

Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



5/2020 (11)

ОКЕАНОЛОГИЯ

выпуск 8

Апатиты
2020

0+

5/2020 (11)

УДК 551.46
ISSN 2307-5252

Российская Академия Наук 0+

ТРУДЫ

Кольского научного центра

ОКЕАНОЛОГИЯ

ВЫПУСК 8

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5

Научно-информационный журнал

Основан в 2010 году
Выходит 11 раз в год

Учредитель — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук»

Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС77-58457 от 25.06.2014
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Главный редактор, председатель Редакционного совета
С. В. Кривовичев, чл.-корр. РАН, д. г.-м. н., проф.

Заместитель главного редактора
В. К. Жиров, чл.-корр.

Редакционный совет:
академик Г. Г. Матишов,
чл.-корр. А. И. Николаев,
д. э. н. Ф. Д. Ларичкин
д. т. н. В. А. Путилов,
д. ф.-м. н. Е. Д. Терещенко,
к. т. н. А. С. Карпов (отв. секретарь)

Редакционная коллегия серии «Океанология»:
академик Г. Г. Матишов (отв. редактор),
д. б. н. П. Р. Макаревич (зам. отв. редактора),
д. г. н. В. В. Денисов,
д. г. н. С. Л. Дженюк,
д. г.-м. н. Г. А. Тарасов,
д. б. н. М. В. Макаров,
к. б. н. О. В. Карамушко,
к. г. н. Г. В. Ильин,
к. б. н. Д. Г. Ишкулов,
к. г. н. Д. В. Моисеев

Научное издание

Ответственный за выпуск Д. Г. Ишкулов
Технический редактор В. Ю. Жиганов
Подписано к печати 13.03.2020.
Дата выхода в свет 25.03.2020.
Формат бумаги 70×108 1/16.
Усл. печ. л. 12,08. Заказ № 40. Тираж 300 экз.
Свободная цена.

Адрес учредителя, издателя и типографии:
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр РАН»
184209, г. Апатиты, Мурманская обл.,
ул. Ферсмана, 14
Тел.: (81555) 7-53-50; 79-5-95, факс: (81555) 76425
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru, naukaprint.ru

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Бердник А.Ф. Возможность выработки следового условного рефлекса на звуковой раздражитель у серого тюленя	7
Бондарев О.В. Размерно-возрастная характеристика молоди трески <i>Gadus morhua</i> Linnaeus, 1958 и сайды <i>Pollachius virens</i> (Linnaeus, 1958) в прибрежной зоне Баренцева моря в июле 2018 г.	12
Булавина А.С. Реконструкция стока реки Обь по данным метеорологических наблюдений	17
Ващенко А.В., Максимовская Т.М. Структурные характеристики бактериопланктона Кольского и Мотовского заливов в октябре 2017 г.	27
Венгер М.П. Распределение и сезонная динамика бактериопланктона вдоль западной границы Баренцева моря	37
Евсеева О.Ю. Мшанки (Bryozoa) северной части Баренцева моря: видовой состав, распределение, экология (по материалам экспедиций ММБИ 2016–2017 гг.)	50
Заволока П.А. Изменение морфометрических показателей серого тюленя <i>Halichoerus grypus</i> в условиях щенки и вскармливания	67
Захарова Л.В. Разработка методики экстракции полифенолов из <i>Fucus vesiculosus</i> северных морей	73
Карнатов А.Н. Коэффициенты уязвимости морских млекопитающих от нефти на примере Кольского залива	81
Клиндух М.П., Рыжик И.В., Добычина Е.О. Состав и содержание свободных аминокислот сублиторальных красных водорослей Мурманского побережья Баренцева моря	92

Мещеряков Н.И.	Осадконакопление в проливе Стур-фьорд (архипелаг Шпицберген) в условиях изменения климата	102
Москвин К.К.	Влияние экологических условий на распространение и распределение полихет рода <i>Pholoe</i> в южной части Баренцева моря ...	110
Носкович А.Э.	О разнообразии поселений двустворчатого моллюска <i>Macoma calcarea</i> (Bivalvia, Tellinidae) у берегов Новой Земли	116
Пахомов М.В.	Исследование способности серых тюленей дифференцировать источники света с разными длинами волн	125
Чаус С.А.	Разнообразие рыб Тазовской губы в летний период 2019 г.	132

5/2020 (11)

UDC 551.46
ISSN 2307-5252

Russian Academy of Sciences

0+

TRANSACTIONS

Kola Science Centre

OCEANOLOGY

series 8

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5

Editor-in-Chief: S. V. Krivovichev,
Cor. Member of RAS, Prof.

Deputy Editor-in-Chief:
V. K. Zhironov, Cor. Member of RAS

Editorial Council:

G. G. Matishov, Acad. of RAS,
A. I. Nikolaev, Cor. Member of RAS,
F. D. Larichkin, Dr. Sci. (Economics),
V. A. Putilov, Dr. Sci. (Engineering),
E. D. Tereshchenko, Dr. Sci.
(Physics and Mathematics),
A. S. Karpov PhD (Engineering) –
Executive Secretary

Editor-in-Chief of "Oceanology" Series:

G. G. Matishov, Acad. of RAS – Editor-in-Chief,
P. R. Makarevich, Dr. Sci. (Biology) – Deputy
Editor-in-Chief,
V. V. Denisov, Dr. Sci. (Geography),
S. L. Dzhenyuk, Dr. Sci. (Geography),
G. A. Tarasov, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy),
M. V. Makarov, Dr. Sci. (Biology),
O. V. Karamushko, PhD (Biology),
G. V. Ilyin, PhD (Geography),
D. G. Ishkulov, PhD (Biology),
D. V. Moiseev, PhD (Geography)

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region,
184209, Russia
Tel. (81555) 7-53-50; 79-5-95, Fax: (81555) 76425
E-mail: ksc@ksc.ru, www.ksc.ru, naukaprint.ru

CONTENTS

	Page
Berdnik A.F. Possibility of developing a trace conditioned reflex to a sound stimulus in a gray seal	7
Bondarev O.V. Dimensional age characteristics of juveniles cod <i>Gadus morhua</i> Linnaeus, 1958 and <i>Pollachius virens</i> sites (Linnaeus, 1958) in the coastal zone of the Barents Sea in July 2018 ..	12
Bulavina A.S. Reconstruction of the Ob river runoff using meteorological data	17
Vashchenko A.V., Maksimovskaya T.M. Bacterioplankton`s structural characteristics of the Kola and Motovskiy bays in October 2017 .	27
Venger M.P. Distribution and seasonal dynamics of bacterioplankton along the western border of the Barents Sea	37
Evseeva O.Yu. Bryozoa of the northern part of Barents Sea: species composition, distribution, ecology (based on the materials of expeditions MMBI 2016–2017)	50
Zavoloka P.A. Study on changes in morphometric parameters of gray seal (<i>Halichoerus grypus</i>) under parturition and milk-rearing of pups	67
Zakharova L.V. Development of a method for the extraction of polyphenols from <i>Fucus vesiculosus</i> of the of the north seas	73
Karnatov A.N. Vulnerability coefficients of marine mammals to oil on Kola Bay example	81
Klindukh M.P., Ryzhik I.V., Dobychina E.O. Composition and content of free amino acids of sublittoral red algae from Murmansk coast of the Barents Sea	92
Meshcheryakov N.I. Sedimentation in the Sturfjord straight (Svalbard) under climate change	102

Moskvin K.K.	Ecological distribution and expansion of the polychaete genus <i>Pholoe</i> in the southern region of the Barents Sea	110
Noskovich A.E.	On the diversity of settlements of the bivalve mollusk <i>Macoma calcarea</i> (Bivalvia, Tellinidae) off the coast of Novaya Zemlya	116
Pakhomov M.V.	Research on the ability of grey seals to differentiate light sources with different wavelengths	125
Chaus S.A.	Fish diversity of the Tazovskaya Bay during summer of 2019	132

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.001
УДК 636.02 + 623.98

А.Ф. Бердник

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ВОЗМОЖНОСТЬ ВЫРАБОТКИ СЛЕДОВОГО УСЛОВНОГО РЕФЛЕКСА НА ЗВУКОВОЙ РАЗДРАЖИТЕЛЬ У СЕРОГО ТЮЛЕНЯ

Аннотация

Представлены данные, полученные в ходе исследований возможности выработки у серых тюленей следового условного рефлекса. Отложенная реакция на звуковой раздражитель оказалась сформирована у испытуемого животного за 8 опытов. Наблюдалось постепенное увеличение количества верных нажатий в процессе проводимых тестирований. Показана перспективность дальнейшего применения использованной методики в изучении восприятия времени морскими млекопитающими.

Ключевые слова: серый тюлень, следовой условный рефлекс.

A.F. Berdnik

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

POSSIBILITY OF DEVELOPING A TRACE CONDITIONED REFLEX TO A SOUND STIMULUS IN A GRAY SEAL

Abstract

In this scientific work, we present the materials obtained during studies of the possibility of developing a trace conditioned reflex in gray seals. A delayed reaction to a sound stimulus was formed in the test animal after 8 experiments. Thanks to the technique we used, there was a gradual increase in the number of correct clicks in the process of testing, coupled with a longer development in comparison with reflexes that do not require attention retention. The study suggests the further effectiveness of its use.

Keywords: gray seal, trace conditioned reflex.

Введение. Восприятие животными времени обычно рассматривается как возникающее вследствие формирования биоритмов явление, ключевой навык при осуществлении миграций и принятии решений особями (O’Gorman, 1979). Существуют упоминания о способности некоторых морских млекопитающих реагировать на ритмичные звуки. Так следует указать исследования Калифорнийского университета, в ходе

которых морской лев был обучен совершать ритмичные движения в качестве отклика на звучащий ритмичный шум (Thompson et al., 1980).

Предполагается, что морские млекопитающие способны к более широкой оценке времени из-за их среды обитания (O’Gorman, 1979). В ходе миграции у морских млекопитающих возникает необходимость в соотношении собственных энергетических резервов со временем, проведенным в пути (Domjan, Burkhard, 1986). Возможно, восприятие временных промежутков используется для навигации в море (Grondin, 2001). Также существует “теория оптимального нырка”. Так как морские млекопитающие в большинстве своем являются ныряющими хищниками, им необходимо верно соотносить собственные резервы кислорода с длительностью нырка, расходом и получением энергии вследствие питания. В соответствии с этой теорией были выдвинуты предположения о том, что морские млекопитающие способны отмерять время посредством проплываемой дистанции (Leclerc, Reberg, 1980).

Способность организмов к приобретению рефлексов связана с выработкой ответной реакции в течение времени (California ..., 2013). Одной из важнейших особенностей организмов в таких процессах является время, за которое произойдут нейрофизиологические изменения. Данные процессы оказываются неотрывно связаны с внутренними “биологическими ритмами”, задающими темп всех временных процессов в организме (Schusterman, 1981; Grondin, 2001). Для выработки условной реакции на предъявляемые раздражители, помимо физиологического восприятия времени, необходимо понимать способности испытуемого объекта к восприятию временных промежутков. Так, привязка рефлексов ко времени реакции, может быть использована для выявления особенностей временного восприятия (Domjan, Burkhard, 1986). Именно поэтому для данных целей наиболее подходит следовой условный рефлекс, действующий с паузой между условным и безусловным раздражителем (Domjan, Burkhard, 1986). С помощью выявления способности испытуемого объекта к оценке данной паузы возможно установить на какую величину временного промежутка он способен реагировать.

Материал и методы. Эксперимент проводили в условиях аквакомплекса ММБИ (г. Полярный), расположенного на акватории Кольского залива. Подопытным животным была 13-летняя самка серого тюленя *Halichoerus grypus* Fabricius, 1791, которая ранее участвовала в экспериментах по выработке условных рефлексов на раздражители различных модальностей (Экспериментальное ..., 2003; Литвинов, Пахомов, 2018, 2019).

Для корректировки действий тюленя применялись два метода оперантного обусловливания: положительное подкрепление в виде пищевого поощрения без использования бридж-сигнала и отрицательное наказание в виде временного штрафа с сопутствующим бридж-сигналом в виде двух коротких свистков на частоте 6 кГц.

В качестве пищевого поощрения на всем протяжении эксперимента использовалось нарезанное кусочками по 20 г филе атлантической сельди. Опыты проводили два раза в сутки: в 11 ч и 18 ч. К опыту приступали при отсутствии сильного ветра (более 2 баллов) и волнения воды (более 2 баллов), активных работ на акватории и других источников сильных шумов.

Для проведения исследований была собрана экспериментальная установка (рис. 1), состоящая из педали (1), динамика (2), блока управления (3), пульта управления (4) и системы автоматической подачи пищевого поощрения (5).

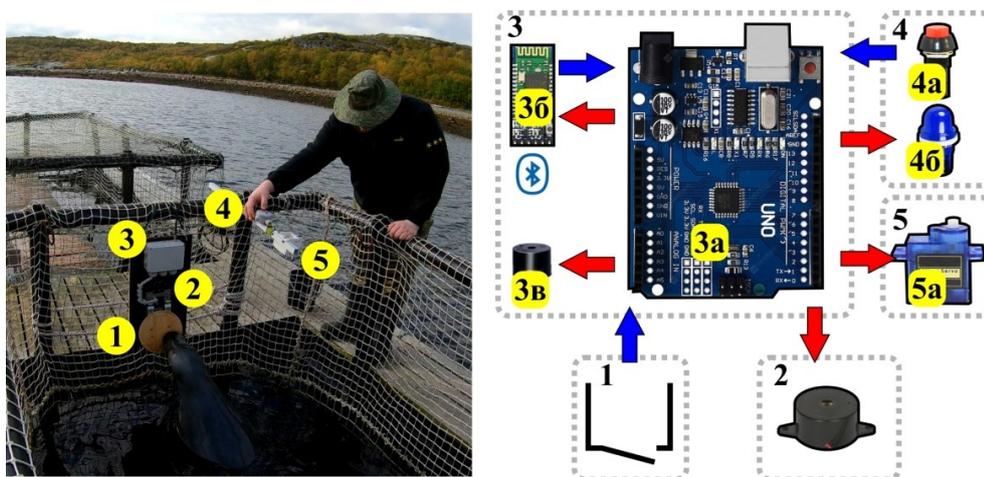


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. Пояснение в тексте
Fig. 1. Scheme of experimental installation

Экспериментальная установка позволяла генерировать и воспроизводить звук чистого тона на частоте 3200 Гц длительностью 5 с с уровнем звукового давления 70 дБ. Регистрация нажатия рычага, подача пищевого поощрения, протоколирование результатов и их первичная обработка с последующей передачей (на смартфон) по протоколу bluetooth (3б) происходили в автоматическом режиме.

Общая схема каждого опыта выглядела следующим образом. Оператор устанавливал в вольер рычаг (1) и систему подачи пищевого подкрепления, проводил тестирование системы, затем закладывал порцию рыбы в контейнер (5а) и нажимал кнопку запуска (4а). Система устанавливала задержку в 10–20 с и подавала звуковой сигнал в течение 5 с, затем 5 с ожидала реакцию тюленя. Если тюлень нажимал на рычаг после окончания сигнала, укладываясь в 5 с, то система выдавала порцию рыбы и ожидала начала следующего цикла. О необходимости закладки новой порции рыбы система сообщала оператору посредством светового индикатора (4б).

При нажатии на рычаг во время ожидания сигнала, следовал звуковой сигнал отрицательного наказания через пьезоэлектрический динамик (Зв) и система добавляла к времени ожидания штрафные 15 с. При нажатии на рычаг во время звукового сигнала, его воспроизведение прекращалось. Следовал звуковой сигнал отрицательного наказания, система переходила в режим ожидания на 15 с и по его окончании заново начинала воспроизведение звукового сигнала. Каждый опыт продолжался до тех пор, пока тюлень не выполнял 20 правильных действий. Оценивалось время реакции на прекращение действия звукового раздражителя и соотношение верных нажатий на рычаг (подкрепляемых действий) к общему числу нажатий за весь опыт, в том числе и ошибочных нажатий (наказуемых действий).

Результаты и обсуждение. В полученных результатах можно отметить постепенно формирующуюся тенденцию ответа с задержкой на предъявляемый раздражитель (рис. 2).

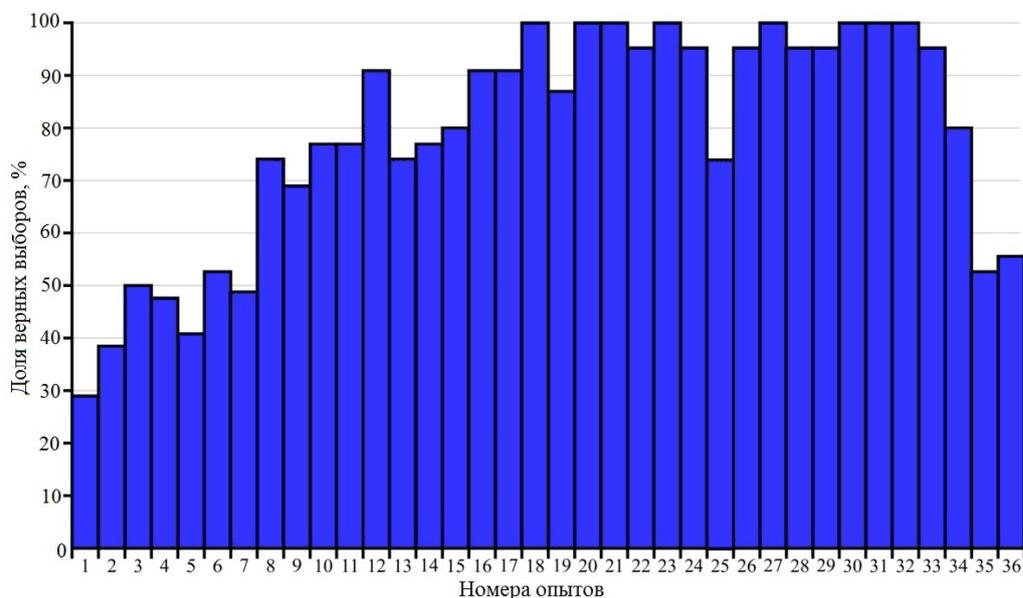


Рис. 2. Доля верных нажатий
Fig. 2. True click rate

Время реакции тюленя на окончание действия сигнала-стимула в конце обучения составило 3.54 ± 1.37 с, что в целом больше времени реакции серых тюленей на звуковой раздражитель (2.83–3.41 с), полученного при проведении исследований способности серых тюленей дифференцировать звуковые сигналы (Литвинов, Пахомов, 2019). При этом у исследуемого тюленя отмечались множественные ошибочные нажатия на рычаг при подаче звукового сигнала находящихся в диапазоне 1.83–3.25 с, другие неверные нажатия во время сигнала носили

случайный характер и распределялись по всей длительности сигнала. На восьмом опыте и далее доля неверных нажатий во время воспроизведения сигнала начала снижаться и находилась в диапазоне 1.83–3.25 с, что, вероятно, соответствует персональному времени реакции на раздражитель исследуемого тюленя.

Выводы. В ходе работы показана возможность выработки у серого тюленя следового условного рефлекса на звуковой раздражитель. Несмотря на большую протяженность выработки в сравнении с рефлексом, не требующими удержания внимания, используемая в исследовании методика дала возможность получить результат.

Дальнейшее использование данной методики позволит выработать сопряженные со временем и отложенной реакцией составные команды, а также исследовать восприятие и оценку морскими млекопитающими времени и пороговые значения воспринимаемых промежутков.

Литература

Литвинов Ю.В., Пахомов М.В. Исследование обоняния серых и гренландских тюленей с помощью метода оперантного обучения // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2018. Т. 21, № 2. С. 336–343.

Литвинов Ю.В., Пахомов М.В. Исследование способности серых тюленей дифференцировать сложносоставные звуковые сигналы // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2019. Т. 22, № 2. С. 249–257.

Экспериментальное изучение поведения тюленей при различении зрительных и слуховых стимулов / А.Л. Михайлюк, И.А. Березина, А.Р. Трошичев, Н.Н. Кавцевич // Современные проблемы физиологии и экологии морских животных. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 80–89.

California sea lion (Zalophus californianus) can keep the beat: motor entrainment to rhythmic auditory stimuli in a non vocal mimic / P. Cook, A. Rouse, M.A. Wilson, C.A. Reichmuth // J. Comparative Psychology. 2013. Vol. 127. P. 412–427.

Domjan M., Burkhard B. The principles of learning and behavior. 2nd ed. Monterey, CA: Brooks/Cole Publ. Co, 1986. 365 p.

Grondin S. From physical time to the first and second moments of psychological time // Psychological Bull. J. 2001. Vol. 127, № 1. P. 22–44.

Leclerc R., Reberg D. Sign-tracking in aversive conditioning // Learning and Motivation. 1980. Vol. 11. P. 302–317.

O'Gorman J.G. The orienting reflex: Novelty or significance detector? // Psychophysiology. 1979. Vol. 16. P. 253–262.

Thompson R.F., Hicks L.H., Shvyrkov V.B. Neural mechanisms of goal-directed behavior and learning. New York: Academic Press, 1980. P. 38–64.

Schusterman R.J. Behavioral capabilities of seals and sea lions – a review of their hearing, visual, learning and diving skills // The Psychological Record. 1981. Vol. 31. P. 125–143.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.002

УДК 597.5 + 268.45

О.В. Бондарев

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

РАЗМЕРНО-ВОЗРАСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛОДИ ТРЕСКИ *GADUS MORHUA* LINNAEUS, 1958 И САЙДЫ *POLLACHIUS VIRENS* (LINNAEUS, 1958) В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ИЮЛЕ 2018 г.

Аннотация

Представлены данные о длине молоди трески и сайды в прибрежье Баренцева моря в июле 2018 г. Установлено, что по сравнению с предшествующим периодом исследований интенсивность роста рыб увеличилась. В июле 2018 г. сеголетки трески и сайды из Кольского залива и губ Восточного Мурмана характеризуются положительным аллометрическим ростом. Старшие возрастные группы рыб из Кольского залива также имеют положительный аллометрический рост, а в губе Зеленецкая – отрицательный.

Ключевые слова: рост, треска, сайда, прибрежье, Баренцево море.

O.V. Bondarev

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

DIMENSIONAL AGE CHARACTERISTICS OF JUVENILES COD *GADUS MORHUA* LINNAEUS, 1958 AND *POLLACHIUS VIRENS* SITES (LINNAEUS, 1958) IN THE COASTAL ZONE OF THE BARENTS SEA IN JULY 2018

Abstract

Data on the length of juveniles Atlantic cod and pollock in the coast of the Barents Sea in July 2018 are presented. It was established that, compared with the previous period, the growth rate of fish increased. In July 2018, juveniles Atlantic cod and pollock from the Kola Bay and East Murman lips are characterized by positive allometric growth. Older age groups of fish from the Kola Bay also have positive allometric growth, and negative in Zelenetskaya Bay.

Keyword: growth, coastal, Atlantic cod, pollock, Barents Sea.

Введение. Прибрежная зона Баренцева моря играет важную роль в формировании рыбной части сообществ (Кудрявцева, 2019). Здесь происходит откорм молоди многих видов рыб, в частности трески *Gadus morhua* Linnaeus, 1958 и сайды *Pollachius virens* (Linnaeus, 1958). Известно, что в губах Восточного Мурмана сеголетки появляются в начале июня (Миронова, 1957) и находятся там до достижения 3-летнего возраста

(Миронова, 1956). Современное состояние ихтиофауны исследуемых районов изучено достаточно хорошо (Карамушко и др., 2009; Кудрявцева, 2015, 2018; Бондарев, 2018), однако информация о размерах младших возрастных групп представлена только для губ Восточного Мурмана (Миронова, 1957; Кудрявцева, Кудрявцева, 2017). В литературе также есть сведения по средней длине разновозрастной сайды в губе Кислая (Долгов, 2005). Для Кольского залива информация отсутствует.

Цель нашего исследования – сравнить средние показатели длины трески и сайды в разных районах побережья Баренцева моря.

Материал и методы. Сбор ихтиологического материала осуществлялся в Кольском заливе, губах Ярнышная и Зеленецкая летом 2018 г. (рис. 1). Облов проводили с помощью 15-метровой мальковой волокуши (высота – 1.8 м; ячей дели в крыльях – 6 мм, в горловине – 5 мм, в куту – 4 мм), ставных сетей (длина – 10 м, высота – 1.8 м, ячей – 30, 40 и 50 мм) и удочки. Площадь одного облова волокушей составляла около 750 м². Сети с разной ячейей устанавливали перпендикулярно берегу на глубину от 1.8 до 4 м в период максимального отлива на 24 ч.

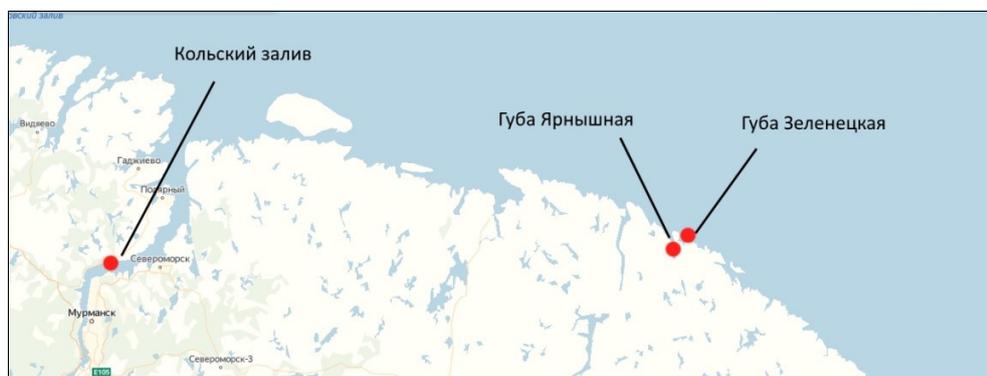


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб
Fig. 1. Map of sampling stations

Анализировали молодь рыб в возрасте от 0+ до 3+ лет. Возраст рыб определяли по отолитам (Чугунова, 1959), длину (*TL*) измеряли от начала рыла до конца хвостового плавника. Для выявления достоверности различий использовали критерий Стьюдента (при $\alpha = 0.05$).

Результаты и обсуждение. В июле 2018 г. длина сеголеток сайды в трех заливах отличалась (таблицы 1, 2). Наибольшая средняя длина рыб в Кольском заливе – 5.5 см, в губе Зеленецкая – 5.0 см, минимальная средняя длина особей в губе Ярнышная – 4.3 см.

Согласно литературным сведениям (Миронова, 1957), средний размер сеголеток сайды губ Восточного Мурмана в июле был меньше 4 см ($n = 1188$ экз.). Отличие в показателях средней длины у молоди, возможно, свидетельствует об увеличении темпов прироста сайды в июле 2020 г., что также отмечено в августе 2015 г. (Кудрявцева, Кудрявцева, 2017).

Таблица 1

**Размерно-возрастные показатели сайды
в прибрежье Баренцева моря в июле 2018 г.**

Table 1

Size and age indicators of pollock in the coast of the Barents Sea in July 2018

Возраст, лет	Кольский залив			Губа Зеленецкая			Губа Ярнышная		
	lim	M±m	n	lim	M±m	n	lim	M±m	n
0+	4.4–7.0	5.5±0.69	12	2.8–7.45	5.0±1.08	366	3.1–6.65	4.6±0.73	226
1+	9.5–17	13.0±3.59	14	18.3	18.3	1	–	–	–
2+	20.5–32	26.7±2.97	42	18.3–34	28.1±3.22	17	–	–	–
3+	22.3–34.5	27.8±4.22	22	–	–	–	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. n – объем выборки, экз.; lim – минимальное и максимальное значение длины, см; M±m – среднее±стандартное отклонение.

Таблица 2

t-критерий при сравнении длины сеголеток сайды в июле 2018 г.

Table 2

t-test when comparing the lengths of juveniles pollock in July 2018

Параметр	Кольский залив– губа Зеленецкая	Губа Зеленецкая– губа Ярнышная	Кольский залив– губа Ярнышная
Расчетный t-критерий	2.100	5.960	4.298
Табличное значение t-критерий	1.966	1.964	1.970
n, экз.	377	591	237

Средняя длина двухлеток сайды (1+) в Кольском заливе – 13 см (табл. 1). В губе Зеленецкая нами была выловлена лишь одна особь сайды в этом возрасте, ее длина – 18.3 см. Для губ Западного Мурмана длина рыб варьировала от 14 до 23 см (Долгов, 2005). По данным Н.В. Мироновой (1957), средняя длина в возрасте 1+ составляет 14.5 см, что соизмеримо с нашими данными.

Сравнение средних значений длины трехлеток сайды из Кольского залива (26.7 см) и губы Зеленецкая (28.1 см) не показало достоверных различий для этого показателя между районами (расчетный t-критерий – 1.54, табличный – 2.002; табл. 2). Для губы Кислая размеры трехлетней сайды изменялись в диапазоне 24–31 см (Долгов, 2005), в губах Восточного Мурмана в июле средние размеры сайды в возрасте 2+ составили 30.4 см (n = 62 экз.) (Миронова, 1957).

Средний размер сайды в возрасте 3+ в Кольском заливе составил 27.8 см, в других районах особи данного возраста не были отмечены. В более ранних исследованиях в губах Восточного Мурмана сайда старше 2+ также не встречалась (Миронова, 1957; Кудрявцева, 2019). По данным

С.В. Долгова (2005), в губе Кислая длина сайды 3+ изменялась от 32 до 40 см, что в целом соизмеримо с размерами рыб в Кольском заливе.

При сравнении средних значений длины сеголеток трески из трех районов прослеживается та же динамика, что и для сеголеток сайды (табл. 3). Максимальный размер трески в возрасте 0+ в Кольском заливе соответствует 8 см (среднее – 5.6 см). В губе Зеленецкая длина сеголеток варьировала от 3.8 до 6.3 см (среднее – 5.3 см), в губе Ярнышная – от 3.3 до 5.9 см (среднее – 4.3 см). Достоверность различий для сеголеток трески в разных районах представлена в табл. 4.

Т а б л и ц а 3

**Размерно-возрастные показатели трески
в прибрежье Баренцева моря в июле 2018 г.**

T a b l e 3

**Size and age indices of Atlantic cod in the coast
of the Barents Sea in July 2018**

Возраст, лет	Кольский залив			Губа Зеленецкая			Губа Ярнышная		
	lim	M±m	n	lim	M±m	n	lim	M±m	n
0+	4.2–8	5.6±0.81	27	3.8–6.3	4.9±0.6	29	3.3–5.9	4.2±0.58	131
1+	9.2–15.7	12.0±2.2	12	14.7–17	15.75±1.76	2	–	–	–
2+	16–31	22.3±4.48	15	22.3–30.8	25.3±2.98	7	–	–	–
3+	26–34	29.0±2.76	6	–	–	–	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. n – объем выборки, экз.; lim – минимальное и максимальное значение длины, см; M±m – среднее±стандартное отклонение.

Т а б л и ц а 4

t-критерий при сравнении длины сеголеток трески в июле 2018 г.

T a b l e 4

t-test when comparing the lengths of juveniles Atlantic cod in July 2018

Параметр	Кольский залив– губа Зеленецкая	Губа Зеленецкая– губа Ярнышная	Кольский залив– губа Ярнышная
Расчетный t-критерий	3.653	5.111	8.087
Табличное значение t-критерий	2.004	1.976	1.976
n, экз.	55	159	157

Длина двух- и трехлеток трески в губе Зеленецкая незначительно больше, чем в Кольском заливе (табл. 3), но достоверных отличий получить не удалось из-за малого объема выборки. Треска в возрасте 3+, выловленная в Кольском заливе имела среднюю длину 29 см, что значительно меньше, чем наблюдавшаяся в открытых районах Баренцева моря – 37.9 см (Котенев и др., 2009). У берегов Норвегии средняя длина трески в июле 2018 г. возрасте 1+ составила 19.4 см, в возрасте 2+ – 35.4 см (ICES ..., 2019), что значительно больше, чем у трески в обследованных нами районах.

Уравнения связи длины и массы для сеголеток трески ($y = 0.0017x^{3.73}$) и сайды ($y = 0.0023x^{3.61}$) из Кольского залива указывают на положительный аллометрический рост рыб в июле 2018 г. В губах Восточного Мурмана сеголетки также характеризуются положительным аллометрическим ростом, но показатель степени в уравнениях несколько ниже и изменяется от 3.09 до 3.24 (среднее – 3.16).

Уравнения зависимости массы от длины для трески в возрасте от 1+ до 3+ из Кольского залива имеет вид $y = 0.0068x^{3.06}$ ($r = 0.98$), а для сайды – $y = 0.0042x^{3.21}$ ($r = 0.99$), что также указывает на положительный аллометрический рост. Для трески ($y = 0.0278x^{2.6}$, $r = 0.95$) и сайды ($y = 0.0231x^{2.75}$, $r = 0.98$) из губы Зеленецкая в возрасте 1+ и 2+ отмечен отрицательный аллометрический рост.

Заключение. По данным исследований в 2018 г. установлены достоверные различия длины сеголеток трески и сайды во всех обследованных районах. Максимальные размеры рыб в возрасте 0+ наблюдались в Кольском заливе, а минимальные – в губе Ярнышная. Достоверные различия длины рыб в возрасте от 1+ до 3+ лет в разных районах не обнаружены.

Сеголетки трески и сайды из всех районов исследований, а также особи старших возрастных групп из Кольского залива характеризовались положительным аллометрическим ростом, а двух- и трехлетки из губы Зеленецкая – отрицательным.

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам ММБИ РАН Е.В. Смирновой, С.А. Чаусу, А.А. Фролову, О.Ю. Кудрявцевой за помощь при сборе материала.

Литература

Бондарев О.В. Ихтиофауна литоральной и верхней сублиторальной зоны Кольского залива в апреле 2010 года // Исследование арктических экосистем: Матер. XXXVI конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной 40-летию научно-исследовательского судна “Дальние Зеленцы”. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2018. С. 22–28.

Долгов С.В. Питание неполовозрелой сайды (*Pollachius virens* L.) в губах Западного Мурмана // Тр. ВНИРО. 2005. Т. 144. С. 222–235.

Карамушко О.В., Берестовский Е.Г., Карамушко Л.И. Ихтиофауна залива // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 249–264.

Котенев Б.Н., Кузнецова Е.Н., Бондаренко М.В. Исследование возрастного состава и роста трески *Morhua morhua* Баренцева моря в связи с оценкой состояния ее запасов // Вопросы ихтиологии. 2009. Т. 49, № 1. С. 52–60.

Кудрявцева Е.О., Кудрявцева О.Ю. Особенности питания сеголеток трески *Gadus morhua* и сайды *Pollachius virens* (Gadidae) в губах Восточного Мурмана в летний период 2015 г. // Флора и фауна урбанизированных территорий

в высоких широтах: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Мурманск: Изд. МАГУ, 2017. С. 51–59.

Кудрявцева О.Ю. Структура прибрежных сообществ молоди рыб в губах Дальнезеленецкая и Ярнышная Баренцева моря // Арктическое морское природопользование в XXI веке – современный баланс научных традиций и инноваций (к 80-летию ММБИ КНЦ РАН): Тез. докл. Междунар. науч. конф. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2015. С. 119–121.

Кудрявцева О.Ю. Структура прибрежных сообществ рыб в губах Ярнышная и Зеленецкая (Восточный Мурман) // Вопросы ихтиологии. 2018. Т. 58, № 4. С. 428–474.

Кудрявцева О.Ю. Характеристика прибрежных сообществ рыб в губах Восточного Мурмана в летне-осенний период 2018 года // Тр. КНЦ РАН. 2019. Т. 3(10). Сер. Океанология. Вып. 6. С. 22–35.

Миронова Н.В. Биология и промысел сайды // Тр. Мурман. биол. ст. АН СССР. 1957. Т. 3. С. 114–129.

Миронова Н.В. Питание и рост молоди тресковых рыб в прибрежной зоне Восточного Мурмана. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 100 с.

Чугунова Н.И. Руководство по изучению возраста и роста рыб: методическое пособие по ихтиологии. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 164 с.

ICES. Scientific reports rapports scientifiques du ciem. 2019. Vol. 1, iss. 30. 930 p.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.003
УДК 556.06 (282.256.1)

А.С. Булавина

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

РЕКОНСТРУКЦИЯ СТОКА РЕКИ ОБЬ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Аннотация

Рассмотрена связь изменчивости стока реки Обь с метеорологическими параметрами в различных частях ее водосборного бассейна. Выявлены области преобладающего влияния температуры воздуха и различных видов осадков на колебания расходов воды в нижнем течении реки. Реконструирован многолетний ряд средних годовых расходов воды в створе гидрологического поста “Салехард” за 1936–2015 гг. Реконструированный ряд хорошо воспроизводит межгодовые колебания и многолетние тенденции измеренных средних годовых расходов воды.

Ключевые слова: речной сток, река Обь, реконструкция стока.

A.S. Bulavina

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

RECONSTRUCTION OF THE OB RIVER RUNOFF USING METEOROLOGICAL DATA

Abstract

The connection of the Ob river flow variability with meteorological parameters in different parts of its catchment area is considered. Areas of the prevailing influence of the air temperature and different types of precipitation on Ob runoff fluctuations were identified. The long-term series of average annual water discharge in the Salekhard hydrometric station for the period 1936–2015 is reconstructed. The reconstructed series reproduces the measured interannual fluctuations and long-term trends of the average annual water discharge and found it to be good.

Keywords: river runoff, Ob river, runoff reconstruction.

Введение. Оценка изменений речного стока под влиянием климата является одной из актуальных задач современной гидрологии. Все больший интерес вызывают прогнозные оценки изменений речного стока при различных тенденциях изменения климата, так как они важны при долгосрочном планировании устойчивого развития экономики. В первую очередь требуют оценки изменения объемов стока крупнейших рек мира, так как изменения их водного режима могут иметь наиболее серьезные природные и экономические последствия.

Речная система Оби – одна из крупнейших в России и мире. Обь и ее притоки протекают по территориям шести субъектов Российской Федерации, а верховья Иртыша находятся в Китае и Казахстане. Река имеет большое водохозяйственное значение, а также является крупнейшей водной транспортной артерией Западной Сибири. Она обеспечивает более 30 % поступающей в Карское море пресной воды. Колебания стока Оби могут оказать существенное влияние на гидрологический режим моря, а по некоторым оценкам и на циркуляцию во всем Арктическом бассейне (Broecker, 1997; Кулаков, 2012).

С середины 1970-х гг. на азиатской территории России отмечено повышение температуры воздуха в среднем на 0.36 °C/10 лет (Влияние ..., 2011). Установлено, что количество осадков на водосборе Оби в XX веке имело слабую тенденцию к увеличению (Berezovskaya et al., 2004), хотя статистическая значимость тренда не подтверждается, но долгосрочные изменения количества осадков на водосборе Оби имеют направленный характер. Несколько возросшее количество осадков может быть нивелировано увеличенными затратами влаги на испарение. Сток Оби в XX веке не имел тенденции к увеличению. Отмечено перераспределение стока внутри года при

относительном постоянстве среднегодовых расходов воды (Агафонов, 2010). Однако при сохранении наметившихся тенденций изменения климата они могут отразиться и на среднем годовом стоке реки.

Прежде чем переходить к прогнозным оценкам и моделированию речного стока на основании изменяющихся характеристик климата, необходимо решить задачу реконструкции стока в доступный период наблюдений. По степени соответствия реконструированных данных таковым натурных наблюдений можно делать выводы о целесообразности применения метода реконструкции для прогнозных оценок.

Цель исследования – рассмотреть возможности реконструкции стока р. Обь по данным метеорологических наблюдений. В качестве входных данных были выбраны сведения о количестве осадков и температуре, так как они регулярны и обладают высокой доступностью.

Материал и методы. Водосбор реки имеет значительную протяженность с севера на юг и большую площадь, однако более 80 % стока Оби формируется выше места ее слияния с Иртышом. В нижнем течении Обь питается небольшими притоками. Наиболее крупным притоком в нижнем течении Оби является р. Северная Сосьва со средним годовым стоком около 23 км³, что составляет менее 5 % от стока реки. Исходя из этого, в работе принято, что закономерности колебаний стока нижней Оби определяются в первую очередь взаимодействием и наложением колебаний климатических характеристик на водосборах крупных притоков реки, расположенных выше слияния Оби и Иртыша.

Водосборный бассейн Оби является одним из крупнейших в мире, что обуславливает разнообразие условий формирования стока. Изменения характеристик климата в различных частях водосбора могут иметь разнонаправленный характер. Это затрудняет выявление значимых трендов осадков и температур, а также корреляций между объемом речного стока и этими параметрами для водосбора в целом. Для оценки характеристик климата внутри рассматриваемого водосбора были выделены четыре подбассейна: Иртыш (за исключением водосборных бассейнов Тобола и Ишима), Тобол, Ишим, водосбор верхней и средней Оби. Для анализа характеристик климата были использованы данные метеорологических наблюдений на метеостанциях, расположенных на территориях подбассейнов. Характеристики водосборных подбассейнов и их обеспеченность метеостанциями показаны в табл. 1.

Из электронной базы Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (г. Обнинск, Россия) (<http://meteo.ru>) были отобраны данные о средних месячных суммах жидких и твердых осадков и ежемесячные данные о температуре воздуха на метеостанциях за доступный период наблюдений (с 1936 по 2015 гг.).

Т а б л и ц а 1

Обеспеченность водосборных подбассейнов Оби метеостанциями

T a b l e 1

Provision of catchment sub-basins of the Ob river with weather stations

Подбассейн	Площадь, тыс. км ²	Количество метеостанций
Иртыш	1646	11
Тобол	426	8
Ишим	177	6
Верхняя и средняя Обь	1047	12

Для вычисления средних характеристик температуры и осадков на территориях подбассейнов данные наблюдений на метеорологических станциях интерполировались методом естественной окрестности (полигонов Тиссена). По результатам исследования М.Ю. Крюковой и Т.Е. Симакиной (2018), при интерполяции метеорологических данных этот метод показывает лучшие результаты по сравнению с другими методами.

Данные гидрологического поста “Салехард” (1936–2015 гг.) о средних годовых и месячных расходах воды (1936–1999 гг.) получены из открытой электронной базы данных “A regional, electronic, hydrographic data network for the Arctic region” (<http://www.r-arcticnet.sr.unh.edu>).

Следует отметить, что ряды стока Оби нельзя считать абсолютно однородными, поскольку в бассейне реки в течение рассматриваемого периода были построены ГЭС, что может повлиять на результаты в сторону ослабления связи стока с климатическими параметрами. Однако, как было показано Д.В. Магрицким (Magritskii, 2008), регулирование стока в верхнем течении Оби и Иртыша не вызвало существенных изменений стока нижней Оби.

Исследование включало ряд последовательных этапов. На первом этапе были проанализированы особенности формирования стока реки и определены основные факторы его формирования – предикторы расходов воды. На втором этапе был выполнен анализ корреляционных связей между предикторами и расходами воды в нижнем течении Оби и определены наиболее значимые из них. На третьем этапе были составлены различные варианты регрессионных зависимостей между значимыми предикторами и расходами воды в створе гидрологического поста “Салехард”. Выбрана функция регрессии, описывающая характер связи между параметрами наилучшим образом.

Результаты и обсуждение. Основным источником питания для Оби являются атмосферные осадки. Более 50 % питания реки приходится на снег, 20–25 % на дождевое и грунтовое питание (Алешина, Гефке, 2019). Формирование стока в теплое (с мая по октябрь) и холодное (с ноября по апрель) полугодия определяются различными факторами. У рек с преобладанием снегового питания, сток теплого полугодия формируется

главным образом за счет воды, накопленной в снеге в холодный период года, и осадков, выпадающих в жидком виде в теплое полугодие. Сток холодного полугодия формируется преимущественно за счет грунтовых вод, жидких осадков в холодное полугодие и частичного таяния снега во время зимних оттепелей. Насыщенность грунтов влагой и, соответственно, объем грунтового питания обычно связаны с водностью предшествующего года (Комлев, 2002).

Исходя из этого, было выдвинуто предположение, что предикторами расходов воды в теплое полугодие является количество твердых осадков в холодное полугодие, количество всех осадков в теплое полугодие, температура воздуха средняя годовая или температура в теплое и холодное полугодие. Предикторами расходов воды в холодное полугодие, вероятно, является количество жидких осадков в холодное полугодие, среднее годовое количество осадков предшествующего года, температура воздуха в холодное полугодие.

Для всех подбассейнов были рассчитаны средние температуры воздуха и суммы жидких и твердых осадков: годовые (за гидрологический год – с ноября по октябрь), теплое и холодное полугодий. Был проведен расчет коэффициентов линейной корреляции многолетних колебаний расходов воды в створе гидрологического поста “Салехард” с их предполагаемыми предикторами.

Значимой корреляции расходов воды в теплое полугодие в створе гидрологического поста “Салехард” со средними годовыми температурами воздуха и температурами воздуха в холодное полугодие не было обнаружено. Несмотря на то, что с середины 1970-х гг. увеличение температуры происходило наиболее интенсивно в холодное полугодие (Влияние ..., 2011), его влияние на объем стока за теплое полугодие не столь значительно. Вероятно, это связано с тем, что эвапотранспирация наиболее интенсивно происходит в теплый период года, поэтому наибольшее влияние на речной сток теплое полугодие оказывает температура воздуха над водосбором непосредственно в этот период. Отмечена статистически значимая корреляция между температурами воздуха в теплое полугодие в бассейнах рек Иртыш, Тобол, Ишим и расходами воды гидрологического поста “Салехард” (табл. 2). Теснота связи между температурой воздуха в подбассейнах и расходами воды может зависеть от площади подбассейна, ведь объем испаренной влаги зависит от площади. Тогда наибольшую связь следовало бы ожидать для водосборов Иртыша и верхней и средней Оби, имеющих большие площади. Однако, самую низкую корреляцию температуры воздуха с расходами воды в нижнем течении Оби имеет бассейн верхней и средней Оби, что не соответствует распределению площадей между бассейнами. Причиной этому могут быть разнонаправленные колебания температур в различных частях больших по площади водосборов.

