. I.</i> Distribution of sediments in the upper part of Grønfjorden Bay (Spitsbergen, Svalbard Archipelago)	68
<i>Minzyuk T. V.</i> Morphometric parameters of nucleolar organizer regions in marine mammal lymphocytes	71
<i>Pavlova M. A.</i> Microbiologic studies in the Kara Sea	77
<i>Pastukhov I. A.</i> Hydrochemical parameters of sea water along the Kola Transect in November–December 2015	83
<i>Pakhomov M. V.</i> Studying the ability of greenland and grey seals to generalize and associate color stimuli	86
<i>Tikhomirova A. A., Bobrov K. A.</i> Oceanographic studies along the Kola Transect	90
<i>Tkach A. V.</i> Polyphenol and phytosterol contents in the brown algae <i>Fucus vesiculosus</i> of the Barents Sea	96
<i>Fisak E. M., Kolbeeva M. V.</i> Physiologic features of <i>Fucus vesiculosus</i> L. in the Barents Sea in winter	100
<i>Yakovlev A. P.</i> Changes in behavior of a grey seal exposed to electromagnetic fields	103

Научное издание

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКОСИСТЕМ АРКТИЧЕСКИХ И ЮЖНЫХ МОРЕЙ РОССИИ

Материалы XXXIV конференции молодых ученых
ММБИ КНЦ РАН, посвященной 50-летию со дня рождения
члена-корреспондента РАН Д. Г. Матишова

Печатается по решению Ученого совета
Мурманского морского биологического института КНЦ РАН

Дизайн обложки И. С. Пернацкая
Перевод В. В. Пономарев

Подписано к печати 25.03.2016.
Формат бумаги 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cyrillic.
Усл. печ. л. 13.2. Заказ № Тираж 100 экз.