Корреляция между средними расходами воды в створе гидрологического поста “Салехард” в теплое полугодие и метеорологическими параметрами (1936–1999 гг.)

Table 2

Correlation between average water discharge at the Salekhard hydrometric station during the warm half-year and the meteorological parameters (1936–1999)

Параметр	Бассейн р. Иртыш	Бассейн р. Ишим	Бассейн р. Тобол	Бассейн верхней и средней Оби
Количество осадков в теплое полугодие	0.40*	0.44*	0.45*	0.35*
Количество твердых осадков в холодное полугодие	0.17	0.38*	0.48*	0.49*
Средняя температура воздуха в теплое полугодие	-0.32*	-0.29*	-0.31*	-0.22

*Значимые коэффициенты ($p < 0.05$).

Полученные коэффициенты корреляции указывают на то, что, несмотря на большую площадь и значительное количество твердых осадков в зимний период, бассейн Иртыша не является областью влияния снежного покрова на сток нижней Оби. Наиболее тесная связь стока нижней Оби существует с твердыми осадками холодного полугодия в бассейне р. Тобол и в бассейне верхней и средней Оби. Согласно исследованию В.В. Поповой с соавторами (2010), именно на территориях этих бассейнов находятся две основные области влияния снегозапасов. Одна из них расположена на восточном склоне Среднего Урала в водосборе р. Тобол, другая на востоке примыкает к водоразделу между Обью и Енисеем.

Коэффициенты корреляции между расходами воды в створе гидрологического поста “Салехард” в холодное полугодие и отобранными метеорологическими параметрами показывают, что сток в холодное полугодие в большей степени зависит от количества осадков в предшествующем году и от температуры воздуха в текущее холодное полугодие (табл. 3).

Расходы воды в холодное полугодие показывают слабую прямую корреляцию со средними температурами в этот период. Это связано с тем, что количество и продолжительность зимних оттепелей отражаются на средней температуре, а также они способствуют частичному таянию снега в зимний период.

Т а б л и ц а 3

Корреляция между средними расходами воды в створе гидрологического поста “Салехард” в холодное полугодие и метеорологическими параметрами (1936–1999 гг.)

T a b l e 3

Correlation between average water discharge at the Salekhard hydrometric station during the cold half-year and the meteorological parameters (1936–1999)

Параметр	Бассейн р. Иртыш	Бассейн р. Ишим	Бассейн р. Тобол	Бассейн верхней и средней Оби
Количество жидких осадков в холодное полугодие	0.17	0.07	–0.08	0.30*
Количество осадков в предшествующем году	0.44*	0.34*	0.42*	0.34*
Средняя температура воздуха в холодное полугодие	0.27*	0.29*	0.27*	0.21

*Значимые коэффициенты ($p < 0.05$).

Сток теплого полугодия в большей степени определяется атмосферными факторами, в то время как в холодный период года их значение существенно снижается. Формирование меженного стока во многом определяется характеристиками водосбора (Комлев, 2002). Показанные выше оценки корреляций подтверждают, что это правомерно и для Оби.

Параметры, имеющие наиболее тесную корреляционную связь с расходами воды гидрологического поста “Салехард”, были использованы для расчета индивидуальных и множественных регрессионных зависимостей. Сток за теплое полугодие, более коррелированный с метеорологическими параметрами, показал лучшие результаты при построении регрессионных зависимостей с климатическими характеристиками, чем сток за холодное полугодие. Отбор наиболее значимых объясняющих переменных в регрессионных моделях расходов воды теплого и холодного полугодий осуществлялся методом пошагового добавления переменных. Для холодного полугодия оптимальной оказалась модель с двумя переменными, для теплого полугодия – с пятью переменными.

В холодное полугодие полученная регрессионная зависимость позволяет объяснить колебаниями осадков и температур лишь 24 % изменчивости расходов воды р. Обь. Из них 19 % изменчивости расходов воды в холодное полугодие может быть объяснено количеством осадков в предшествующем гидрологическом году и 5 % – колебаниями температуры воздуха текущего холодного полугодия. Несмотря на то, что регрессионная

модель значима по F-критерию и значимость полученных коэффициентов уравнения регрессии подтверждается по t-критерию, описательная сила модели недостаточна для реконструкции расходов воды.

Регрессионная зависимость расходов воды р. Обь в теплое полугодие от метеорологических параметров объясняет изменчивость расходов воды на 63 %. Наибольший вклад (41 %) в изменчивость расходов воды нижней Оби в теплое полугодие вносит количество твердых осадков в холодное полугодие на водосборе верхней и средней Оби и в бассейне р. Тобол. На рисунке 1 показано как кривая рассчитанных по уравнению регрессии расходов воды соотносится с кривой измеренных расходов в расчетный период (1936–1999 гг.). Рассчитанная кривая хорошо воспроизводит межгодовые колебания и многолетние тенденции измеренных средних расходов воды в теплое полугодие в створе гидрологического поста “Салехард”.

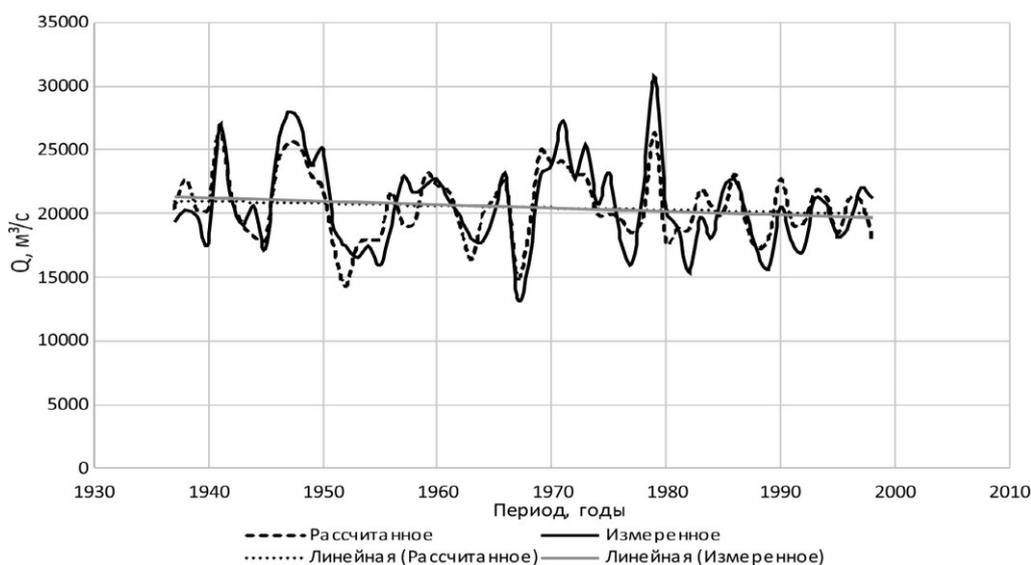


Рис. 1. Средние расходы воды в створе гидрологического поста “Салехард” в теплое полугодие по данным натурных измерений и рассчитанные на основе множественной регрессии

Fig. 1. Average water discharge at the Salekhard hydrometric station during the warm half-year according to real measurements and calculated on the basis of multiple regression

Ряд наблюдений за средними годовыми расходами воды в створе гидрологического поста “Салехард” длиннее, чем ряд наблюдений месячного разрешения. Значения средних расходов воды в теплое полугодие с 2000 по 2015 гг. были восстановлены при использовании полученного уравнения регрессии.

Чтобы перейти от средних расходов воды в теплое полугодие к средним годовым, был изучен характер связи между ними. Несмотря на то, что годовой сток Оби на 80 % и более формируется из стока за теплое полугодие, значимой корреляции и линейной зависимости между ними не наблюдается. Однако многолетний ход разностной интегральной кривой (РИК) годового стока Оби очень точно повторяет ход РИК стока за теплое полугодие (рис. 2). Коэффициент корреляции между ними с 1936 по 1999 гг. составил 0.9.

Была предпринята попытка восстановить годовую РИК, используя РИК рассчитанных по уравнению регрессии средних расходов воды теплового полугодия, а от нее перейти к средним годовым расходам воды. Для расчета были использованы коэффициент вариации и норма годовых расходов воды с 1936 по 1999 гг. Эти величины показывают стабильность при большом количестве лет наблюдений. Таким образом был осуществлен переход от средних расходов воды в теплое полугодие к средним годовым расходам воды. Реконструированные и измеренные средние годовые расходы воды в створе гидрологического поста “Салехард” показаны на рис. 2.

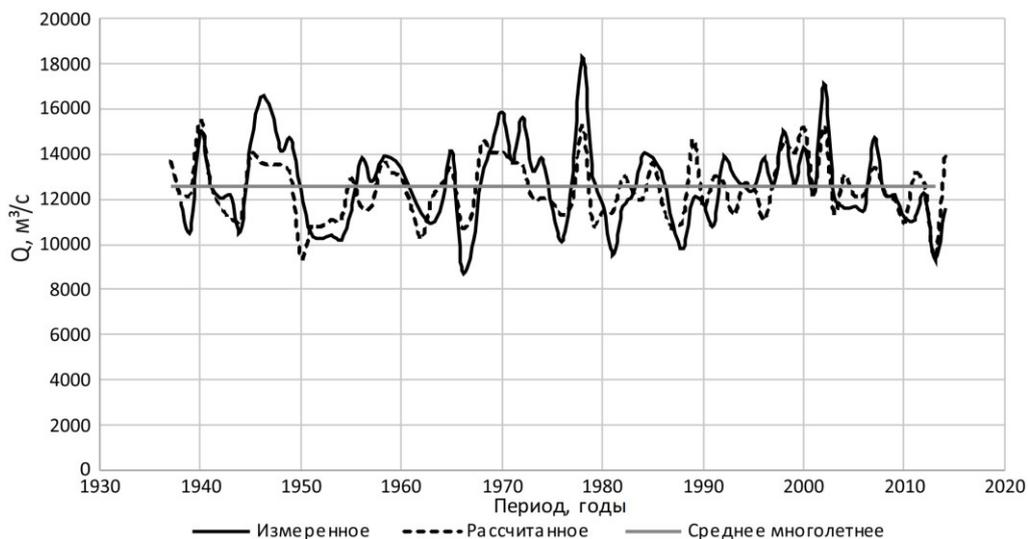


Рис. 2. Средние годовые расходы воды в створе гидрологического поста “Салехард”

Fig. 2. Average annual water discharge at the Salekhard hydrometric station

Полученный многолетний ряд колебаний средних годовых расходов воды повторяет ход ряда натуральных наблюдений с точностью 56 %. Однако, заметны значительные ошибки в годы, когда измеренные значения средних годовых расходов воды сильно отличались от среднего многолетнего. Причины этого могут быть как в преобладающем влиянии в эти годы неклиматических факторов, так и в особенностях самой регрессионной модели.

Выводы. Рассмотрены возможности реконструкции стока р. Обь по данным о количестве осадков и температуре воздуха в пределах водосборного бассейна. Поиск значимых корреляций между расходами воды и метеорологическими параметрами позволил определить ведущие факторы формирования стока. Дробный анализ водосбора позволил определить локальные зоны влияния отдельных метеорологических параметров.

Расходы воды р. Обь в холодное полугодие определяются в первую очередь количеством осадков, выпавших на водосбор в предшествующем году. На сток теплого полугодия наибольшее влияние оказывает количество твердых осадков в холодное полугодие и осадки в теплое полугодие. Нами определены локальные зоны влияния твердых осадков на сток нижней Оби в теплое полугодие. Наиболее значимо количество твердых осадков, выпадающих в бассейнах Тобола и верхней и средней Оби.

Сток Оби в теплое полугодие имеет более тесную связь с характеристиками климата, чем сток холодного полугодия. Полученная модель регрессии расходов воды в холодное полугодие обладает малой описательной способностью и не может быть использована для реконструкции стока. Регрессионная модель средних расходов воды в теплое полугодие объясняет их изменчивость колебаниями температур и количества осадков на 63 % и хорошо воспроизводит межгодовые колебания и многолетние тенденции измеренных средних расходов воды в теплое полугодие в створе г/п “Салехард”.

Предложен и применен метод восстановления годовых расходов воды по РИК стока за теплое полугодие. Переход от полугодовых расходов воды к средним годовым снизил точность реконструкции на 7 %.

Работа выполнена по теме 9-18-02 (133; 137) “Воздействие климатических факторов, химического и радиационного загрязнения на морские экосистемы Арктики в условиях комплексного природопользования” (№ госрегистрации АААА-А18-118030690062-0) в рамках государственного задания № 0228-2019-0029.

Литература

Агафонов Л.И. Сток Оби и его изменения в XX столетии // Изв. РАН. Сер. географ. 2010. № 4. С. 68–76.

Алёшина Н.И., Гефке И.В. Особенности гидрологического режима верхней Оби для возможности водохозяйственного использования // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. Т. 11-2, № 38. С. 57–60. Doi: 10.24411/2500-1000-2019-11751.

Влияние атмосферной циркуляции на температурный режим Сибири / В.П. Горбатенко, И.И. Ипполитов, М.В. Кабанов, С.В. Логинов, Н.В. Поднебесных, Е.В. Харюткина // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24, № 1. С. 15–21.

Комлев А.М. Закономерности формирования и методы расчета речного стока. Пермь: Изд-во Пермского гос. ун-та, 2002. 163 с.

Крюкова М.Ю., Симакина Т.Е. Оценка методов пространственной интерполяции метеорологических данных // Общество. Среда. Развитие. 2018. № 1. С. 144–151.

Кулаков М.Ю. О новом подходе к моделированию циркуляции вод арктических морей // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. Т. 2, № 92. С. 55–62.

Попова В.В., Шмакин А.Б., Симонов Ю.А. Изменения снеготазов и жидких осадков и их роль в колебаниях стока крупнейших рек бассейна Северного Ледовитого океана при современном потеплении // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2010. Т. 23. С. 109–127.

Berezovskaya S., Yang D., Kane D. Compatibility analysis of precipitation and runoff over the large Siberian watersheds // Geophysical Research Letters. 2004. Vol. 31, № L21502. С. 1–4. Doi: 10.1029/2004GL021277.

Broecker W.S. Thermohaline circulation, the Achilles heel of our climate system: will man-made CO₂ upset the current balance // Science. 1997. Vol. 278. P. 1582–1588.

Magritskii D.V. Anthropogenic impact on the runoff of Russian rivers emptying into the Arctic Ocean // Water Resources. 2008. Vol. 35, № 1. С. 1–14. Doi: 10.1007/s11268-008-1001-2.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.004

УДК 574.5, 579.26, 579.68 (268.45)

А.В. Ващенко, Т.М. Максимовская

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАКТЕРИОПЛАНКТОНА КОЛЬСКОГО И МОТОВСКОГО ЗАЛИВОВ В ОКТЯБРЕ 2017 г.

Аннотация

Представлены результаты исследований бактериопланктона в осенний период в прибрежье Баренцева моря на примере Кольского и Мотовского заливов. Описаны гидробиологические условия среды. Приведены новые данные по численности, биомассе, размерному составу и морфологии бактериальных клеток. Определен трофический статус заливов.

Ключевые слова: бактериопланктон, хлорофилл, Кольский залив, Мотовский залив.

A.V. Vashchenko, T.M. Maksimovskaya

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

BACTERIOPLANKTON'S STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE KOLA AND MOTOVSKIY BAYS IN OCTOBER 2017

Abstract

The work contains the results of autumn bacterioplankton studies in the coast of the Barents Sea on the example of the Kola and Motovskiy bays. Hydrobiological conditions are described. New data on the abundance, biomass, and size and morphological composition of bacterial cells are presented. The distribution of quantitative parameters in the water column was studied. The trophic status of the water areas of the bays was determined.

Keywords: bacterioplankton, chlorophyll, Kola Bay, Motovskiy Bay.

Введение. В пелагиали прибрежных акваторий арктических морей происходят активные процессы синтеза органического вещества и его деструкции. В зависимости от сезона и стадии развития планктонного сообщества состояние вод Мурманского побережья может изменяться от олиго- до гипертрофного (Бардан и др., 1990). По количественным и продукционным показателям бактериопланктона они охарактеризованы как мезотрофные, приближающиеся к нижней границе эвтрофных вод (Мишустина и др., 1997).

В оценке текущего трофического статуса водоема информация о количественных показателях бактериоценозов крайне необходима. С учетом их вклада в общую деструкцию планктонных сообществ побережья (около 70 %; Мишустина и др., 1997) и отсутствием опубликованных данных за последнее десятилетие актуальность таких исследований очевидна.

Цель нашей работы – изучение распределения структурных характеристик бактериальных сообществ и определение трофического статуса прибрежных вод на примере Кольского и Мотовского заливов в осенний период 2017 г.

Кольский залив Баренцева моря является фьордом и относится к эстуарным экосистемам Мурманского побережья (Берега ..., 1991). В границах залива принято выделять три участка: северное, среднее и южное колено. В качестве границы северного колена со стороны открытого моря обычно рассматривают линию, соединяющую северную оконечность о. Торос и мыс Летинский. Северное и среднее колено разделяется линией от мыса Лас до мыса Чирковый. Граница между средним и южным коленом идет от мыса Мишуков до мыса Пинагорий. В южном колене максимальная глубина не превышает 40 м, в среднем – 170–180 м, в северном – наблюдается смена мелководных и глубоководных участков от 30 до 317 м (Кольский ..., 1997).

Водная масса залива, за исключением ее относительно небольшого объема в южном колене, сформирована солеными водами атлантического

происхождения. Гидрологический режим залива определяется приливными и стоковыми течениями, наиболее сильными в южном колене и менее выраженными в среднем и северном (Кольский ..., 1997).

Минимальная температура воды в южном (0.5 °C) и северном (1 °C) колене залива отмечена в марте. Максимальные значения приходились на июль: 11 °C – южное колено, 10 °C – северное колено (Кольский ..., 2009).

Со стороны впадающих в залив рек находится зона солоноватых (0–25 ‰) вод. Далее степень опреснения уменьшается и располагается зона распресненных (25–30 ‰) вод. У морской границы залива соленость в поверхности составляет 30–33.5 ‰. По мере увеличения глубины степень опреснения быстро убывает и может достигать 33.0–34.5 ‰. В вершинной части залива, где глубина не превышает 10 м (первые 8 км от устьев Туломы и Колы), возможна любая степень опреснения от поверхности до дна в зависимости от сочетания стока и приливных явлений (Кольский ..., 2009).

На северо-западе от Кольского залива расположен Мотовский залив. У входа в его акваторию глубины составляют более 280 м, к средней части они уменьшаются до 200 м, ближе к кутовой части – до 100–200 м (Люция ..., 2006). Гидрологический режим залива так же формируется под влиянием приливоотливных течений и берегового стока (Радионуклиды ..., 1997). В Мотовский залив заходит постоянное течение (одна из ветвей Нордкапского) вдоль северного берега с запада и выходит вдоль его южного побережья с востока (Кленова, 1938).

По сравнению с Кольским заливом гидрология Мотовского практически не изучена. Известно, что в третьей декаде мая 1996 г. диапазон изменения температуры и солености в его акватории составлял 1.7–3.15 °C и 33.85–34.1 ‰ (Намятов, 1998), в конце зимы–начале весны (1928–1929 гг.), соответственно, 0.1–2.3 °C и 34.37–34.62 ‰ (Ретовский, Тарасов, 1932).

Материал и методы. Сбор материала выполнен на 7 станциях в Кольском заливе и 3 станциях в Мотовском заливе 28–31.10.2017 г. (НИС “Дальние Зеленцы”). Пробы отбирали на стандартных горизонтах (0, 10, 25, 50, 100 м, дно) с помощью батометра Нискина. Расположение станций в заливах представлено на рис. 1.

Численность бактериопланктона определяли методом прямого счета с использованием ядерных фильтров, диаметр пор которых составлял 0.2 мкм. Через фильтры, предварительно окрашенные суданом черным, осуществляли фильтрацию морской воды с добавлением красителя DAPI (Porter, Freig, 1980). Подготовленные препараты просматривали под эпифлуоресцентным микроскопом Olympus VX51 при ув. 1000. Измеряли длину, ширину клеток, рассчитывали их объем (по: Байтаз, Байтаз, 1995) и биомассу бактериопланктона. Для анализа линейных размеров клеток и их численности использовали программное обеспечение CellSensStandart.

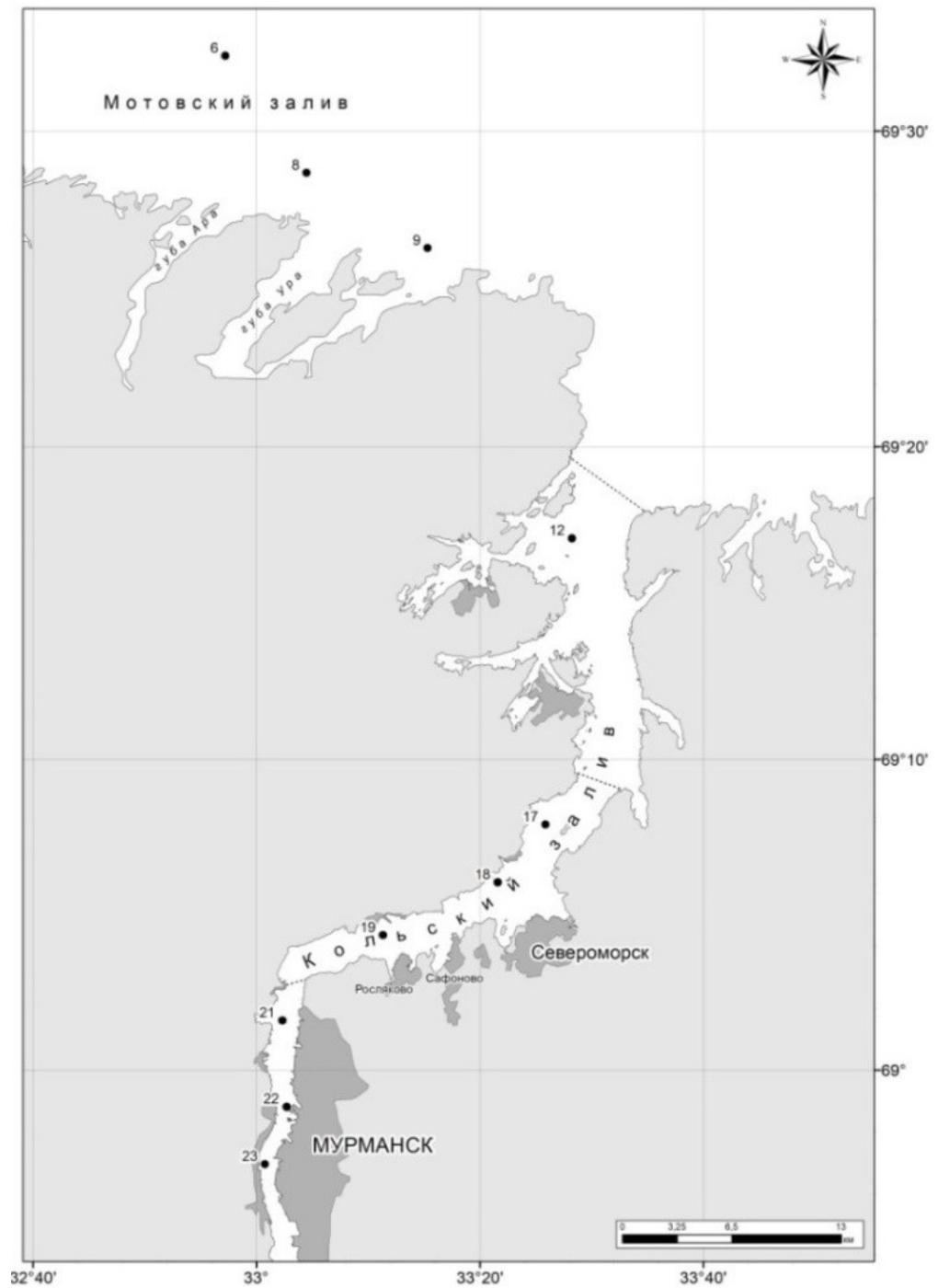


Рис. 1. Карта расположения станций отбора проб воды в районах исследований в октябре 2017г.

Fig. 1. Map of the water sampling stations location in the research areas in October 2017

Результаты и обсуждение. По данным СТД-зондирования температура вод в Кольском заливе изменялась от 3.3 до 6.9 °С, в Мотовском – от 3.9 до 7.1 °С, диапазон солености составил, соответственно, 13.2–34.2 ‰ и 33.9–34.5 ‰ (рис. 2).

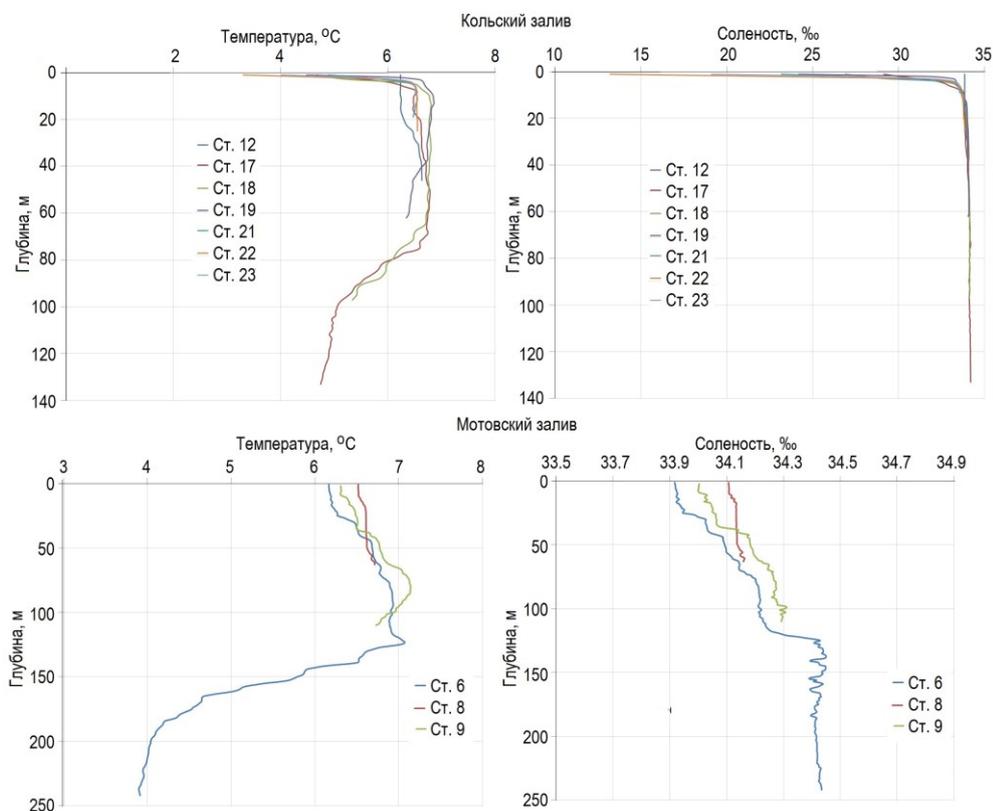


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры и солености в Кольском и Мотовском заливах в октябре 2017 г.

Fig. 2. The vertical distribution of temperature and salinity in the Kola and Motovskiy bays in October 2017

На момент исследований в прибрежье наблюдалось начало осенне-зимней конвекции. Вследствие охлаждения поверхностных вод отмечена инверсия температуры с глубиной. Ее вертикальный градиент в пределах термоклина в южном (до 4–6 м) и среднем (до 6–10 м) коленах Кольского залива достигал 0.3–0.5 °С/м. В южном колене температура сохраняла квазиоднородное распределение от термоклина до дна, в среднем колене ее распределение было однородным от термоклина до 30–70 м, далее с глубиной значения параметра снижались. Вертикальное распределение солености характеризовалось быстрым ее увеличением (на 0.6–3.4 ‰/м) от поверхности до 4–6 м в южном колене и до 6–10 м в среднем колене. Дальнейших значительных трансформаций значений параметра с глубиной не наблюдалось.

Северное колено и Мотовский залив в меньшей степени подвержены влиянию речного стока. Вертикальное распределение температуры воды в них имело квазиоднородный характер от поверхности до дна, за исключением ст. 6, где температура снижалась от 120 м до дна. Соленость в Мотовском заливе поэтапно возрастала от поверхности до 140 м и далее до дна оставалась относительно постоянной (изменчивость составляла не более 0.05 ‰).

Концентрация хлорофилла *a* в период исследований в придонных водах была ниже чем в поверхностных. Ее минимум отмечен в среднем колене у дна (0.13 ± 0.10 мг/м³), максимум – в северном колене на глубине 25 м (0.40 ± 0.21 мг/м³). Диапазон средних значений в южном колене составлял 0.32–0.39 мг/м³, в среднем – 0.13–0.23 мг/м³, в северном – 0.18–0.40 мг/м³, в Мотовском заливе – 0.22–0.37 мг/м³ (Водопьянова, Духно, 2018) (рис. 3).

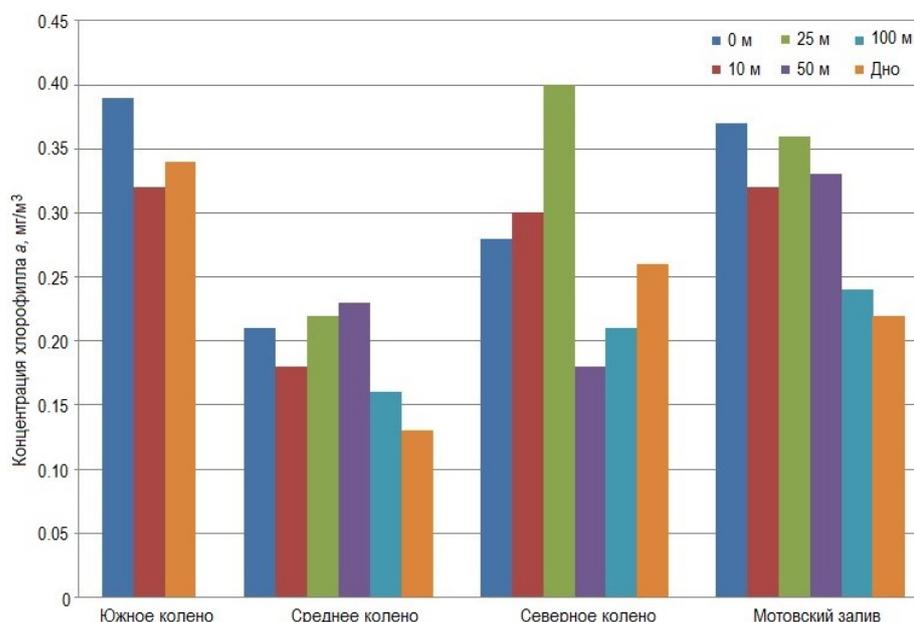


Рис. 3. Средняя концентрация хлорофилла *a* в слоях водной толщи в Кольском и Мотовском заливах в октябре 2017 г. (Водопьянова, Духно, 2018)

Fig. 3. Average concentrations of chlorophyll *a* for the waters column the Kola and Motovskiy bays in October 2017 (Vodopyanova, Dukhno, 2018)

Диапазоны значений общей численности и биомассы бактерий в водах Кольского залива составили, соответственно, 273–684 тыс. кл/мл и 7.82–30.22 мг/м³ в его южной части; 259–839 тыс. кл/мл и 10.33–81.92 мг/м³ в средней; 313–408 тыс. кл/мл и 12.04–20.27 мг/м³ в северной; в Мотовском заливе – 148–717 тыс. кл/мл и 7.26–29.07 мг/м³. Характеристика бактериопланктона исследуемых акваторий по станциям представлена в таблицах 1, 2.

Т а б л и ц а 1

**Численность бактериопланктона в Кольском и Мотовском заливах
в октябре 2017 г., тыс. кл/мл**

T a b l e 1

**The abundance of bacterioplankton at the Kola and Motovskiy bays
in October 2017, thousands of cells/ml**

Район	Станция	Минимум–максимум	Среднее
Кольский залив:			
южное колено	23	273–379	326±53
	22	369–496	412±42
	21	311–684	474±110
среднее колено	19	294–630	417±75
	18	431–839	584±80
	17	259–432	353±27
северное колено	12	314–408	369±23
Мотовский залив			
	6	148–538	390±58
	8	409–715	566±66
	9	198–717	451±89

Т а б л и ц а 2

**Биомасса бактериопланктона в Кольском и Мотовском заливах
в октябре 2017 г., мг/м³**

T a b l e 2

**Biomass of bacterioplankton at the Kola and Motovskiy bays
in October 2017, mg/m³**

Район	Станция	Минимум–максимум	Среднее
Кольский залив:			
южное колено	23	7.82–10.91	9.37±1.54
	22	9.31–18.37	12.94±2.77
	21	11.68–30.22	18.05±6.09
среднее колено	19	13.23–66.16	29.30±12.39
	18	18.03–81.92	34.88±11.98
	17	10.34–42.16	18.72±4.83
северное колено	12	12.04–20.27	16.59±2.15
Мотовский залив			
	6	7.26–26.59	18.60±3.02
	8	10.05–28.92	21.80±3.96
	9	8.47–29.07	18.39±3.75

В Кольском заливе минимальные количественные показатели бактериопланктона выявлены в придонном слое (численность в среднем колене, биомасса – в южном), максимальные – в поверхностном слое (среднее колено). В Мотовском заливе минимальные количественные показатели отмечены в придонном слое, максимальные – численность в 50-метровом слое, биомасса в поверхностном.

В составе бактериальных сообществ заливов зарегистрированы крупные палочки, мелкие одиночные клетки и их агрегированные формы (табл. 3). Мелкие одиночные клетки составляли основную часть (свыше 98 %) в общей численности бактерий, доля крупных палочек и агрегированных форм, как правило, не превышала 1.6 %, при этом она снижалась в северном направлении (от южного колена Кольского залива к Мотовскому заливу). Численность агрегированных бактерий повсеместно превышала количество крупных палочек.

Т а б л и ц а 3

Доля размерно-морфологических групп бактерий в общей численности бактериопланктона в Кольском и Мотовском заливах в октябре 2017 г, %

Table 3

The proportion of size and morphological groups of bacteria in the total number of bacterioplankton in the Kola and Motovskiy bays in October 2017, %

Район	Мелкие одиночные клетки (< 2 мкм)	Крупные палочки (≥ 2 мкм)	Агрегированные формы
Кольский залив			
южное колено	98.02	0.40	1.58
среднее колено	98.72	0.28	1.00
северное колено	99.22	0.14	0.64
Мотовский залив	99.62	0.13	0.25

Анализ полученных гидрологических данных показал, что в октябре 2017 г. в южном и среднем колене Кольского залива четко прослеживался пикно- и термоклин с глубиной залегания, соответственно, до 4–6 и 4–10 м. В северном колене и Мотовском заливе пикноклин отсутствовал.

Содержание хлорофилла *a* соответствовало периоду, когда вегетация фитопланктона переходит в свою завершающую стадию, при этом величины параметра могут уменьшаться до 0.20 мг/м³ (Трофимова, 2007). В период наших наблюдений концентрация основного фитопигмента снижалась от южного к среднему колону и возрастала в водах северного колена и Мотовского залива. В ее вертикальном распределении отмечено повышение значений от придонного слоя к верхней части водной толщи (в слое 0–10 и 0–25 м).

По классификации В.И. Ведерникова (1975), воды рассматриваемых заливов, могут быть отнесены к мезотрофным.

Анализ численности и биомассы бактериопланктона выявил увеличение их средних значений от кутовой части Кольского залива к среднему колону с последующим снижением к северному колону и увеличением к Мотовскому заливу. Максимальные средние показатели наблюдались в среднем колене Кольского залива, минимальные – в южном колене, где на структуру бактериальных сообществ сильное воздействие оказывал сток от рек Кола и Тулома.

В южном, среднем и северном колене бактериальные сообщества были сконцентрированы в верхнем слое (0–25 м) с незначительным уменьшением их обилия ко дну, при этом показатели биомассы были выше в поверхностном слое на всех станциях. Вероятно, такое распределение обусловлено уменьшением концентрации органического вещества от поверхности ко дну, что косвенно подтверждает аналогичный характер распределения хлорофилла *a*.

Полученный нами диапазон численности бактериопланктона схож с таковым в сентябре 1989 г. в губе Зеленецкая (ранее Дальнезеленецкая) – $(500–800) \times 10^3$ кл/мл (Бардан и др., 1990).

На станциях Мотовского залива нами отмечено более мозаичное распределение бактерий. Их максимальная численность была обнаружена в слое 25–50 м, максимальная биомасса – в слое 0–50 м, ко дну количественные показатели снижались, что в целом соответствовало распределению хлорофилла. Это позволяет предположить, что органическое вещество также было сосредоточено в верхних слоях воды.

Структурные характеристики осеннего бактериопланктона двух заливов сопоставимы с результатами, полученными в водах Мурманского побережья в октябре–ноябре другими исследователями (Теплинская, 1990; Венгер, 2019).

По критерию обилия микробного сообщества (Сорокин, 1996) воды Кольского и Мотовского заливов в осенний сезон характеризуются как олиго- и мезотрофные.

Удельную поверхность клеток бактерий можно рассматривать как показатель характеризующий активность их питания и дыхания (Байтаз, Байтаз, 1988). Чем выше этот показатель, тем активней в клетке протекают метаболические процессы (Байтаз, 1990). Среди отмеченных размерно-морфологических групп бактериопланктона величина удельной поверхности максимальна у мелких одиночных клеток. Учитывая, что основу бактериопланктона Кольского и Мотовского заливов в осенний период 2017 г. составляли мелкие одиночные клетки размером менее 2 мкм, можно предположить, что даже в условиях затухания физиологических процессов фитопланктона, приводящих к снижению синтеза доступной органики, интенсивность метаболизма бактерий остается высокой.

Аналогичное соотношение размерно-морфологических групп в бактериопланктоне отмечено в губе Зеленецкая в осенний период 2017 г. (Венгер, 2019).

Заключение. Таким образом, несмотря на разные гидрологические условия районов в осенний период, исследования показали, что в Кольском и Мотовском заливах уровень развития бактериопланктона был сопоставим. Основная часть бактериопланктона сконцентрирована в верхних слоях водной толщи, что, вероятно, определялось содержанием доступного органического вещества, образованного фитопланктоном в ходе вегетации.

Выявлено увеличение обилия бактериальных сообществ от южного к среднему колену и от северного колена к Мотовскому заливу. В составе их бактериоценозов преобладали мелкие одиночные клетки размером < 2 мкм, чья доля превышала 98 % в их общей численности.

Полученные результаты позволили нам охарактеризовать воды двух заливов как олиго- и мезотрофные.

В целом структурные характеристики бактериальных сообществ заливов соответствовали значениям, характерным для осеннего периода в прибрежье Баренцева моря.

Автор выражает благодарность Т.И. Широколовой и П.С. Ващенко за ценные советы и критические замечания, высказанные при подготовке данной работы.

Работа выполнена по теме 9-17-01 (133) “Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)” (№ государственной регистрации АААА-А17-117052310083-5) в рамках государственного задания № 0228-2019-0003.

Литература

Байтаз В.А. Взаимосвязи продукционных показателей бактерий с величиной удельной поверхности их клеток // Структурно-функциональная организация экосистем Баренцева моря / АН СССР, Кол. науч. центр, Мур. мор. биол. ин-т. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1990. С. 224–232. Деп. в ВИНТИ 05.10.90. № 5272-B90.

Байтаз В.А., Байтаз О.Н. О зависимости функциональных характеристик микроорганизмов от удельной поверхности их клеток // Экология, биологическая продуктивность и проблемы марикультуры Баренцева моря: Тез. докл. II Всесоюз. конф. Мурманск: Изд. ПИПРО, 1988. С. 31–32.

Байтаз В.А., Байтаз О.Н. Методы обработки проб в водной микробиологии. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1995. 42 с.

Бардан С.И., Бобров Ю.А., Дружков Н.В. Комплексный экологический мониторинг в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море): летне-осенний период 1989 г. Функциональные характеристики: Препр. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1990. 44 с.

Берега / П.А. Каплин, О.К. Леонтьев, С.А. Лукьянова, Л.Г. Никифоров. М.: Мысль, 1991. 479 с.

Ведерников В.И. Зависимость ассимиляционного числа и концентрации хлорофилла *a* от продуктивности вод в различных температурных областях Мирового океана // Океанология. 1975. Вып. 4. С. 703–707.

Венгер М.П. Сезонные изменения количественных характеристик бактериопланктона губы Зеленецкая Баренцева моря // Исследования арктических экосистем: Матер. XXXVII конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2019. С. 27–34.

Водопьянова В.В., Духно Г.Н. Содержание хлорофилла *a* в водах Кольского и Мотовского заливов Баренцева моря в осенний период // Сборник статей по

материалам международной научно-практической конференции “Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018”. Севастополь: СевГУ, 2018. С. 241–245.

Кленова М.В. Осадки Мотовского залива // Тр. ВНИРО. 1938. Т. 5. С. 3–56.

Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты / Отв. ред. Г.Г. Матишов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. 265 с.

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

Лоция Баренцева моря. Ч. II. От реки Воръема до пролива Карские Ворота и западные берега островов Новая Земля. СПб: Изд-во ГУНиО МО РФ, 2006. 496 с.

Мишустина И.Е., Байтаз О.Н., Москвина М.И. Функциональные характеристики бактериопланктона // Планктон морей Западной Арктики. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. С. 28–50.

Намятов А.А. Радиационное загрязнение Кольского и Мотовского заливов Баренцева моря: Дис. ... канд. геогр. наук. Мурманск, 1998. 181 с.

Радионуклиды и океанографические условия их накопления в Кольском и Мотовском заливах (Баренцево море) / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, А.А. Намятов, А.Н. Зуев, Е.Э. Кириллова: Препр. Мурманск: МИП-999, 1997. 32 с.

Ретовский Л.О., Тарасов Н.И. Весенний гидрологический режим Мотовского залива // Сборник научно-промысловых работ на Мурмане. М., 1932. С. 31–41.

Сорокин Ю.И., Вишневцев В.С., Домников В.С. Биологическая структура вод, ее изменчивость и состояние гидробионтов // Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения. М.: Недра, 1996. С. 266–312.

Теплинская Н.Г. Процессы бактериальной продукции и деструкции органического вещества в северных морях. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1990. 106 с.

Трофимова В.В. Фотосинтетические пигменты фитопланктона эстуарных пелагических экосистем Баренцева моря: Дис. ... канд. биол. наук. Мурманск, 2007. 132 с.

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

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.005

УДК 579.68 (268.45)

М.П. Венгер

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА БАКТЕРИОПЛАНКТОНА ВДОЛЬ ЗАПАДНОЙ ГРАНИЦЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Аннотация

В водах разрезов мыс Нордкап–о. Межвежий (I) и о. Медвежий–мыс Зюйдкап (II) с применением красителя DAPI изучены структурные характеристики бактериопланктона. Его численность и биомасса в верхней части фотического слоя прибрежных и атлантических вод на разрезе I была

сопоставима и возрастала от поздневесеннего к летнему сезону. При этом на разрезах I и II летний максимум значений соответствовал зоне Полярного фронта и прилегающих арктических вод. К началу зимнего сезона уровень развития сообществ в водах разного генезиса повсеместно снижался, но минимума, отмеченного летом в слоях глубже 200 м, не достигал. Структуру бактериопланктона определяли одиночные клетки минимального размера, преимущественно кокковидной формы. Появление крупных палочек, чья доля в общей биомассе могла достигать 50 %, регистрировали в летний период.

Ключевые слова: бактериопланктон, структурные характеристики, Баренцево море.

M.P. Venger

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

DISTRIBUTION AND SEASONAL DYNAMICS OF BACTERIOPLANKTON ALONG THE WESTERN BORDER OF THE BARENTS SEA

Abstract

The structural characteristics of bacterioplankton were studied in the waters of the Cape`s Nordkap (cut I) and Zuydkap (cut II) of Mezhvezhiy island. Its abundance and biomass in the upper part of the photic layer of coastal and Atlantic waters in cut I was comparable and increased from the late spring to the summer season. Moreover, in cuts I and II, the values of summer maximum corresponded to the zone of the Polar Front and adjacent Arctic waters. By the beginning of the winter season, the level of development of communities in waters of different genesis decreased everywhere, but still did not reach the minimum, observed in summer in layers deeper than 200 m. The structure of bacterioplankton was determined by single cells of the smallest size, mainly of a cocci-form. The arrival of rod-shaped bacteria (contribution to the total biomass could reach 50%) was recorded in the summer period.

Keywords: bacterioplankton, structural characteristics, the Barents Sea.

Географическая граница, разделяющая Баренцево и Норвежское моря по линии мыс Нордкап (Скандинавия)–о. Медвежий–мыс Сёркапп (архипелаг Шпицберген), пересекает водные массы разного генезиса. На ее южном участке от поверхности до 200 м выделяют прибрежные норвежские воды (южной ветви Нордкапского течения), которые в местах понижения дна подстилаются атлантическими водами (Нордкапского течения) (Воды ..., 2016). На среднем и северном участках – атлантические (в составе Нордкапского и Южно-Шпицбергенского течений) и арктические (в составе Медвежинского и Зюйдкапского течений) воды, взаимодействие которых формирует значительную по протяженности фронтальную зону

(Полярный фронт) (Зенкевич, 1963). Усилению гидродинамических процессов вдоль границы способствует наличие мелководий (Медвежинская банка у о. Медвежий) и глубоководных желобов (Зюйдкапского и Медвежинского).

Известно, что экосистемы пелагиали атлантических и арктических вод отличаются продуктивностью и ходом развития фитопланктона (Макаревич et al., 2013). В этой связи можно считать, что особенности распределения и трансформации водных масс на западной границе Баренцева моря отражают особенности распределения разнотипных пелагических биотопов, чьи биоценозы различаются ходом процессов продуцирования и деструкции органического вещества.

К основным потребителям растворенной фракции органического вещества относят бактериопланктон, структурно-функциональная организация которого в данном районе моря изучена слабо. Выполненные более 30 лет назад исследования свидетельствовали, что весной 1988 г. на разрезе мыс Нордкап–о. Медвежий в верхнем 100-метровом слое численность бактерий составляла $(0.5 \pm 0.013) \times 10^6$ кл/мл, биомасса – 77.8 ± 5.0 мг/м³ при среднем клеточном объеме 0.156 ± 0.011 мкм³ (Планктон ..., 1997). Летом 1983 г. в слое 0–50 м средняя численность и биомасса достигали 0.7×10^6 кл/мл и 148 мг/м³ соответственно. Их наибольшие значения отмечены на станциях Медвежинского мелководья с максимумом в верхнем 10-метровом слое – 2.6×10^6 кл/мл и 520 мг/м³ (Теплинская, 1990). По мнению Н.Г. Теплинской (1990), высокая численность и биомасса бактерий в водной толще этого участка определялась наличием значительных количеств органического вещества, распределенного относительно равномерно за счет процессов интенсивной вертикальной циркуляции. На повышенные концентрации лабильного органического вещества в водах разреза о. Медвежий–мыс Зюйдкап в августе 1986 г. также косвенно указывали количественные характеристики бактериопланктона в слое 0–25 м у архипелага Шпицберген: численность – 0.8×10^6 кл/мл и биомасса – 124 мг/м³ (Жизнь ..., 1985).

Цель нашей работы включала оценку современного состояния бактериопланктона, анализ его количественных и размерно-морфологических показателей, особенностей пространственного распределения и сезонной динамики на протяженном участке западной границы Баренцева моря.

Материал был собран в ходе рейсов на НИС “Дальние Зеленцы” (август 2009 г., ноябрь 2017 г.) и “Фритьоф Нансен” (июнь 2014 г.). Экспедиционные работы выполнялись на разрезах I (мыс Нордкап–о. Медвежий) и II (мыс Нордкап–о. Медвежий–мыс Зюйдкап) (рис. 1).

Для измерения глубин и термohалинных характеристик использовали STD-зонд SEACAT SBE 19 plus. Пробы воды отбирали пластиковыми батометрами Нискина, установленными на системе Rozett.

Общую численность клеток бактериопланктона определяли методом прямого счета на ядерных фильтрах (производство г. Дубна) с диаметром пор 0.2 мкм предварительно окрашенных раствором судана черного Б.

В качестве красителя использовали DAPI (4'6-диамидино-2-фенилиндо́л) (Porter, Feig, 1980). Препараты просматривали под микроскопом Olympus BX 53 при ув. 1000 в свете ультрафиолетовых лучей. В каждой пробе просчитывали от 400 до 1000 клеток, их линейные размеры для вычисления биомассы устанавливали, измеряя 50 клеток и более. Содержание органического углерода в сырой биомассе рассчитывали согласно уравнению, связывающему объем клетки и содержание в ней углерода (Norland, 1993). Всего было обработано 108 проб воды.



Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб воды в западной части Баренцева моря
 Fig. 1. Map of water sampling stations in the western part of the Barents Sea

В ноябре 2017 г. спектрофотометрически определяли концентрацию хлорофилла *a*, используя фильтры “Владипор” с порами 0.45 мкм (Вода ..., 2001).

Для статистической обработки материала применяли метод ранговой корреляции Спирмена (r_s) и U-критерий Манна-Уитни (при $p \geq 0.05$).

В ходе трех экспедиций по результатам СТД-зондирования были выделены теплые распресненные прибрежные воды, теплые соленые атлантические и холодные распресненные арктические воды, между ними определены границы фронтальных зон. При анализе материала воды южнее халинного фронта относили к прибрежью, воды севернее от него – к открытой части моря (рис. 1, табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Водные массы в западной части Баренцева моря в период исследований

T a b l e 1

Water masses in the western part of the Barents Sea

Водная масса (течение)	Номер станции	Слой, м
Разрез I		
Прибрежная норвежская (южная ветвь Нордкапского течения)	107, 108	0–9
Атлантическая (Нордкапское течение)	104, 105 104, 105, 107, 108	0–25 280–493*
Разрез II		
Прибрежная норвежская (южная ветвь Нордкапского течения)	4–7	0–45
Атлантическая (Нордкапское течение)	11–15 4–7, 11, 14	0–45 279–439*
Арктическая (Медвежинское течение)	17, 18	0–45 61–68*
Зона Полярного фронта	16, 19, 20	0
Атлантическая (Южно-Шпицбергенское течение)	22, 23	0–30 315*
Арктическая (Зюйдкапское течение)	24, 25	0–30 36* 215*
Разрез III		
Прибрежная норвежская (южная ветвь Нордкапского течения)	3, 5	0–50 75–100
Атлантическая (Нордкапское течение)	7	0–50 75–100
Зона Полярного фронта	13, 16, 17	0–50 75–100
Атлантическая (Южно-Шпицбергенское течение)	18–21	0–50 75–100

*Придонные воды.

Годовой цикл гидрологического режима Баренцева моря подразделяется на 4 сезона, в границах которых в западной части моря июнь относят к окончанию весны, август – к лету, ноябрь – к началу зимы (Жизнь ..., 1985). В наших исследованиях в весенне-летний период отмечен значительный прогрев верхнего водного слоя (от 3 до 9 м в июне и от 25 до 40 м в августе), отделенного от более глубинного слоя термоклином в атлантических водах и пикноклином в арктических. В зимний период температурные различия в результате интенсивного охлаждения и хорошего перемешивания были выражены слабее. Гомотермия, характерная для зимнего гидрологического сезона (Жизнь ..., 1985; Воды ..., 2016), зарегистрирована в верхней водной толще до глубины 38–83 м и на самых северных станциях до дна.

В июне на разрезе I численность бактериопланктона изменялась от 0.2×10^6 до 1.5×10^6 кл/мл, биомасса – от 3.09 до 17.07 мг С/м³. Показатели снижались с глубиной, в норвежских прибрежных водах они были выше, чем в атлантических. Численность более 1.0×10^6 кл/мл и биомасса выше 15 мг С/м³ отмечены в слое 0–3 м на юге разреза, значения менее 0.5×10^6 кл/мл и 7.5 мг С/м³ – в придонном слое на глубине более 400 м (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

**Средние значения бактериальных параметров
в водах западной части Баренцева моря**

Table 2

**Average values of bacterial parameters in the waters
of the western part of the Barents Sea**

Водная масса	Номер станции	Слой, м	N, $\times 10^6$ кл/мл	B, мг/м ³	B, мг С/м ³	V, мкм ³
Разрез I						
Прибрежная норвежская	107, 108	0–9	1.1±0.2	40.2±9.8	11.9±2.8	0.038±0.003
Атлантическая	104, 105	0–25	0.6±0.02	38.6±4.3	11.0±0.9	0.063±0.006
	104, 105, 107, 108	280–493*	0.5±0.1	23.9±5.2	6.7±1.5	0.050±0.006
Разрез II						
Прибрежная норвежская	4–7	0–45	1.6±0.3	85.6±9.4	20.0±2.7	0.063±0.011
Атлантическая	11–15	0–45	1.0±0.1	53.8±5.5	13.6±1.4	0.061±0.007
	4, 5, 7, 11, 14	279–439	0.2±0.04	17.6±4.9	3.8±1.0	0.102±0.005
Арктическая	17, 18	0–45	1.9±0.1	73.3±5.9	21.4±1.5	0.037±0.002
		61–68*	2.1±0.6	64.2±16.6	20.0±5.1	0.031±0.001
Зона Полярного фронта	16, 19, 20	0	2.2±0.3	106.0±10.3	28.6±2.9	0.049±0.004
Атлантическая	22, 23	0–30	0.5±0.04	30.8±3.2	7.1±0.6	0.063±0.005
		315*	0.3	27.3	5.6	0.079
Арктическая	24, 25	0–30	0.9±0.1	42.8±6.1	11.1±1.5	0.050±0.007
		36*	0.8	40.9	10.3	0.052
		215*	0.3	17.4	4.1	0.057
Разрез II						
Прибрежная норвежская	3–5	0–50	0.4±0.02	13.0±0.9	4.0±0.3	0.031±0.002
		75–100	0.5±0.05	18.4±2.5	5.4±0.6	0.041±0.006
Атлантическая	7	0–50	0.5±0.003	20.0±2.9	6.0±0.5	0.038±0.006
		75–100	0.4±0.03	14.6±1.3	4.3±0.5	0.041±0.007
Зона Полярного фронта	13, 16, 17	0–50	0.4±0.04	14.7±1.3	4.4±0.4	0.034±0.003
		75–100	0.4±0.06	15.8±4.1	4.6±1.1	0.039±0.004
Атлантическая	18–21	0–50	0.3±0.02	14.2±1.2	4.1±0.3	0.041±0.002
		75–100	0.3±0.003	11.1±1.1	3.4±0.3	0.035±0.003

*Придонные воды.

ПРИМЕЧАНИЕ. N – численность, B – биомасса, V – объем клеток.

Количественные характеристики бактериальных сообществ верхней части фотического слоя атлантических и прибрежных норвежских вод достоверно различались.

Средний объем бактериальных клеток на станциях изменялся от 0.030 до 0.073 мкм³. Его величина от минимальной в толще норвежских прибрежных вод возрастала до максимальной в поверхностных слоях атлантических вод.

Анализ результатов многолетних натуральных и дистанционных наблюдений, проводимых с 1998 г., свидетельствует, что пик продуктивности в районе юго-западной границы Баренцева моря приходится на май–июнь с максимумом хлорофилла *a* в сезонном цикле – 1.3 мг/м³ (Productivity ..., 2014). После активной вегетации фитопланктона структурные и функциональные изменения в бактериопланктоне обычно происходят с временным лагом в две-три недели (Байтаз, 1998). В период наших наблюдений уровень развития микробных сообществ в верхней части фотического слоя уже превысил среднемноголетний для Баренцева моря (0.5×10⁶ кл/мл) (Планктон ..., 1997) и достигал нижней границы значений, фиксируемых в его прибрежных [(1.2–4.0)×10⁶ кл/мл] и атлантических [(0.7–1.7)×10⁶ кл/мл] водах летом (Вирусы ..., 2012).

В августе численность и биомасса бактерий в водах разреза П составляла, соответственно, (0.1–2.6)×10⁶ кл/мл и 1.6–32.5 мг С/м³. Их минимальные значения (менее 0.6×10⁶ кл/мл и 8 мг С/м³) отмечены в придонных водах станций с глубинами свыше 200 м и в слое 0–30 м атлантических вод северной части разреза. Максимальные значения (более 2.0×10⁶ кл/мл и 25 мг С/м³) – в слое 0–45 м норвежских прибрежных вод, водной толще Медвежинского мелководья и в зоне Полярного фронта. Высокие показатели обилия и биомассы бактерий в верхней части их фотического слоя имели близкие величины, которые достоверно отличались от таковых в районах, занятых как атлантическими водами (на юге и севере разреза), так и арктическими водными массами (на севере разреза) (табл. 2, рис. 2).

Общая тенденция снижения количественных характеристик бактериопланктона от поверхности ко дну нарушалась в арктических водах у о. Медвежий (с высокими значениями по всему профилю водной толщи) и у архипелага Шпицберген, где на фоне относительно равномерного распределения отмечено скопление бактерий на глубине 8–12 м.

Средний объем бактериальных клеток варьировал от 0.027 до 0.140 мкм³. Представители наименьшей размерной фракции (0.027–0.045 мкм³) доминировали в водах у о. Медвежий, представители наибольшей (0.090–0.140 мкм³) – в придонных водах южной части разреза.

Последние два десятилетия в летнем сукцессионном цикле фитопланктона Баренцева моря особое место занимает регулярно повторяющееся цветение кокколитофорид (<http://www.noc.soton.ac.uk>; Satellite ..., 2011; A survey ..., 2016). В августе 2010 г. их активной

вегетацией была охвачена значительная часть акватории моря, занятая атлантическими водами (Barents ..., 2010; Bio-optical ..., 2013). В подспутниковых измерениях в этот период концентрация хлорофилла *a* в поверхностных атлантических водах в центральной части моря составила 1.2 ± 0.2 мг/м³, в арктических водах без цветения – 0.7 ± 0.1 мг/м³ (Вирусы ..., 2012). На этом фоне численность бактериопланктона в верхней части фотического слоя прибрежных и атлантических вод достигала $(2.4 \pm 0.8) \times 10^6$ и $(1.1 \pm 0.1) \times 10^6$ кл/мл соответственно (Вирусы ..., 2012), в арктических водах – $(0.7-0.9) \times 10^6$ кл/мл (Влияние ..., 2016).

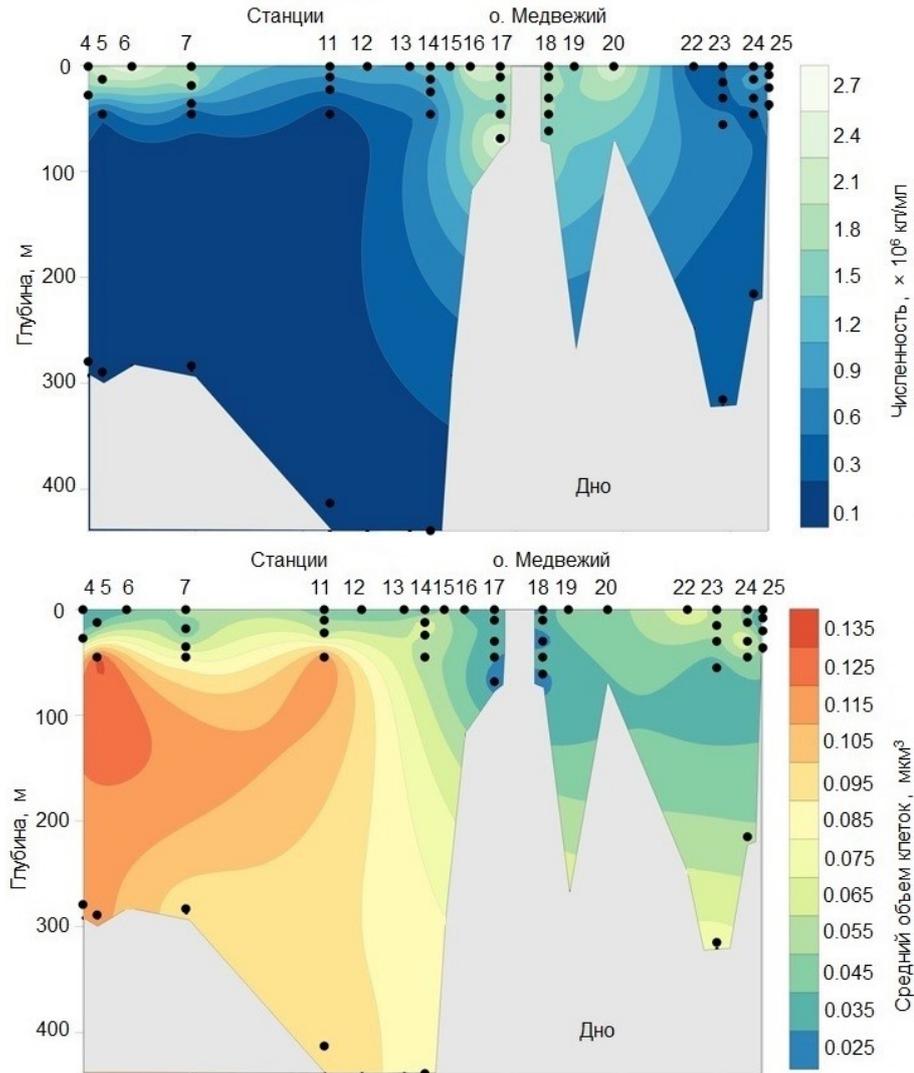


Рис. 2. Распределение численности и среднего объема клеток бактериопланктона в западной части Баренцева моря в августе 2009 г.

Fig. 2. Distribution of abundance and average cell volume of bacterioplankton in the western part of the Barents Sea in August 2009

В августе 2009 г. пятна цветения кокколитофорид, характерные южнее 76° с. ш., также были зарегистрированы в западной и центральной части моря (Optical ..., 2011). По сравнению с 2010 г. обилие бактерий вдоль его западной границы было ниже в атлантических и выше в арктических водах.

В ноябре на разрезе II исследования бактериопланктона проводилось впервые. Численность, биомасса и средние объемы его клеток составляли $(0.3-0.6) \times 10^6$ кл/мл, 2.2–8.3 мг С/м³ и 0.021–0.058 мкм³ соответственно (рис. 3).

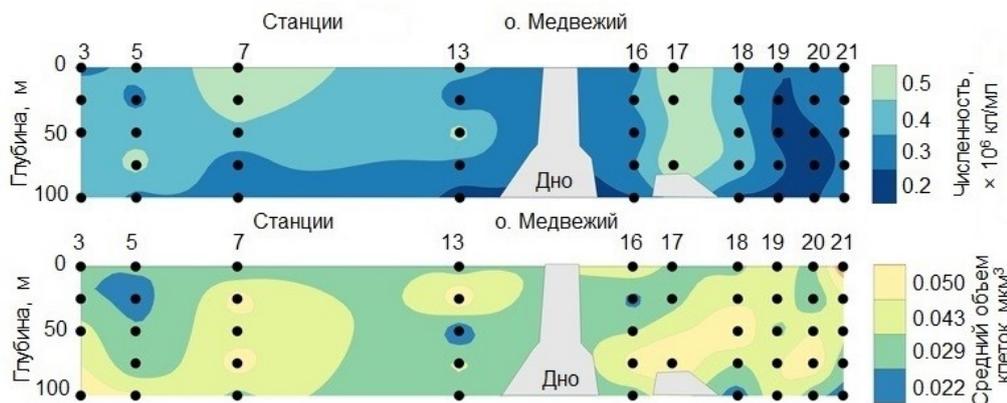


Рис. 3. Распределение численности и среднего объема клеток бактериопланктона в западной части Баренцева моря в ноябре 2017 г.

Fig. 3. Distribution of abundance and the average cell volume of bacterioplankton in the western part of the Barents Sea in November 2017

При отсутствии вертикальной стратификации наблюдалось достаточно равномерное распределение бактерий, их численность и биомасса, усредненные для слоя 0–50 и 75–100 м, практически совпадали (табл. 2). Величины параметров в выделенных типах вод (прибрежных норвежских, атлантических и зоны Полярного фронта) достоверно не различались.

Концентрация хлорофилла *a* на станциях изменялась от 0.18 до 0.49 мг/м³. Ее значения в прибрежных норвежских и смежных с ними атлантических водах (0.41 ± 0.05 мг/м³) превышали таковые в зоне Полярного фронта (0.25 ± 0.01 мг/м³) и в атлантических водах северной части разреза (0.21 ± 0.01 мг/м³). По содержанию хлорофилла *a*, согласно существующим критериям (Мордасова, 2014), воды северной части разреза относятся к малопродуктивным (олиготрофные – менее 0.2 мг/м³), воды средней и южной – к нижней границе среднепродуктивных (мезотрофные – 1.0–0.5 мг/м³).

Для сравнения отметим, что в центральной части Баренцева моря в ноябре 2013 г. в атлантических водах отмечены более низкие концентрации хлорофилла *a* – 0.13 ± 0.03 мг/м³ и бактериопланктона – $(0.1-0.3) \times 10^6$ кл/мл [(среднее 0.2 ± 0.01) $\times 10^6$ кл/мл] с биомассой 0.7–2.7 мг С/м³

(среднее 1.8 ± 0.2 мг С/м³) (Бактерии ..., 2016). В арктических водах севернее 76° с. ш. аналогичные бактериальные показатели в ноябре 2015 г. соответствовали $(0.02-0.3) \times 10^6$ кл/мл [среднее $(0.07 \pm 0.01) \times 10^6$ кл/мл] и $0.3-2.7$ мг С/м³ (среднее 0.8 ± 0.1 мг С/м³) (Венгер, Широколобова, 2018).

Анализ материала, полученного в трех экспедициях на 32 станциях, впервые позволил проследить изменения в структуре бактериопланктона от поздневесеннего к началу зимнего сезона. В фотическом слое наиболее изученного южного участка западной границы моря средняя численность и биомасса в прибрежных и смежных с ними водах открытого моря была сопоставима по сезонам и возрастала от весны к лету. Максимальные средние показатели летом были приурочены к побережью, зоне Полярного фронта и формирующим его арктическим водам Медвежинского течения. При этом превышение значений в арктических водах по отношению к атлантическим сохранялось вдоль всей границы моря. В водной толще мелководий бактерии распределялись относительно равномерно, их обилие статистически значимо отличалось ($p < 0.05$) от такового в придонных слоях глубоководных участков.

Переход к зимнему сезону сопровождался уменьшением фотосинтетической активности фитопланктона и повсеместным снижением количественных показателей бактериопланктона, величины которых в водах разного генезиса были близки между собой. На фоне низких биомасс численность его клеток еще не достигала летнего минимума, зарегистрированного в наиболее обедненных бактериями глубинных водах Медвежинского желоба. Относительно равномерное распределение и незначительные пределы диапазона обилия микробных сообществ свидетельствовали о наличии динамического равновесия между факторами, влияющими на продукцию и элиминацию его представителей в среде.

Сравнение оригинальных и литературных данных показало, что в весенне-летний период бактериопланктон исследуемого нами района достигал значительного уровня развития, сопряженного с уровнем развития микрофотосинтетиков, об активном функционировании которых свидетельствовали многочисленные опубликованные данные дистанционных и натурных наблюдений. Ранее значительную бактериальную численность и биомассу бактерий в зоне гидрологических фронтов летом также связывали с высокими продукционными показателями (Теплинская, 1990), которые в районе исследований поддерживаются в течение всего “светлого” времени года (Жизнь ..., 1985). На чередование участков с повышенными и пониженными величинами параметров бактериальных сообществ в летний период также могло опосредовано влиять существование мезомасштабных вихрей – ловушек для планктона (Химические ..., 1997) и наличие так называемого “островного эффекта”.

Установленные нами значения численности бактерий и закономерности ее распределения сопоставимы с результатами исследований 1980-х гг. Выявленные при этом существенные различия в биомассе и размерах клеток, очевидно, связаны с используемым ранее флуорохром акридин оранжевым, существенно завышающим объем окрашиваемых микрообъектов по сравнению с другими красителями (Suzuki et al., 1993; Hobbie et al., 1997), и в частности, с применяемым нами красителем DAPI.

Изучение качественного состава микробных сообществ показало, что основным их компонентом в водах западной границы моря были одиночные клетки с линейными размерами меньше 2 мкм. Во все сезоны в составе бактериоценозов крайне редко встречались клетки нитевидной формы, в микроколониях и агрегированные на детрите, вклад которых в общую численность и биомассу был незначительным. Летом, по сравнению с весной и зимой, отмечено возрастание обилия крупных одиночных палочковидных бактерий размером ≥ 2 мкм, чья доля в общей биомассе изменялась от 3 до 49 % (рис. 4).

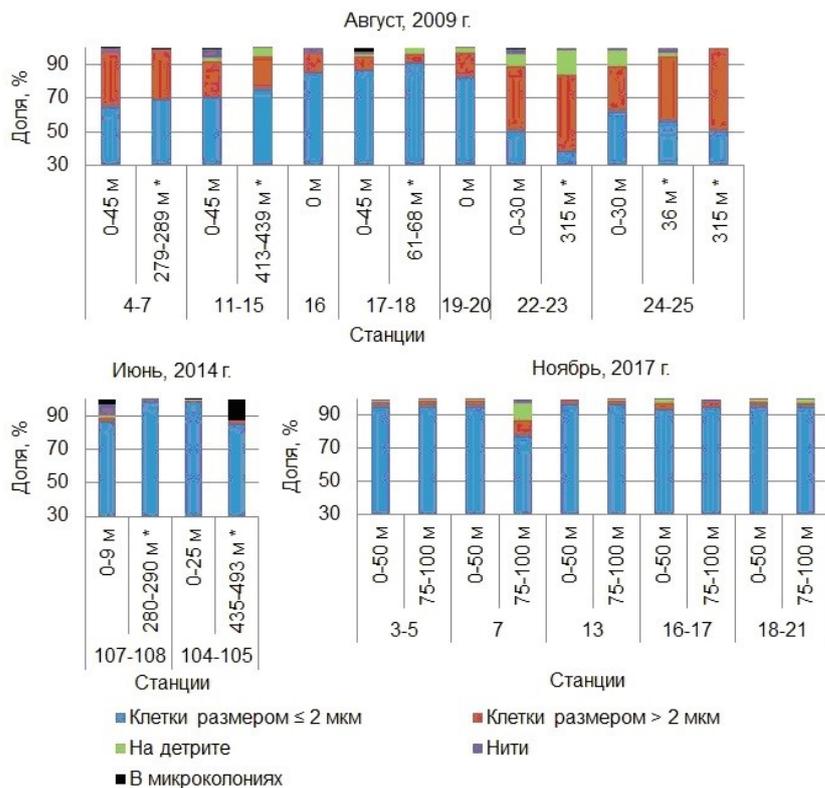


Рис. 4. Доля различных групп в общей биомассе бактериопланктона в западной части Баренцева моря (звездочка – придонные воды)

Fig. 4. The part of various groups in the total biomass of bacterioplankton in the western part of the Barents Sea (note: * – bottom waters)

Большинство морских бактерий относятся к хемоорганотрофам, использующим органические вещества для энергетического и конструктивного метаболизма (Гордиенко, 2016). В связи с этим, количественный и видовой состав бактерий определяется в большей мере распределением и характером органического вещества в морской воде. Кокковидные формы бактерий преобладают в морских экосистемах, но с появлением легкодоступного органического вещества в ходе разложения клеток фитопланктона, отмечается увеличение палочковидных клеток (Гордиенко, 2001). Соотношение доминирующих форм бактерий меняется в различных по трофности водах и является одним из показателей изменения условий развития бактериального сообщества, следовательно, увеличение численности крупных бактериальных клеток летом, обусловлено, по-видимому, изменением состава органического вещества в среде.

Таким образом, несмотря на неравномерный пространственно-временной охват наблюдениями в районе западной границы моря, полученные нами данные представляют значительный интерес и существенно дополняют сведения о временной динамике качественных и количественных характеристик микробных сообществ. Выявленные особенности распределения бактерий позволяют утверждать о более сложном и мозаичном распределении доступного для них субстрата в весенне-летний период по сравнению с зимним.

Автор глубоко признателен Т.И. Широколовой за консультации и помощь в работе, В.В. Водопьяновой за материал по хлорофиллу, Т.М. Максимовской за предоставленные данные по гидрологии и помощь в выделении водных масс.

Работа выполнена по теме 9-17-01 (133) “Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)” (№ государственной регистрации АААА-А17-117052310083-5) в рамках государственного задания № 0228-2019-0003.

Литература

Байтаз О.Н. Пространственно-временная изменчивость бактериопланктона Баренцева моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук (03.00.18 – гидробиология). М., 1998. 25 с.

Бактерии и вирусы свободной ото льда акватории Баренцева моря в период наступления полярной ночи / Т.И. Широколова, М.П. Венгер, А.П. Жичкин, В.В. Водопьянова, Д.В. Моисеев // Докл. РАН. 2016. Т. 469, № 3. С. 383–387.

Венгер М.П., Широколова Т.И. Микробиологические исследования в центральной части Баренцева моря в осенне-зимний период // Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции “Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018”. Севастополь: СевГУ, 2018. С. 222–226.

- Вирусы* в пелагиали Баренцева моря / М.П. Венгер, Т.И. Широколобова, П.Р. Макаревич, В.В. Водопьянова // Докл. РАН. 2012. Т. 446, № 3. С. 345–349.
- 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.
- Вода*. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a* (ГОСТ 17.1.4.02-90). М.: Изд-во стандартов, 2001. С. 551–563.
- Воды* Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов, А.Л. Карсаков, М.Ю. Анциферов. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2016. 260 с.
- Гордиенко А.П.* Бактериопланктон олиготрофных вод Средиземного бассейна // Вестн. Одес. национал. ун-та. 2001. Т. 6, № 4. С. 68–71.
- Гордиенко А.П.* О роли бактериопланктона в функционировании морской экосистемы // Морские биологические исследования: достижения и перспективы. Т. 2. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Вып. 2. С. 264–267.
- Жизнь* и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря / Отв. ред. В.С. Петров. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1985. 220 с.
- Зенкевич Л.А.* Биология морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 738 с.
- Мордасова Н.В.* Косвенная оценка продуктивности вод по содержанию хлорофилла // Среда обитания водных биологических ресурсов. М.: Изд-во ВНИРО, 2014. С. 41–56 (Тр. ВНИРО. Т. 152).
- Планктон* морей Западной Арктики / Отв. ред. Г.Г. Матишов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. 352 с.
- Теплинская Н.Г.* Процессы бактериальной продукции и деструкции органического вещества в северных морях. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1990. 106 с.
- Химические* процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение) / Г.Г. Матишов, Л.Г. Павлова, Г.В. Ильин, Т.Л. Щекатурина, О.Г. Миронов, В.С. Петров. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. 404 с.
- A survey of the summer coccolithophore community in the western Barents Sea* / J. Giraudeau, V. Hulot, V. Hanquiez, L. Devaux et al. // J. Mar. Syst. 2016. Vol. 158. P. 93–105. Doi: 10.1016/j.jmarsys.2016.02.012
- Barents Sea Bloom, Imaged Date: 31-08-2010* // NASA Visible Earth. 2010. URL: <http://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=45624>
- Bio-optical characteristics of the Russian seas from satellite ocean color data of 1998–2012* / O.V. Kopelevich, S.V. Sheberstov, V.I. Burenkov, S.V. Vazyulya, I.V. Sahling // Proceedings VII International Conference “Current problems in optics of natural waters”. St. Petersburg: Nauka, 2013. P. 168–171.
- Hobbie J.E., Daley R.J., Jasper S.* Use of nuclepore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy // Appl. Environ. Microbiol. 1977. Vol. 33. P. 1225–1228.
- Makarevich P., Druzhkova E., Larionov V.* Primary Producers of the Barents Sea // Diversity of Ecosystems. InTech (Rijeka), 2013. P. 367–392.
- Norland S.* The relationship between biomass and volume of bacteria // Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Boca Raton: Lewis Publ., 1993. P. 303–308.
- Optical structure of the Kara Sea waters from data of the ship measurements in 2011* / O.V. Kopelevich, Yu.A. Goldin, V.A. Artemiev, A.V. Shatravin // Proceedings

of VII International Conference “Current problems in optics of natural waters”. St. Petersburg: Nauka, 2013. P. 67–71.

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

Productivity in the Barents Sea – response to recent climate variability / P. Dalpadado, K.R. Arrigo, S.S. Hjøllø, F. Rey, R.B. Ingvaldsen et al. // *PLoS ONE.* 2014. Vol. 9(5). URL: e95273.doi:10.1371/journal.pone.0095273

Satellite observations of the coccolithophorid bloom in the Barents Sea / V.I. Burenkov, O.V. Kopelevich, T.N. Rat’kova, S.V. Sheberstov // *Oceanology,* 2011. Vol. 51(5). P. 766–774.

Suzuki M.T., Sherr E.B., Sherr B.F. DAPI direct counting underestimates bacterial abundances and average cell size compared to AO direct counting // *Limnol. Oceanogr.* 1993. Vol. 38. P. 1566–1570.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.006

УДК 574.587:594.7 (268.45)

О.Ю. Евсева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

МШАНКИ (BRYOZOA) СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ: ВИДОВОЙ СОСТАВ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ЭКОЛОГИЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИЙ ММБИ 2016–2017 гг.)

Аннотация

Получены современные данные о фауне Bryozoa северной части Баренцева моря. Проанализирован таксономический и биогеографический состав, особенности распределения сообществ мшанок, определены их количественные показатели. В пробах идентифицировано 124 вида Bryozoa, из которых *Uschakovia gorbunovi* Kluge, 1946 – новый для фауны Баренцева моря вид. Установлено, что богатство фауны мшанок определяется разнообразием условий среды и зависит как от рельефа дна и сопутствующих факторов (грунт, интенсивность гидродинамики и осадконакопления), так и от параметров водных масс.

Ключевые слова: мшанки, колонии, зоарий, условия среды, Баренцево море.

O.Yu. Evseeva

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

BRYOZOA OF THE NORTHERN PART OF BARENTS SEA: SPECIES COMPOSITION, DISTRIBUTION, ECOLOGY (BASED ON THE MATERIALS OF EXPEDITIONS MMBI 2016–2017)

Abstract

The modern data about fauna of Bryozoa in the northern part of Barents Sea are obtained. The taxonomic and biogeographic composition, distribution features of bryozoan communities, and their quantitative indicators are analyzed. 124 Bryozoa species are identified in the samples, one of which (*Uschakovia gorbunovi* Kluge, 1946) is a new for the Barents Sea fauna. It was found that the richness of the bryozoan fauna is determined by the variety of environmental conditions and depends on the bottom relief (and related factors: soil, hydrodynamic intensity and sedimentation) and the parameters of water masses.

Keywords: Bryozoa, colonies, zoary, environment conditions, Barents Sea.

Введение. Мониторинг экосистемы Баренцева моря в период климатических изменений – одна из основных задач, выполняемых Мурманским морским биологическим институтом РАН. Баренцево море находится на шельфе Северного Ледовитого океана и ограничено на севере архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа, на востоке – архипелагом Новая Земля, а на западе – склоном к Гренландскому морю. Рельеф Баренцева моря достаточно сложный. большей частью он представляет собой равнину и чередуется возвышенностями и желобами в различных направлениях. Вследствие сложного рельефа глубины в море распределены неоднородно. В основном море имеет глубины около 300 м. Прибрежные мелководья (50 м и меньше) занимают значительную площадь только в северо-западной и юго-восточной частях моря. В западном и северо-восточном районах расположены наиболее глубоководные участки. Распределение грунтов в море связано с рельефом. Дно Баренцева моря в северной части и Центральной впадине покрыта песчаным илом, прибрежные склоны и Центральная возвышенность – илистым песком. Крупнообломочный материал преобладает в районах интенсивных течений – Медвежинско-Надеждинское мелководье, прибрежные районы Кольского полуострова, Шпицбергена и Новой Земли. В желобах и впадинах происходит интенсивное накопление взвеси, что способствует формированию мягких донных отложений (Современный ..., 2000).

Северная часть Баренцева моря зимой покрывается льдом, который отступает в летнее время далеко на север. Район проводимых исследований находится в Полярной фронтальной зоне – на границе расположения основных типов водных масс, характерных для Баренцева моря, – арктических, атлантических и баренцевоморских (Ожигин, Ившин, 1999; Климатические ..., 2010). Основную часть здесь занимают арктические воды, которые переносятся Медвежинским течением до о. Медвежий. Для них характерна преимущественно отрицательная температура и пониженная соленость. На мелководьях (от 50 до 100 м) арктические воды распространяются от поверхности до дна (Ожигин, Ившин, 1999; Воды ..., 2016).

Атлантические воды, поступают из Арктического бассейна с запада вместе со Шпицбергенским течением через проливы между архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа, занимают юго-западную часть моря и частично центральную область. Они заполняют желоба в северной части моря на глубине более 100 м, а также глубоководные впадины возле островов Земля Короля Карла. Это теплые (температура изменяется от 1 до 8 °С) и наиболее соленые (соленость близка к океанической) воды в Баренцевом море (Ожигин, Ившин, 1999; Matishov et al., 2009; Воды ..., 2016). Их разновидность – атлантические трансформированные воды. Они двигаются на востоке в слое 100–700 м, входят в Баренцево море с севера и через проливы продвигаются между архипелагами Земля Франца-Иосифа и Шпицберген. Температура этих водных масс остается положительной (1.0–2.5 °С) (Воды ..., 2016).

Баренцевоморские (холодные и соленые) водные массы располагаются ниже 150 м, заполняют северную часть моря от поверхности до дна и представляют собой по большей части трансформированные атлантические воды. Они образуются в пределах моря в результате перемешивания водных масс, приходящих извне, и их трансформации под влиянием местных условий (Ожигин, Ившин, 1999; Климатические ..., 2010).

Северо-западная часть Баренцева моря подвержена влиянию теплых водных масс Южно-Шпицбергенского течения и холодных водных масс Восточно-Шпицбергенского и Медвежинского течений (Ожигин, Ившин, 1999; Воды ..., 2016).

В северо-восточном районе моря на глубине менее 250 м распространены в основном смешанные илисто-песчанисто-глинистые с примесью гальки и гравия донные осадки, в котловинах и желобах (более 300 м) – коричневые илы. На северо-западе и западе моря (у Шпицбергена) располагаются обширные мелководные участки глубиной от 50 до 100 м. Грунт здесь представлен глинисто-песчаными донными осадками с большим количеством твердых субстратов (камней и ракуши).

Состав фауны и количественное распределение донных беспозвоночных в северной части Баренцева моря до сих пор остаются наименее изученными вследствие ограниченной доступности из-за ледовой обстановки. А наблюдаемое в последние годы потепление в Арктике позволяет исследовать влияние водных масс различного происхождения на формирование структуры донных сообществ и прогнозировать последующие изменения. Одной из наиболее многочисленных и менее изученных таксономических групп донных беспозвоночных Баренцева моря являются мшанки (тип Bryozoa) (Животные ..., 1981). Это колониальные, преимущественно прикрепленные животные, распределение которых зависит главным образом от наличия в донных осадках твердого субстрата. Состоят они из микроскопических особей (зооидов), заключенных в твердые известковые или мягкие студенистые ячейки, которые объединены общим телом в колонию (зоарий). Колонии (зоарии) мшанок бывают обызвествленные и мягкотелые

(необызвествленные) и имеют разнообразную форму – корковую (обрастающую твердый субстрат) и разветвленную (приподнятую над субстратом, древовидную или ветвисто-кустистую). Корковые колонии лучше противостоят течению, а кустистые имеют возможность получать пищу из большего объема воды. Таким образом, мшанки служат благоприятной моделью для изучения адаптации животных к различным условиям среды, а также являются индикатором их изменений. Они могут быть как одной из руководящих групп зообентоса (Идельсон, 1931; Филатова, 1938; Зацепин, 1962), так и главной биоценообразующей группой, особенно в некоторых высокоширотных районах Баренцева моря (Бентосные ..., 2014).

Материал и методы. Материалом для настоящей работы послужили мшанки из проб зообентоса, собранных в ходе трех экспедиций Мурманского морского биологического института РАН на НИС “Дальние Зеленцы” в апреле 2016 г., июле и ноябре 2017 г. в северной части Баренцева моря (рис. 1, табл. 1). Пробы отбирались в сходных ландшафтах на глубине от 80 до 370 м с помощью дночерпателя ван-Вина (площадь захвата 0.1 м²) в трехкратной повторности по стандартной гидробиологической методике. Таксономическая идентификация мшанок проводилась автором, в работе использовали определитель мшанок северных морей (Клюге, 1962) с учетом современной классификации.

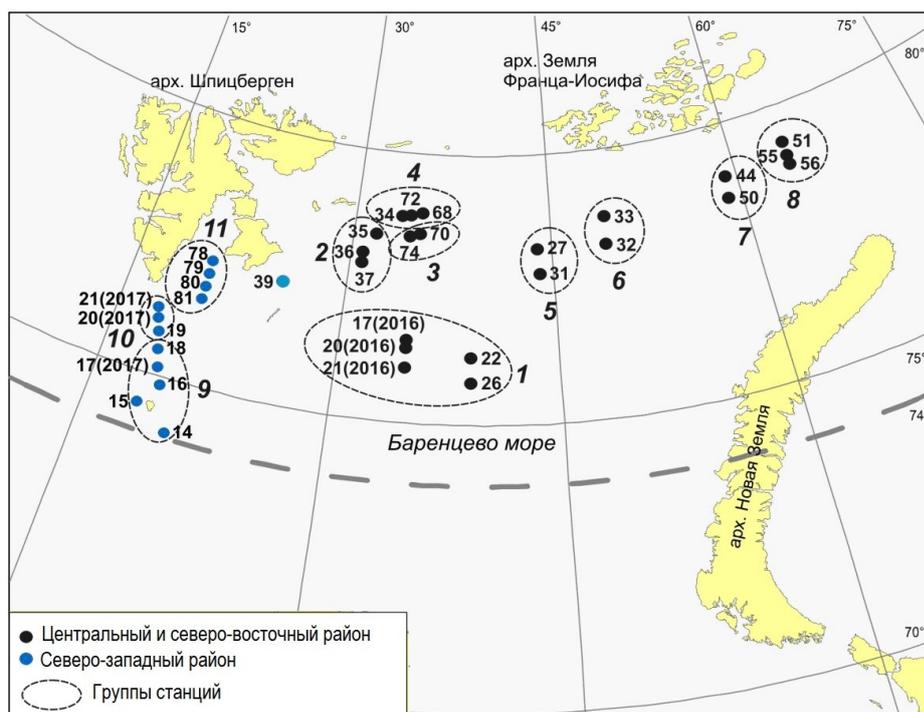


Рис. 1. Карта-схема района исследований и отбора проб зообентоса в северной части Баренцева моря в экспедициях 2016 и 2017 гг.

Fig. 1. Map of the zoobenthos research and sampling area in the northern part of the Barents Sea during the 2016 and 2017 expeditions

Т а б л и ц а 1

Характеристика станций в районах исследований

T a b l e 1

Characteristics of stations in the research area

Номер станции (месяц.год)	H, м	T, °C	S, ‰	N	B, г/м ²	Доминирующий вид
Группа 1						
17 (04.2016)	240	2.13	34.97	2	0.07	<i>Pseudoflustra solida</i>
						<i>Dendrobeania decorata</i>
20 (04.2016)	290	2.06	34.93	2	0.09	<i>Exidmonea atlantica</i>
						<i>Eucratea loricata</i>
21 (04.2016)	250	1.39	34.99	1	0.23	<i>Pseudoflustra solida</i>
22 (04.2016)	250	1.93	34.97	2	0.08	<i>Pseudoflustra solida</i>
						<i>Eucratea loricata</i>
26 (04.2016)	255	1.22	34.97	4	0.05	<i>Disporella hispida</i>
Группа 2						
35 (07.2017)	245	-0.47	34.83	1	0.05	<i>Eucratea loricata</i>
36 (07.2017)	250	-1.01	34.82	2	0.10	<i>Hippoporina</i>
						<i>reticulatopunctata</i>
						<i>Pseudoflustra solida</i>
37 (07.2017)	230	-1.29	34.79	3	0.05	<i>Uschakovia gorbunovi</i>
Группа 3						
70 (11.2017)	185	0.89	34.86	4	0.24	<i>Leieschara coarctata</i>
						<i>Hornera lichenoides</i>
74 (11.2017)	115	-0.30	34.66	16	22.65	<i>Leieschara coarctata</i>
						<i>Hornera lichenoides</i>
						<i>Celleporina ventricosa</i>
Группа 4						
34 (07.2017)	275	0.78	34.85	2	0.75	<i>Pseudoflustra solida</i>
68 (11.2017)	330	0.69	34.88	1	0.10	<i>Callopora weslawski</i>
72 (11.2017)	305	-0.10	34.84	1	0.01	<i>Pseudoflustra solida</i>
Группа 5						
27 (04.2016)	290	0.35	34.96	1	0.58	<i>Alcyonidium gelatinosum</i>
31 (04.2016)	345	0.20	34.95	5	0.13	<i>Pseudoflustra solida</i>
Группа 6						
32 (04.2016)	295	-0.25	34.91	4	2.35	<i>Sarsiflustra abyssicola</i>
33 (04.2016)	310	0.32	34.96	1	0.01	<i>Eucratea loricata</i>
Группа 7						
44 (04.2016)	235	-0.62	34.88	1	0.02	<i>Alcyonidium radicellatum</i>
50 (04.2016)	170	-0.30	34.82	12	19.45	<i>Leieschara coarctata</i>
						<i>Hornera lichenoides</i>
						<i>Palmiskenea plana</i>
Группа 8						
51 (04.2016)	305	-1.57	34.46	2	0.48	<i>Alcyonidium disciforme</i>
55 (04.2016)	370	-0.04	34.87	7	9.58	<i>Diplosolen intricarium</i>
56 (04.2016)	370	-0.10	34.86	4	0.06	<i>Alcyonidium radicellatum</i>

Номер станции (месяц.год)	Н, м	Т, °С	S, ‰	N	В, г/м ²	Доминирующий вид
Группа 9						
14 (11.2017)	150	4.20	34.90	40	47.11	<i>Leieschara coarctata</i> <i>Celleporina ventricosa</i>
15 (11.2017)	145	4.50	34.90	46	12.89	<i>Leieschara coarctata</i> <i>Leieschara subgracilis</i>
16 (11.2017)	200	4.56	35.04	55	14.48	<i>Pseudoflustra solida</i> <i>Hincksipora spinulifera</i>
17 (11.2017)	100	3.80	34.71	10	0.46	<i>Celleporina ventricosa</i> <i>Ragionula rosacea</i>
18 (11.2017)	140	5.30	34.90	44	29.77	<i>Leieschara coarctata</i> <i>Celleporina ventricosa</i> <i>Cystisella saccata</i>
Группа 10						
19 (11.2017)	250	4.70	35.08	16	1.23	<i>Hornera lichenoides</i> <i>Leieschara coarctata</i>
20 (11.2017)	320	4.03	35.05	13	1.10	<i>Escharopsis lobata</i> <i>Celleporina ventricosa</i>
21 (11.2017)	285	3.30	34.99	4	1.32	<i>Leieschara coarctata</i> <i>Hornera lichenoides</i>
39 (07.2017)	79	0.44	34.56	54	100.45	<i>Celleporina incrassata</i> <i>Celleporina ventricosa</i> <i>Leieschara subgracilis</i>
Группа 11						
78 (07.2017)	150	-1.87	35.37	9	0.30	<i>Cheilopora sincera</i> <i>Eucratea loricata</i>
79 (07.2017)	130	-1.83	35.29	10	0.51	<i>Escharella ventricosa</i> <i>Leieschara subgracilis</i> <i>Cystisella saccata</i>
80 (07.2017)	160	-1.25	35.07	6	0.36	<i>Cystisella saccata</i>
81 (07.2017)	220	0.77	34.94	17	0.79	<i>Pseudoflustra solida</i> <i>Porella acutirostris</i> <i>Cheilopora sincera</i>

ПРИМЕЧАНИЕ. Н – глубина, Т – температура воды, S – соленость воды, N – количество видов, В – биомасса.

Биомассу вертикально растущих колоний каждого вида определяли при помощи торсионных весов с точностью до 0.001 г. Биомассу обрастающих субстрат колоний рассчитывали по размерам колонии с помощью навески с известной площади (1 мм²).

Биогеографический анализ проводили по классификации, предложенной в статье В.И. Гонтарь и Н.В. Денисенко (Gontar, Denisenko, 1989).

Результаты и обсуждение. В материале, собранном в северной части Баренцева моря (35 станций, 77 проб) идентифицировано 124 вида Bryozoa (табл. 2), что составляет 44 % от общего числа мшанок Баренцева моря. Из них 112 видов отмечены в западной части района исследований у архипелага Шпицберген (прибрежные воды близ о. Эдж, пролив Стурфьорд, Зюйдкапский желоб, Шпицбергенская банка), и только 46 – в центральном и северо-восточном районе моря (у кромки льда на период исследований). *Uschakovia gorbunovi* Kluge, 1946 (рис. 2) зарегистрирована в фауне Баренцева моря впервые (рис. 1, ст. 37). Ранее вид был отмечен только в Восточно-Сибирском и Карском морях.

Т а б л и ц а 2

Видовой состав Bryozoa в районах исследований

T a b l e 2

Species of Bryozoa composition in the research area

Вид	Биогеографическая характеристика	Станции
<i>Alcyonidium disciforme</i> Smitt, 1872	А	51
<i>Alcyonidium gelatinosum</i> (Linnaeus, 1761)	Б-а	27
<i>Alcyonidium mamillatum erectum</i> Andersson, 1902	А	15, 32
<i>Alcyonidioides mytili</i> (Dalyell, 1848)	Б-а	16, 39
<i>Alcyonidium radicellatum</i> Kluge, 1946	А	32, 44, 56, 78, 79
<i>Amathia gracilis</i> (Leidy, 1855)	Б	34
<i>Amathia imbricata</i> (Adams, 1800)	Б	55
<i>Annectocyma major</i> (Johnston, 1847)	Б	16
<i>Arctomula arctica</i> (M. Sars, 1851)	Б-а	16, 18, 39
<i>Aquiloniella scabra</i> (van Beneden, 1848)	Б-а	15
<i>Aquiloniella paenulata</i> (Norman, 1903)	Б-а	15
<i>Bugulopsis peachii</i> (Busk, 1851)	Б-а	79
<i>Buffonellaria arctica</i> Berning & Kuklinski, 2008	Б-а	14, 15, 16, 20 (2017), 39
<i>Caberea ellisi</i> (Fleming, 1814)	Б-а	15
<i>Callopora craticula</i> (Alder, 1856)	Б-а	14, 15, 16, 18, 19, 39, 50, 78, 80, 81
<i>Callopora lineata</i> (Linnaeus, 1767)	Б-а	16, 26
<i>Callopora weslawski</i> Kuklinski & Taylor, 2006	А	16, 55, 68
<i>Celleporella hyalina</i> (Linnaeus, 1767)	Б-а	16, 81
<i>Celleporina incrassata</i> Lamarck, 1816	Б-а	18, 39
<i>Celleporina ventricosa</i> (Lorenz, 1886)	Б-а	14, 15, 16, 17 (2017), 18, 20 (2017), 39, 74
<i>Cheilopora sincera</i> (Smitt, 1867)	Б-а	16, 20 (2017), 78, 79, 81
<i>Copidozoum smitti</i> (Kluge, 1946)	А	14, 15, 16, 17 (2017), 18, 39, 81

Продолжение табл. 2

Вид	Биогеографическая характеристика	Станции
<i>Corynoporella tenuis</i> Hincks, 1888	Б	15
<i>Cribrilina spitzbergensis</i> Norman, 1903	А	14, 15, 39, 74
<i>Cribrilina watersi</i> Andersson, 1902	Б-а	19
<i>Crisia eburneodenticulata</i> Smitt ms in Busk, 1875	А	16, 31, 55, 81
<i>Cylindroporella tubulosa</i> (Norman, 1868)	Б-а	39
<i>Cystisella saccata</i> (Busk, 1856)	Б-а	14, 15, 16, 18, 19, 39, 74, 79, 80, 81
<i>Dendrobeatia decorata</i> (Verrill, 1879)	Б-а	14, 15, 17 (2016), 20 (2017)
<i>Dendrobeatia fruticosa</i> (Packard, 1863)	Б-а	14
<i>Dendrobeatia murrayana</i> (Bean in Johnston, 1847)	Б-а	15
<i>Dendrobeatia pseudomurrayana</i> Kluge, 1955	Б-а	14, 15, 18
<i>Dendrobeatia tenuis</i> Kluge, 1955	Б-а	15
<i>Dendrobeatia quadridentata</i> (Lovén, 1834)	Б-а	14, 18
<i>Diplosolen intricarium</i> (Smitt, 1872)	А	55
<i>Diplosolen obelium</i> (Johnston, 1838)	Б	16
<i>Diplosolen obelium arcticum</i> (Waters, 1904)	Б-а	39
<i>Disporella crassiuscula</i> (Smitt, 1867)	А	18
<i>Disporella hispida</i> (Fleming, 1828)	Б-а	14, 15, 16, 26, 39
<i>Doryporella spathulifera</i> (Smitt, 1868)	Б-а	14, 15, 16, 39
<i>Einhornia arctica</i> (Borg, 1931)	Б-а	14, 15, 17 (2017), 18, 39, 80
<i>Escharella abyssicola</i> (Norman, 1869)	А	21 (2017)
<i>Escharella immersa</i> (Fleming, 1828)	Б-а	14, 15, 16, 39
<i>Escharella indivisa</i> Levinsen, 1916	А	74
<i>Escharella latodonta</i> Kluge, 1962	Б	56
<i>Escharella ventricosa</i> (Hassall, 1842)	Б-а	15, 16, 39, 74, 78, 79
<i>Escharoides jacksonii</i> (Waters, 1900)	А	50
<i>Escharopsis lobata</i> (Lamouroux, 1821)	Б-а	16, 20 (2017), 39, 50
<i>Eucratea loricata</i> (Linnaeus, 1758)	Б-а	16, 19, 20 (2016), 22, 31, 32, 33, 35, 37, 55, 70, 78, 79, 80, 81
<i>Exidmonea atlantica</i> (Forbes in Johnston, 1847)	Б-а	15, 16, 18, 19, 20 (2016), 20 (2017), 55, 78, 81
<i>Hemicyclopora emucronata</i> (Smitt, 1872)	А	16, 18, 39
<i>Hincksipora spinulifera</i> (Hincks, 1889)	А	14, 15, 16, 18, 39, 74
<i>Hincksipora stenostoma</i> (Smitt, 1872)	А	39, 74
<i>Hippomonavella borealis</i> (Waters, 1900)	А	14
<i>Hippoporella hippopus</i> (Smitt, 1868)	Б-а	39, 74
<i>Hippoporina harmsworthi</i> (Waters, 1900)	А	15, 16
<i>Hippoporina reticulatopunctata</i> (Hincks, 1877)	Б-а	15, 16, 18, 19, 36, 78, 81

Вид	Биогеографическая характеристика	Станции
<i>Hippothoa divaricata</i> Lamouroux, 1821	Б-а	14, 15, 16, 17 (2017), 18, 39
<i>Hippothoa expansa</i> Dawson, 1859	Б-а	14, 15, 18
<i>Hornera lichenoides</i> (Linnaeus, 1758)	Б-а	14, 18, 19, 21 (2017), 36
<i>Infundibulipora lucernaria</i> (Sars, 1851)	Б-а	15, 18, 21 (2017)
<i>Leieschara coarctata</i> M. Sars, 1863	Б-а	14, 15, 18, 19, 21 (2017), 39, 50, 56, 70, 74
<i>Leieschara subgracilis</i> (d'Orbigny, 1853)	Б-а	15, 18, 39, 79
<i>Lepraliella contigua</i> (Smitt, 1868)	Б-а	14, 16, 18, 39
<i>Microporella arctica</i> Norman, 1903	Б	39
<i>Notoplites sibiricus</i> (Kluge, 1929)	А	56
<i>Oncousoecia canadensis</i> Osburn, 1933	А	14, 16, 18, 39
<i>Oncousoecia diastoporides</i> (Norman, 1869)	Б-а	14, 16, 18, 39
<i>Oncousoecia polygonalis</i> (Kluge, 1915)	А	18
<i>Pachyegis groenlandica</i> (Norman, 1894)	Б-а	16, 39, 74
<i>Pachyegis princeps</i> (Norman, 1903)	А	14, 15, 16, 39
<i>Parasmittina jeffreysi</i> (Norman, 1876)	Б-а	18, 19
<i>Parasmittina trispinosa</i> (Johnston, 1838)	Б	16, 18, 39
<i>Palmiskenea plana</i> (Hincks, 1888)	А	50
<i>Patinella verrucaria</i> (Linnaeus, 1758)	Б-а	14, 15, 16, 18, 19, 39, 74, 79, 81
<i>Porella acutirostris</i> Smitt, 1868	Б-а	16, 81
<i>Porella alba</i> Nordgaard, 1906	Б-а	14
<i>Porella belli</i> (Dawson, 1859)	Б-а	14, 16, 18, 39
<i>Porella concinna</i> (Busk, 1854)	Б-а	14, 15, 18, 39, 50
<i>Porella compressa</i> (J. Sowerby, 1805)	Б-а	39
<i>Porella fragilis</i> Levinsen, 1914	Б-а	16
<i>Porella smitti</i> Kluge, 1907	Б-а	15
<i>Porella struma</i> (Norman, 1868)	Б-а	16
<i>Pleuronea fenestrata</i> (Busk, 1859)	А	16
<i>Proboscina incrassata</i> Smitt, 1867	Б-а	14, 16, 18, 39, 74
<i>Pseudoflustra solida</i> (Stimpson, 1854)	А	16, 17 (2016), 19, 20 (2017), 21 (2016), 22, 31, 34, 36, 37, 55, 70, 72, 74, 81
<i>Ragionula rosacea</i> (Busk, 1856)	Б-а	14, 15, 17, 18, 39, 74
<i>Ramphonotus septentrionalis</i> (Kluge, 1906)	Б-а	16
<i>Raymondcia majuscula</i> (Smitt, 1867)	Б-а	16
<i>Reteporella watersi</i> (Nordgaard, 1907)	А	18, 19
<i>Reussinella arctica</i> (Osburn, 1950)	Б	39
<i>Rhamphostomella bilaminata</i> (Hincks, 1877)	А	16
<i>Rhamphostomella plicata</i> (Smitt, 1868)	Б-а	15, 39

Вид	Биогеографическая характеристика	Станции
<i>Rhamphostomella radiatula</i> (Hincks, 1877)	Б-а	15
<i>Rhamphostomella scabra</i> (O. Fabricius, 1780)	Б-а	15, 18, 20 (2017), 39, 78
<i>Rhamphostomella spinigera</i> Lorenz, 1886	А	15, 16
<i>Sarsiflustra abyssicola</i> (Sars G.O., 1872)	Б-а	32
<i>Schizobrachiella stylifera</i> Levinsen, 1886	Б-а	16, 18, 39
<i>Schizomavella porifera</i> (Smitt, 1868)	Б-а	16
<i>Schizoporella bispinosa</i> (Nordgaard, 1906)	А	39
<i>Schizoporella costata</i> Kluge, 1962	Б-а	14, 17
<i>Schizoporella crustacea</i> (Smitt, 1868)	Б-а	79, 80, 81
<i>Schizoporella elmwoodiae</i> Waters, 1900	А	39, 50, 74
<i>Schizoporella incerta</i> Kluge, 1929	Б-а	39
<i>Schizoporella obesa</i> (Waters, 1900)	Б-а	14, 39
<i>Scrupocellaria minor</i> Kluge, 1915	А	14, 18, 26, 39, 50, 74
<i>Smittina bella</i> (Busk, 1860)	Б-а	14, 16, 18, 39, 50
<i>Smittina minuscula</i> (Smitt, 1868)	Б-а	15, 16, 18, 26
<i>Stomachetosella magniporata</i> (Nordgaard, 1906)	Б	19, 20 (2017)
<i>Stomacrustula cruenta</i> (Busk, 1854)	Б-а	14, 15, 16, 17, 18, 39
<i>Stomacrustula limbata</i> (Lorenz, 1886)	Б-а	14, 16, 18, 39
<i>Stomacrustula pachystega</i> (Kluge, 1929)	Б-а	14, 16, 18, 39
<i>Stomacrustula producta</i> (Packard, 1863)	А	14, 16, 18
<i>Stomacrustula sinuosa</i> (Busk, 1860)	Б-а	14, 18
<i>Stomatopora granulata</i> Milne Edwards, 1838	Б-а	39
<i>Tegella armifera</i> (Hincks, 1880)	Б-а	16, 39
<i>Terminoflustra membranaceotruncata</i> (Smitt, 1868)	Б-а	15
<i>Tricellaria gracilis</i> (Van Beneden, 1848)	Б-а	15, 16, 17, 18, 19, 39, 51, 81
<i>Tricellaria elongata</i> (Smitt, 1868)	А	15, 16, 17, 19, 20 (2017), 39
<i>Tubulipora flabellaris</i> (O. Fabricius, 1780)	Б-а	81
<i>Tubulipora soluta</i> Kluge, 1946	А	79
<i>Tubulipora ventricosa</i> Busk, 1855	Б-а	15, 20 (2017)
<i>Turbicellepora canaliculata</i> (Busk, 1881)	А	14, 15, 19, 20 (2017)
<i>Ushakovia gorbunovi</i> Kluge, 1946	А	37

ПРИМЕЧАНИЕ. А – арктический, Б – бореальный, Б-а – бореально-арктический вид. Для станций с одинаковым номером в скобках указан год.

Для анализа полученных результатов станции центрального и северо-восточного района были объединены (на основе близости расположения и сходства биотопов) в следующие группы: 1 – станции 17 (2016), 20 (2016), 21 (2016), 22, 26; 2 – станции 35, 36, 37; 3 – станции 70,

74; 4 – станции 34, 68, 72; 5 – станции 27, 31; 6 – станции 32, 33; 7 – станции 44, 50; 8 – станции 51, 55, 56 (табл. 1). Станции северо-западного района были также объединены в группы: 9 – станции 14, 15, 16, 17 (2017), 18 (Шпицбергенская банка); 10 – станции 19, 20 (2017), 21 (2017) (Зюйдкапский желоб), ст. 39 (мелководный район близ о. Эдж); 11 – станции 78, 79, 80, 81 (пролив Стур-фьорд).



Рис. 2. *Uschakovia gorbunovi* Kluge, 1946
Fig. 2. *Uschakovia gorbunovi* Kluge, 1946

Станции группы 1 находятся под непосредственным влиянием теплых атлантических водных масс, поступающих в Баренцево море по Медвежинскому желобу. В условиях положительных придонных температур (1.22–2.13 °С) доминируют бореально-арктические виды мшанок – 75 % (6 видов), доля арктических – 25 % (2 вида) (рис. 3). На глубине 240–290 м на песчано-илистых грунтах с примесью гальки развиваются преимущественно мшанки с разветвленным типом колонии (5 видов, 62 %), доля обрастающих субстрат 3 видов – 38 %. Биомасса мшанок составляет 0.52 г/м². Вероятно, это связано с усиленной гидродинамикой в данном районе, а также недостаточным количеством твердых грунтов.

Станции группы 2 характеризуются глубиной 230–250 м и отрицательной придонной температурой (–0.47...–1.29 °С), что свидетельствует о наличии арктических вод. Вероятно, в этой области моря спокойная гидродинамика (нет интенсивного перемешивания водных масс), поскольку в донных осадках содержится избыточное количество жидких илов и вязкой глины с дефицитом грубообломочного

материала. В таких условиях развиваются в основном ветвисто-кустистые мшанки (3 вида, 75 %), корковые представлены одним видом (25 %). Биомасса мшанок составляет 0.20 г/м². По два представителя в группе арктических и бореально-арктических видов (рис. 3).

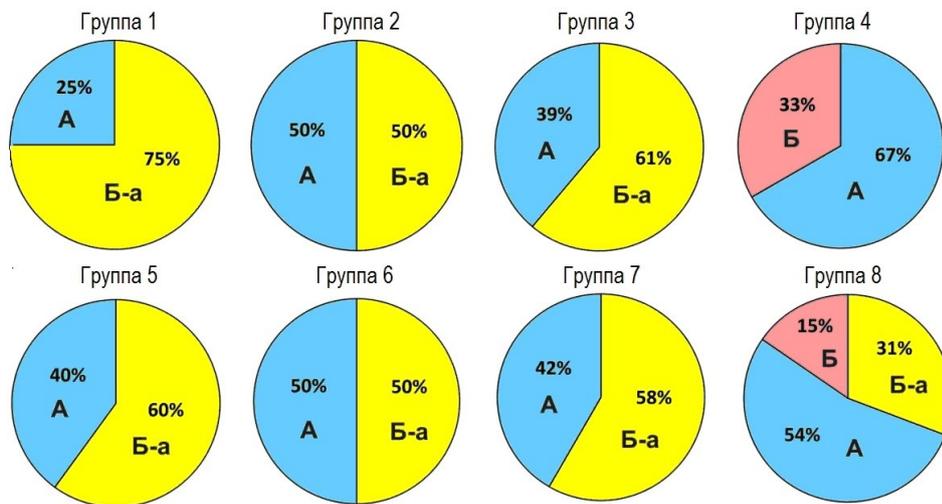


Рис. 3. Биогеографический состав мшанок центрального и северо-восточного района Баренцева моря:

А – арктический, Б – бореальный, Б-а – бореально-арктический вид

Fig. 3. Biogeographic composition of Bryozoa of the central and north-eastern Barents Sea region:

A – arctic, B – boreal, B-a – boreal-arctic species

Станции группы 3 расположены на мелководном участке (115–180 м) и характеризуются смешанными илисто-глинистыми донными осадками с большим количеством твердых субстратов в виде камней и мелкой гальки. На этом участке зарегистрирована пониженная температура воды (от –0.30 до 0.89 °С) вследствие влияния арктических и трансформированных водных масс. Возможно, благодаря этому достаточно велика доля арктических видов (7) – 39 % и бореально-арктических (11) – 61 % (рис. 3). Вследствие наличия большого количества подходящего субстрата (грубообломочного материала) для прикрепления колоний на данном участке (среди станций центрального и северо-восточного района) выявлено наибольшее число видов мшанок – 18 и отмечена максимальная биомасса – 22.88 г/м². Доминирующими в данном сообществе являются мшанки с сильно обызвествленным известковым скелетом и древовидной формой колонии – *Leieschara coarctata* (M. Sars, 1863) и *Hornera lichenoides* (Linnaeus, 1758). По форме зоария корковые мшанки (56 %) лишь немного превышают долю разветвленных (44 %). Это, вероятно, свидетельствует о том, что процессы осадконакопления и процессы переноса взвеси здесь уравновешены.

Станции группы 4 расположены на большой глубине – 280–330 м. Придонная температура воды имеет стабильно низкие значения (от -0.10 °C в ноябре до 0.78 °C в июле), что дает преимущество в развитии видам арктического происхождения – 67 % (рис. 3). Грунт представлен мягкими коричневыми илами и плотной глиной, что характерно для котловин и желобов. В биотопе со слабой гидродинамикой и усиленным осадконакоплением развиваются преимущественно мшанки (2 вида) с приподнятой над субстратом формой колонии – 67 %. Один из них – *Amathia gracilis* (Leidy, 1855) – обладает мягкотелой (необызвествленной) структурой зоария. Корковые колонии (33 %, 1 вид) более уязвимы в биотопах с интенсивным осадконакоплением, так как могут быть полностью погребены под слоем осадков и взвеси. Биомасса мшанок составляет 0.86 г/м².

Станции группы 5 расположены на глубине 290–350 м. Придонная температура в апреле имеет низкие положительные значения (0.20 – 0.35 °C). Бореально-арктические представители (3 вида) преобладают над арктическими (2 вида) (рис. 3). Грунт представлен мягким коричневым илом с дефицитом твердого субстрата (трубки полихет), что не способствует успешному развитию прикрепленных беспозвоночных. Мшанки немногочисленны как в видовом (5), так и в количественном (биомасса 0.71 г/м²) отношении. Мягкие субстраты особенно неблагоприятны для видов с корковой формой колоний (20 %), поэтому преимущественное развитие здесь получают мшанки с ветвисто-кустистым типом зоария (80 %). Кроме этого, на ст. 27 в условиях интенсивного накопления взвеси и ослабленной гидродинамики отмечены поселения единственного мягкотелого вида – *Alcyonidium gelatinosum* (Linnaeus, 1761). Известны данные о наличии в придонном слое ст. 27 максимального количества фосфатов (87.2 мкг/л) (Ишкулова, Пастухов, 2017). Предполагается, что обилие фосфатов затрудняет получение кальция из воды беспозвоночными и препятствует развитию обызвествленных мшанок.

Станции группы 6 находятся на вершине желоба Франц-Виктория. Характеризуются большой глубиной (300 м) и мягкими илисто-глинистыми грунтами с примесью камней. В апреле 2016 г. отмечена низкая придонная температура (от -0.25 до 0.32 °C), маркирующая арктическую водную массу, и выявлены в равных долях арктические и бореально-арктические виды (по 2 соответственно), наличие последних свидетельствует о возможных колебаниях температуры воды в другие сезоны года (рис. 3). В условиях дефицита твердых субстратов и усиленного осадконакопления развиваются исключительно мшанки с приподнятой над субстратом формой колонии (100 %, 4 вида), в том числе 2 мягкотелых (необызвествленных) вида рода *Alcyonidium*. Благодаря развитию здесь поселений *Sarsiflustra abyssicola* (Sars G.O., 1872) с кустистым зоарием, биомасса мшанок немного повышена – 2.36 г/м².

Станции группы 7 расположены на возвышенности (170–240 м) и находятся под влиянием холодных арктических вод и трансформированных атлантических водных масс, поступающих в Баренцево море по желобу Святой Анны. Характеризовались в апреле 2016 г. отрицательной придонной температурой (–0.30...–0.62 °С). Грунт представлен илисто-песчанистой глиной с камнями. Данный участок отличается повышенными видовым разнообразием (13) и биомассой (19.47 г/м²). Доминируют древовидные формы мшанок с прочным известковым скелетом – *Leieschara coarctata* (M. Sars, 1863), *Hornera lichenoides* (Linnaeus, 1758) и *Palmiskenea plana* (Hincks, 1888). Бореально-арктические виды мшанок (7) преобладают над арктическими (5) (рис. 3).

Станции группы 8 располагаются на склоне желоба Святой Анны на глубине 300–370 м. В апреле 2016 г. район находился под влиянием холодных арктических вод и трансформированных атлантических водных масс (придонная температура от –0.04 до –1.57 °С). Донные осадки представлены коричневыми илами и глиной. Арктические виды мшанок (7) значительно доминируют над бореально-арктическими (4). Кроме этого, отмечено 2 бореальных вида, вероятно, благодаря влиянию атлантических вод (рис. 3). Здесь также выявлено повышенное видовое разнообразие мшанок (13) при пониженной биомассе (10.12 г/м²).

В северо-западном районе примечательным является мелководный участок с глубиной 79 м (ст. 39) вблизи о. Эдж (у Шпицбергена). На жестких грунтах с преобладанием грубообломочного материала (мелкие и крупные камни) зафиксированы высокие значения видового разнообразия (54) и биомассы (100.45 г/м²) мшанок. Поэтому здесь доминируют по численности мшанки с корковой и обрастающей субстрат формой колонии – 78 %. Мшанок с разветвленным типом зоария выявлено 22 %, однако они преобладают по биомассе (преимущественно древовидные мшанки родов *Celleporina* и *Leieschara*). Корковая форма колонии обеспечивает плотное прикрепление к субстрату всей поверхностью тела, благодаря чему такие виды хорошо противостоят течениям и усиленной гидродинамике. По биогеографическому составу в районе значительно преобладают бореально-арктические виды – 40, арктических видов 11, бореальных – 3 (рис. 4).

Станции группы 9 расположены в районе Шпицбергенской банки и о. Медвежий. Они характеризуются небольшой глубиной (100–200 м), обилием твердых грунтов (галька, гравий, крупные камни, ракуша) и положительной придонной температурой в ноябре (3.80–5.30 °С). Здесь отмечены максимальные значения видового разнообразия (93) и биомассы (104.70 г/м²). Интенсивная гидродинамика благоприятствует развитию мшанок с корковой формой зоария (59 видов), доминирующих по численности. Разветвленных форм отмечено 34 вида, они преобладают по биомассе. Среди них в сообществах выделяются древовидные мшанки родов *Celleporina* и *Leieschara*, а также обильные поселения кустистых

видов рода *Dendrobeatia*. По биогеографическому составу здесь значительно преобладают бореально-арктические виды – 67, меньше арктических – 22 и бореальных видов – 4 (рис. 4).

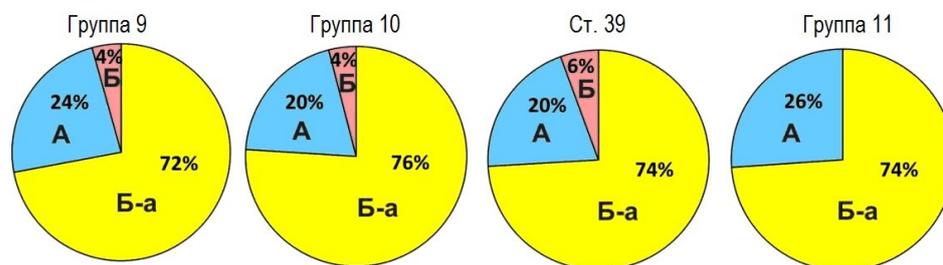


Рис. 4. Биогеографический состав мшанок северо-западного района Баренцева моря:

А – арктический, Б – бореальный, Б-а – бореально-арктический вид

Fig. 4. Biogeographic composition of Bryozoa of the north-western Barents Sea region:

A – arctic, B – boreal, B-a – boreal-arctic species

Станции группы 10 расположены в глубоководном (290–320 м) районе Зюйдкапского желоба и характеризуются в ноябре положительной придонной температурой (3.30–4.70 °С). Грунт представлен преимущественно илесто-песчаными донными осадками с включением грубообломочного материала (камней и ракуши). Благодаря наличию твердых субстратов здесь зарегистрировано достаточно высокое (среди всех станций исследованного района, находящихся в желобах и впадинах) число видов мшанок – 25 (биомасса 3.65 г/м²). Характерное для желобов повышенное накопление взвеси способствует развитию мшанок с ветвисто-кустистой формой колонии – 16 видов, корковые представлены 9 видами. По биогеографическому составу доминируют бореально-арктические виды – 19, арктических видов 5, а бореальных всего 1 вид (рис. 4).

Станции группы 11 расположены в проливе Стур-фьорд. Район характеризуется средней глубиной (130–200 м), отрицательной придонной температурой в июле 2017 г. (–1.25...–1.87 °С) и мягкими илесто-глинистыми грунтами с небольшим количеством твердых субстратов (ракуши и мелких камней), что приводит к снижению численности (22 вида) и биомассы (1.94 г/м²) мшанок по сравнению с Зюйдкапским желобом. Так как отмечено 12 видов с корковой и 10 видов с кустистой формой колоний, то можно предположить, что процессы осадконакопления здесь практически уравновешены процессом переноса взвеси. Отрицательная температура в июле в этом районе благоприятно сказывается на развитии поселений арктического вида с мягкотелым типом зоария – *Alcyonidium radicellatum* Kluge, 1946. По биогеографическому составу значительно

преобладают бореально-арктические виды – 17, арктических видов отмечено 6, бореальные виды не обнаружены (рис. 4).

В западной части района исследований (у архипелага Шпицберген), благодаря наличию теплых водных масс, практически во всех местах (за исключением пролива Стур-фьорд, где даже в июле отмечается отрицательная придонная температура) встречаются бореальные виды (4–6 %). Наибольшая доля арктических видов мшанок зарегистрирована в проливе Стур-фьорд (26 %) и в районе Шпицбергенской банки (24 %) с глубинами 100–200 м, меньшее количество – в районе Зюйдкапского желоба (20 %), по которому проходит заток атлантической воды в Баренцево море, и о. Эдж (20 %).

Заключение. В материале, собранном в северной части Баренцева моря в 2016–2017 гг., зарегистрировано 124 вида мшанок, что составляет 44 % от всех Bryozoa водоема. Обнаружен новый для фауны моря арктический вид – *U. gorbunovi*. Вероятно, это обусловлено потеплением Арктики, что позволило исследовать районы, ранее покрытые льдом.

Район исследований можно разделить на две неравные по площади части, заметно отличающиеся как по физико-географическим характеристикам, так и по фауне мшанок (разнообразию, обилию и биогеографической структуре). Это более тепловодный и мелководный западный район у архипелага Шпицберген, где выявлены максимальные значения видового разнообразия (93) и биомассы (104.70 г/м²) мшанок, а также более холодноводный и глубоководный центральный и северо-восточный районы, маркированные “кочующей” кромкой льда, где разнообразие не превышает 19 видов и биомасса составляет 23.00 г/м².

Установлено, что основными факторами, влияющими на видовое разнообразие и обилие мшанок, являются тип грунта, а также интенсивность гидродинамики и осадконакопления. Так, максимальное число видов (и биомасса) зафиксировано в биотопах с обилием твердого субстрата и повышенной гидродинамикой, а минимальное – в районах мягких грунтов с дефицитом грубообломочного материала и усиленным осадконакоплением.

Интенсивность гидродинамики и осадконакопления определяют предпочтительную форму зоария мшанок в формируемом таксоценозе. Активная гидродинамика и пониженное осадконакопление способствует развитию корковых и обрастающих субстратов мшанок, а повышенное осадконакопление – приподнятых над субстратом ветвисто-кустистых форм.

Следует отметить, что максимально отличающиеся по структуре (степени обызвествленности) колонии мшанки предпочитали разные температурные условия. Необызвествленные (мягкотельные) мшанки встречались преимущественно в местах с ярко выраженной отрицательной температурой, а сильно обызвествленные древовидные (с толстым известковым скелетом – *Celleporina*, *Leieschara*) – преимущественно в местах с положительной температурой воды.

Биогеографическую структуру сообществ мшанок закономерно определяет характер водных масс (главным образом, температура). Так, в более холодноводной прикромочной части района исследований (в районе кромки льда) (рис. 1) повсеместно значительную долю составляют арктические виды (от 39 до 67 %), за исключением южной группы 1 (25 %) (рис. 3). Примечательно, что бореальные виды здесь отмечены только в районе действия затока атлантической водной массы по желобам Франц-Виктория (группа 4) и Святой Анны (группа 8) (рис. 3).

В более тепловодной западной части района исследований (у архипелага Шпицберген) (рис. 1) доля арктических видов в самом холодноводном участке пролива Стур-фьорд не превышает 26 % (рис. 4). И только здесь не отмечены бореальные виды. Биогеографическая структура мшанок в районе Зюйдкапского желоба (группа 10), обеспечивающего заток атлантической воды в Баренцево море, и о. Эдж (ст. 39), куда она доходит, практически идентична (рис. 4).

Литература

Бентосные сообщества архипелага Земля Франца-Иосифа / Е.А. Фролова, О.Ю. Ахметчина, Е.А. Гарбуль и др. // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2014. Т. № 4 (23). Сер. Океанология. Вып. 2. С. 179–222.

Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов и др. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2016. 260 с.

Животные и растения Баренцева моря / В.Ф. Брызгин, Н.В. Денисенко, С.Г. Денисенко, Э.Е. Калюжный, В.М. Рыжов. Апатиты: Изд-во КФ АН СССР, 1981. 37 с.

Зацепин В.И. Сообщества донной фауны Мурманского побережья Баренцева моря и их связь с сообществами Северной Атлантики // Тр. Всесоюз. гидробиол. общ-ва. 1962. Т. 12, ч. 2. С. 245–344.

Идельсон М. Материалы по количественному учету донной фауны Шпицбергенской банки (Баренцево море) // Тр. Морского науч. ин-та. 1931. Т. IV, вып. 3. С. 27–46.

Ишкулова Т.Г., Пастухов И.А. Гидрохимическая обстановка в прикромочной зоне ледовых полей в Баренцевом море весной 2016 года // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2017. Т. 2(8). Сер. Океанология. Вып. 4. С. 25–30.

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.

Клюге Г.А. Мшанки северных морей СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 584 с.

Ожигин В.К., Ившин В.А. Водные массы Баренцева моря. Мурманск: Изд. ПИНРО, 1999. 48 с.

Современный бентос Баренцева и Карского морей / Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. 486 с.

Филатова З.А. Количественный учет донной фауны юго-западной части Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1938. Вып. 2. С. 3–58.

Gontar V.I., Denisenko N.V. Arctic Ocean Bryozoa // The Arctic seas. Climatology, oceanography, geology and biology. New York, 1989. P. 341–373.

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. 293–312.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.007

УДК 574/577

П.А. Заволока

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРОГО ТЮЛЕНЯ *HALICHOERUS GRYPUS* В УСЛОВИЯХ ЩЕНКИ И ВСКАРМЛИВАНИЯ

Аннотация

Исследованы морфометрические показатели самок серого тюленя при различных физиологических фазах онтогенеза (линька, беременность, щенка и вскармливание в условиях, приближенных к естественным). Установлено, что щенка незначительно влияет на рост половозрелых самок, в то время как вскармливание наиболее энергозатратно, оно вызывает дальнейшие девиации в наборе массы.

Ключевые слова: серые тюлени, роды, вскармливание, морфометрия.

P.A. Zavaloka

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

STUDY ON CHANGES IN MORPHOMETRIC PARAMETERS OF GRAY SEAL *HALICHOERUS GRYPUS* UNDER PARTURITION AND MILK-REARING OF PUPS

Abstract

In the study, morphometric indicators of female grey seals were measured to detect changes in their size characteristics during various physiological phases of ontogenesis, including molting, pregnancy, pup and feeding in conditions close to natural. It was found that the pup itself slightly affected the growth of a Mature female seal, while feeding was the most energy-consuming, causing further deviations in the weight gain.

Keywords: grey seals, parturition, milk-rearing, morphometry.

Введение. Исследования морфометрических показателей животного позволяют отслеживать изменения размерных параметров его организма, имеющих сезонный и возрастной характер, контролировать физическое

состояние тела. Беременность и вскармливание потомства являются одними из важнейших этапов онтогенетического развития животного, вносящие значительные изменения в рост серого тюленя. По литературным данным, серые тюлени теряют до 35–40 % массы по окончанию вскармливания (Mellish et al., 1999; Nutritional ..., 2020), что значительно больше потери массы при самом рождении (Kovacs, Lavigne, 1986). Хотя в дикой природе во время вскармливания серые тюлени обычно проходят через период голодания (Cronin et al., 2013), в неволе отказа от пищи происходит редко, что было отмечено в наблюдениях ученых (Fedak, Anderson, 1982; Kovacs, Lavigne, 1986; Nutritional ..., 2020). Во время вскармливания количество съедаемой пищи может незначительно уменьшаться и резко увеличиваться после спаривания (Kastelein, Wierkema, 1988, 1990). Увеличение потребляемой пищи наблюдается преимущественно в период лактации и составляет до 25 % по сравнению со среднегодовым (Nutritional ..., 2020). В литературе описан случай отказа от пищи на протяжении 19 сут. от рождения щенка (Leslie, 1974), а также полная или частичная потеря аппетита при смерти щенка до окончания вскармливания (Leslie, 1974). Дальнейшее изучение морфометрии самок серого тюленя в репродуктивный период может дополнить имеющиеся в литературных источниках сведения по данной тематике.

В ходе исследований нами были выполнены морфометрические измерения самок серых тюленей для выявления изменений их размерных характеристик при различных физиологических фазах онтогенеза, включая линьку, беременность, щенку и вскармливание в условиях, приближенных к естественным.

Материал и методы. В нашей работе представлены данные, полученные с июля 2017 г. по февраль 2020 г. на биотехническом аквакомплексе ММБИ в г. Полярный. Объектом исследования стали три половозрелые самки (Вета, Соня, Бузя) атлантического серого тюленя *Halichoerus grypus atlantic* Nehring, 1866 (The forgottentype ..., 2016) 2005 года рождения. Вета родила в январе 2018 г., Бузя – в декабре 2019 г. Из двух щенков только щенок 2019 г. выжил и был успешно вскормлен матерью.

Замеры проводились гибкой измерительной лентой (метром) и модульными весами MASSA-K 4D-B-23_A. Для получения данных были проведены замеры следующих параметров: подмышечный обхват (V), пояничный обхват (V_п) масса тюленя (M) (Наставление ..., 2003). Объем корма контролировался, рацион составляли атлантическая сельдь, мойва и путассу.

Результаты и обсуждение. За 2 года подмышечный обхват у тюленей Соня и Вета имел повторяющуюся схему изменений. Он уменьшался до минимальных значений в момент линьки и увеличивался до максимальных значений в сентябре–октябре. У обеих самок колебание подмышечного обхвата составило около 12 % от максимально

зарегистрированных значений. У Бузи максимум подмышечного обхвата наблюдался в августе–сентябре, и к ноябрю–декабрю размеры слабо уменьшались. Минимум был зарегистрирован в постродовой период, однако и во время линьки отмечалось снижение. Колебание показателя V составило 15.1 % (рис. 1).

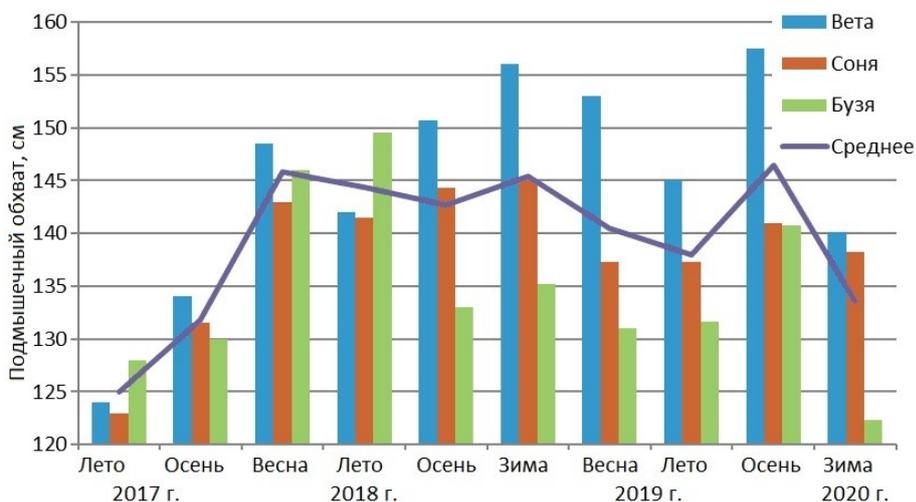


Рис. 1. Изменение подмышечного обхвата тела
Fig. 1. Changing the axillary girth of the body

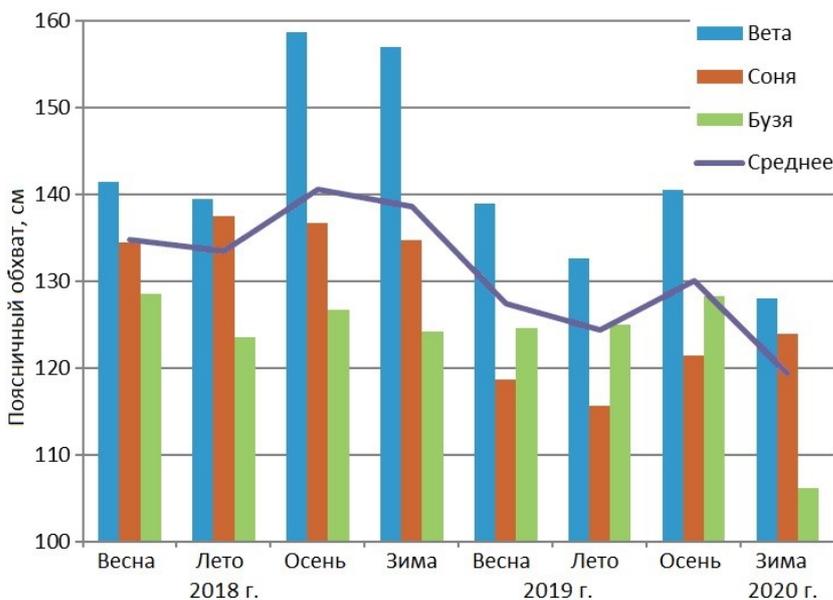


Рис. 2. Изменение поясничного обхвата тела
Fig. 2. Changing in the lumbar girth of the body

У тюленя Веты поясничный обхват был больше с сентября 2018 г. по январь 2019 г. У Бузи такой случай был зарегистрирован лишь с октября по ноябрь 2018 г. У Сони таких повышений не отмечено. Минимум параметра V_b отмечался после линьки, максимум – в январе–феврале. У Веты он уменьшался до 21.74 % от максимального значения, у Сони – до 22.76 %, а у Бузи – 16.91 % (рис. 2).

Рассмотрим изменение массы серого тюленя. В результате родов Вета потеряла 13.4 % своей массы, Бузя – 30.8 % (роды были удачными, последовало вскармливание). В последнем случае это находит подтверждение в литературных источниках (Fedak, Anderson, 1982; Kovacs, Lavigne, 1986; Nutritional ..., 2020). Среднегодовой максимум массы отмечался в те же периоды, что и максимум подмышечного обхвата, а минимум – в период линьки. Масса Веты колебалась от 130.5 до 161.5 кг в первый год и от 132 до 143.5 кг во второй. У Сони показатель массы был наиболее стабилен по сравнению с двумя другими тюленями – от 115.5 до 131 кг. Такой стабильный набор массы характерен для половозрелых самок, не участвующих в размножении (Nutritional ..., 2020). У Бузи отмечались наиболее заметные колебания массы, максимум был зафиксирован в марте 2018 г. и составил 140 кг. Во время второй линьки он уменьшился, и с этого момента колебался от 105 до 128 кг (рис. 3).

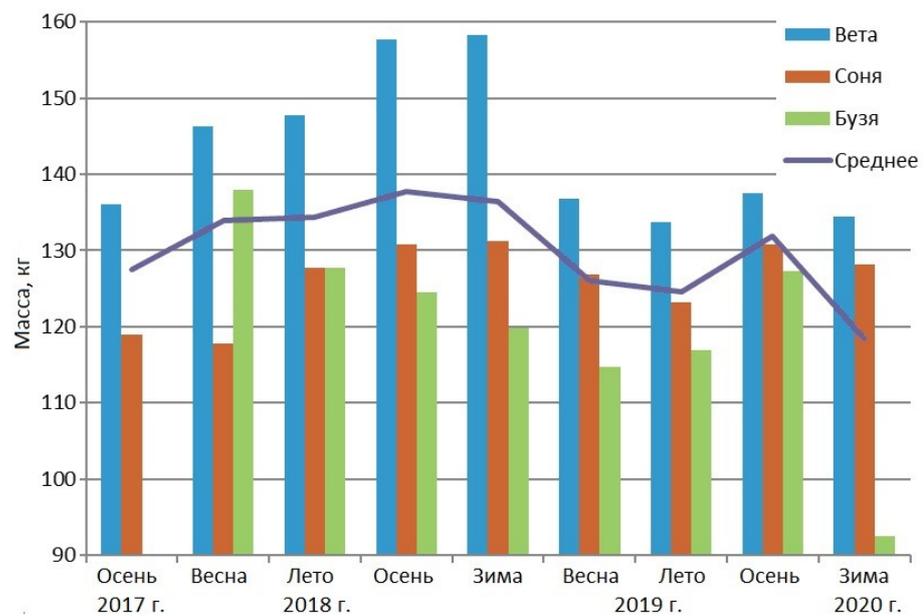


Рис. 3. Изменение массы тела
Fig. 3. Changes in body weight

В декабре 2019 г. и январе 2020 г. из-за появления дикого самца серого тюленя вблизи акватории аквакомплекса Вета стала крайне нервной, перестала питаться и реагировать на команды тренеров, так что

измерить ее не представлялось возможным. Тактильный контакт с животным удалось восстановить только после спаривания самца с Бузей, что может указывать на проявление эффекта гона у Веты. За этот период Вета похудела с 138 до 127 кг. Соня в данное время также проявляла беспокойство и частично отказывалась от пищи, но значительного уменьшения массы не наблюдалось. Бузю удалось взвесить только после окончания периода вскармливания, так как были опасения нанести травму щенку или матери в ограниченном пространстве вольера. Было зарегистрировано, что животное похудело с 126.5 кг перед наступлением щенки до 89 кг после окончания вскармливания. В результате усиленного кормления животное увеличило массу до 98.5 кг за 2 недели, однако в течение последующего месяца сбросило массу до 87 кг. Продолжение усиленного режима питания в феврале позволило достичь массы в 92 кг. Это может быть объяснено сильными морозами (до -19.7°C) и повышенным метаболизмом для поддержания температуры тела (Очоа-Асиña et al., 2009), так как животное могло израсходовать до 84 % жирового запаса на вскармливание, потеряв при этом значительный объем термоизолирующего слоя (Kovacs, Lavigne, 1986).

В целом у тюленей количество потребляемой пищи увеличивалось в осенне-зимний период и уменьшалась в период линьки. В среднем один тюлень съедал в месяц от 93.5 до 140 кг рыбы. Исключения составили послеродовые периоды, когда масса съеданной рыбы увеличивалась на 20–24 %, и периоды гона у нерожавших самок, когда потребление рыбы сокращалось в 2–3 раза (рис. 4).

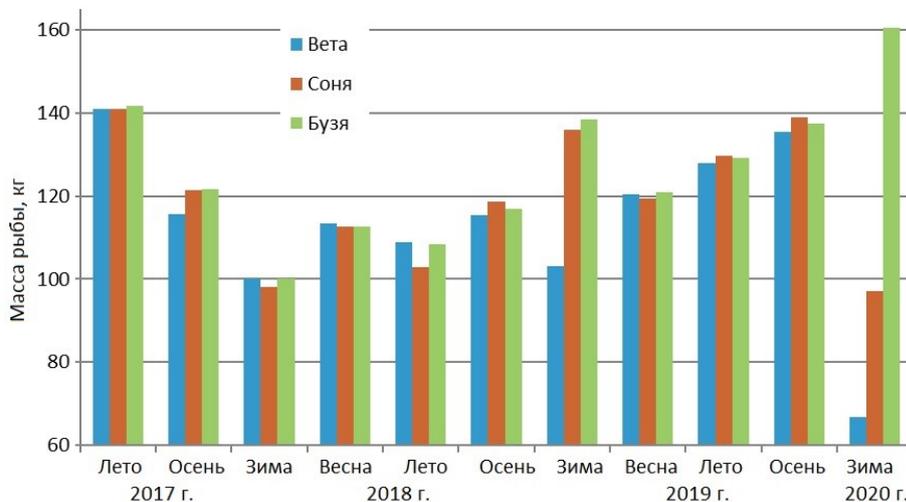


Рис. 4. Количество потребляемой пищи
 Fig. 4. The amount of food consumed

Выводы. Доля потери массы тела у тюленя при вскармливании в нашей работе сопоставима с результатами подобных исследований. Потеря массы самкой тюленя в период вскармливания значительно больше, чем потеря массы при щенке. В условиях аквакомплекса ММБИ среднегодовой пик набора массы наблюдался в середине осени, в то время как в литературных источниках указывается конец лета (Nutritional ..., 2020). Скорее всего, это связано с географией расположения аквакомплекса и сопутствующими климатическими условиями (Fedak, Anderson, 1982; Kovacs, Lavigne, 1986; Kastelein, Wiepkema, 1988, 1990; Mellish et al., 1999; Nutritional ..., 2020). По нашим наблюдениям сама щенка незначительно повлияла на рост половозрелой самки тюленя, в то время как вскармливание было наиболее энергозатратно, вызвав дальнейшие девиации в наборе массы. Самка, не участвующая в размножении, показала наибольшую стабильность в сезонном изменении морфометрических параметров.

Литература

Наставление для полевого определения китообразных и ластоногих в Северо-Восточной Атлантике и прилегающих прибрежных водах / В.Н. Светочев, В.Ф. Прищемихин, О.Н. Светочева, В.А. Бондарев. Архангельск: Изд. Техн. ун-та, 2003. 56 с.

Cronin M., Pomeroy P., Jessopp M. Size and seasonal influences on the foraging range of female grey seals in the northeast Atlantic // *Mar. Biol. Sci.* 2013. Vol. 160. P. 531–539. Doi: 10.1007/s00227-012-2109-0

Fedak M.A., Anderson S.S. The energetics of lactation: accurate measurements from a large wild mammal, the grey seal (*Halichoerus grypus*) // *J. Zoology.* 1982. Vol. 198. P. 473–479.

Kastelein R.A., Wiepkema P.R. Case study of neonatal period of a grey seal (*Halichoerus grypus*) in captivity // *Aquatic Mammals.* 1988. Vol. 14, № 1. P. 33–38.

Kastelein R.A., Wiepkema P.R. The suckling period of a grey seal (*Halichoerus grypus*) while confined to an outdoor land area // *Aquatic Mammals.* 1990. Vol. 16, № 3. P. 120–128.

Kovacs K.M., Lavigne D. M. Maternal investment and neonatal growth in phocid seals // *J. Animal Ecology.* 1986. Vol. 55. P. 1035–1051.

Leslie G. Breeding the Grey Seal at Aberdeen Zoo // *International Zoology Yearbook.* 1974. Vol. 14. P. 130–131.

Mellish J.E., Iverson S.J., Bowen W.D. Variation in milk production and lactation performance in grey seals and consequences for pup growth and weaning characteristics // *Physiological and Biochemical Zoology.* 1999. Vol. 72(6). P. 677–690. Doi: 10.1086/316708

Nutritional management, caloric food intake, and body mass of grey seals (Halichoerus grypus) under human care / F. Grande, R. Macrelli, A. Libertini, A. Arbuatti, L. Fiorucci // Aquatic Mammals. 2020. Vol. 46(1). P. 49–57. Doi: 10.1578/AM.46.1.2020.49

Ochoa-Acuña H.G., McNab B.K., Miller E.H. Seasonal energetics of northern phocid seals // *Comparative Biochemistry and Physiology*. 2009. Part A 152. P. 341–350.

The forgottentype specimen of the grey seal [*Halichoerus grypus* (Fabricius, 1791)] from the island of Amager, Denmark / M.T. Olsen, A. Galatius, V. Biard, K. Gregersen, C.C. Kinze // *J. Linnean Society*. 2016. P. 1–8.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.008

УДК 542.06 + 577.1

Л.В. Захарова

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ЭКСТРАКЦИИ ПОЛИФЕНОЛОВ ИЗ *FUCUS VESICULOSUS* СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ

Аннотация

Побережье арктических морей богато запасами бурых водорослей, являющихся источником ценных фармацевтических субстанций, в частности полифенолов. В исследовании проведено сравнение содержания общих полифенолов водорослей *Fucus vesiculosus* из морей Баренцева, Белого, Норвежского и Ирмингера (западное побережье Исландии). Предложена методика исчерпывающей экстракции и показана ее эффективность. Выявлены перспективные районы для добычи сырья с наибольшим содержанием полифенолов.

Ключевые слова: полифенолы, флоротанины, исчерпывающая экстракция, бурые водоросли, *Fucus vesiculosus*, Баренцево море, Белое море, Норвежское море, море Ирмингера.

L.V. Zakharova

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR THE EXTRACTION OF POLYPHENOLS FROM *FUCUS VESICULOSUS* OF THE OF THE NORTH SEAS

Abstract

The coast of the Arctic seas is rich in reserves of brown algae, which are a source of valuable pharmaceutical substances, in particular polyphenols. The study compared the contents of the total polyphenols of the algae *Fucus vesiculosus* from the Barents, White, Norwegian seas and the Irminger Sea (the western coast of Iceland). A comprehensive extraction technique is proposed and its effectiveness is shown. Promising areas for the extraction of raw materials with the highest polyphenol content have been identified.

Keywords: polyphenols, phlorotannins, exhaustive extraction, brown algae, *Fucus vesiculosus*, Barents Sea, White Sea, Norwegian Sea, Irminger Sea.

Введение. Прибрежная зона арктических морей богата запасами бурых водорослей, которые являются исключительным в своем роде источником ценных фармацевтических субстанций, фитонутриентов, а также компонентов сельскохозяйственного назначения. Полифенолы бурых водорослей обладают целым спектром биологической активности. Они оказывают противовоспалительное, антиоксидантное, противоопухолевое, антибактериальное действие и др. (Phlorotannins ..., 2011). Исследования полифенольных метаболитов бурых водорослей начались еще в начале 1970-х гг., однако до сих пор не теряют своей актуальности. Количество научных работ в этой области резко возросло в последние годы. В первую очередь, это исследования, касающиеся биологической активности полифенолов. Также актуальны исследования, посвященные использованию экстрактов бурых водорослей в качестве функциональных ингредиентов для разработки новых и улучшенных пищевых продуктов главным образом в области молочных продуктов и морепродуктов. Полифенольная фракция бурых водорослей преимущественно содержит флоротанины – полимеры флороглюцина. Флоротанины относятся к вторичным метаболитам, выделенным только из бурых водорослей (Phaeophyta). Флороглюцин (1,3,5-тригидроксibenзол), мономерное звено флоротанинов, синтезируется ацетат-малонатным путем, и его полимеризация посредством связей С-С или С-О-С приводит к образованию более чем 150 высокогидрофильных флоротанинов.

Известно, что фукоиды характеризуются наибольшим содержанием полифенолов по сравнению с другими семействами бурых водорослей, их содержание может достигать 12–18 % сухой массы водорослей (Holdt, Kraan, 2011). Например, установлено, что *F. vesiculosus*, *F. serratus* и *Ascophyllum nodosum*, произрастающие в акваториях Белого и Баренцева морей, характеризуются высоким содержанием полифенолов (Ragan, Jensen, 1978; Клиндух, Облучинская, 2013; Полифенолы ..., 2018).

В литературе можно встретить несколько методик экстракции полифенольных соединений из растительного материала (Орлова, Повыдыш, 2019). Выбор экстрагента зависит от вида сырья и состава полифенольных фракций. Анализ более ранних исследований, посвященных экстракции и очистке полифенольных соединений, показал, что в качестве экстрагентов в основном используются вода, ацетон, метанол, этанол и их водные растворы в различных соотношениях (Орлова, Повыдыш, 2019). Проводились исследования других факторов, влияющих на полноту извлечения полифенолов, такие как время экстракции, температура, соотношение количества сырья и растворителя, степень измельчения сырья. Авторами исследования (Antioxidant ..., 2012) было выявлено, что оптимальным условием экстракции полифенолов из талломов

F. vesiculosus является 70 %-й водный раствор ацетона в соотношении сырье:экстрагент 1:25. Для извлечения полифенолов сухие измельченные водоросли диспергируют в растворителе и инкубируют в шейкере в течение 24 ч при 200 об/мин и комнатной температуре. Экстракт центрифугируют при 4 °С. В современных исследованиях предлагаются различные модификации методик экстрагирования и очистки полифенольных соединений (Rajauria, 2018).

Известно, что на содержание полифенолов оказывают влияние сезон, соленость и другие факторы (Ragan, Jensen, 1978). В связи с огромным потенциалом использования водорослей в качестве сырья для производства биологически активных веществ (БАВ) актуальным является выбор водоемов, акватории которых обладают наиболее благоприятным комплексом факторов для накопления полифенольных соединений водорослями. Цель исследования – разработка способа исчерпывающей экстракции полифенолов и сравнительное исследование их содержания в образцах фукуса пузырчатого, произрастающего на побережье арктических морей (Баренцева, Белого, Норвежского и Ирмингера).

Материал и методы. Объект исследований – бурая водоросль *F. vesiculosus* Linnaeus 1753. Водоросли в возрасте 4+...6+ были собраны во время отлива летом 2019 г. в Норвежском море – мыс Сюдсписсен (ст. 1), море Ирмингера – залив на западном побережье Исландии (ст. 2), Белом море – острова Кандалакшского залива (станции 3–6), Баренцевом море – бухта Завалишина (ст. 7). Районы исследований представлены на рис. 1. В районах отбора проб отсутствуют промышленные предприятия, видимое загрязнение мусором, нефтепродуктами, антропогенная нагрузка. В некоторых районах развито активное судоходство (станции 1, 2, 7), вблизи станций 1 и 2 находятся крупные населенные пункты – г. Тромсё и г. Рейкьявик соответственно. В непосредственной близости от места сбора проб на станциях 2 и 6 находится открытый сероводородный геотермальный источник.

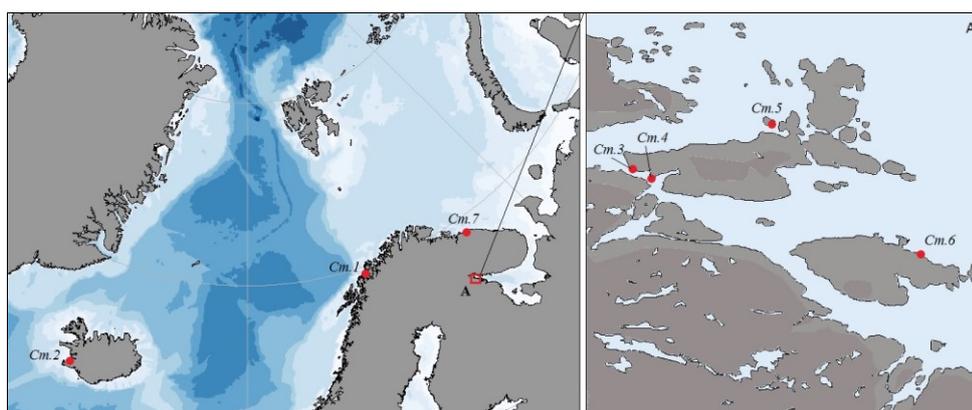


Рис. 1. Районы взятия проб
Fig. 1. Sampling areas

Образцы водорослей были промыты морской водой, талломы очищены от эпифитов, затем высушены в помещении при постоянной температуре 25 °С. Сухие талломы водорослей измельчали с помощью ножевой мельницы Redmond. При отборе проб измеряли соленость морской воды с помощью рефрактометра (таблица).

Характеристика мест сбора водорослей
Sites of algae samples collection

Страна	Номер станции	Район	Координаты	Соленость, ‰
Норвегия	1	Норвежское море мыс Сюдсписсен	69°37.63' с. ш. 18°54.75' в. д.	33
Исландия	2	Море Ирмингера залив Факсафлоуи	64°07.25' с. ш. 21°55.84' з. д.	30
Россия		Белое море Кандалакшский залив:		
	3	о. Большой Горелый	66°18.82' с. ш. 33°36.76' в. д.	23
	4	о. Матренин	66°18.57' с. ш. 33°37.92' в. д.	15
	5	о. Малый Андронин	66°20.00' с. ш. 33°46.01' в. д.	26
	6	о. Пезостров	66°16.39' с. ш. 33°56.06' в. д.	22
	7	Баренцево море бухта Завалишина	69°11.02' с. ш. 35°14.73' в. д.	25

Экстракцию полифенолов проводили с использованием 70 %-го водного раствора ацетона. Для наиболее полного извлечения полифенолов экстракция была многократная исчерпывающая при температуре 4 °С и отсутствии света. Экстракты исследовали отдельно, в каждом было определено содержание полифенолов, затем рассчитано суммарное содержание полифенолов, выраженное в миллиграммах на 1 г абсолютно сухой массы водорослей (а.с.м). Абсолютно сухую массу определяли согласно общепринятой методике (ГОСТ 26185-85). Содержание полифенолов выражали в эквиваленте флороглюцина (мг/г а.с.м.).

Содержание полифенолов в экстрактах водорослей определяли спектрофотометрически при 750 нм с использованием реагента Фолина-Чокальтеу согласно общепринятой методике (Extraction ..., 2015), в качестве стандарта использовали флороглюцин (Sigma-Aldrich, Германия).

Результаты трех параллельных измерений были обработаны методами описательной статистики с оценкой нормальности распределения. Статистические данные были рассчитаны с использованием STATISTICA (системы программного обеспечения для анализа данных, версия 10; StatSoft, Inc., 2011).

Результаты и обсуждение. По данным ряда исследований (High-performance ..., 2007; Antioxidant ..., 2012) наиболее эффективным и селективным экстрагентом по отношению к полифенолам бурых водорослей является 70 %-й водный раствор ацетона. Так, авторы исследования (Antioxidant ..., 2012) при извлечении полифенолов из водорослей *F. vesiculosus* сравнили экстрагирующую способность воды, 80 %-го метанола, 80 %-го этилацетата, 80 %-го этанола, 50 %-го этанола и 70 %-го ацетона. По результатам исследований, полярные органические растворители экстрагируют флоротанины в отличие от воды более селективно. Авторы отмечают, что 70 %-й водный раствор ацетона извлекает наибольшее количество флоротанинов по сравнению с другими экстрагентами. Именно 70 %-й раствор ацетона имеет оптимальную полярность для эффективной экстракции полифенолов. Предполагается, что ацетон обладает способностью ингибировать образование комплекса полифенолов с белками во время экстракции. Добавление воды в органические растворители способствует ослаблению водородных связей внутри комплекса, что ведет к увеличению растворимости полифенолов (Antioxidant ..., 2012).

Поэтому в данном исследовании нами была проведена серия экспериментов с 70 %-м водным ацетоном. Образцы водорослей экстрагировали многократно последовательно, и каждое извлечение исследовали на содержание полифенолов. В результате исследования определено, что пятикратная экстракция извлекает 99.5 % содержащихся в сырье полифенолов.

Полифенольные соединения чувствительны к воздействию света и температуры. Чтобы не допустить деградации полифенольных соединений при экстракции, был соблюден температурный режим сушки сырья и экстракции. Температура сушки является значимым параметром для сохранения полифенольных соединений, так, например, авторы работы (Effects ..., 2018) показали снижение уровня полифенольных соединений и антиоксидантной активности у *F. vesiculosus* из-за повышения температуры сушки сырья с 35 до 75 °С.

Известно, что при повышенной температуре процесс экстрагирования проходит более интенсивно, однако при нагревании возможна потеря целевого компонента из-за его разрушения под воздействием тепла. В предложенной методике экстракция проводилась при 4 °С, а максимальная эффективность извлечения полифенолов получена за счет пятикратной экстракции.

По результатам оценки количественного содержания полифенолов в водорослях *F. vesiculosus* из разных арктических акваторий (рис. 2), было отмечено, что в растениях на станциях 2–5, 7 наибольшее количество полифенолов было извлечено первой экстракцией – 28–54 %, а количество полифенолов после пятой экстракции составляло 5–17 %.

Наибольшее количество полифенолов из водорослей Норвежского моря (ст. 1) было извлечено второй экстракцией 42 %, а пятой экстракцией – 6 %.

Эффективность третьей и четвертой экстракции для станций 1, 2, 4, 5, 7 составила 10–15 и 7–16 %, для ст. 3 – 20 и 25 %, а для ст. 6 – 21 и 22 % соответственно.

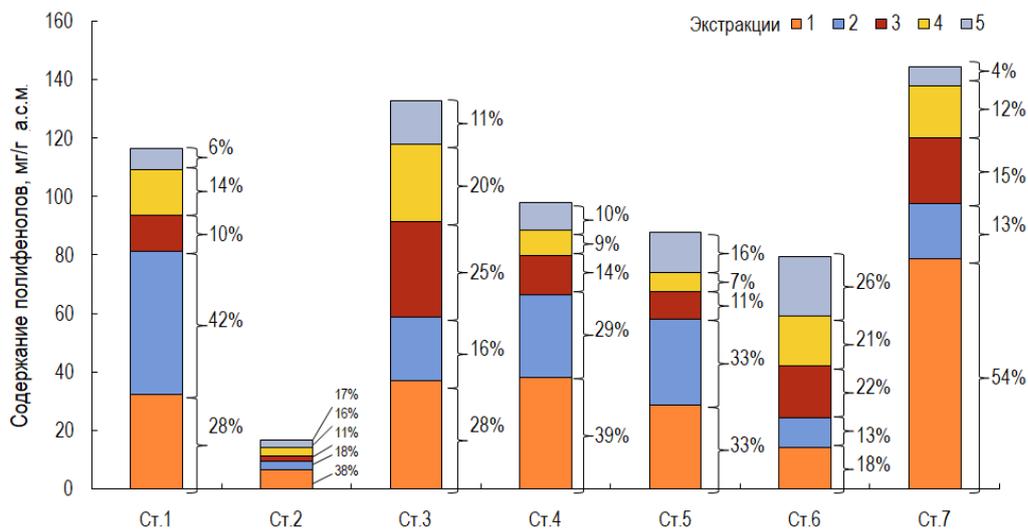


Рис. 2. Содержание полифенолов в *F. vesiculosus* из разных мест обитания
Fig. 2. Polyphenol content in *F. vesiculosus* from different habitats

На станции 6 большая часть полифенолов извлекалась пятой экстракцией (26 %), наименьшее количество полифенолов извлечено второй экстракцией (13 %).

По сумме пяти экстракций общее содержание полифенолов в водорослях бухты Завалишина (ст. 7) оказалось наибольшим (144 мг/г а.с.м.), при этом первой экстракцией полифенолов было извлечено 54 %, пятой – 5 %.

Сравнительное исследование влияния местообитания водорослей на содержание полифенолов показало, что наименьшее суммарное содержание полифенолов отмечено в водорослях залива Факсафлуи (ст. 2) – 17 мг/г. Основная фракция полифенолов извлекалась первой экстракцией (38 %), каждая последующая экстракция составляла 11–18 %.

Таким образом, наибольшее количество полифенолов извлекается 70 %-м водным раствором ацетона первой экстракцией – 54 %, исключение водоросли со станций 1 и 6. Однократная экстракция позволила извлечь только до 54 % полифенольных соединений, что обусловлено возникновением равенства концентраций извлекаемых веществ в объеме водорослевого сырья и в объеме экстрагента.

В соответствии со вторым началом термодинамики при взаимодействии твердой и жидкой фаз их состояние стремится к достижению данного равновесия, при полном извлечении компонента его концентрации выравниваются в объеме сырья и экстрагента. Исходя из данного закона, целесообразно проводить многократную экстракцию до достижения наиболее полного извлечения полифенольных соединений.

Следовательно, метод многократной исчерпывающей экстракции является наиболее эффективным, так как позволяет извлечь до 99.5 % полифенольных соединений из водорослевого сырья.

В результате исследования были получены данные о содержании полифенолов в водорослях *F. vesiculosus*, собранных в летний гидрологический сезон. В зависимости от места сбора водорослей выявлены существенные отличия в содержании полифенолов при условии, что была соблюдена одинаковая методика отбора и подготовки проб, а также условия экстракции. Наибольшее содержание полифенолов обнаружено в водорослях бухты Завалишина в Баренцевом море, у о. Большой Горелый в Белом море, а также в водорослях у мыса Сюдсписсен в Норвежском море, что согласуется с данными других исследователей. Так, в работе (Effects ..., 2018) авторы показали высокое содержание полифенолов в зимний период в этих же видах водорослей (11–14 %) с побережья Тронхеймс-фьорда (Норвегия). М.П. Клиндух и Е.Д. Облучинской (2013) установлено содержание полифенолов в водорослях *F. vesiculosus* (15.4–18.6 % а.с.м.) и *A. nodosum* (14.6–14.8 % а.с.м.), произрастающих в Белом и Баренцевом морях. Примечательно, что наименьшее содержание полифенолов было обнаружено в водорослях залива Факсафлоуи (море Ирмингера), а также у о. Пижостров в Белом море, данные локации имеют общий характерный абиотический фактор – выход сероводорода на поверхность. В заливе Факсафлоуи водоросли были собраны в непосредственной близости от термального источника. Во время прилива морская вода смешивается с более теплой и менее соленой водой геотермальной ванны, и водоросли полностью в нее погружаются до следующего отлива. Полученные данные представляют интерес, так как ранее не сообщалось о том, какое влияние оказывает сероводород на накопление полифенольных соединений бурными водорослями, для установления этого факта требуются дальнейшие исследования.

Выводы. В результате исследования предложена методика пятикратной исчерпывающей экстракции полифенолов, которая позволяет достичь наиболее полного извлечения данных веществ из водорослей. Было установлено, что однократная экстракция позволяет извлечь до 54 % полифенольных соединений, тогда как при пятикратной экстракции – до 99.5 % полифенолов из сырья.

Определено суммарное содержание полифенольных соединений в водорослях *F. vesiculosus* в районах Баренцева и Белого морей, а также Северо-Западной Атлантики (Норвежское море и море Ирмингера).

Выявлено, что наиболее ценным сырьем для извлечения полифенольных соединений являются бурые водоросли *F. vesiculosus*, произрастающие в бухте Завалишина Баренцева моря, где было отмечено наиболее высокое суммарное содержание полифенолов после пяти экстракций (144 мг/г а.с.м). Также высокое содержание полифенолов обнаружено в водорослях у о. Большой Горелый в Белом море (133 мг/г а.с.м) и произрастающих на побережье мыса Сюдсписсен в Норвежском море (116 мг/г а.с.м.).

Наименьшее суммарное количество полифенолов выявлено в водорослях залива Факсафлоуи западного побережья Исландии (море Ирмингера) – 17 мг/г а.с.м.

Статистически значимые различия в содержании полифенолов в водорослях одного вида, собранных в различных районах Арктики, могут быть обусловлены адаптацией растений к определенным факторам среды. Место произрастания водорослей определяет физиологические и биохимические процессы в макроводорослях, поскольку именно в данных условиях среды растения формируют защитные функции к временным и постоянным воздействиям различных факторов (солености, освещенности, антропогенной нагрузке и др.) и приспосабливаются к определенному комплексу всех факторов среды обитания.

Автор выражает благодарность научному руководителю канд. фарм. наук Е.Д. Облучинской за ценные замечания к работе, канд. биол. наук Д.В. Захарову за сбор и предоставление водорослей Норвежского моря, также А.И. Ильясовой за сбор и предоставление водорослей из Белого моря.

Литература

Клиндух М.П., Облучинская Е.Д. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // Вестн. Мурм. гос. техн. ун-та. 2013. № 16(3). С. 466–471.

Орлова А.А., Повыдыш М.Н. Обзор методов качественного и количественного анализа танинов в растительном сырье // Химия растительного сырья. 2019. № 4. С. 29–45.

Полифенолы бурых водорослей / К.Г. Боголицын, А.С. Дружинина, Д.В. Овчинников, П.А. Каплицин, Е.В. Шульгина, А.Э. Паршина // Химия растительного сырья. 2018. № 3. С. 5–21.

Antioxidant capacities of phlorotannins extracted from the brown algae Fucus vesiculosus / T. Wang, R. Jónsdóttir, H. Liu, L. Gu, H.G. Kristinsson, S. Raghavan, G. Olafsdóttir // Agricultural and food chemistry. 2012. Vol. 60. P. 5874–5883.

Effects of drying on the nutrient content and physico-chemical and sensory characteristics of the edible kelp Saccharina latissima / P. Stévant, E. Indergard,

A. Ólafsdóttir, H. Marfaing, W.E. Larssen, J. Fleurence, M.Y. Roleda, T. Rustad, R. Slizyte, T.S. Nordtvedt // *J. Applied Phycology*. 2018. Vol. 30. P. 2587–2599.

Extraction and purification of phlorotannins from brown algae / E.A. Gall, F. Lechat, M. Hupel, C. Jégou, V. Stiger-Pouvreau // *Methods Mol Biol*. 2015. Vol. 1308. P. 131–143.

*High-performance liquid chromatographic analysis of phlorotannins from the brown alga *Fucus vesiculosus** / R. Koivikko, J. Lojonen, K. Pihlaja, V. Jormalainen // *Phytochemical Analysis*. 2007. Vol. 18. P. 326–332.

*Holdt S.L., Kraan S. Optimization of phlorotannins extraction from *Fucus vesiculosus*, bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation* // *J. Appl. Phycol*. 2011. Vol. 23, № 3. P. 543–597.

Phlorotannins as bioactive agents from brown algae / Y.X. Li, I. Wijesekara, Y. Li, S.-K. Kim // *Process biochemistry*. 2011. Vol. 46, № 12. P. 2219–2224.

*Ragan M.A., Jensen A. Quantitative studies on brown algal phenols. II Seasonal variation in polyphenol content of *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. and *Fucus vesiculosus** // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*. 1978. Vol. 34, № 3. P. 245–258.

Rajauria G. Optimization and validation of reverse phase HPLC method for qualitative and quantitative assessment of polyphenols in seaweed // *J. Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2018. Vol. 148, № 3. P. 230–237.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.009

УДК 504.064.2

А.Н. Карнатов

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

КОЭФФИЦИЕНТЫ УЯЗВИМОСТИ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ОТ НЕФТИ НА ПРИМЕРЕ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА

Аннотация

Рассчитаны коэффициенты уязвимости морских млекопитающих в Кольском заливе от нефти на основе потенциального воздействия, чувствительности и восстанавливаемости. Для чувствительности принимается, что отрицательные эффекты от вдыхания паров нефти могут проявляться при толщине пленки 5 мм и не проявляться при 0.1 мм. По времени нахождения животных под водой и на поверхности воды вероятность воздействия нефти для ластоногих составляет 1 %, для китообразных – 0.1 %. Время восстановления морских млекопитающих после воздействия нефти в Кольском заливе составит 1 год.

Ключевые слова: морские млекопитающие, чувствительность, потенциальное воздействие, восстанавливаемость, уязвимость.

A.N. Karnatov

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

VULNERABILITY COEFFICIENTS OF MARINE MAMMALS TO OIL ON KOLA BAY EXAMPLE

Abstract

Vulnerability coefficients of marine mammals to oil were calculated for the Kola Bay based on the potential impacts, sensitivity and recoverability. For the sensitivity, a film thickness of 5 mm was assumed, at which negative effects from the inhalation of hydrocarbons can appear, and 0.1 mm as inactive film thickness on the marine mammals. The values of probability impact of oil on pinnipeds – 1 % and cetaceans – 0.1 % were adopted according to the time which animal spend diving and during the surface. Given the number of marine mammals in the Barents Sea and the Kola Bay, the recovery time for marine mammals in bay is accepted as 1 year.

Keywords: marine mammals, sensitivity, potential impact, recovery, vulnerability.

Введение. В акватории Кольского залива наблюдаются разные виды морских млекопитающих, однако к наиболее многочисленным и чаще встречаемым можно отнести следующих: ластоногие – серый тюлень *Halichoerus grypus*; зубатые киты – беломордый дельфин *Lagenorhynchus albirostris* и морская свинья *Phocoena phocoena*; усатые – малый полосатик *Balaenoptera acutorostrata* (Зайцев, Трошичев, 2018; Zaytsev et al., 2018). Лежки серого тюленя отмечены на о. Сальный. В связи с этим существует необходимость в учете и защите этих животных, особенно краснокнижных видов – серого тюленя (Красная книга ..., 2001, 2014) и беломордого дельфина (Красная книга ..., 2014) – от возможных негативных воздействий разливов нефти в Кольском заливе.

Все морские млекопитающие проводят определенную часть времени на водной поверхности, плавая, питаясь, спариваясь или просто отдыхая, что способствует их контакту с нефтью в случае ее аварийного разлива. Контакт может быть с нефтяным пятном или водонефтяной эмульсией, нефть может быть поглощена животными, а при дыхании на поверхности воды возможно воздействие нефтяных паров на организм животных.

Попадающая на побережье нефть может пачкать ластоногих, так как участки побережья используются этими животными для лежищ или выращивания потомства. Загрязнение ледовых полей нефтью особенно опасно для детенышей ластоногих. В случае аварийных разливов нефть часто аккумулируется у края льдин, в полыньях и небольших разводьях, где проводят большую часть времени нарвалы, белухи, кольчатые нерпы, и где им трудно избежать нежелательного контакта с нефтью (Synthesis ..., 1988).

В целом свойства нефти и ее поведение при разливе в морской среде позволяют предположить, что морские млекопитающие будут вступать с ней в контакт в той или иной форме. Существует определенная озабоченность, что такие встречи могут носить негативный характер. Для учета возможных последствий разливов нефти на морских млекопитающих в общей стратегии защиты морских экосистем, в том числе для построения карт уязвимости от нефти для планов ликвидации разливов нефти (ЛРН) и рационального природопользования, необходимо иметь коэффициенты их уязвимости (V^g). Чтобы рассчитать последние, использовалась формула $V^g = (E^g \times R^g) / S^g$, для которой необходимо знать параметры чувствительности S^g , восстанавливаемости R^g и потенциального воздействия нефти E^g на каждую из g-подгрупп млекопитающих.

Ранее были попытки оценки коэффициентов уязвимости для данной группы животных (Isaksen et al., 1998; Погребов, 2010). Однако, как показано в (Shavykin, Karnatov, 2018), все оценки должны быть на метрической шкале отношений, а не на основе порядковых величин, как это делается во многих подходах к оценке уязвимости. В настоящей статье представлены обоснования оценок параметров, определяющих уязвимость морских млекопитающих от нефти на примере Кольского залива (хотя в целом рассмотрены и не обитающие в Кольском заливе виды). На данном этапе воздействие нефти на морских млекопитающих на берегу или во льдах не рассматривается.

Чувствительность морских млекопитающих к нефти. Прямой контакт с нефтью. Относительно мало известно о воздействии нефти на морских млекопитающих по сравнению, например, с птицами. Тюлени имеют толстый изолирующий слой жира, поэтому в терморегуляции они не зависят от перьевого или мехового покрова в отличие от ряда других животных. Долговременное воздействие нефти вызывает воспаление кожи и увеличение притока крови к коже, что в свою очередь приводит к увеличению потери тепла. Также могут быть нарушены функции и движение век, ноздрей и вибрисс. Глаза и слизистые оболочки особенно чувствительны к ароматическим углеводородам; повреждения и раздражения у исследуемых тюленей были описаны в работе (Synthesis ..., 1988). Однако видимые воспаления быстро проходили, когда подверженные в течение 24 ч воздействию нефти тюлени помещались в чистую воду. Загрязнение тяжелой нефтью может снижать двигательную активность, особенно у щенков, которые могут утонуть. Тюлени способны метаболизировать и выводить поглощенные углеводороды при попадании их внутрь животного, но сложно предположить, чтобы ластоногие потребляли большие объемы углеводородов в процессе нормального питания. Так же и чистка тела животным не приводит к большому количеству проглоченной нефти, так как такая активность мало присуща ластоногим.

Очень мало информации имеется по воздействию нефти на китообразных, как и отсутствуют подтвержденные случаи гибели китов

и дельфинов от нефти. У китообразных кожа лишена волосяного покрова, и при контакте с нефтью животные не будут подвержены потере теплоизоляции. Кожа также относительно герметична и, по всей вероятности, растворенная нефть не будет впитываться в ткани животных непосредственно из толщи воды. По аналогии с наземными животными, у китообразных скорее могут быть повреждения кожи, связанные с потерей липидного защитного слоя. Тем не менее, было показано (Synthesis ..., 1988), что воздействие сырой нефти или бензина на кожу не приводило к какой-либо значимой реакции. Нефть может попадать в организм китообразных во время питания. Однако они могут метаболизировать ее, и вряд ли животные могут проглотить ее в таком количестве, чтобы наступил летальный эффект. Усатые киты могут загрязнить пластины, что может привести к уменьшению фильтрационной способности, однако они быстро очищаются (Geraci, 1990).

Контакт с нефтью при дыхании. Наибольшие негативные последствия для морских млекопитающих будут, если они попадут в свежеразлитую нефть, богатую летучими соединениями, которые токсичны при вдыхании. Концентрированные пары углеводородов могут вызывать воспаление слизистых оболочек, застой легких или даже пневмонию. Поглощенные с воздухом летучие углеводороды также могут накапливаться в крови и тканях, вызывая повреждение печени и неврологические расстройства (Synthesis ..., 1988). Сразу же после аварии танкера “Эксон Валдез” исследователи установили, что около 300 обыкновенных тюленей погибло, и было высказано предположение, что причиной смерти было в первую очередь вдыхание токсичных паров нефти, ведущих к поражению мозга, стрессу и дезориентации (Peterson, 2001). У обыкновенных тюленей после этой же аварии наблюдалось уменьшение времени плавания, вялость, дезориентация, увеличение вылазок на берег, что возможно связано с повреждениями мозга в результате вдыхания паров легких углеводородов (Lowry et al., 1994). Была отмечена гибель 7 косаток, что могло быть результатом вдыхания или поглощения нефтяных углеводородов (Fortuna et al., 2002).

Киты, как и ластоногие, дышат в узком слое воздуха над поверхностью моря, на которой может находиться нефть, и ее испарения могут воздействовать на них. При определении отрицательного эффекта от вдыхания паров углеводородов было показано (Synthesis ..., 1988), что если все летучие компоненты в 5-миллиметровой пленке одновременно и полностью испарятся в 1-метровый слой статического воздуха над поверхностью, то на животных могут оказать влияние такие “искусственно” завышенные концентрации испарений. В реальности интенсивные испарения высокотоксичных углеводородов происходят всего лишь в течение пары часов после разлива, и в результате животные, вероятно, будут контактировать с выветрившейся нефтью, содержащей малое количество легких фракций.

Принимая, что вредной для морских млекопитающих будет определенная толщина пленки нефти, которая создает опасные концентрации испарений, необходимо обратить внимание на следующее. Для корректного сопоставления параметра чувствительность морских млекопитающих с таковой других групп морской биоты, представленной в миллиграммах на 1 л для растворенной нефти, его необходимо привести к безразмерным единицам. Ранее для птиц было предложено чувствительность нормировать на толщину пленки нефти, не действующую на жизнедеятельность птиц (Shavykin, Karnatov, 2018). Такой подход предлагается использовать и для морских млекопитающих.

В работе (Synthesis ..., 1988) описан ряд экспериментов с бутылконосыми дельфинами по обнаружению ими пятен нефти, и было выявлено, что они способны их различать на поверхности воды. Более темные пленки легче обнаруживались, чем более светлые и тонкие, которые обычно составляют большую часть зоны разлива. Установлено, что в пленке толщиной 0.1 мм (автомобильное моторное масло) дельфины поднимались на поверхность до 100 раз в течение 1 ч. Так как зрение усатых китов схоже со зрением зубатых, по крайней мере, у поверхности, то было сделано предположение, что усатые киты, скорее всего, могут обнаруживать нефтяные пятна.

Оценка параметров уязвимости и коэффициенты уязвимости подгрупп морских млекопитающих Кольского залива для нефти средней плотности
Assessments of vulnerability parameters and vulnerability coefficients of marine mammals subgroups in Kola Bay for oil of medium density

Подгруппа	EC_{50} , мм	$S^g = EC_{50}/ПДТ$	E^g , %	R^g , годы	$V^g \times 100$
Ластоногие (серый тюлень)	5	50	1	1	2
Зубатые киты (беломордый дельфин, морская свинья)	5	50	0.1	1	0.2
Усатые киты (малый полосатик)	5	50	0.1	1	0.2

ПРИМЕЧАНИЕ. EC_{50} – толщина пленки нефти, при которой могут проявляться отрицательные эффекты от вдыхания углеводородов; $ПДТ = 0.1$ мм – предельно допустимая толщина пленки нефти, не влияющая на жизнедеятельность морских млекопитающих.

Таким образом, для большинства тюленей и китообразных прямой контакт с нефтью и ее поглощение будут менее вредными, чем вероятное воздействие летучих соединений при их вдыхании, особенно в первые часы после разлива. Воздействие на слизистые также будет, но малозначительно. Для параметра чувствительность морских млекопитающих

можно принять толщину пленки в 5 мм, при которой могут проявляться отрицательные эффекты от вдыхания углеводородов, и 0.1 мм, как не действующую на морских млекопитающих (таблица).

Потенциальное воздействие нефти на морских млекопитающих. Морские млекопитающие восприимчивы к нефтяным пленкам, так как животные должны выходить на поверхность, чтобы дышать, потенциально подвергаясь воздействию летучих соединений при их вдыхании.

Существуют противоречивые данные в отношении возможностей тюленей избегать нефтяных загрязнений. Ластоногие могут обнаруживать нефть с помощью зрения, обоняния и для них, в целом, характерно избегание пятен нефти. Так, обыкновенные тюлени покидали места, загрязненные нефтью, и возвращались спустя пару недель. Однако есть сведения, когда тюлени ныряли и всплывали в пятнах нефти (Synthesis ..., 1988). Обыкновенные тюлени после аварии танкера “Эксон Валдез” продолжали использовать традиционную, но загрязненную лежку и плавали в загрязненной воде (Lowry et al., 1994). Опубликованы также результаты, показывающие, что морские котики приплывали на кормежку рыбой от траулера в водах залива, загрязненных нефтью (Synthesis ..., 1988).

Фрагментарные данные о разливах нефти подтверждают, что в то время как некоторые китообразные могут избегать нефти, другие, добровольно или нет, контактируют с ней без очевидной опасности (Synthesis ..., 1988).

По данным мониторинга с самолетов за небольшими группами китов исследователи обнаружили, что при попадании в загрязненные нефтью воды животные изменяли скорость плавания и направление, они меньше времени находились на поверхности и дышали реже, но быстрее. Серые киты также показывали тенденцию к уменьшению времени нахождения на поверхности, дыша менее часто и быстрее, и изменяя скорость плавания в нефтяных пятнах (Synthesis ..., 1988).

Результаты наблюдений за бутылконосыми дельфинами после разлива нефти показали (Smultea, Würsig, 1995), что дельфины могут обнаруживать нефтяные муссы и пятна, но не реагируют на более светлые блики. Дельфины последовательно избегали контакта с муссами, плавая под ними или около, но пятна не всегда избегали, продолжая плавать в загрязненных местах, хотя по близости были и более чистые места. Схожее поведение дельфинов отмечено по наблюдениям и другими учеными (Synthesis ..., 1988).

В целом для морских млекопитающих не всегда характерна реакция избегания нефтяных загрязнений на поверхности воды, поэтому для оценки потенциального воздействия нефти на них необходимо определить время нахождения животного на поверхности воды или его контакта с ней.

В работе (Movements ..., 1991) приведены результаты наблюдений за серым тюленем в течение 9 сут. Активность животного была

следующей: на лежбище он провел 13 % времени, в воде рядом с лежбищем – 41 %, короткие заплывы – 14 %, перемещения между лежбищами – 32 %. Оценено среднее время погружения тюленя и среднее время его нахождения на поверхности воды для различных видов поведения. Так, при перемещении среднее время погружения – 206 с, среднее время на поверхности воды – 38.5 с (15.7 % от общего времени данной активности). Во время коротких заплывов погружение составляло 243 с и время на поверхности – 48 с (16.5 %); во время отдыха в воде рядом с лежбищем – 321 и 58.8 с (15.5 %) соответственно.

Для усатых китов, на примере малого полосатика, имеются следующие данные. Кит появляется на поверхности воды лишь на 2–2.5 с, из них дыхательный акт занимает 1.2 с. Ныряет он на 1–6 мин, чаще на 2–3 мин. Обычно делает 1–2 вдоха между погружениями во время движения (<http://www.cetacea.ru/minke.htm>). По наблюдениям (Lynas, Sylvestre, 1988), в зависимости от поведения кита (перемещение, поиск пищи или кормление) время между дыхательными актами составляет 0.20–0.25 мин, количество дыхательных актов – 2–7, длительность погружения – 1.36–3.76 мин. По данным, приведенным в (https://marinemammalscience.org/facts/balaenoptera-acutorostrata/#cite_note-Stern1992-112), киты делали в среднем 4 дыхательных акта, короткие погружения составляли около 37.8 с и за ними следовало глубокое погружение на 4.43 мин. В работе (Christiansen et al., 2011) утверждается, что для малого полосатика характерно 48.6 продуваний в 1 ч, или средний интервал между дыханием составляет 77.2 с (что используется при оценках обилия малого полосатика). В этой же работе рассчитано среднее время обычного погружения – 43 с, и глубокого – 155 с. Обычные погружения составляют 62 %, а глубокие – 38 % от всех погружений. Данная пропорция соответствует модели всплытия из 5–6 обычных погружений, за которыми следует одно глубокое погружение. Для китов Северо-Восточной Атлантики указано время около 2 с, когда киты всплывают для дыхания между погружениями (около 80 с) (Abundance ..., 2004). По приведенным данным, если принимать за дыхательный акт время 1.2 с, доля нахождения на поверхности для дыхания будет составлять 1.5–3.2 % (в среднем около 2.5 %) от всего времени нахождения в море.

По наблюдениям за беломордым дельфином были получены следующие значения: 18 % времени дельфин проводил у поверхности (в слое 0–2 м) и 82 % – глубже 2 м (Biosonar ..., 2013). В этих же исследованиях приводятся данные, что белобокий дельфин проводит около 89 % всего времени под водой, а бутылконосый – 87 %. Морская свинья погружается в среднем от 44 до 103 с, доля времени в поверхностном слое (0–2 м) составляет в среднем 43 % (Diving ..., 1995), а по другим данным – 55 % (Teilmann et al., 2007). В работе (Diving ..., 1998) представлено время погружения и нахождения на поверхности (0–0.5 м) за 99.5 ч наблюдений (3500 ныряний) для одного животного и

за 42.4 ч (1168 ныряний) для другого. Время нахождения на поверхности между погружениями составило в среднем 0.6 мин (26 % – для первого и 38 % всего времени – для второго животного). В публикации (Diving ..., 2000) приводятся данные, что за 22.8 ч наблюдений морская свинья погружалась 2878 раз. Время погружения составило 26.2 с, нахождение на поверхности (0–0.5 м) – 3.9 с (соответственно 85 % времени – погружение и 15 % – нахождение на поверхности). Учитывая, что время на поверхности подразумевает нахождение в слое 0–2 м, а дыхательный акт занимает 1.2 с (по аналогии с усатыми китами), то для зубатых китов, скорее всего, время нахождения на поверхности (время для дыхательного акта) будет больше – около 4 %.

Таким образом, для ластоногих (серого тюленя) время нахождения под водой составляет примерно 84 %, на поверхности воды – 16 %, для зубатых и усатых китов можно принять время нахождения на поверхности воды в 4 и 2.5 % соответственно. Однако такие оценки вряд ли подходят для значений потенциального воздействия, так как оно, скорее всего, должно быть существенно меньше, ввиду того, что морские млекопитающие слишком мобильны, чтобы нефть представляла для них большую угрозу, и способны обнаруживать загрязненные участки и избегать их. Если же за потенциальное воздействие принять время возможного контакта в 10 раз меньшее – 1.6, 0.4 и 0.25 %, то такие оценки в целом согласуются с данными, приведенными в работе (French-McCaу, 2009): для ластоногих – 1 %, для китообразных – 0.1 %. Эти значения из (French-McCaу, 2009) и принимаются для потенциального воздействия (таблица).

Восстанавливаемость популяций морских млекопитающих после воздействия нефти. Большие популяции животных с широким географическим ареалом более защищены от вымирания в случае каких-либо нефтяных разливов, чем локальные популяции. Восстанавливаемость морских млекопитающих будет зависеть от репродуктивного поведения и потенциала конкретного вида, таких как возраст половозрелости, количество детенышей, интервалы между рожденьями детенышей и т. д. Морские млекопитающие имеют все атрибуты *K*-стратегов: поздно достигают половозрелости, медленно воспроизводят потомство, долго живут. Большинство этих животных характеризуется низким уровнем репродуктивного потенциала. Тюлени достигают половозрелости к 2–7 годам и дают потомство – 1 детеныш в год. Большинство китов начинают размножаться в 5–10 лет и дают приплод – 1 детеныш с интервалом в 1–3 года в зависимости от вида (Isaksen et al., 1998).

В работе (Synthesis ..., 1988) высказано предположение, что уменьшение численности в популяциях ластоногих мало связано с прямым воздействием нефти. Оно скорее может быть связано с малым, но устойчивым снижением выживаемости и уровня рождаемости, на которые, в свою очередь, может оказывать влияние хроническое воздействие нефти. Ими представлено время восстановления гипотетической

популяции серого тюленя (на примере его популяционной модели) после различных катастрофических изменений, произошедших сразу после щенки. Так, если принимать, что популяция находится в равновесном состоянии и может погибнуть 23 % всех возрастных групп в равных пропорциях, то время до 95 %-го восстановления составит 37 лет, если погибнут только новорожденные, то время восстановления составит 2 года и если погибнут половозрелые – 43 года.

Попытка имитировать влияние разливов нефти на популяцию тюленей на Аляске показала, что относительно небольшая доля (4 %) от общего числа погибнет при “чрезвычайных обстоятельствах”, вызванных разливами нефти. Ежегодная естественная гибель (16 % особей женского пола, 29 % – мужского) в сумме с гибелью в результате попадания в морские рыбные сети (2 % особей женского пола, 3 % – мужского) была намного больше, чем запланированные потери при разливах нефти. На восстановление после “чрезвычайных обстоятельств” потребуется 25 лет (Алберс, 1999).

Таким образом, учитывая более высокий репродуктивный потенциал ластоногих по сравнению с китообразными, можно предположить, что скорость восстановления последних может быть ниже, чем ластоногих. Вместе с тем количество китообразных, как и серого тюленя, заходящих время от времени в Кольский залив, несоизмеримо мало с общим количеством в их популяциях в Баренцевом море. Так, численность малого полосатика в Баренцевом море около 43 тыс. особей (Abundance ..., 2004), а серых тюленей в колониях на Мурманском побережье – не менее 4 тыс. особей (Joint ..., 2009). С учетом этого, а также того, что погибнуть от разлива нефти в Кольском заливе может всего лишь несколько особей морских млекопитающих (это много меньше 1 % численности популяции в регионе), можно принять, что время восстановления для морских млекопитающих составит 1 год (таблица). При этом подразумевается, что за этот период будет восстановлена прежняя численность, т. е. популяции достаточно одного поколения для поддержания численности на постоянном уровне.

В результате полученных по литературным данным оценок были рассчитаны коэффициенты уязвимости морских млекопитающих Кольского залива (таблица), которые могут быть использованы при построении карт уязвимости Кольского залива от нефти.

Заключение. С учетом принятой модели расчета коэффициентов уязвимости, на основе анализа и обобщения литературных данных выполнена оценка параметров чувствительности, восстанавливаемости и потенциального воздействия нефти на морских млекопитающих Кольского залива. При определении этих параметров исходили из следующих положений:

заглатывание нефти с пищей, прямой контакт с нефтью наносят меньший ущерб для морских млекопитающих, чем возможное вдыхание токсичных паров на поверхности воды;

ластоногие, находясь на литорали, также могут подвергаться воздействию нефти, однако на данном этапе это воздействие не рассматривалось, как и воздействие на них нефти во льдах;

большинство китообразных и ластоногих, если они не привязаны к определенным местообитаниям, достаточно мобильны, чтобы нефть не представляла для них сильную угрозу.

Все оценки, определяющие уязвимость, сделаны на метрической шкале отношений. Для параметра чувствительность принята толщина пленки, при которой могут проявляться отрицательные эффекты от вдыхания углеводородов – 5 мм, и толщина пленки, как недействующая на морских млекопитающих – 0.1 мм. На основе времени ныряния животных и их нахождения на поверхности воды приняты значения потенциального воздействия нефти на ластоногих – 1 % и на китообразных – 0.1 %. С учетом численности морских млекопитающих в популяциях Баренцева моря и в водах Кольского залива в частности принято время восстановления для животных залива – 1 год.

Рассчитаны коэффициенты уязвимости, которые могут быть использованы при построении карт уязвимости Кольского залива от нефти.

Представленные численные значения параметров уязвимости морских млекопитающих от нефти в Кольском заливе подлежат дальнейшему уточнению, но даже такие примерные и усредненные величины предпочтительнее по сравнению с порядковыми величинами, так как позволяют выполнять с ними арифметические действия и более корректно отражают реальную картину уязвимости биоты.

Литература

Алберс П.Х. Разливы нефти и живые организмы. Служба рыбы и дичи США [Электронный ресурс] // Экологическая вахта Сахалина. 1999. URL: http://www.npacific.ru/np/sovproblem/oil_sea/vozdeistvie/razliv/public1.htm (Дата обращения: 01.07.2009).

Зайцев А.А., Трошичев А.Р. Регистрация диких морских млекопитающих в районе биотехнического аквакомплекса ММБИ в Кольском заливе // Исследования арктических экосистем: Матер. XXXVI конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной 40-летию научно-исследовательского судна “Дальние Зеленцы”. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2018. С. 49–51.

Красная книга Российской Федерации. Животные. М.: Астрель, 2001. 864 с.

Красная книга Мурманской области. 2-е изд., перераб. и доп. / Отв. ред. Н.А. Константинова, А.С. Корякин, О.А. Макарова, В.В. Бианки. Кемерово: Азия-принт, 2014. 584 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.

Abundance of Minke whales (Balaenoptera acutorostrata) in the Northeast Atlantic: variability in time and space / H.J. Skaug, N. Øien, T. Schweder, G. Bøthun // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 2004. Vol. 61. P. 870–886.

Biosonar, diving and movements of two tagged white-beaked dolphin in Icelandic waters / M.H. Rasmussen, T. Akamatsu, J. Teilmann, G. Vikingsson, L.A. Miller // Deep-Sea Res. 2013. Part II, vol. 88–89. P. 97–105.

Christiansen F., Rasmussen M., Lusseau D. Inferring surface time of Minke whales from inter-surfacing interval data using a hidden Markov model // In Notes from the 2011 International whaling commission scientific committee, international whaling commission. Cambridge, England, 2011. P. 1–9.

Fortuna C.M., Marsili L., Lauriano G. The effects of oil spills on Cetaceans // Oil pollution and conservation of biodiversity: Proc. of the Porto Torres (Sardinia) conf., 17–20 October 2002. Porto Torres, Sardinia, 2002. P. 49–54.

French-McCay D.P. State of the art and research needs for oil spill impact assessment modeling // Proceedings of the 32-d Arctic and marine oil spill program (AMOP) technical seminar on environmental contamination and response. Ottawa, Canada, 2009. P. 601–653.

Geraci J.R. Physiologic and toxic effects on cetaceans // Sea mammals and oil: confronting the risks. San Diego: Academic Press, 1990. P. 167–197.

Diving behaviour of harbour porpoises (Phocoena phocoena) in the Bay of Fundy / A. Westgate, A. Read, P. Berggren, H. Koopman, D. Gaskin // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1995. Vol. 52(5). P. 1064–1073.

Diving behavior and performance of harbor porpoises, Phocoena phocoena, in Funka Bay, Hokkaido, Japan / S. Otani, Y. Naito, A. Kawamura, M. Kawasaki, S. Nishiwaki, A. Kato // Mar. Mammal Sci. 1998. Vol. 14(2). P. 209–220.

Diving behavior and swimming speed of a free-ranging harbor porpoise, Phocoena phocoena / S. Otani, Y. Naito, A. Kato, A. Kawamura // Mar. Mammal Sci. 2000. Vol. 16(4). P. 811–814.

Isaksen K., Bakken V., Wiig Ø. Potential effects on seabirds and marine mammals of petroleum activity in the northern Barents Sea. Oslo: Norsk Polarinstittutt, 1998. Meddelelser № 154. 66 p.

Joint Norwegian-Russian environmental status 2008 / J.E. Stiansen, O. Korneev, O. Titov, P. Arneberg (Eds.) // Report on the Barents Sea Ecosystem. Part II: Complete report. IMR/PINRO Joint Report Series. Bergen: IMR, 2009. 375 p.

Lowry L.F., Frost K.J., Pitcher K.W. Observations of oiling of harbor seals in Prince William Sound // Marine mammals and the Exxon Valdez. San Diego: Academic Press, 1994. P. 209–225.

Lynas E.M., Sylvestre J.P. Feeding techniques and foraging strategies of Minke whales (Balaenoptera acutorostrata) in the St. Lawrence river estuary // Aquatic mammals. 1988. Vol. 14, № 1. P. 21–32.

Movements, diving and foraging behaviour of grey seals (Halichoerus grypus) / D. Thompson, P.S. Hammond, K.S. Nicholas, M.A. Fedak // J. Zool. Lond. 1991. Vol. 224. P. 223–232.

Peterson C.H. The “Exxon Valdez” oil spill in Alaska: Acute, indirect and chronic effects on the ecosystem // Adv. Mar. Biol. 2001. Vol. 39. P. 1–103.

Shavykin A.A., Karnatov A.N. Main development problems of vulnerability mapping of sea-coastal zones to oil spills // J. Mar. Sci. Engineering. 2018. Vol. 6(4). P. 115.

Smultea M.A., Würsig B. Behavioral reactions of bottlenose dolphins to the Mega Borg oil spill, Gulf of Mexico 1990 // Aquatic mammals. 1995. Vol. 21, № 3. P. 171–181.

Synthesis of effects of oil on marine mammals / J.R. Geraci, D.J. St. Aubin (Eds.) // Final reports, 1986–1988. Battelle Memorial Institute, Ventura, California for USDO, MMS, Atlantic OCS. OCS Study, MMS 88-0049, 1988. 292 p.

Teilmann J., Larsen F., Desportes G. Time allocation and diving behaviour of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) in Danish and adjacent waters // J. Cetacean Res. Manage. 2007. Vol. 9(3). P. 201–210.

Zaytsev A.A., Yakovlev A.P., Pakhomov M.V. An observation of *Lagenorhynchus albirostris* (Delphinidae, Odontoceti) in Kola Peninsula, Barents Sea in 2011 // Nature Conservation Res. 2018. Vol. 3(4). P. 88–90.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.010

УДК 577.112.3; 581.192

М.П. Клиндух¹, И.В. Рыжик^{1,2}, Е.О. Добычина³

¹Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

²Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск, Россия

³Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия

СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ СВОБОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ СУБЛИТОРАЛЬНЫХ КРАСНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ МУРМАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЕ

Аннотация

Представлены данные по содержанию свободных аминокислот у четырех видов красных водорослей. Всего в составе свободных аминокислот у исследованных видов определено содержание 20 аминокислот. В наибольшем количестве содержались глутаминовая и аспарагиновая кислоты, аланин, пролин и таурин. Исследованные водоросли не отличаются по качественному составу протеиногенных аминокислот, но различаются по наличию и содержанию непротеиногенных. Содержание большей части свободных аминокислот и их суммы оказалось наибольшим у *Phycodrys rubens*, а у *Palmaria palmata* – наименьшее.

Ключевые слова: красные водоросли, свободные аминокислоты (САК), Баренцево море.

M.P. Klindukh¹, I.V. Ryzhik^{1,2}, E.O. Dobychina³

¹Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

²Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

³Murmansk State Technical University, Murmansk, Russia

COMPOSITION AND CONTENT OF FREE AMINO ACIDS OF SUBLITTORAL RED ALGAE FROM MURMANSK COAST OF THE BARENTS SEA

Abstract

Data on the content of free amino acids (FAA) in four species of red algae are presented. The content of 20 amino acids was determined in the composition of FAA of the studied species. The largest amounts contained glutamic and aspartic acids, alanine, proline and taurine. The studied algae do not differ in the qualitative composition of protein amino acids, but differ in the presence and content of nonprotein ones. The content of most of the FAA and their sum was the highest for *Phycodrys rubens*, and in *Palmaria palmata* the smallest.

Keywords: red algae, free amino acids (FAA), Barents Sea.

Введение. Свободные аминокислоты (САК) являются важной биохимической составляющей любого растительного организма. Помимо участия в построении белковых молекул и синтезе первичных и вторичных метаболитов, они выполняют различные физиологические функции: осуществляют ассимиляцию и транспорт азота, изменяют проницаемость мембран и влияют на поглощение ионов, действуют как нетоксичные осмолиты, снижают токсичное действие тяжелых металлов, выступают в роли антиоксидантов (Rai, 2002; Amino ..., 2015a).

Их содержание зависит от видовой принадлежности, фазы развития, возраста растения, участка таллома, от некоторых физиологических показателей (Citharel, Villereit, 1965; Amino ..., 1975, 2015b; Клиндух, Облучинская, 2018).

На концентрацию САК в водорослях влияют такие факторы окружающей среды как фотопериод, температура, интенсивность освещения, содержание биогенных элементов в воде, соленость воды (Amino ..., 1975a; Stewart, Larher, 1980; Bird et al., 1982; Physiological ..., 2006; Biochemical ..., 2010; Seaweeds ..., 2018).

Данные по составу, содержанию и соотношению САК в разных группах водорослей различаются. В одних работах показано, что у красных водорослей количество этих соединений наибольшее (Клочкова, Березовская, 1997; Клиндух, 2015), в других авторы указывают на достаточно низкие концентрации (Lewis, Gonzalves, 1962; Seaweeds ..., 2018) по сравнению с бурыми и зелеными водорослями.

У различных видов красных водорослей в наибольшем количестве присутствуют как характерные для многих растений аланин, глутаминовая и аспарагиновая кислоты, так и пролин, серин, треонин, которые могут накапливаться в красных водорослях в количествах превышающих 50 % от общего содержания САК в растении (Morgan et al., 1980; The amino ..., 1993).

Красные водоросли, обитающие в Баренцевом море, в биохимическом и физиологическом плане исследованы очень слабо. В том числе мало внимания уделялось и изучению качественного и количественного состава САК в данной группе водорослей.

Целью данного исследования было определить качественный и количественный состав САК у четырех видов сублиторальных красных водорослей Мурманского побережья Баренцева моря.

Материал и методы. Исследование содержания САК проводили у сублиторальных красных водорослей, собранных на глубине 9 м в губе Зеленецкая Баренцева моря в июле 2019 г. Сбор материала осуществляли с помощью водолазов. В качестве объекта исследования были использованы красные водоросли *Palmaria palmata* (Linnaeus) F. Weber & D. Mohr, 1805 (Florideophyceae: Palmariales), *Phycodrys rubens* (Linnaeus) Batters, 1902 (Florideophyceae: Ceramiales), *Wildemanina miniata* (C. Agardh) Foslie, 1891 (Bangiophyceae: Bangiales) и *Polysiphonia arctica* J. Agardh, 1863 (Florideophyceae: Ceramiales).

Для определения содержания САК собранные водоросли фиксировали 96 %-м этанолом и хранили до обработки в темном, прохладном месте. Содержание сухого вещества измеряли согласно общепринятой методике (ГОСТ 26185-84 ..., 2004).

Извлечение САК проводили горячим 70 %-м этанолом. Для этого фиксированные водоросли измельчали в ступке со стеклом, заливали горячим 70 %-м этанолом и экстрагировали при постоянном перемешивании в течение 1 ч при комнатной температуре. Затем отделяли водоросли от экстракта центрифугированием при 3000 об/мин в течение 5 мин. Экстракт сливали в выпарительную чашку, а осадок водорослей вновь заливали горячим 70 %-м этанолом. Извлечение аминокислот повторяли 3 раза. Все полученные экстракты сливали и выпаривали в чашках досуха на водяной бане. Сухой осадок растворяли в небольшом объеме дистиллированной воды. Определение содержания САК проводили согласно (Методика ..., 2014) с предварительной дериватизацией аминокислот. Для этого аликвоты полученных экстрактов выпаривали в токе теплого воздуха. Сухие осадки растворяли в 150 мкл 0.1 моль/л раствора карбоната натрия, а затем добавляли 300 мкл раствора фенилизотиоцианата в изопропанол. Все тщательно перемешивали до растворения осадка и оставляли на 35 мин при комнатной температуре для преобразования. Затем растворы выпаривали досуха в струе теплого воздуха. Сухие осадки растворяли в дистиллированной воде. Подготовленные для анализа пробы центрифугировали в течение 5 мин при 5000 об/мин. Определение содержания САК проводили на системе капиллярного электрофореза “Капель-105М” фирмы “Люмэкс” с использованием кварцевого капилляра общей длиной 75 см и внутренним диаметром 50 мкм и фотометрическим детектором. Электрофорез проводили при температуре 30 °С, напряжении +25 кВ и давлении 0–50 мбар в зависимости от определяемых соединений. Детектирование проводили на длине волны 254 нм.

Измерения содержания аминокислот выполняли в четырехкратной повторности. Данные представлены в виде средних значений с указанием доверительного интервала, для их обработки и анализа использовали программу Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждение. Исследованные виды водорослей различаются по суммарному содержанию САК. Их количество уменьшается в ряду: *Ph. rubens* – *W. miniata* – *P. arctica* – *P. palmata*.

В исследованных четырех видах красных водорослей определено 20 САК (16 протеиногенных и 4 непротеиногенные) (таблица).

**Содержание САК в красных водорослях губы Зеленецкая
Баренцева моря, мг/г сухой массы**
FAA content in red algae from Zelenetskaya Bay of the Barents Sea, mg/g dry weight

Аминокислота	<i>P. palmata</i>	<i>Ph. rubens</i>	<i>W. miniata</i>	<i>P. arctica</i>
Протеиногенные аминокислоты				
Глутаминовая	3.958±0.169	1.440±0.246	5.100±0.360	8.447±0.492
Аспарагиновая	4.605±0.158	0.248±0.023	1.535±0.050	0.722±0.054
Аланин	1.060±0.014	6.885±0.270	25.554±3.486	0.639±0.038
Пролин	4.213±0.523	37.266±2.757	0.321±0.019	15.901±1.938
Треонин	0.224±0.019	0.710±0.067	0.331±0.050	0.612±0.114
Серин	0.387±0.018	0.231±0.041	0.870±0.048	0.064±0.013
Глицин	0.179±0.001	0.330±0.046	0.567±0.016	0.068±0.006
Аргинин	0.046±0.008	0.184±0.027	0.061±0.003	0.157±0.013
Лизин	0.057±0.002	0.132±0.020	0.091±0.012	0.026±0.005
Тирозин	0.042±0.005	0.059±0.006	0.059±0.009	0.038±0.007
Фенилаланин	0.079±0.012	0.654±0.080	0.103±0.007	0.050±0.002
Гистидин	0.021±0.004	0.093±0.018	0.263±0.029	0.023±0.005
Изолейцин+лейцин	0.042±0.001	0.686±0.024	0.305±0.036	0.038±0.008
Валин	0.037±0.007	0.494±0.094	0.461±0.062	0.193±0.037
Метионин	0.027±0.002	0.124±0.024	0.835±0.166	0.017±0.002
Непротеиногенные аминокислоты				
Орнитин	0.043±0.004	0.072±0.006	0.048±0.003	0.020±0.001
Таурин	–	0.107±0.016	4.414±0.649	0.147±0.003
Гидроксипролин	0.233±0.006	–	0.124±0.003	–
Саркозин	–	1.222±0.206	–	–
Сумма свободных аминокислот	15.253±0.007	50.936±3.535	41.041±1.514	27.164±2.375
Сумма незаменимых аминокислот	0.466±0.043	2.799±0.308	2.126±0.334	0.936±0.168

ПРИМЕЧАНИЕ. Прочерк – пик аминокислоты отсутствует.

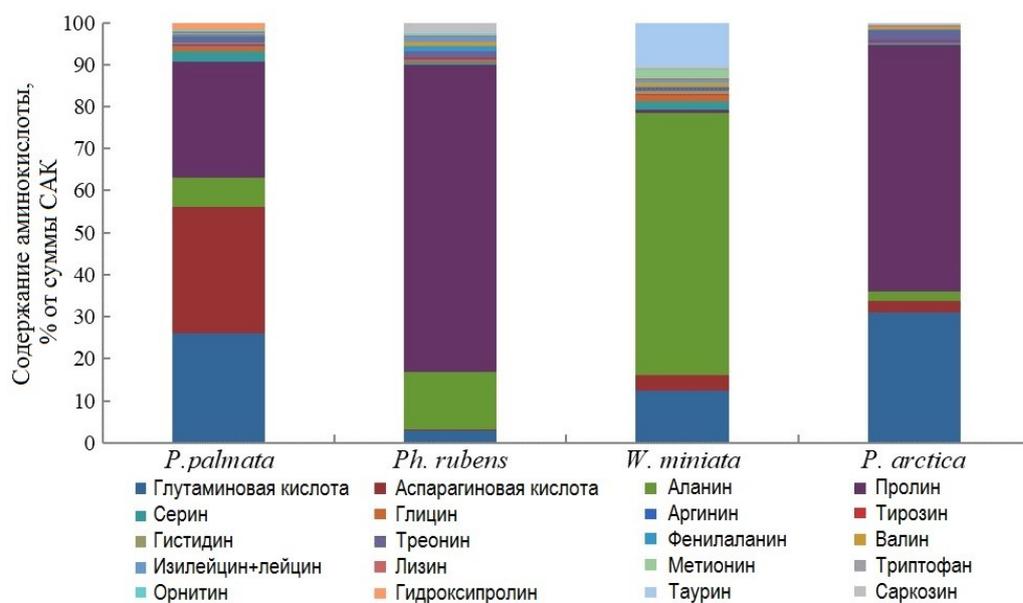
Среди протеиногенных аминокислот в наибольшем количестве содержались глутаминовая и аспарагиновая кислоты, аланин и пролин. Их общее количество составило 79.2–94.7 % от суммы САК в водорослях.

Доля таких аминокислот как гистидин, метионин, тирозин, лизин, аргинин, фенилаланин, лейцин с изолейцином, валин была небольшой. Триптофан и цистеин с цистином не обнаружены.

К непротеиногенным аминокислотам относились орнитин, гидроксипролин, саркозин и таурин (таблица). Орнитин в небольших количествах присутствовал во всех исследованных видах водорослей. Гидроксипролин определен только у *P. palmata* и *W. miniata*, аминокислота саркозин – у *Ph. rubens*, сульфокислота таурин – у трех из исследованных видов.

В составе пула САК было определено 7 незаменимых аминокислот: лизин, фенилаланин, изолейцин с лейцином, метионин, валин и треонин, которые присутствовали во всех исследованных видах водорослей. Суммарное содержание незаменимых аминокислот, а также их относительное процентное содержание оказалось наибольшим у *Ph. rubens* и *W. miniata* (таблица).

Для исследованных водорослей характерно преобладание 3–4 свободных аминокислот, относительное содержание которых представлено на рисунке.



Соотношение САК у разных видов красных водорослей губы Зеленецкая Баренцева моря

FAA ratio in different species of red algae from Zelenetskaya Bay of the Barents Sea

Практически одинаковое количество пролина, аспарагиновой и глутаминовой кислот было характерно для *P. palmata*. Содержание аланина в данном виде красных водорослей оказалось в 4 раза ниже по сравнению с указанными аминокислотами.

Пролин преобладал у *Ph. rubens* и *P. arctica*, составляя 73.2 и 58.5 % от суммы САК соответственно (рисунок). В меньшем количестве содержались аланин и глутаминовая кислота, а содержание аспарагиновой кислоты не превышало 2.7 % от суммы САК (таблица).

Преобладание аланина характерно для *W. miniata* – 62.3 % от суммы САК. Следующей по содержанию оказались глутаминовая кислота и таурин, а доля аспарагиновой кислоты не превышало 3.7 % от САК (рисунок).

По составу САК исследованные водоросли не отличаются от растений из других регионов. Для красных водорослей, как для бурых и зеленых, характерно высокое содержание свободных глутаминовой и аспарагиновой кислот, аланина и низкое содержание метионина, гистидина, фенилаланина, тирозина, аргинина (Amino ..., 1975b, 1977; Heat ..., 2016; Seaweeds ..., 2018).

Для представителей отдела Rhodophyta свойственно преобладание в составе САК пролина. Его содержание может составлять более 50 % от общего содержания САК у красных водорослей. Так, у *Rhodymenia intricata* относительное количество пролина составляет 62.5 %, у пальмариевых водорослей побережья Камчатки – 19–29 %, у *Laurencia pedicularioides* – 42.3 %, у 6 из 48 видов красных водорослей класса Florideophyceae с побережья о. Сицилия содержание пролина составляло от 47 до 80 % (Amino ..., 1975b, 1977; Lewis, 1974; Ito, Hori, 1989; Кадникова и др., 2012). У баренцевоморских красных водорослей содержание пролина находилось в пределах 27.6–83.3 % (Клиндух, 2015). У всех исследованных в данной работе представителей класса Florideophyceae относительное содержание свободного пролина составило 27.6–73.2 % от суммы САК.

Анализ литературных данных показывает, что высокое содержание пролина характерно не для всех представителей класса Florideophyceae, а лишь для видов определенных порядков (Rhodymeniales, Ceramiales, Palmariales). Поэтому данный показатель не может являться характерной биохимической особенностью класса Florideophyceae отдела Rhodophyta. Но характерна ли данная особенность для видов, относящихся к одному порядку или семейству, и насколько сильно она меняется у отдельного вида в зависимости от условий среды и фазы развития пока сказать невозможно.

Высокое относительное содержание аланина было выявлено у представителей класса Florideophyceae и Bangiophyceae (Amino ..., 1975b, 1977; The amino ..., 1993). У видов рода *Porphyra*, близких по морфологии к исследованной *W. miniata*, относительное содержание данной аминокислоты

варьирует от 7.3 до 33.3 % в зависимости от места и времени сбора (Ito, Hori, 1989; Dawczynski et al., 2007; Seaweeds ..., 2018).

Также у красных водорослей может содержаться большое количество треонина, лизина, тирозина, глицина, серина (Amino ..., 1975b, 1977; The amino ..., 1993; Seaweeds ..., 2018). Но количество данных аминокислот в исследованных нами красных водорослях оказалось невысоким и не превышало 2.5 % от суммы САК.

Обнаруженные у водорослей непротеиногенные аминокислоты орнитин, таурин и гидроксипролин часто встречаются в составе свободных аминокислот как красных водорослей, так и бурых и зеленых (Lewis, Gonzalves, 1962; Amino ..., 1975b; Ito, Hori, 1989; Dawczynski et al., 2007; Кадникова и др., 2012; Клиндух, 2015; Tabakaeva, Tabakaev, 2016; Seaweeds ..., 2018). Аминокислота саркозин присутствует в водорослях реже и в небольших количествах (Кадникова и др., 2012; Tabakaeva, Tabakaev, 2016). Содержание непротеиногенных аминокислот в водорослях в большинстве случаев низкое или даже в следовых количествах, поскольку данные соединения чаще всего образуются в процессе синтеза протеиногенных аминокислот или иных соединений. Но у некоторых красных водорослей содержание таурина и орнитина может быть существенным и составлять до 33 и 11 % от суммарного содержания САК соответственно (Lewis, Gonzalves, 1962; Ito, Hori, 1989; Кадникова и др., 2012). В исследованных в данной работе водорослях существенное содержание таурина было определено у *W. miniata* – 10.8 % от суммы САК. Концентрация орнитина в красных водорослях не превышала 0.3 %, а гидроксипролина – 1.5 % от суммы САК. Саркозин был определен только у *Ph. rubens*, но его содержание оказалось выше, чем многих протеиногенных аминокислот у данной водоросли (рисунок).

Сравнение водорослей из разных мест произрастания, в нашем случае это центральная и восточная части Мурманского побережья, показало, что суммарное содержание САК у красных водорослей из губы Зеленецкая (Восточный Мурман) незначительно отличается, а в некоторых случаях даже выше, чем у красных водорослей из губы Белокаменная (Кольский залив) (Клиндух, 2015). Но относительное содержание незаменимых САК оказалось ниже у исследованных видов – 3.1–5.5 % от суммы САК.

Преобладание в составе САК аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты и пролина оказалось одинаковым у *P. palmata* из губы Зеленецкая Баренцева моря и с южного побережья Исландии (Heat ..., 2016). У данного вида водорослей, собранных в губе Белокаменная Кольского залива содержание большей части САК выше, чем у исследованной в данной работе *P. palmata*. А содержание лизина, пролина, фенилаланина и глицина оказалось таким же. Но при этом относительное содержание глутаминовой кислоты и пролина у пальмарий из губ Зеленецкая и Белокаменная не отличается (Клиндух, 2015).

У *Phycodryx rubens* из губы Зеленецкая содержание практически всех САК оказалось выше, по сравнению с этим же видом водоросли из губы Белокаменная. Значительная разница в содержании присутствовала практически для всех САК (Клиндух, 2015).

Разница в содержании отдельных САК, а также их суммы может быть связана с условиями обитания, сезоном сбора водорослей, с подготовкой проб и хранением исследуемого материала. Исследованные виды водорослей по суммарному содержанию САК схожи с красными водорослями, произрастающими на побережье Португалии и южном побережье Исландии, но уступают пальмариевым водорослям с побережья Камчатки (Кадникова и др., 2012; Heat ..., 2016; Seaweeds ..., 2018).

Несмотря на многообразие функций САК и их значение для метаболизма, до сих пор не ясно, почему разные виды содержат в наибольшем количестве те или иные аминокислоты. Но так как в основном преобладающими САК являются аланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, то исследователи предполагают, что высокое содержание данных аминокислот, а также их амидов в водорослях является результатом их тесной связи с метаболизмом цикла трикарбоновых кислот (Madgwick, Ralph, 1972; Fattorusso, Piattelli, 1980; Ito, Nogi, 1989). Пролин также связан в цикле трикарбоновых кислот через глутаминовую кислоту и способен накапливаться в значительных количествах в клетке без какого-либо влияния на метаболизм (Szabados, Savoure, 2009). Возможно, данные аминокислоты могут накапливаться не только в качестве запасного источника азота и как строительные единицы для белковых молекул, но и как запасной источник углерода для синтеза других соединений, и как энергетический субстрат.

Заключение. При одинаковых условиях обитания состав и содержание САК зависят от физиологических и биохимических особенностей вида водорослей. Исследованные красные водоросли не отличаются по качественному составу протеиногенных аминокислот, но различаются по наличию и содержанию непротеиногенных, таких как гидроксипролин, орнитин, таурин и саркозин. Содержание большей части САК и их суммы оказалось наибольшим у *Ph. rubens*, а у *P. palmata* – наименьшим. В составе САК преобладали как характерные для бурых и зеленых водорослей аланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, так и пролин, и таурин. Суммарное содержание САК у исследованных видов близкое, а для отдельных видов даже более высокое по сравнению с ранее исследованными красными водорослями Баренцева моря, побережья Португалии и Исландии, но ниже, чем у пальмариевых водорослей с побережья Камчатки.

Работа выполнена по теме 9-17-02 “Механизмы адаптации, регуляции роста, размножения и рациональное использование водорослей-макрофитов арктических морей” (№ госрегистрации АААА-А17-117052310082-8) в рамках государственного задания № 0228-2019-0016.

Литература

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

Кадникова И.А., Селиванова О.Н., Щербакова Н.С. Химический состав пальмариевых водорослей (Palmariales, Rhodophyta) побережья Камчатки // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 169. С. 246–254.

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. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2015. С. 107–109.

Клиндух М.П., Облучинская Е.Д. Сравнительное изучение свободных аминокислот бурой водоросли *Fucus vesiculosus* Linnaeus, 1753 Мурманского берега Баренцева моря // Биол. моря. 2018. Т. 42, № 4. С. 300–306.

Клочкова Н.Г., Березовская В.А. Водоросли Камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. Владивосток; Петропавловск-Камчатский: Дальнаука, 1997. 153 с.

Методика измерений массовой доли аминокислот методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза “КАПЕЛЬ” (ФР.1.31.2015.19761). СПб.: Люмэкс, 2014. 49 с.

Amino acid pattern and seasonal variation in some marine algae from Alexandria / A.F. Mohsen, A.M. Kharboush, A.F. Khaleafa, A. Metwalli, Y. Azab // Bot. Mar. 1975a. Vol. XVIII. P. 167–178.

Amino acids and low-molecular-weight carbohydrates of some marine red algae / G. Impellizzeri, S. Mangiafico, G. Oriente, M. Piattelli, S. Sciuto, E. Fattorusso, S. Magno, C. Santacroce, D. Sica // Phytochemistry. 1975b. Vol. 14. P. 1549–1557.

Amino acid profiles in red algae / G. Impellizzeri, S. Mangiafico, M. Piattelli, S. Sciuto, E. Fattorusso, C. Santacroce, D. Sica // Biochemical Systematics and Ecology. 1977. Vol. 5(2). P. 77–80.

Amino acids. Chapter 7 / G. Coruzzi, R. Last, N. Dubareva, N. Amrhein // Biochemistry and molecular biology of plants: 2nd Edition / R.B. Buchanan, W. Gruissem, R.L. Jones (Eds.). Blackwell: Wiley Press, 2015a. P. 289–336.

Amino acid catabolism in plants / T.M. Hildebrandt, N.A. Nunes, W.L. Araujo, H.-P. Braun // Molecular Plant. 2015b. Vol. 8. P. 1563–1579.

Biochemical responses of red alga *Gracilaria corticata* (Gracilariales, Rhodophyta) to salinity induced oxidative stress / M. Kumar, P. Kumari, V. Gupta, C.R.K. Reddy, B. Jha // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2010. Vol. 391. P. 27–34.

Bird K.T., Habig C., DeBusk T. Nitrogen allocation and storage patterns in *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta) // J. Phycol. 1982. Vol. 18. P. 344–348.

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.

Dawczynski C., Schubert R., Jahreis G. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products // Food Chemistry. 2007. Vol. 103, № 3. P. 891–899.

Fattorusso E., Piattelli M. Amino acids from marine algae // Marine natural products / P.J. Scheuer (Ed.). New York: Academic Press, 1980. Vol. 3. P. 92–139.

Heat treatment increases the protein bioaccessibility in the red seaweed dulse (*Palmaria palmata*), but not in the brown seaweed winged kelp (*Alaria esculenta*) / H.K. Maehre, G.K. Edvinsen, K.-E. Eilertsen, E.O. Elvevoll // J. Appl. Phycol. 2016. Vol. 28. P. 581–590.

Ito K., Hori K. Seaweed: Chemical composition and potential food uses // Food Reviews International. 1989. Vol. 5(1). P. 101–144.

Lewis E.J. Protein, peptide, and free amino acid composition in some species of Laurencia from Saurashtra coast // Proc. Indian Acad. Sci. B. 1974. Vol. 40. P. 38–43.

Lewis E.J., Gonzalves E.A. The protein, peptide, and free amino-acid contents of some species of marine algae from Bombay // Annals of Botany. 1962. Vol. 26, № 103. P. 301–316.

Madgwick J.C., Ralph B.J. Free amino acids in Australian marine algae // Bot. Mar. 1972. Vol. XV. P. 205–209.

Morgan K.C., Wright J.L.C., Simpson F.J. Review of chemical constituents of the red alga *Palmaria palmata* (Dulse) // Economic Botany. 1980. Vol. 34(1). P. 27–50.

Physiological and biochemical responses to thermal and salinity stresses in a sterile mutant of *Ulva pertusa* (Ulvales, Chlorophyta) / M. Kakinuma, D.A. Coury, Y. Kuno, S. Itoh, Y. Kozawa, E. Inagaki, Y. Yoshiura, H. Amano // Mar. Biol. 2006. Vol. 149. P. 97–106.

Rai V.K. Role of amino acids in plant responses to stresses // Biologia Plantarum. 2002. Vol. 45, iss. 4. P. 481–487.

Seaweeds from the Portuguese coast as a source of proteinaceous material: Total and free amino acid composition profile / E.F. Vieira, C. Soares, S. Machado, M. Correia, M.J. Ramalhosa, M.T. Oliva-teles, A.P. Carvalho, V.F. Domingues, F. Antunes, T.A.C. Oliveira, S. Morais, C. Delerue-Matos // Food Chemistry. 2018. Vol. 269. P. 264–275.

Stewart G.R., Larher F. Accumulation of amino acids and related compounds in relation to environmental stress // The Biochemistry of Plants: A comprehensive treatise. Vol. 5. / B.J. Mifflin (Ed.). New York: Academic Press, 1980. P. 609–635.

Szabados L., Savoure A. Proline: a multifunctional amino acid // Trends in Plant Sci. 2009. Vol.15, № 2. P. 89–97.

Tabakaeva O.V., Tabakaev A.V. Amino acids from potentially commercial Far-east brown algae *Costaria costata* and *Undaria pinnatifida* // Chemistry of Natural Compounds. 2016. Vol. 52, № 2. P. 376–378.

The amino acid composition of some common marine algae from Qatar (Arabian gulf) / H.I. Heiba, S.A. Al-Nagdy, A.M. Rizk, M.M. Durgham // Qatar Univ. Sci. J. 1993. Vol. 13, iss. 2. P. 219–225.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.011
УДК 551.3.051

Н.И. Мещеряков

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ОСАДКОНАКОПЛЕНИЕ В ПРОЛИВЕ СТУР-ФЬОРД (АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН) В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Аннотация

Проведены исследования процессов современного осадконакопления в проливе Стур-фьорд, обширном районе разгрузки стока ледников архипелага Шпицберген. Изучен гранулометрический состав донных отложений, на основании этого сделан вывод об изменении условий седиментации в проливе. Показано, что поступление осадочного материала в пролив происходит за счет флювиогляциальных потоков. Роль ледового разноса ослаблена. С середины прошлого века наблюдается другой тип осадка в бассейне седиментации.

Ключевые слова: Стур-фьорд, донные отложения, седиментогенез, гранулометрический состав, флювиогляциальные потоки, ледовый разнос.

N.I. Meshcheryakov

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

SEDIMENTATION IN THE STURFJORD STRAIGHT (SVALBARD) UNDER CLIMATE CHANGE

Abstract

Study of the processes of modern sedimentation in the Sturfjord strait, a vast area of discharge of glacier runoff from the Svalbard archipelago, were carried out. The granulometric composition of bottom sediments was studied, on the basis of which conclusions were drawn about changes in sedimentation conditions in the strait. It is shown that sedimentary material enters the strait due to fluvioglacial flows. The role of ice transport is weakened. Since the middle of the last century, the type of sediment in the sedimentation basin has changed.

Keywords: Sturfjord, bottom sediments, sedimentogenesis, particle size distribution, fluvioglacial flows, ice transport.

Введение. Изучение процессов осадконакопления в условиях меняющегося климата является важной задачей литологии. С 1940-х годов отмечается изменение климата в Арктике, особенно в ее западной части (Forland, Hanssen-Bauer, 2003; Анциферова и др., 2014). Изменения

отражаются на седиментогенезе в регионе. Важным показателем, характеризующим этот процесс, является гранулометрический состав донных отложений. Размер зерен и их численное соотношение позволяет судить об условиях седиментации, интерпретировать генезис осадка, отражает интенсивность и периодичность процессов дегляциации. Помимо этого, гранулометрический состав оказывает прямое влияние на распределение бентосных организмов, для которых донные отложения являются средой обитания. В отличие от морских и океанических бассейнов, скорость осадконакопления в которых очень низкая (Лисицын, 1978, 1994), фьорды представляют собой морские бассейны с быстрыми изменениями характера седиментологических процессов. Скорость осадконакопления в них может быть на порядок больше, чем в открытом море (Elverhoi et al., 1983; Процессы ..., 2000; Мещеряков, 2017). Это дает возможность в режиме реального времени изучать влияние динамики современных перигляциальных процессов на геоэкологические характеристики морского дна как ответ на короткопериодные флуктуации климатических условий.

В данном аспекте интерес вызывает пролив Стур-фьорд, наиболее значимыми факторами осадконакопления в котором являются абляция ледников в теплое время года и круглогодичное воздействие дрейфующих льдов. Оба эти фактора зависят от климатических условий и определяют изменения гранулометрического состава донных отложений в проливе.

Пролив Стур-фьорд расположен на юго-востоке архипелага Шпицберген и отделяет о. Западный Шпицберген на западе от о. Баренца и о. Эдж на востоке (рис. 1). Площадь пролива 15000 км², он простирается в северо–северо-восточном направлении, близком к меридиональному. Его протяженность составляет 245 км. Ширина пролива увеличивается от северной оконечности к южной, от 2 км между островами Западный Шпицберген и Баренца до 160 км между о. Западный Шпицберген и о. Эдж с учетом Тьюв-фьорда. На западе береговая линия пролива составляет 310 км. Большая часть западного побережья окаймлена ледниками. Восточное побережье пролива протянулось на 145 км и изрезано мелкими реками и ручьями. Глубина пролива увеличивается с 20 м на севере до 180 м на юге.

Район работ круглогодично подвержен ледовой инвазии и находится в зоне ледовой седиментации. Северная часть пролива относится к области ледовой седиментации за счет припая (Тарасов и др., 1998). В летнее время в результате абляции в бассейн седиментации выносятся большое количество мелкодисперсных частиц, которые являются составляющими размыва ледниковых отложений. Следует отметить, что для пролива характерно наличие придонных течений (Танцюра, 1959). Они распространены на севере между островами Эдж и Западный Шпицберген и являются частью гидрологического режима пролива.

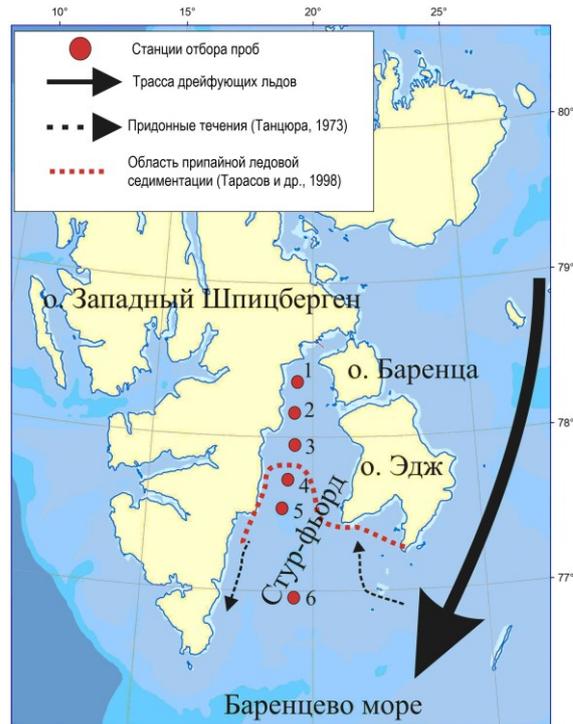


Рис. 1. Район работ
Fig. 1. Area of work

С 1940-х годов на архипелаге Шпицберген наметилась тенденция к смягчению климата. Это подтверждается данными многолетних наблюдений зональной гидрометеорологической станции (ЗГМО) “Баренцбург” (рис. 2).

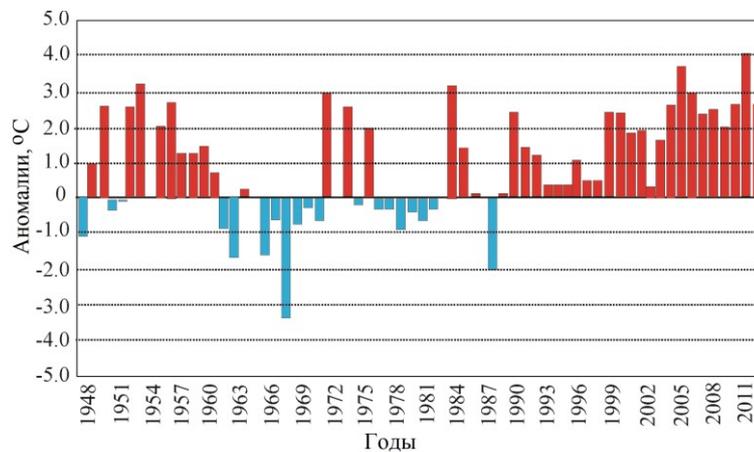


Рис. 2. Аномалии среднегодовой температуры воздуха (январь–декабрь 1948–2013 гг.) по данным ЗГМО “Баренцбург” (Анциферова и др., 2014)

Fig. 2. Anomalies in the average annual air temperature for the observation (January–December 1948–2013) according to the ZMGO “Barentsburg” (Анциферова и др., 2014)

Согласно датировке слоев грунтовых колонок в Стур-фьорде, выполненной в 2005 г. (Winkelmann, Knies, 2005), возраст осадочного слоя 9.5–10 см соответствует 1952 г., а возраст слоя 19–20 см – 1900–1924 гг. Таким образом, средняя скорость осадконакопления в проливе с 1924 по 2001 гг. составила 1.8–2 мм/год. Опираясь на эти данные, толщу донных отложений можно датировать приблизительно 1945–1965 гг.

Материал и методы. Отбор проб донных отложений выполнен 24.06–03.07.2019 г. с борта НИС “Дальние Зеленцы” (рис. 1). Всего взято 6 колонок мощностью от 10 до 13 см.

Орудием отбора проб служили дночерпатель ван-Вина и пластиковая туба, с помощью которой колонки стратиграфически не нарушенных донных отложений были вырезаны из общей пробы через верхние створки дночерпателя (рис. 3). Керны разделялись на слои толщиной 2 см, затем для каждого слоя был выполнен гранулометрический анализ отложений.



Рис. 3. Отбор проб донных отложений
Fig. 3. Bottom sediment sampling

Для анализа использован общепринятый интегральный метод Батурина-Осборна. Разделение осадочного материала на слагающие фракции проводилась по классической методике Батурина с последовательным взмучиванием образцов. Полнота отмучивания и оседания фракций контролировалась наблюдением с помощью микроскопа Carl Zeiss Axio imager. D2 (согласно методике Осборна). После этого полученный литологический материал был высушен в сушильном шкафу и просеян через набор сит с ячейками > 2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.1 и 0.05 мм. Все полученные фракции были взвешены на аналитических весах. Тип донных отложений определяли по классификации М.В. Кленовой (1948).

Результаты и обсуждение. Для донных отложений пролива Стур-фьорд, независимо от возраста и слоя залегания, характерно преобладание алеврито-пелитовой фракции (таблица).

Гранулометрический состав донных отложений пролива Стур-фьорд
Granulometric composition of bottom sediments of the Sturfjord

Интервал, см	Размерность зерен, мм							
	< 2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.1-0.05	0.05-0.01	> 0.01
Ст. 1(39), глубина 95 м								
0-2	–	0.2	1.6	1.6	3.7	4.2	48.6	40.1
2-4	1.4	1.0	1.3	1.1	3.0	3.0	54.7	34.5
4-6	1.7	1.8	1.8	1.7	3.1	2.7	44.1	43.0
6-9	3.4	1.5	1.7	0.9	2.0	2.0	44.1	44.4
Ст. 2(37), глубина 92 м								
0-2	7.3	1.7	2.3	1.6	2.7	2.4	37.9	43.1
2-4	8.2	1.6	2.5	1.9	4.4	5.0	38.2	38.2
4-6	5.5	0.9	2.3	2.8	4.5	3.6	40.0	40.1
6-8	0.7	2.2	2.2	2.0	5.9	6.0	44.1	37.1
8-11	0.6	0.9	1.5	1.2	5.9	7.7	52.3	29.8
Ст. 3(34), глубина 98 м								
0-2	2.7	1.4	0.2	0.5	2.8	3.6	51.2	37.4
2-4	0.7	0.6	0.7	0.8	4.1	4.7	47.1	41.4
4-6	3.2	1.3	0.8	0.7	1.4	1.9	56.0	34.7
6-8	–	2.3	0.4	0.6	3.8	3.6	58.3	31.0
8-10	–	0.2	0.2	0.7	2.4	7.2	59.5	29.8
10-12	–	0.1	0.1	0.3	2.7	6.5	62.5	27.8
Ст. 4(31), глубина 91 м								
0-2	–	0.2	0.4	0.8	2.2	3.2	55.5	37.7
2-4	–	–	0.1	0.2	1.0	1.7	59.7	37.3
4-6	–	–	0.2	0.3	1.5	3.1	62.2	32.7
6-8	–	–	0.1	0.1	1.1	2.5	66.1	30.1
8-11	–	–	0.4	0.5	3.3	5.9	61.9	27.6
Ст. 5(28), глубина 120 м								
0-2	0.5	1.2	0.5	0.1	2.5	5.0	36.2	54.0
2-4	–	–	0.1	0.3	1.4	2.0	42.4	53.8
4-6	–	0.7	–	0.6	5.0	6.4	52.5	34.8
6-8	–	–	–	0.2	1.3	2.7	49.1	46.7
8-10	–	–	–	0.5	5.4	7.7	45.9	40.5
10-13	0.1	–	–	0.2	1.8	3.5	41.3	53.5
Ст. 6(78), глубина 145 м								
0-2	–	–	0.3	0.5	9.9	17.2	53.2	18.9
2-4	–	–	–	2.0	13.2	15.1	45.8	23.9
4-6	–	–	–	0.4	2.6	10.0	67.5	19.5
6-8	–	–	0.2	0.2	1.6	8.5	73.2	16.3

Однако соотношение между алевритом и пелитом отличается как по станциям, так и в вертикальном распределении по колонке (рис. 4). На станциях 1–4 8-сантиметровый слой осадков, сформированный приблизительно с 1970-х гг., квалифицируется как ил (содержание частиц < 0.01 мм от 30 до 50 %). Подстилающий слой донных отложений ниже

представлен более грубым осадочным материалом – песчаным илом (содержание частиц < 0.01 мм от 10 до 30 %). На станции 5 верхний 4-сантиметровый слой седиментов типизируется как глинистый ил, в котором содержание частиц < 0.01 мм не менее 50 %. В слое осадочной толщи от 4 до 10 см осадки квалифицированы как ил, который в нижележащем слое опять замещается глинистым илом. На севере пролива, несмотря на максимальные глубины, вскрытая толща рыхлых отложений представлена исключительно песчаным илом.

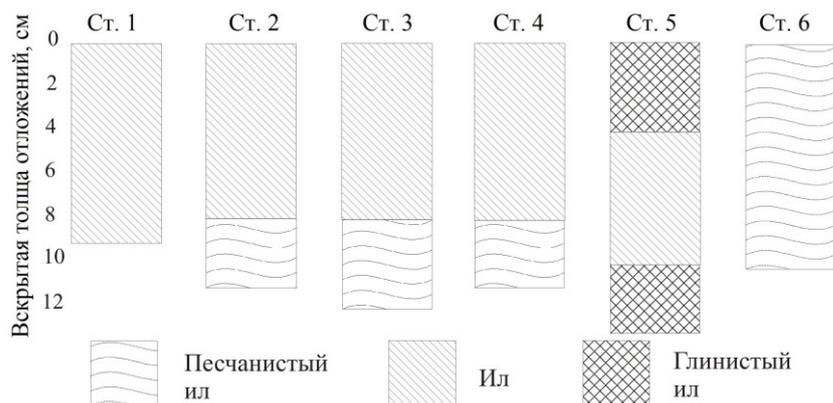


Рис. 4. Типы донных отложений в проливе Стур-фьорд
Fig. 4. Types of bottom sediments in the Sturfjord

На станциях 1–3 в осадочных горизонтах мощностью от 4 до 8 см отмечаются плохо окатанные включения грубообломочного материала, который отсутствует в выше- и нижележащих слоях. Масса отдельно взятых гравийно-галечных зерен составила на ст. 1 – 24 %, ст. 2 – 184 %, ст. 3 – 14 % от общей массы алевропелитового материала и не учитывалась при гранулометрическом анализе.

В настоящее время донные отложения Стур-фьорда представлены илами или глинистыми илами. На станции 1 распространены исключительно илы и не отмечено изменений в типе донных отложений по слоям колонки. Так как мощность вскрытой осадочной толщи составила 9 см, то, основываясь на приведенной выше оценке возраста (Winkelmann, Knies, 2005), можно утверждать, что с 1950-х гг. по настоящее время значимых изменений условий седиментогенеза на этом участке пролива не происходило.

На станциях 2–4 четко прослеживается смена типа донных отложений ниже верхнего 8-сантиметрового слоя. На горизонте 8 см проходит стратиграфическая граница замещения илов на песчаные илы.

Седименты на участке ст. 5 характеризуются наиболее мелкодисперсным материалом, здесь отмечаются неустойчивые условия осадконакопления с периодическим чередованием типов донных отложений. В настоящее время поверхностный слой осадков на этом

участке пролива представлен глинистым илом, который формировался здесь приблизительно с 1990 г. С 1960-х до начала 1990-х годов условия соответствовали накоплению более грубого осадочного материала, формирующего илы. В нижележащем слое, формировавшемся в 1940–1960-х гг., вновь отмечается накопление глинистых илов.

В районе ст. 6 глубина моря составляет 146 м. Это наиболее глубокий участок фьорда, исследованный в экспедиции 2019 г. По всей глубине (11 см) вскрытия осадочная толща сложена песчаным илом, механический состав которого местами близок к составу илистого песка. Однако по формальным количественным показателям смены типа донных отложений не отмечено, что объясняется, возможно, недостаточной мощностью вскрытой осадочной толщи. Эпизодические флуктуации соотношения фракций седимента могут быть вызваны придонным течением, количественно определяющим поступление в осадок мелкодисперсного материала. Учитывая полученные данные (таблица), особенность накапливать тонкозернистые осадки сложилась приблизительно в середине прошлого века и, по-видимому, связана с изменениями климата, отмеченными в метеорологических наблюдениях (рис. 2).

Присутствие гравийно-галечного материала на станциях 1–3 позволяет отметить значимую роль в седиментационных процессах местного припайного льда. Несмотря на наметившуюся с середины прошлого века тенденцию к смягчению климата, с конца 1960-х по 1990-е годы зональной гидрометеорологической обсерваторией пос. Баренцбург фиксировались климатические условия с отрицательными аномалиями среднегодовой температуры в несколько градусов (Анциферова и др., 2014). В то время это способствовало формированию припайных льдов, которые разносили грубообломочный осадочный материал. Напротив, с 1990 г. отмечается резкое смягчение ледовых условий (Иванов, Журавский, 2010), что существенно ослабило влияние ледового разноса на седиментогенез в проливе Стур-фьорд.

Закключение. Осадконакопление в проливе Стур-фьорд – сложный процесс, реагирующий в том числе на перемены климата. В результате повышения температуры воздуха в Арктике в настоящее время в проливе Стур-фьорд изменились условия седиментации, что привело к формированию иных типов донных осадков в большей части бассейна седиментации. Исключением из выявленной особенности являются испытывающие влияние придонных течений части пролива, которые способствуют накоплению осадков одного типа.

Донные отложения, представленные в середине прошлого века в большинстве песчаными илами, к настоящему времени сменились илами, а в районах распространения илов – глинистыми илами. Увеличение процентной доли пелита (частиц < 0.01 мм) связано с абляцией ледников на водосборе и увеличением поступлений мелкодисперсного материала в пролив.

Ледовый разнос осуществляется местным припайным, неинвазийным льдом. В 1970–1980-е годы на 1 кг мелкодисперсной фракции осадка, поступившего на дно залива, приходилось от 0.2 до 2.0 кг грубообломочных зерен, разносимых по фьорду льдом. В настоящее время роль ледовой седиментации снизилась, современное соотношение поступающего на дно залива грубообломочного материала оценивается от 0.02 до 0.1 кг на 1 кг мелкодисперсной фракции.

Итак, за последние десятилетия механизмы осадконакопления в проливе Стур-фьорд претерпели изменения. Произошло перераспределение потоков осадочного вещества в пролив. Доминирует поступление осадков за счет флювиогляциальных потоков, в то время как роль некогда значимого ледового фактора ослабла.

Автор выражает огромную признательность научному сотруднику лаборатории альгологии Д.В. Пуговкину за любезно предоставленную возможность работать на световом микроскопе при выполнении гранулометрического анализа.

Литература

Анциферова А.Р., Мокротоварова О.И., Сиеккинен Е.Д. Изменения климата на архипелаге Шпицберген. Климатические особенности зимы 2013/14 гг. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып.12. М.: ГЕОС, 2014. С. 16–21.

Иванов Б.В., Журавский Д.М. Ледовые условия в заливе Грэн-фьорд (архипелаг Шпицберген) за период 1974–2008 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2(85). С. 29–34.

Кленова М.В. Геология морей. М.: Учпедгиз, 1948. 182 с.

Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 390 с.

Лисицын А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука, 1994. 448 с.

Мещеряков Н.И. Особенности седиментогенеза в заливе Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2017. Т. 20, № 1. С. 272–279.

Процессы седиментации на гляциальных шельфах / Г.А. Тарасов, И.А. Погодина, В.Б. Хасанкаев, Н.А. Кукина, М.В. Митяев. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. 473 с.

Танцюра А.И. О течениях Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1959. Вып. 11. С. 35–54.

Тарасов Г.А., Хасанкаев В.Б., Матишов Г.Г. Осадочное вещество ледового транспорта на Баренцевоморском шельфе // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. С. 33–39.

Elverhøi A., Lanne O., Seland R. Glaciomarine sedimentation in a modern fjord environment, Spitsbergen // Polar Res. 1983. P. 127–149.

Forland E.J., Hanssen-Bauer I. Past and future climate variations in the Norwegian Arctic: overview and novel analyses // Polar Res. 2003. Vol. 22. P. 113–124.

Winkelmann D., Knies J. Recent distribution and accumulation of organic carbon on the continental margin west off Spitsbergen // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2005. Vol. 6, Paper Q09012. Doi: 10.1029/2005GC000916.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.012

УДК 574.34

К.К. Москвин

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИХЕТ РОДА *PHOLOE* В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Аннотация

Исследовано влияние глубины, солёности и типа грунта на распространение и распределение полихет рода *Pholoe*. В водах южной части Баренцева моря на основе обновленных морфологических описаний идентифицировано четыре вида – *Ph. assimilis*, *Ph. baltica*, *Ph. longa* и *Ph. minuta*. Данные виды предпочитают небольшие глубины, мягкие грунты и морскую солёность (> 33.5 ‰). Установлено, что глубина – основной лимитирующий фактор при распространении данных видов, однако *Ph. baltica* и *Ph. minuta* могут обитать в более широких диапазонах указанных абиотических факторов.

Ключевые слова: полихеты, *Pholoe*, экология, распространение, Баренцево море, Кольский залив.

К.К. Moskvina

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

ECOLOGICAL DISTRIBUTION AND EXPANSION OF THE POLYCHAETE GENUS *PHOLOE* IN THE SOUTHERN REGION OF THE BARENTS SEA

Abstract

This research is centered around the influence of depth, salinity and bottom type on the polychaete genus *Pholoe*. Four species of the genus were identified in the southern region of the Barents Sea based on the reviewed morphological descriptions – *Ph. assimilis*, *Ph. baltica*, *Ph. longa* and *Ph. minuta*. *Pholoe* prefer to live predominantly in shallow marine (salinity > 33.5 ‰) water on a soft bottom. In addition, depth was determined as the main limiting factor of the *Pholoe* distribution. However, *Ph. baltica* and *Ph. minuta* were discovered to inhabit territories in a wider range of abiotic factors.

Keywords: polychaeta, *Pholoe*, ecology, distribution, the Barents Sea, Kola Bay.

Введение. Изучение экологии какой-либо группы организмов непосредственно зависит от возможности их достоверной видовой идентификации для дальнейшего анализа влияния абиотических факторов

на распространение и жизнедеятельность конкретных особей. До недавних пор таксономические проблемы полихет рода *Pholoe* не позволяли должным образом обратить внимание на экологию его видов. Но ревизия систематики *Pholoe* с применением методов молекулярной биологии (Meißner et al., 2016) и последующее выделение дополнительных таксономических признаков заложили прочный фундамент для исследований в области экологии видов данного рода.

Многочетинковые черви рода *Pholoe* – подвижные полихеты длиной до 20 мм. Взрослые особи являются хищниками, питаются преимущественно мелкими ракообразными и седентарными полихетами (Pleijel, 1983), личинки, в свою очередь, ведут планктонный образ жизни и имеют лецитотрофный тип питания (Blake, 1975). Некоторые виды откладывают несколько больших яиц, молодь из которых развивается прямо внутри элитра (живорождение) или под ними (забота о потомстве). В арктических морях полихеты рода *Pholoe* – постоянный компонент донных сообществ мягких грунтов. В одной пробе может быть идентифицировано до трех видов этого рода (Pettibone, 1992). Несмотря на их распространенность и частую встречаемость, представители *Pholoe* не играют особой роли в биомассе сообществ из-за своих маленьких размеров, но являются фоновыми видами.

Мировая фауна полихет данного рода насчитывает 20 видов (WoRMS ..., 2000–2020). В европейских прибрежных водах отмечены *Ph. longa* Müller, 1776, *Ph. minuta* Fabricius, 1780, *Ph. inornata* Johnston, 1839, *Ph. baltica* Örsted, 1843, *Ph. assimilis* Örsted, 1845 и *Ph. pallida* Chambers, 1985 (Petersen, 1998; Meißner et al., 2016). Из них в южной части Баренцева моря идентифицированы *Ph. assimilis*, *Ph. baltica*, *Ph. longa* и *Ph. minuta* (Москвин, 2019). Однако до проведения ревизии систематики представителей данного рода определяли как *Pholoe minuta*, и вид считался наиболее распространенным (Pettibone, 1992), что, в свою очередь, оказало влияние на работы по экологии и биологии. Современные же сведения по морфологии полихет рода *Pholoe* позволяют более подробно рассмотреть вопросы распространения отдельных видов. Например, эти полихеты считаются прибрежными видами, обитающими преимущественно на малой глубине (Ушаков, 1955; Pettibone, 1992). Однако представители данного рода были зарегистрированы в пробах с глубины до 293 м, что и привлекло внимание к изучению влияния экологических факторов, а именно глубины, типа грунта и солености, на их распространение.

Таким образом, данная работа направлена на изучение особенностей распространения четырех видов полихет рода *Pholoe* в прибрежной зоне и открытой части Баренцева моря и выявление их экологических предпочтений.

Баренцево море – хорошо изученный район Северного Ледовитого океана, его средняя глубина – 220 м, но наибольшие глубины зарегистрированы в юго-восточной части – 300–400 м. В силу притока

с Нордкапским течением атлантических вод, южная часть моря более соленая (34.8–35.2 ‰), чем северная (34.5–34.8 ‰). Средняя температура водных масс варьирует от –1.5 до 5 °С. Основные типы грунтов на малой глубине в южной части – заиленные пески, пески, глубже – пески с гравием и галькой (Воды ..., 2016).

Кольский залив вдается в материк на 60 км и характеризуется глубиной в 180 м в центральной части и 300 м в устье. Ярко выражена сезонность в показателях солености поверхностных вод залива, так как в него впадает много мелких рек и ручьев. От южной к северной части средний показатель солености поверхностных вод в зимний период повышается с 20–25 до 30.0–33.5 ‰. Годовая динамика температуры в Кольском заливе выражена сильнее, чем в открытом море. В гидробиологическое лето на глубине 100–250 м температура снижается с 8 до 2 °С, а зимой повышается до 5 °С. В целом во всех коленах Кольского залива наблюдается наличие ила или илистого песка как основного типа грунта, однако в южном колене в местах с сильными течениями все дно покрыто речным гравием, галькой, крупными камнями (Дерюгин, 1915).

Материал и методы. Работа выполнена на базе лаборатории зообентоса Мурманского морского биологического института РАН. Материалом для исследования послужили сборы полихет из Кольского залива и южной части Баренцева моря (станции разреза “Кольский меридиан”). Анализировались пробы, отобранные как в 2005–2008 гг. в прибрежных районах Кольского залива с помощью легководолазной техники, так и во время экспедиции сотрудниками Института на научно-исследовательских судах “Дальние Зеленцы” и “Вильнюс” в 2000–2003 и 2010–2017 гг.

Полихеты были зафиксированы в 4 %-м формальдегиде и затем переведены в 75 %-й раствор этанола. Сбор проб на каждой станции сопровождался описанием типа грунта, измерением солености и температуры придонного слоя воды. Видовая идентификация полихет рода *Pholoe* проводилась в лаборатории зообентоса с использованием методов световой микроскопии. Для рассмотрения крупных деталей применялся бинокляр Leica MZ APO, более мелких – световой биноклярный микроскоп. Были проанализированы особенности распространения и распределения обилия (плотности поселения) полихет *Pholoe* в зависимости от показателей глубины, солености, а также типа грунта.

Результаты и обсуждение. Наибольшее видовое разнообразие полихет данного рода регистрируется на глубине до 25 м (рис. 1). На малых же глубинах они формируют и наиболее плотные поселения. Наибольшие значения численности исследуемых видов отмечены на глубине 11 м в районе пос. Мишуково: *Ph. assimilis* – 147 экз/м², *Ph. baltica* – 113 экз/м², *Ph. longa* – 38 экз/м², *Ph. minuta* – 43 экз/м². С увеличением глубины исчезают *Ph. assimilis* и *Ph. longa*, ниже 200 м распространены только *Ph. baltica* и *Ph. minuta*.

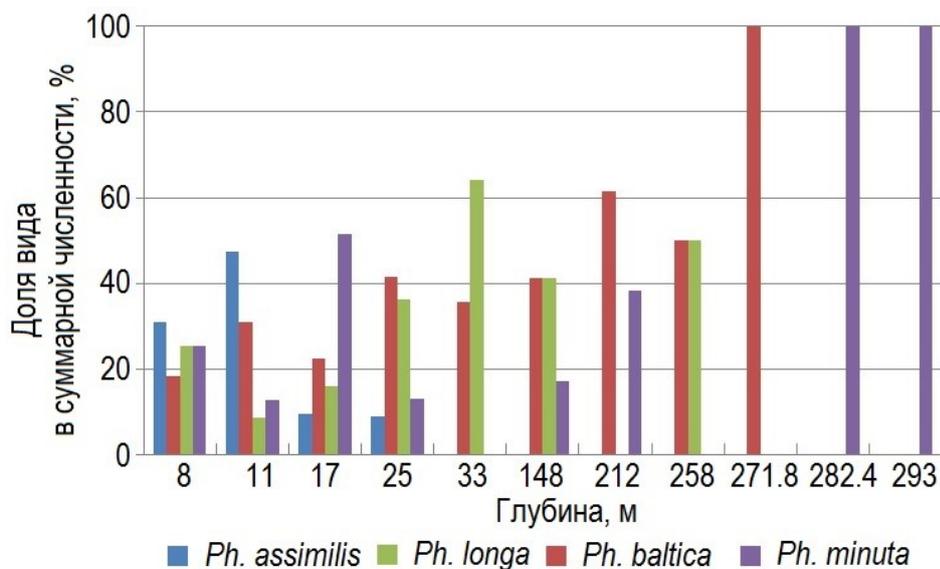


Рис. 1. Соотношение видов полихет рода *Pholoe* в зависимости от глубины
 Fig. 1. Percentage ratio of *Pholoe* species in relation to depth

Из полученных сведений можно сделать вывод о том, что полихеты рода *Pholoe* действительно представлены в наибольшем разнообразии на меньших глубинах, где для их жизнедеятельности условия наиболее благоприятны. С увеличением глубины лидирующую роль в пробах начинает занимать *Ph. minuta*. На глубине 25 м наблюдается снижение доли *Ph. assimilis* и повышение доли *Ph. longa*, что может свидетельствовать не только о том, что увеличение глубины является ограничивающим фактором при распространении *Ph. assimilis*, но и о том, что на глубине до 25 м между этими двумя видами имеет место конкуренция. Таким образом, можно утверждать, что в южной части Баренцева моря глубина служит лимитирующим фактором при распространении полихет *Ph. assimilis* и *Ph. longa*.

Соленость (ее пониженные значения) также является лимитирующим фактором для некоторых видов данного рода. Полихеты рода *Pholoe* обитают исключительно в морских водах, при солености свыше 33.5 ‰ в Кольском заливе регистрируются все четыре вида (рис. 2). *Pholoe baltica* и *Ph. minuta* оказались устойчивыми и к более низким значениям солености. Однако со снижением солености уменьшается и средняя численность особей данных видов в пробах, что свидетельствует об угнетающем воздействии данного фактора. Доля *Ph. baltica* постоянно высока при любых показателях солености, в то время как для *Ph. longa* она повышается с понижением солености, а для *Ph. assimilis* – снижается.

Наибольшего видового разнообразия полихеты рода *Pholoe* достигают на мягких грунтах, их показатели численности особенно велики на заиленном и илистом песках. *Pholoe baltica* и *Ph. minuta* могут обитать и на твердых грунтах (рис. 3).

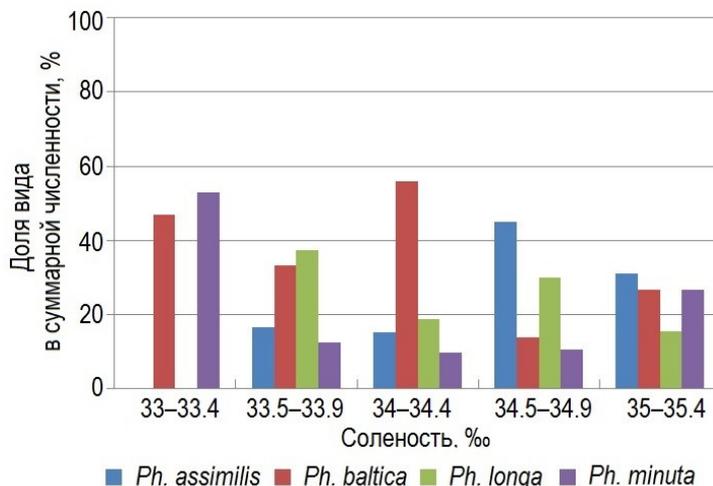


Рис. 2. Соотношение видов полихет рода *Pholoe* в зависимости от солености
Fig. 2. Percentage ratio of *Pholoe* species in relation to salinity

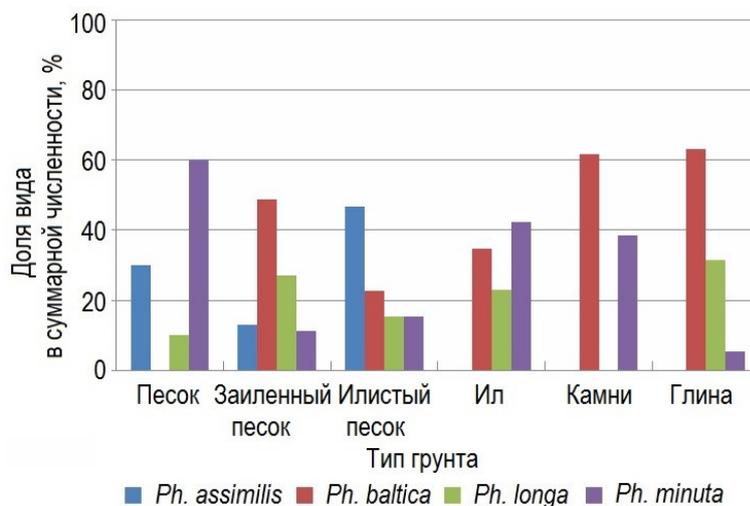


Рис. 3. Соотношение видов полихет рода *Pholoe* в зависимости от типа грунта
Fig. 3. Percentage ratio of *Pholoe* species in relation to the bottom type

Среди четырех идентифицированных в водах Кольского залива видов многощетинковых червей рода *Pholoe* наибольшей частотой встречаемости характеризуется *Ph. baltica* – 74 %, для остальных видов этот показатель следующий: *Ph. assimilis* – 45 %, *Ph. longa* – 68 %, *Ph. minuta* – 60 %.

Ph. minuta – 61 %. Подобная закономерность лишь подтверждает установленные ранее зависимости, так как высокая частота встречаемости данного вида – следствие его устойчивости к изучаемым абиотическим факторам, а особенно – глубине.

Заключение. В ходе проведенного исследования было установлено, что арктические виды полихет рода *Pholoe* действительно преимущественно прибрежные организмы, предпочитающие небольшие глубины и мягкие грунты. Глубина и пониженные значения солености являются основными факторами, изолирующим особей разных видов друг от друга. Выход за пределы благоприятных для жизнедеятельности значений сказывается на изучаемых видах снижением численности, вплоть до отсутствия. Установлено, что *Ph. baltica* и *Ph. minuta* все же могут обитать в более широких диапазонах изменения глубины и солености, а также на твердых грунтах, что обеспечивает их распространение на более обширные территории и позволяет характеризовать их как более эврибионтные виды по сравнению с *Ph. longa* и *Ph. assimilis*.

Литература

Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов и др. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2016. 260 с.

Дерюгин К.М. Фауна Кольского залива и условия ее существования. Петроград: Тип. Импер. акад. наук, 1915. 829 с.

Москвин К.К. Систематика арктических видов многощетинковых червей рода *Pholoe* (Polychaeta: Pholoidae) // Исследования арктических экосистем: Матер. XXXVII конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2019. С. 59–64.

Ушаков П.В. Многощетинковые черви дальневосточных морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 449 с.

Blake J.A. The larval development of Polychaeta from the Northern California Coast. III Eighteen species of Errantia // *Ophelia*. 1975. № 14. P. 23–84.

Meißner K., Bick A., Götting M. Arctic *Pholoe* (Polychaeta: Pholoidae): when integrative taxonomy helps to sort out barcodes // *Zool. J. Linnean Society*. 2016. P. 1–26.

Pettibone M.H. Contribution to the Polychaete Family Pholoidae Kinberg // *Smithsonian Contributions to Zoology*. 1992. № 532. P. 1–24.

Pleijel F. On feeding of *Pholoe minuta* (Fabricius, 1780) (Polychaeta: Sigalionidae) // *Sarsia*. 1983. № 68. P. 21–23.

WoRMS Editorial Board. World Register of Marine Species [Электронный ресурс]. Ostende, 2000–2020. URL: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxlist> (Дата обращения: 06.03.2020).

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.013
УДК 591.1:591.16

А.Э. Носкович

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

О РАЗНООБРАЗИИ ПОСЕЛЕНИЙ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *MACOMA CALCAREA* (BIVALVIA, TELLINIDAE) У БЕРЕГОВ НОВОЙ ЗЕМЛИ

Аннотация

В восточной части Баренцева моря выделены 3 типа поселений двустворчатых моллюсков *Macoma calcaria*. При низких положительных температурах (0.6–1.3 °С) на песчано-илистых грунтах в поселениях с невысокой биомассой, неравномерным ростом и большой смертностью преобладает молодь. В более холодных водных массах (–0.4...–1.5 °С) поселения *M. calcaria* состоят из долгоживущих, равномерно растущих крупных особей, формирующих высокие значения биомассы. В отдельных районах отмечена повышенная элиминация некоторых размерных классов. Распространение поселений мало зависит от глубины и солености.

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, *Macoma calcaria*, поселения, Баренцево море, экология, обилие, рост, смертность.

A.E. Noskovich

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

ON THE DIVERSITY OF SETTLEMENTS OF THE BIVALVE MOLLUSK *MACOMA CALCAREA* (BIVALVIA, TELLINIDAE) OFF THE COAST OF NOVAYA ZEMLYA

Abstract

In the eastern part of the Barents Sea, there are 3 types of settlements of the bivalve mollusk *Macoma calcaria*. At low positive temperatures (from 0.6 to 1.3 °C), juveniles predominate on sandy-silty soils in settlements with low biomass, uneven growth and high mortality. In colder water masses (–0.4...–1.5 °C), *M. calcaria* settlements consist of long-lived, evenly growing large individuals that form high biomass values. In the settlement of group I, there was an increased elimination of certain size classes. The distribution of settlements depends little on the depth and salinity.

Keywords: Bivalvia, *Macoma calcaria*, population, Barents Sea, ecology, abundances, growth, mortality.

Введение. *Macoma calcaria* (Gmelin, 1791) – часто встречающийся представитель Bivalvia в инфауне всех северных морей России. Данный

вид нередко доминирует по биомассе (свыше 1 кг/м²) и образует достаточно плотные поселения (500 экз/м² и выше) в составе донных сообществ мягких грунтов (Дерюгин, 1928; Гурьянова, 1948; Бабков, Голиков, 1984; Федяков, 1986; Наумов, 2006). По типу питания – собирающие детритофаги, однако могут переходить и к сестонофагии (Rasmussen, 1973; Наумов, 2006). *Macoma calcaria* отличаются сравнительно большой продолжительностью жизни – до 17 лет (Антипова, 1979). Соответственно, особенности биологии этих моллюсков могут быть весьма показательны при экологическом мониторинге. Однако экологические исследования целесообразно проводить на поселениях в качестве объекта анализа (Герасимова, Максимович, 2009). Популяционные характеристики *M. calcaria* в северных морях, помимо отрывочных сведений о показателях обилия в отдельных акваториях, практически не изучены. Длительные наблюдения за структурой поселений *M. calcaria* предприняты лишь на Белом море (Герасимова, 2001; Герасимова, Максимович, 2009; Лисицына и др., 2017). Известна также работа, связанная с исследованием особенностей жизнедеятельности *M. calcaria* в прибрежных водах Западной Гренландии (Petersen, 1978).

Данный вид двустворчатых моллюсков способен переносить сильные колебания солености вод и существенные колебания температуры воды (Цыганкова, Гусев, 2006). Поэтому район исследований (восточное побережье архипелага Новая Земля) привлек наше внимание низкой придонной температурой и достаточно высокой соленостью. Холодные и опресненные воды Карского моря проходят вдоль юго-западного берега о. Южный архипелага Новая Земля и двигаются дальше на север. Примерно на широте пролива Маточкин Шар эти воды частично смешиваются с водами Новоземельского прибрежного течения, в результате чего происходит повышение солености. Перенос вод в южных новоземельских проливах идет в обоих направлениях. Однако сток вод из Баренцева моря превышает их поступление из Карского моря (Воды ..., 2016). Поэтому неоднородность экологических условий в районе исследований может влиять на формирование поселений моллюсков.

Цель работы – проанализировать структурно-функциональные особенности поселений *M. calcaria* в восточной части Баренцева моря.

Материал и методы. Материал для данного исследования был получен сотрудниками Мурманского морского биологического института РАН в ходе двух морских экспедиций НИС “Дальние Зеленцы” в августе–сентябре 2006–2007 гг. в восточную часть Баренцева моря (к побережью Новой Земли) (рис. 1). *Macoma calcaria* были собраны вместе с другими представителями макрозообентоса с помощью дночерпателя ван-Вина с площадью захвата 0.1 м² в трехкратной повторности. Пробы были промыты через сито с размером ячеек 0.7 мм и зафиксированы 4 %-м раствором формалина. В ходе сортировки и подготовки к таксономической обработке пробы были переведены в 75 %-й раствор

этилового спирта. В 2017 году из проб были отобраны особи *M. calcarea* для дальнейшей обработки. Всего было изучено 256 моллюсков.

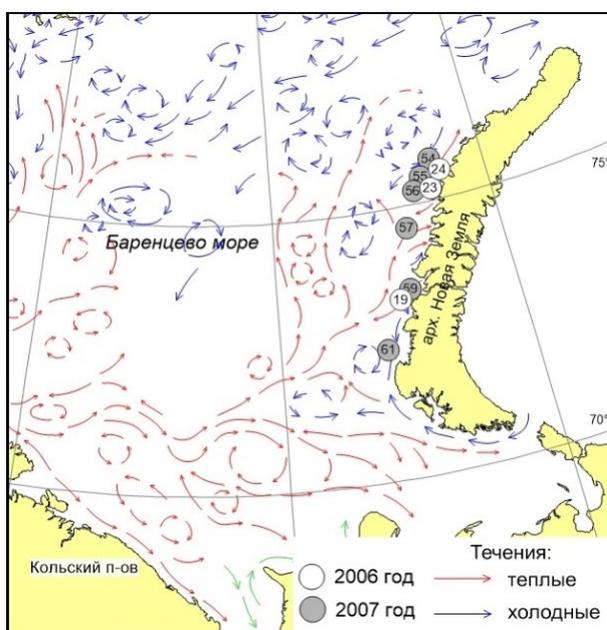


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб
Fig. 1. Map of sampling locations

Абиотические характеристики станций отбора проб получены в результате океанографического зондирования (табл. 1).

Для определения общих черт поселений станции группировали по результатам кластерного анализа методом парного присоединения на основе коэффициентов сходства Брэя-Кертиса в программе Past. При анализе использовались показатели численности и биомассы (табл. 1), размерно-возрастная структура, продолжительность жизни поселений.

У каждой особи измеряли длину раковины штангенциркулем с точностью до 0.1 мм, у мелких экземпляров – с помощью окулярной линейки бинокулярного микроскопа (Методы ..., 1990).

Возраст *M. calcarea* оценивали путем подсчета зимних остановок роста по наружной морфологии раковины, а также дополнительно оценивали возраст по внутренним меткам роста – по спилам раковины у моллюсков от 20 мм. Всего обработаны раковины 72 особей. Прирост оценивали по разнице между изменениями смежных величин конечной длины раковины в последовательном ряду возрастов. Скорость группового роста определяли по усредненным данным размера раковины в каждом возрасте.

Т а б л и ц а 1

Объем материала, характеристика поселений и районов отбора проб

T a b l e 1

Volume of material analyzed, characteristics of settlements and sampling areas

Номер станции	n	L, мм	B±m, г/М ²	N±m, экз/М ²	t, лет	T °С	S, ‰	h, м	Грунт
2006 г.									
19	29	16.3±1.8	101.1±0.7	103.3±3.7	8	-0.4	34.7	60	Песок
23	24	28.9±2.0	350.6±3.9	116.6±2.3	16	-1.5	34.9	155	Ил, глина
24	38	14.7±0.6	56.3±0.7	130.0±1.1	7	-0.7	34.8	150	Ил, глина
2007 г.									
54	17	8.6±1.5	15.3±0.1	63.3±3.5	4	0.7	34.8	165	Ил, камни
55	42	22.4±1.9	321.9±5.2	140.0±4.04	12	0.8	34.8	160	Ил, камни
56	59	12.5±0.9	71.1±0.3	196.6±4.04	6	-1.3	34.8	203	Ил, песок
57	8	8.8±2.8	6.2±0.3	26.6±0.6	4	1.2	34.9	130	Песчано-илистый
59	31	4.7±1.2	17.1±1.5	103.3±1.2	2	0.6	34.6	65	Песчано-илистый
61	8	8.6±2.0	4.0±0.1	26.6±0.1	4	1.3	34.8	80	Песчано-илистый

ПРИМЕЧАНИЕ. n – количество моллюсков; L – средняя длина раковины; B – средняя биомасса; N – средняя плотность поселения; m – ошибка среднего; t – средний возраст; T – придонная температура, S – соленость, h – глубина.

Важным обстоятельством, определяющим структуру поселений изученных видов, является смертность моллюсков в возрастных группах. Для анализа были взяты станции из двух поселений с более полными возрастными рядами. В поселениях анализировалась смертность моллюсков в возрасте от 1 года до 12 лет, так как старшие возрастные группы встречались единично. Снижение численности генераций с возрастом составляющих ее особей (смертность) рассчитывали по межгодовым изменениям плотности поселений особей в генерациях. Показатель убыли численности генераций (μ , год⁻¹) рассчитывали по формуле (Максимович, Герасимова, 2007)

$$\mu = (\ln N_1 - \ln N_2) / (2 - t),$$

где N_1 и N_2 – численности особей генерации, разнесенные на год. Для привязки абиотических параметров к биотическим использовали метод многомерного шкалирования MDS в программе Past.

Результаты и обсуждение. В результате кластеризации данных на уровне сходства 0.5 выделено три группы поселений (рис. 2), объединивших станции со схожей численностью, биомассой, средним размером

раковины и возрасту: I – станции 54, 57, 59, 61; II – станции 23, 55; III – станции 19, 24, 56. Станции 23, 55 сходны между собой на 80 % по вышеперечисленным показателям, остальные – на 50 %.

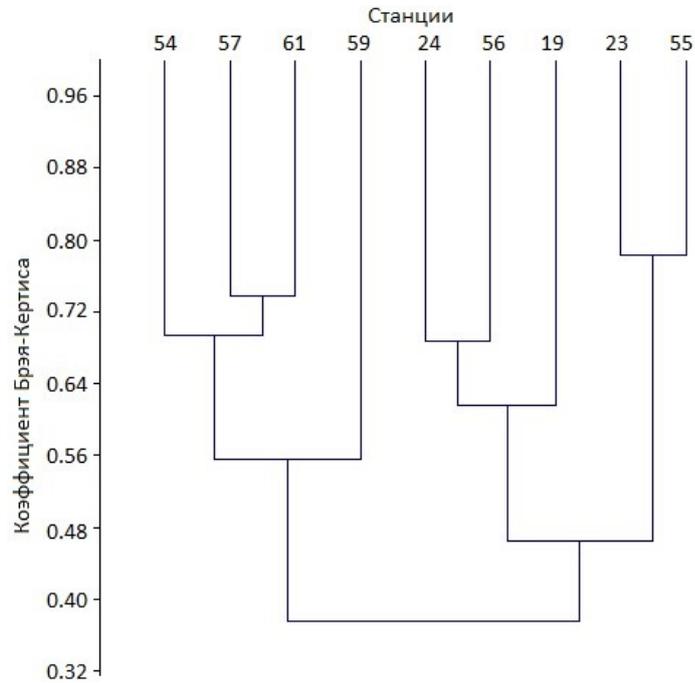


Рис. 2. Дендрограмма сходства станций
Fig. 2. Dendrogram resulting from clustering of stations

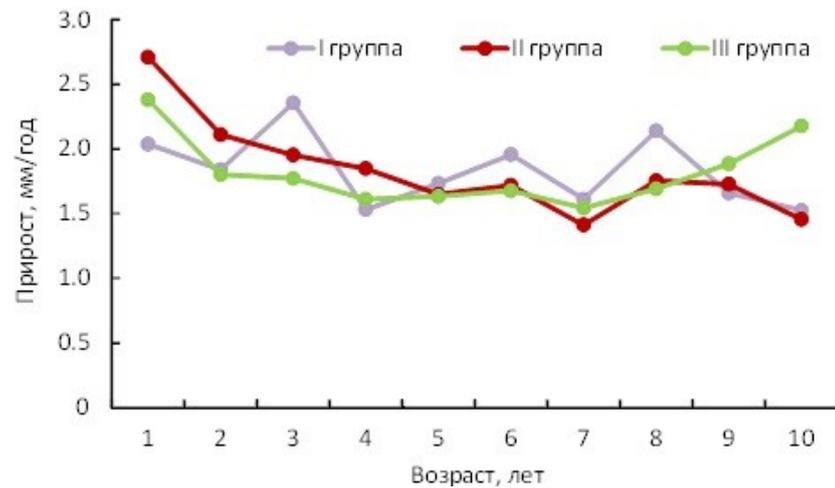


Рис. 3. Изменения прироста в поселениях *M. calcareum* с возрастом
Fig. 3. Growth changes in *M. calcareum* populations with age

Особенность поселений I группы – обилие молодых особей (средний возраст составляет 3 года) с низкой биомассой (от 4 до 15 г/м²) и вариабельной численностью (от 26 до 103 экз/м²) (табл. 1). Такой тип поселения формируется на песчано-илистых грунтах в районах с положительной температурой придонного слоя от 0.6 до 1.3 °С и соленостью 34.6–34.9 ‰. При этом глубина изменяется от 65 до 165 м. Моллюски в данном поселении характеризуются неравномерным ростом в течение проанализированных 10 лет жизни (рис. 3). Наибольший прирост приходится у них на третий год жизни – 2.3 мм. Отсутствие показателей высокого прироста в первые два года жизни моллюска обусловлено их высокой элиминацией в данном поселении (рис. 4). Скорость элиминации в целом широко колеблется – от 0.28 год⁻¹ до 2.07 год⁻¹ (табл. 2). Наибольшими показателями смертности отличаются особи в 2 и 4 года, но с увеличением возраста выживаемость моллюсков возрастает (рис. 4).

Особенностью поселений II группы являются неполные размерные ряды, моллюски в возрасте 1–3, 6–7 лет часто отсутствовали. Такие поселения обитают на илистых грунтах с примесью камней на глубине 155 и 160 м и формируются, соответственно, при температуре –1.5 и 0.8 °С. Моллюски в данном типе поселений представлены крупноразмерными особями (средний размер раковины от 24 мм) с высокими показателями обилия от 321 до 350 г/м². Продолжительность жизни моллюсков в данном поселении в среднем составляет 12–16 лет, это выше чем в других поселениях (табл. 1). Наибольший прирост наблюдается в первый год жизни (2.7 мм/год), а затем происходит постепенное снижение темпов роста (рис. 3). Коэффициент смертности для данного поселения не рассчитан из-за неполных размерных рядов.

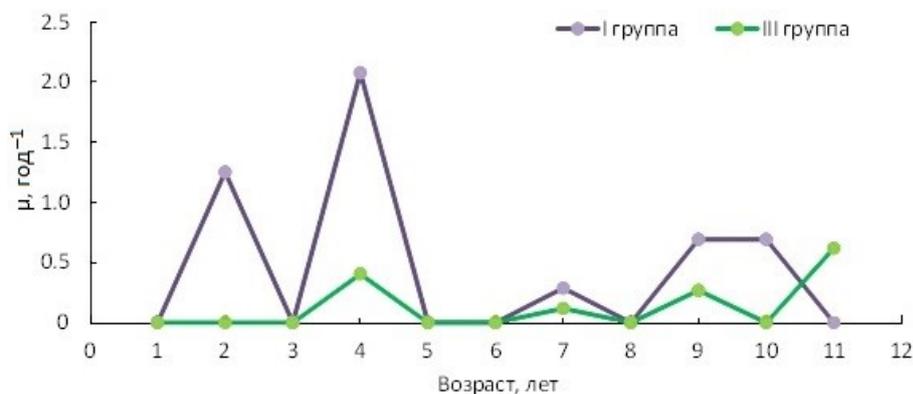


Рис. 4. Изменение коэффициента элиминации моллюсков по мере увеличения их возраста

Fig. 4. The tendency of changes in the coefficient of elimination of mollusks with increasing age

**Характеристика вариации скорости элиминации
моллюсков в поселениях**

**Characteristics of variation in the rate of shellfish
elimination in populations**

Группа поселений	Количество станций	$\Delta\mu$	μ	m	Средний возраст
I	4	0.28–2.07	0.45	0.20	3 года
III	3	0.11–0.61	0.12	0.06	8 лет

ПРИМЕЧАНИЕ: μ – среднее значение коэффициента смертности; m – ошибка среднего; $\Delta\mu$ – размах колебаний μ .

Поселения группы III характеризуются достаточно вариабельными показателями обилия (биомасса – от 56 до 101 г/м², численность – от 103 до 196 экз/м²), а продолжительность жизни в нем меньше, чем в предыдущей группе поселений – в среднем 8 лет. В данную группу входят станции, расположенные на илисто-песчаных грунтах на глубине от 60 до 200 м и достаточно низких температурах – –1.3...–0.4 °С (табл. 1). Наибольший прирост характерен для первого года жизни (2.3 мм/год), далее происходит равномерный рост с медленным снижением прироста. С восьми лет прирост снова резко увеличивается (рис. 3). Данное явление можно объяснить малой выборкой размерных классов (от 9 лет) в поселении. Скорость элиминации в целом колеблется от 0.11 до 0.61 год⁻¹ (табл. 2). С увеличением возраста и, соответственно, с увеличением среднего размера раковины моллюсков коэффициент элиминации то снижается до нуля, то его величина вновь увеличивается (рис. 4).

Для большинства изученных видов и представителей класса *Bivalvia* отсутствуют даже косвенные сведения о характере элиминации моллюсков в поселениях. Показатель смертности *M. calcarea* рассматривался ранее лишь несколькими авторами. Так среднегодовая скорость элиминации поселений в Белом море по одним сведениям составляла 0.58–0.84 год⁻¹ (Герасимова, Максимович, 2009), по другим – 0.37 год⁻¹ (Лисицына и др., 2017). В работе К.Н. Лисицыной с соавторами (2017) отмечалось, что в беломорских поселениях *M. calcarea* в разных возрастных группах скорость элиминации менялась почти в 10 раз – от 0.06 до 0.67 год⁻¹, при этом наблюдалось U-образное изменение величины показателя. В разных местообитаниях залива Диско (западное побережье Гренландии) уровень смертности варьировал от 0.2 до 0.58 год⁻¹ (Petersen, 1978). Наиболее высоким уровнем смертности отличались моллюски в возрасте 1 год и 5 лет. Относительно низкая скорость элиминации оказалась характерна для особей в возрасте 3–4 лет (Petersen, 1978).

Сведений о линейном росте *M. calcarea* в районах их распространения крайне мало. Сравнивая наши результаты с данными, полученными нами ранее для юга Баренцева моря, можно сказать, что темпы роста моллюсков в первые годы жизни у Новой Земли ниже в 1.5 раза (Носкович, 2018). Наши данные по среднегодовому приросту практически не отличаются по скорости роста *M. calcarea* в Западной Гренландии, где прирост составлял около 1.5 мм, а ежегодный прирост моллюсков – 1.2–2 мм (Petersen, 1978). Среднегодовая скорость роста беломорских моллюсков оказалась наоборот выше в 1.5–2 раза (Лисицына и др., 2017). *Macoma calcarea* из Печорского моря отличались весьма низкой скоростью роста на ранних этапах развития (Distribution ..., 2019).

Результаты кластеризации поселений моллюсков по биологическим характеристикам оказались наиболее близки с результатами ординационного анализа абиотических параметров – температуры и грунта (рис. 5А). При кластеризации с добавлением глубины и солености некоторые станции выделились в результате сильной разнородности по глубине (рис. 5Б). Можно предположить, что на формирование поселений *M. calcarea* с определенными характеристиками наиболее сильно влияет температура воды и тип грунта, а наименее – глубина и соленость.

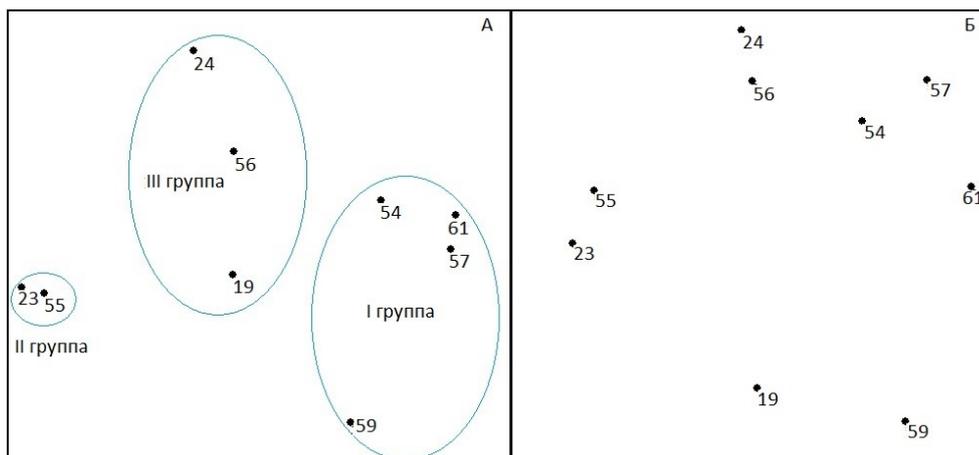


Рис. 5. Результаты ординационного анализа биологических показателей моллюска и абиотических параметров (температуры и грунта – А; глубины, температуры, солености и грунта – Б) методом многомерного шкалирования MDS

Fig. 5. Results of ordinal analysis of biological indicators of mollusks and abiotic parameters (temperature and soil – A; depth, temperature, salinity and soil – B) by multidimensional scaling MDS

Заключение. Неоднородность условий среды обитания у берегов Новой Земли приводит к разнородной структуре поселений моллюсков *M. calcarea*. В результате кластерного анализа выделено три группы поселений, которые формируются в сходных гидрологических условиях,

но на разных глубинах. Каждая группа объединяет моллюсков со схожими показателями численности и биомассы, размерной и возрастной структурой. В теплых водных массах на песчано-илистых грунтах формируются поселения с преобладанием молодежи, невысокой биомассой, неравномерным ростом и большим варьированием смертности. По-видимому, теплые водные массы и песчано-илистый грунт способствуют успешному размножению моллюсков, но по неустановленным нами причинам наблюдается повышенная смертность старших возрастных групп.

В районе с более низкими температурами формируются поселения, в которых обычно отмечаются более высокие показатели обилия (по биомассе) и продолжительность жизни несколько выше, а рост более равномерный. Такие температуры способствуют более размеренному росту в течение жизни и выживаемости моллюсков. В условиях низких отрицательных и низких положительных температур на глубине более 150 м формируются поселения с большими биомассами, высокой продолжительностью жизни, равномерным ростом и наибольшим приростом в первые годы жизни. В поселениях II группы наблюдается элиминация моллюсков в возрасте 1–3, 6–7 лет, причины этого явления еще нуждаются в дополнительном анализе.

Автор выражает благодарность с.н.с. лаборатории зообентоса ММБИ РАН Л.В. Павловой за ценные замечания при написании работы.

Работа выполнена по теме 9-19-01 (51; 52) “Донные сообщества Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод: экология, биоразнообразие, роль чужеродных видов” (№ государственной регистрации АААА-А19-119011690138-0) в рамках государственного задания № 0228-2019-0025.

Литература

Антипова Т.В. Распределение, экология, рост и продукция двустворчатых моллюсков Баренцева и Карского морей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1979. 18 с.

Бабков А.И., Голиков А.Н. Гидробиокомплексы Белого моря. Л.: Изд. Зоол. ин-та АН СССР, 1984. 104 с.

Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов и др. Мурманск: Изд. ПИПРО. 2016. 260 с.

Герасимова А.В. Пространственно-временная организация поселений двустворчатых моллюсков губы Чупа Белого моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2001. 24 с.

Герасимова А.В., Максимович Н.В. О закономерностях организации поселений массовых видов двустворчатых моллюсков Белого моря // Вестн. Санкт-Петербург. гос. ун-та. Сер. 3. 2009. Вып. 3. С. 82–97.

Гурьянова Е.Ф. Белое море и его фауна. Петрозаводск: Гос. изд-во Карело-Фин. ССР, 1948. 132 с.

Дерюгин К.М. Фауна Белого моря и условия ее существования. Л.: Изд. Гос. гидр. ин-та, 1928. 511 с. (Исследование морей СССР. Вып. 7–8).

Лисицына К.Н., Герасимова А.В., Максимович Н.В. Демэкологические исследования *Macoma calcaria* (Gmelin) в Белом море // XIII Всероссийская конференция с международным участием “Изучение, рациональное использование и охрана природных ресурсов Белого моря”, 17–20 октября 2017 г.: Сб. матер. СПб.: Изд. Зоол. ин-та РАН, 2017. С. 123–126.

Максимович Н.В., Герасимова А.В. О характере элиминации в поселениях массовых видов двустворчатых моллюсков Белого моря // Вестн. Санкт-Петербург. гос. ун-та. Сер. 3. 2007. Вып. 4. С. 54–62.

Методы изучения двустворчатых моллюсков / Под ред. Г.Л. Шкорбатова, Я.И. Старобогатова // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1990. Т. 219. 208 с.

Наумов А.Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. СПб.: Изд. Зоол. ин-та РАН, 2006. 367 с.

Носкович А.Э. Изменчивость скорости роста двустворчатого моллюска *Macoma calcaria* (Bivalvia, Tellinidae) в разных районах Баренцева моря // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Мурманск: Изд-во Мурман. гос. техн. ун-та, 2018. С. 372–378.

Цыганкова А.В., Гусев Е.А. Палеоэкологическая характеристика плейстоценовых двустворчатых моллюсков Енисейского залива. Современная палеонтология: классические и новейшие методы // Тезисы докладов III Всероссийской научной школы молодых ученых-палеонтологов, 3–5 октября 2006 г. М., 2006. С. 72–75.

Федяков В.В. Закономерности распределения моллюсков Белого моря. Л.: Изд. Зоол. ин-та АН СССР, 1986. 125 с.

*Distribution and growth of bivalve molluscs *Serripes groenlandicus* (Mohr) and *Macoma calcaria* (Gmelin) in the Pechora Sea / A.V. Gerasimova, N.A. Filippova, K.N. Lisitsyna, A.A. Filippov, D.V. Nikishina, N.V. Maximovich // Polar Biology. 2019. Vol. 42(9). P. 1685–1702.*

Petersen G.H. Life cycles and population dynamics of marine benthic bivalves from the Disco Bugt area of West Greenland // Ophelia. 1978. Vol. 17, № 1. P. 95–120.

Rasmussen E. Systematics and ecology of the Ice-fjord marine fauna (Denmark) // Ophelia. 1973. Vol. 11. P. 5–495.

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.014

УДК 636.02 + 623.98

М.В. Пахомов

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБНОСТИ СЕРЫХ ТЮЛЕНЕЙ ДИФФЕРЕНЦИРОВАТЬ ИСТОЧНИКИ СВЕТА С РАЗНЫМИ ДЛИНАМИ ВОЛН

Аннотация

Исследовали способность серых тюленей вырабатывать дифференцировочный условный рефлекс на источники света с разными длинами волн, соответствующих красному, желтому, зеленому, голубому и синему цвету. Полученные данные продемонстрировали, что источники

света с разными длинами волн могут служить для животных раздражителем, на который вырабатывается условный дифференцировочный рефлекс. Выработка этого рефлекса на источник света происходит у серых тюленей значительно быстрее, чем на окрашенные объекты. Результаты эксперимента показали наличие протанопии у серых тюленей.

Ключевые слова: серый тюлень, цветовое зрение.

M.V. Pakhomov

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

RESEARCH ON THE ABILITY OF GREY SEALS TO DIFFERENTIATE LIGHT SOURCES WITH DIFFERENT WAVELENGTHS

Abstract

The article investigated the ability of gray seals to develop a differentiating conditioned reflex to light sources with different wavelengths corresponding to red, yellow, green, cyan and blue colors. According to the obtained data, light sources with different wavelengths can serve as an irritant for the gray seal, which produces a conditional differentiation reflex. The development of a differentiating conditioned reflex to the light source occurs in the studied gray seals much faster than on color painted objects. The results of the experiment showed the presence of protanopia in the studied gray seals.

Keywords: grey seal, color vision.

Введение. В работах, проведенных ранее на биотехническом аквакомплексе ММБИ, было установлено, что серые тюлени способны дифференцировать пять основных спектральных цветов, а также отличать эти цвета от их оттенков серого, аналогичных по яркости и светлоте (Ишкулов и др., 2013). Цвета табличек подобраны по стандартной таблице RGB в редакторе изображений AdobePhotoshop. Монохромные аналоги цветов создавались путем перевода изображения соответствующего цвета в градации серого с последующей калибровкой параметра светлоты на дисплее, работающем в черно-белом режиме (Kieran, 2003). Всего было использовано пять стандартных цветов: красный (RGB #ff0000), желтый (RGB #ffff00), зеленый (RGB #00ff00), голубой (RGB #00ffff), синий (RGB #0000ff) и пять монохромных аналогов. Эксперименты проводили в светлое время суток при естественной освещенности не ниже 250 лк. Таблички освещались как прямыми солнечными лучами, так и рассеянным освещением в пасмурную погоду, что не влияло на долю верных выборов.

В ходе дальнейших исследований двое тюленей, которые ранее участвовали в экспериментальных работах, были помещены в закрытое помещение совместного биофизического комплекса ММБИ–ПГИ.

В помещении комплекса освещение обеспечивалось потолочными светильниками с люминесцентными лампами ЛД 80, при общей освещенности 168 лк. Тюлени должны были дифференцировать черный цвет от красного и синего, цвет табличек был уравнен по светлоте. С животными проводили экспериментальные работы как в закрытом помещении при искусственном освещении, так и при естественном (при возвращении тюленей на аквакомплекс ММБИ).

При искусственном освещении доля верных ответов составила 79.5 ± 2.5 % при дифференцировке таблички черного цвета от красной и 84.0 ± 3.0 % – от синей. При проведении контрольных испытаний, когда тюлени были помещены в условия естественного освещения, доля верных ответов значительно выросла: 95.0 ± 0.5 % при дифференцировке таблички черного цвета от красной и 97.5 ± 0.5 % – черного цвета от синей (Пахомов, Михайлюк, 2016).

Эксперимент продемонстрировал, что при дифференцировке объектов по признаку цветности для серых тюленей важную роль играет источник освещения и его спектральный состав.

Информацию о цвете объекта зрительные системы получают путем вычитания информации о спектральном составе источника освещения из общей информации, поступившей на визуальный сенсор (Davies, 2004). Важную роль в процессе цветовосприятия имеет именно знание спектральных характеристик источника освещения. И если для солнечного света зрительные системы живых организмов накапливают информацию в течение многих поколений, составляя своеобразную “калибровочную таблицу”, то спектральные характеристики искусственного освещения зрительным системам животных неизвестны (Brown, 2016). Это должно приводить к сложностям при определении цвета объекта при освещении его “неизвестным” источником.

Для более полного изучения влияния спектральных характеристик источника освещения при продолжении работ окрашенные таблички были заменены на источники света с разными длинами волн, соответствующих красному, желтому, зеленому, голубому и синему цвету.

Материал и методы. Работы проводились на аквакомплексе ММБИ (г. Полярный). В эксперименте участвовали две самки серого тюленя *Halichoerus grypus* Fabricius, 1791 в возрасте 13 лет (тюлени 1 и 2) и самец в возрасте 3 лет (тюлень 3). Ранее самки участвовали в экспериментах по исследованию способности дифференцировать пять основных хроматических цветов друг от друга и от ахроматических цветов, аналогичных им по светлоте, поэтому были обучены дифференцировке объектов по цветовому признаку, а самец – не участвовал.

В отличие от предыдущих исследований, где использовался метод двухальтернативного вынужденного выбора, когда тюленям демонстрировали таблички разного цвета парами стимул–шум. В данном исследовании применялся метод “да–нет”, когда стимул и шум

предъявлялись друг за другом в случайном порядке через регулярные промежутки времени. При демонстрации стимульного цвета тюлень должен был нажать на рычаг, за что получал пищевое поощрение.

Для обучения тюленя применялись положительное подкрепление пищевым поощрением с бридж-сигналом в виде одинарного короткого свистка на частоте 6 кГц и отрицательное наказание временным штрафом с сопутствующим бридж-сигналом – двух коротких свистков на частоте 6 кГц.

В качестве пищевого поощрения на всем протяжении эксперимента использовалось нарезанное кусочками по 20 г филе атлантической сельди. Опыты проводили 2 раза в сутки (утром и вечером в зависимости от освещенности). К работам приступали при общей освещенности не выше 40 лк.

Для проведения исследований была собрана экспериментальная установка (рис. 1), состоящая из рычага (1), фонаря со светорассеивающим фильтром молочно-белого цвета (2), блока управления (3), пульта управления (4) и контейнера для подачи корма (5).

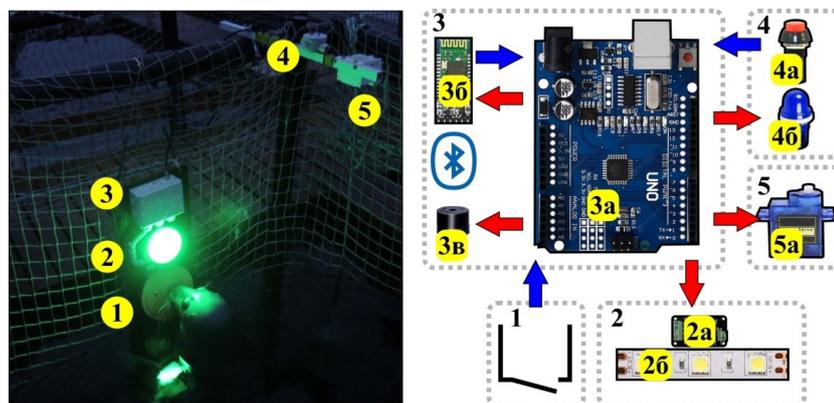


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. Пояснение в тексте
Fig. 1. Scheme of experimental installation

В начале каждого цикла тренировки оператор загружал в контейнер (5) кусочек рыбы и нажимал на стартовую кнопку (4а), что запускало новый цикл. Система отсчитывала 5 с и через светодиодный драйвер (2а) включала на светодиодной ленте (2б) нужный цвет. Красный (длина волны 620 нм), зеленый (длина волны 520 нм) и синий (длина волны 470 нм) цвета излучались соответствующими светодиодами в составе ленты, желтый и голубой цвета получались за счет совместной работы двух светодиодов – красный и зеленый для желтого цвета, зеленый и синий для голубого.

При первичном обучении система включала только подкрепляемый цвет. В дальнейшем система в случайном порядке включала либо

подкрепляемый цвет, либо не подкрепляемый оппонентный. Когда тюлень начинал достоверно различать два цвета, система добавляла по одному неподкрепляемому цвету, процесс продолжался до тех пор, пока не были предъявлены все комбинации цветов.

Если тюлень нажимает на рычаг когда горит свет подкрепляемого цвета, то система подает бридж-сигнал положительного подкрепления через динамик (3в) и активирует серводвигатель (5а), который открывает крышку контейнера для подачи корма и тюленю выпадает кусочек рыбки. Затем система подает сигнал на сигнальную лампу (4б) и ждет, пока не будет нажата стартовая кнопка (4а).

Если тюлень нажимает на рычаг (1) когда горит свет не подкрепляемого цвета, то система подает бридж-сигнал отрицательного наказания и прекращает эксперимент на “штрафные” 20 с, затем предъявляет тюленю неподкрепляемый цвет. Предъявление каждого цвета длится 10 с.

В качестве управляющего элемента использовалась платформа Arduino UNO R3, основанная на микроконтроллере ATmega328P (3а). С помощью bluetooth-модуля HC-05 (3б) система связывалась со смартфоном и передавала данные о ходе эксперимента. Смартфон выступал в роли терминала и вел протокол эксперимента, проводя первичную обработку поступающих данных и записывая результаты в отдельный текстовый файл.

Результаты и обсуждение. С каждым подопытным тюленем проведено 20 обучающих и 25 экспериментальных тренировок. Серии работ с другими подкрепляемыми цветами включали в себя как стадию обучения (5 тренировок), так и эксперимент (5 тренировок). Как показывают результаты, полученные в процессе обучения при предыдущих исследованиях (рисунки 2–4), тюлени начинали выбирать табличку нового подкрепляемого цвета и игнорировать табличку, подкрепляемую в прошлой серии, уже на 3–4 тренировках. В новой серии экспериментов обучение тюленей проходило быстрее, все тюлени достоверно отличали подкрепляемый цвет уже на второй тренировке. Тюлень 1 начинал отличать подкрепляемый цвет на первой тренировке, что было значительно быстрее, чем при работе этого тюленя с табличками.

Более высокую скорость обучения и переобучения у данных животных можно объяснить уменьшением времени между совершением действия (касание верной таблички и нажатие на педаль при демонстрации подкрепляемого стимула), подачей бридж-сигнала и подкреплением в виде пищевого поощрения. Как и в предыдущем эксперименте наибольшее количество ошибок у всех тюленей вызывало различение желтого и зеленого цветов, при этом доля верных выборов в нынешней серии экспериментов у тюленя 1 была ниже, чем при распознавании табличек (рис. 5), в то время как у тюленя 2 выше. Доля верных выборов у тюленя 3, который не имел навыка дифференцировки объектов по признаку цветности, в целом была схожа с

таковой у тюленя 2. У всех подопытных тюленей наблюдался меньший разброс значений при дифференцировке раздражителя (источника цвета), чем при распознавании табличек аналогичных цветов.

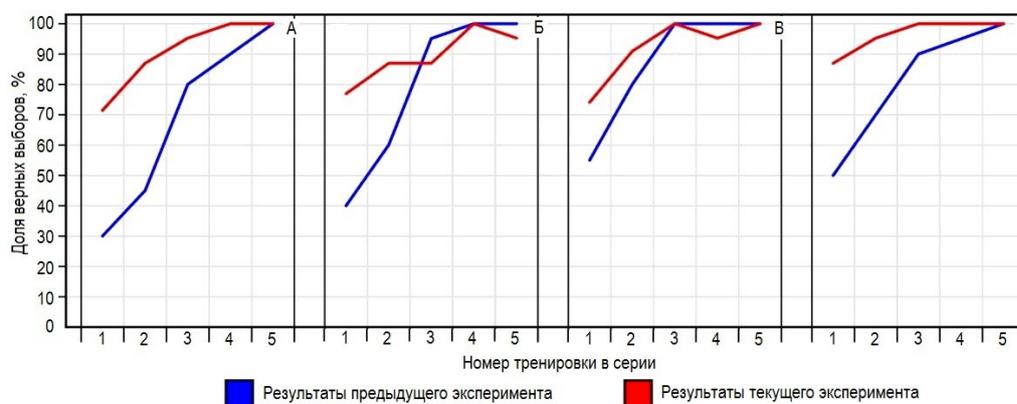


Рис. 2. Динамика обучения серого тюленя 1 выбору нового цвета:
 А – переход от синего цвета к желтому; Б – переход от желтого к голубому;
 В – переход от голубого к красному; Г – переход от красного цвета к зеленому
 Fig. 2. Dynamics of gray seal 1 learning to choose a new color:
 А – transition from blue to yellow; Б – transition from yellow to blue; В – transition
 from blue to red; Г – transition from red to green

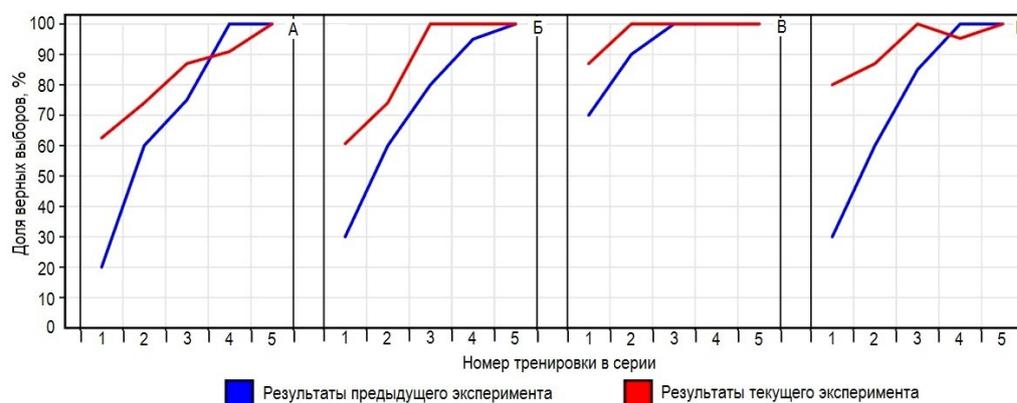


Рис. 3. Динамика обучения серого тюленя 2 выбору нового цвета:
 А – переход от синего цвета к желтому; Б – переход от желтого к голубому;
 В – переход от голубого к красному; Г – переход от красного цвета к зеленому
 Fig. 3. Dynamics of gray seal 2 learning to choose a new color:
 А – transition from blue to yellow; Б – transition from yellow to blue; В – transition
 from blue to red; Г – transition from red to green

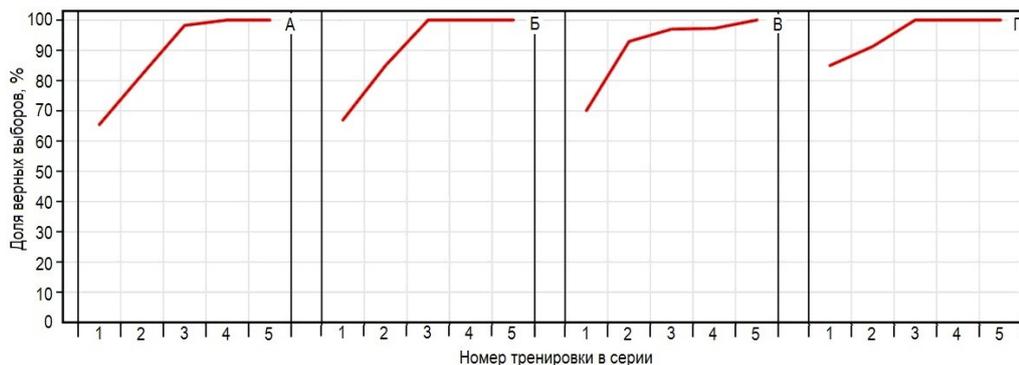


Рис. 4. Динамика обучения серого тюленя 3 выбору нового цвета:

А – переход от синего цвета к желтому; Б – переход от желтого к голубому; В – переход от голубого к красному; Г – переход от красного цвета к зеленому

Fig. 4. Dynamics of gray seal 3 learning to choose a new color:

А – transition from blue to yellow; Б – transition from yellow to blue; В – transition from blue to red; Г – transition from red to green

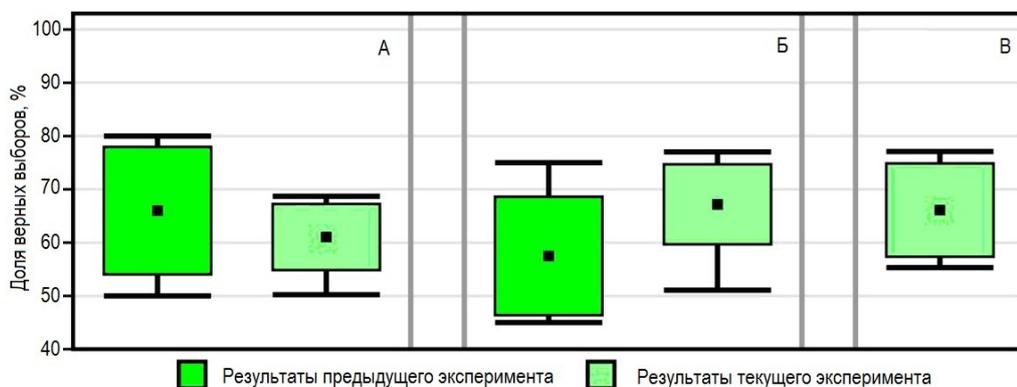


Рис. 5. Результаты контрольных опытов по дифференцировке зеленого цвета от желтого у тюленей 1 (А), 2 (Б) и 3 (В)

Fig. 5. Results of control experiments on differentiation of green from yellow of seals 1 (A), 2 (B) and 3 (B)

Данный эффект можно объяснить изменением методики тестирования, так как таблички демонстрировались парами одновременно, в то время как цвета источников демонстрировались по одному и были разнесены во времени. Вместе с тем, возможно, это обусловлено особенностями восприятия цвета отражающих объектов и источников света.

Выводы. Источники света с разными длинами волн могут служить для серого тюленя раздражителем, на который вырабатывается условный дифференцировочный рефлекс. Выработка такого рефлекса на источник света происходит у исследованных серых тюленей значительно быстрее, чем на окрашенные объекты. Результаты эксперимента подтвердили предположение о протанопии серых тюленей, вызванной сдвигом пиков

чувствительности опсинов ластоногих в более коротковолновую область (Lavigne, Ronald, 1975). Подопытные животные достоверно выделяли зеленый цвет от голубого и красный от желтого, но намного хуже отличали зеленый цвет от желтого, что может свидетельствовать о аномальности восприятия тюленями длинноволновых (красных) световых излучений.

Полученные данные могут служить основой для проведения исследований по изучению цветового зрения серых и других настоящих тюленей с применением источников освещения с заданными характеристиками.

Литература

Ишкуллов Д.Г., Михайлюк А.Л., Пахомов М.В. Особенности цветовосприятия у серых тюленей // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2013. № 4(15). С. 88–94.

Пахомов М.В., Михайлюк А.Л. Исследование цветовосприятия серых тюленей при естественном и искусственном освещении // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии: Матер. Междунар. науч. конф. и молодеж. науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова, Ростов-на-Дону, Россия, 5–8 сентября 2016 г. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 437–439.

Davies E.R. Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities. Imprint: Publ. Morgan Kaufmann, 2004. 934 p.

Brown T.M. Using light to tell the time of day: sensory coding in the mammalian circadian visual network // J. Exp. Biol. 2016. Vol. 219, iss. 12. P. 1779–1792.

Kieran M. Photoshop color correction. Publ. Peachpit Press, 2003. 384 p.

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

DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.5.015

УДК 597.2/5

С.А. Чаус

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

РАЗНООБРАЗИЕ РЫБ ТАЗОВСКОЙ ГУБЫ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2019 г.

Аннотация

Рассмотрен видовой состав ихтиофауны центральной части Тазовской губы Карского моря в летний период 2019 г., выявлены виды, доминирующие по показателям численности и биомассы, проведено сравнение с данными прошлых лет. В период исследований обнаружено 11 видов рыб, большая часть которых относится к семейству Coregonidae.

Ключевые слова: ихтиофауна, численность, биомасса, разнообразие, Карское море, Тазовская губа.

S.A. Chau

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

FISH DIVERSITY OF THE TAZOVSKAYA BAY DURING SUMMER OF 2019

Abstract

Species composition of fish in the central area of the Tazovskaya Bay of the Kara Sea during summer of 2019 was considered. At whole 11 species of fish were found, most of which are from the family Coregonidae. Obtained information about abundance and biomass were compared with data of the previous years.

Keywords: ichthyofauna, abundance, biomass, diversity, the Kara Sea, the Tazovskaya Bay.

Введение. Основными рыбопромысловыми районами Карского моря являются в первую очередь акватории Обской и Тазовской губ, где преобладают представители пресноводно-арктического комплекса ихтиофауны. Обычные промысловые объекты последних лет в эстуариях Карского моря – сибирская ряпушка *Coregonus sardinella* (Valenciennes, 1848), пелядь *Coregonus peled* (Gmelin, 1789), сиг *Coregonus pidschian* (Gmelin, 1789), чир *Coregonus nasus* (Pallas, 1776), обыкновенный налим *Lota lota* (Linnaeus, 1758), арктический омуль *Coregonus autumnalis* (Pallas, 1776), обыкновенный ерш *Gymnocephalus cernua* (Linnaeus, 1758) (Рыбные ..., 2016). Однако промысел ценных видов рыб зачастую ведется иррационально и контрпродуктивно – популяции многих полупроходных видов перелавливаются, в то время как ценные туводные виды, напротив, недоиспользуются.

Вместе с тем, в связи с разработкой нефтегазовых месторождений в Тазовской губе востребована задача осуществления регулярного мониторинга с возможностью получения достоверной и актуальной информации, а также оценки фоновых показателей численности представителей ихтиофауны рассматриваемой акватории. Таким образом, целью данного исследования является дополнение имеющихся сведений об ихтиофауне Тазовской губы.

Материал и методы. Материал был собран в летний период 2019 г. в центральной части Тазовской губы Карского моря (рис. 1) при помощи ставных жаберных сетей высотой 1.8 м и длиной 30 м. Сети формировались в порядок с набором ячеи 20, 30, 40, 50, 60 мм длиной 150 м. При постановке сетей регистрировались время, координаты и глубина места постановки, а также время снятия порядка сетей. Застой сетей составлял от 3 до 12 ч. Видовая идентификация, а также обработка пойманного материала проводилась по общепринятым ихтиологическим

методикам (Правдин, 1966; Методическое ..., 1974; Инструкции ..., 2004; Атлас-определитель ..., 2018; Eschmeyer's ..., 2020).

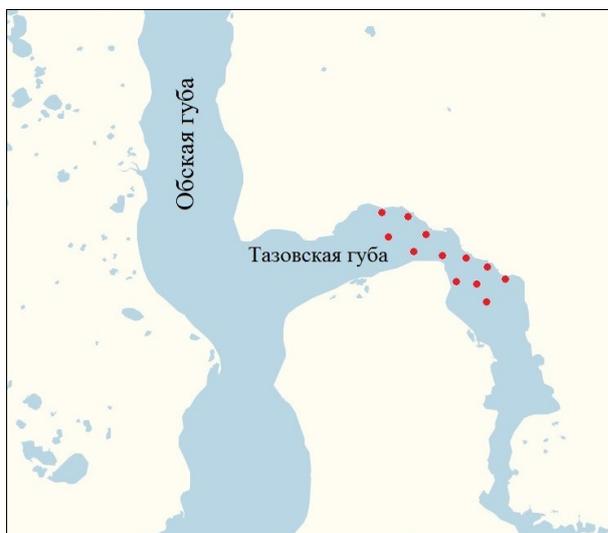


Рис. 1. Район отбора проб
Fig. 1. Sampling area

Результаты и обсуждение. В уловах на обследованной акватории Газовской губы обнаружены 11 видов рыб, относящиеся к 6 семействам, что составляет 23.9 % от общего числа представителей ихтиофауны Обско-Газовской устьевой зоны (Бурмакин, 1940; Москаленко, 1971; Матковский, 2006; Современное ..., 2008) и 84.6 % от общего количества видов, зарегистрированных в ходе пятилетнего мониторинга. В районе исследований примерно в равном соотношении отмечены пресноводные, проходные и полупроходные виды рыб (рис. 2).

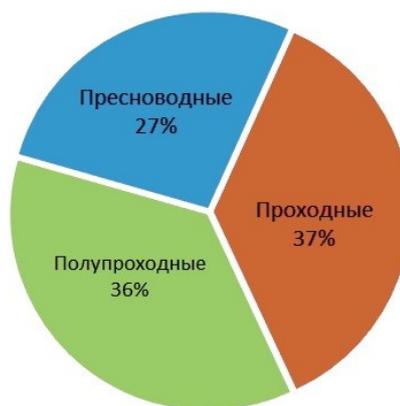


Рис. 2. Биотопический статус рыб центральной части Газовской губы
Fig. 2. Ecological groups of fish in the central area of the Tazovskaya Bay

Наибольшее разнообразие отмечено в семействе Coregonidae – 6 видов (таблица). Это самое многочисленное семейство, встречающееся в Обско-Тазовской устьевой системе (Рыбные ..., 2016). Остальные семейства включают по одному представителю.

Видовой состав ихтиофауны в центральной части Тазовской губы
Composition of ichthyofauna in the central area of the Tazovskaya Bay

Вид	Биотопический статус	Наличие в уловах			
		2015 г.*	2016 г.*	2017 г.*	2019 г.
Сем. Petromyzantidae (миноговые)					
Японская (тихоокеанская) минога <i>Lethenteron camtschaticum</i> (Tilesius, 1811)	Проходной	–	–	+	+
Сем. Acipenseridae (осетровые)					
Сибирский осетр <i>Acipenser baerii</i> (Brandt, 1869)	Проходной	–	+	+	–
Сем. Cyprinidae (карповые)					
Плотва <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	Пресноводный	–	–	–	+
Язь <i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)	Пресноводный	–	–	+	–
Сем. Osmeridae (корюшковые)					
Азиатская зубастая корюшка <i>Osmerus dentex</i> (Steindachner & Kner, 1870)	Проходной	+	+	+	+
Сем. Coregonidae (сиговые)					
Сибирская ряпушка <i>Coregonus sardinella</i> Valenciennes, 1848	Полупроходной	+	+	+	+
Сиг <i>Coregonus pidschian</i> (Gmelin, 1789)	Проходной	+	+	+	+
Чир <i>Coregonus nasus</i> (Pallas, 1776)	Полупроходной	+	+	+	+
Арктический омуль <i>Coregonus autumnalis</i> (Pallas, 1776)	Проходной	–	+	+	+
Муксун <i>Coregonus muksun</i> (Pallas, 1814)	Полупроходной	+	–	+	+

Окончание таблицы

Вид	Биотопический статус	Наличие в уловах			
		2015 г.*	2016 г.*	2017 г.*	2019 г.
Пелядь <i>Coregonus peled</i> (Gmelin, 1789) Сем. Lotidae (налимовые)	Полупроходной	+	-	+	+
Обыкновенный налим <i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758) Сем. Percidae (окуневые)	Пресноводный	-	-	+	+
Обыкновенный ерш <i>Gymnocephalus cernua</i> (Linnaeus, 1758)	Пресноводный	+	+	+	+

*Данные Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО).

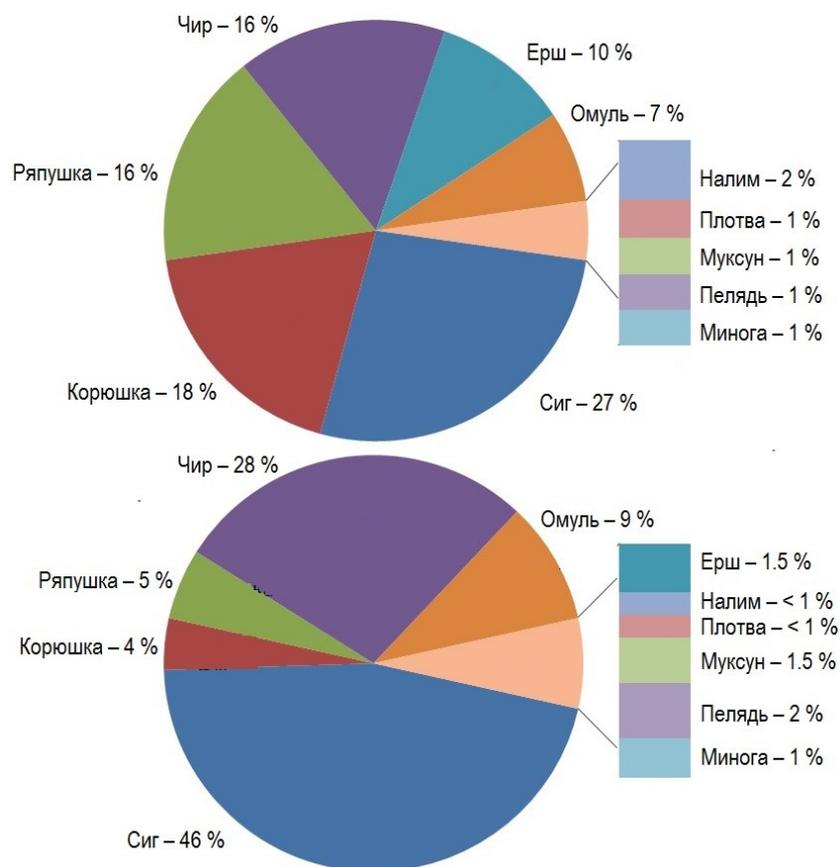


Рис. 3. Доля видов в общем улове
Fig. 3. Proportion of species in total catch

В уловах в районе исследования по численности и биомассе особей преобладал обыкновенный сиг – 27 и 46 % соответственно. Азиатская зубастая корюшка и сибирская ряпушка занимают второстепенное положение по численности особей, также стоит отметить, что их совокупный вклад в общую биомассу ихтиофауны на участке составлял 9 % (рис. 3). Чир сравнительно часто был представлен в уловах крупными особями, его численность составляла 16 % и биомасса – 28 %. Пресноводные виды, такие как налим, плотва и ерш, были пойманы единично и не внесли весомый вклад в общие показатели. Тихоокеанская минога, несмотря на визуальную многочисленность и, как доказательство этого, причиненный значительный урон выловленной рыбе, объежилась всего несколько раз (< 1 % по численности, 1 % по биомассе).

Сравнение с исследованиями прошлых лет показывает, что значительную долю улова по численности составляют обыкновенный ерш (30 % и более в 2015, 2016 и 2017 гг.) и сибирская ряпушка (15 % и более в 2015, 2016 и 2017 гг.). По показателю биомассы в предшествующие годы закономерно преобладают сиговые – сиг, сибирская ряпушка, чир – за исключением 2016 г., когда в уловах в больших количествах был обнаружен обыкновенный ерш. Такие виды как налим, язь, осетр и пелядь попадались в сети редко и в малых количествах. Виды, отмеченные во все годы исследований – обыкновенный ерш, сиг, чир, сибирская ряпушка и азиатская зубастая корюшка (рис. 4).

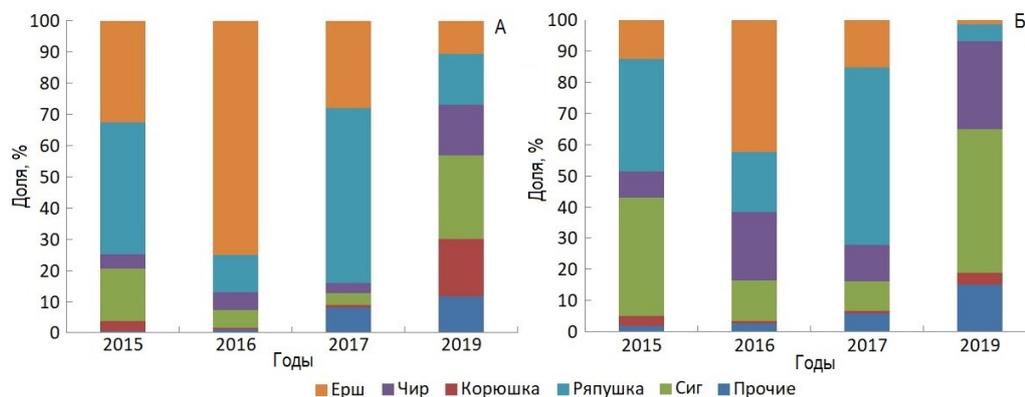


Рис. 4. Доля видов по численности (А) и биомассе (Б) в разные годы
 Fig. 4. Proportion of species by abundance (A) and biomass (B) in different years

Заключение. По данным исследований в летний период 2019 г. в центральной части Тазовской губы обнаружено 11 видов рыб, среди которых преобладают представители семейства Coregonidae – 6 видов. Помимо сиговых, в уловах сравнительно часто отмечались азиатская зубастая корюшка и обыкновенный ерш, однако значительного вклада в общую биомассу эти виды не внесли. Сравнение с исследованиями

прошлых лет подтверждает факт массового распространения на указанной акватории таких видов как обыкновенный сиг, сибирская ряпушка, чир, азиатская зубастая корюшка и обыкновенный ерш.

Литература

Атлас-определитель рыб Карского моря / А.В. Долгов, А.П. Новоселов, Т.А. Прохорова и др. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2018. 271 с.

Бурмакин Е.В. Рыбы Обской губы // Тр. Ин-та полярной экспедиции, животноводства и промыслового хозяйства. Сер. Промысловое хоз-во. 1940. Вып. 10. С. 490–570.

Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях европейского Севера и Северной Атлантики. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 300 с.

Матковский А.К. Обская и Тазовская губы Карского моря // Экология рыб Обь-Иртышского бассейна. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2006. С. 174–193.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.

Москаленко Б.К. Сиговые рыбы Сибири. М.: Пищ. пром-сть, 1971. 184 с.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

Рыбные ресурсы и их использование в эстуариях морей Карское и Лаптевых / В.А. Ульченко, А.К. Матковский, С.И. Степанов, П.А. Кочетков, Н.В. Янкова, А.Н. Гадинов // Тр. ВНИРО. 2016. С. 116–132.

Современное состояние экосистемы Обской губы и ее рыбохозяйственное значение / В.В. Кузнецов, И.М. Ефремкин, Н.В. Аржанова, И.А. Гангнус, Н.Г. Ключарева, О.Н. Лукьянова // Вопросы промысловой океанологии. 2008. Вып. 5, № 2. С. 129–153.

Eschmeyer's catalog of Fishes: genera, species, references [Электронный ресурс] / R. Fricke, W.N. Eschmeyer, R. Van der Laan (Eds.). 2020. URL: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>. Electronic ver. accessed 15 March 2020.

