



Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

4/2022 (13)

ОКЕАНОЛОГИЯ

выпуск 10

Апатиты
2022

0+

Российская Академия Наук

0+

4/2022(13)

издается с декабря 2010 г.

УДК 551.46

ISSN 2307-5252

ТРУДЫ

Кольского научного центра

ОКЕАНОЛОГИЯ

выпуск 10

Научно-информационный журнал

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, академик, проф.

Заместитель главного редактора

В. К. Жиров, чл.-корр. РАН

Редакционный совет:

академик Г. Г. Матишов,

чл.-корр. А. И. Николаев,

д. э. н. Ф. Д. Ларичкин

д. ф.-м. н. Е. Д. Терещенко,

к. т. н. А. С. Карпов (отв. секретарь)

Редколлегия 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. Дженьюк,

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

Ответственный за выпуск Д. В. Моисеев

Научное издание

Технический редактор В. Ю. Жиганов

Подписано в печать 08.06.2022.

Дата выхода в свет 28.06.2022.

Формат бумаги 70×108 1/16.

Усл. печ. л. 10,33. Заказ № 38. 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

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Бондарев О.В. Биологическая характеристика речной камбалы <i>Platichthys flesus</i> в вершине эстуария реки Тулома	5
Булавина А.С. Пространственно-временной анализ климатических факторов формирования стока Оби	15
Водопьянова В.В., Калинка О.П. Мониторинг концентраций хлорофилла в Баренцевом море: сравнение многолетних <i>in situ</i> и спутниковых данных	27
Водопьянова В.В., Булавина А.С., Макаревич П.Р. Термохалинные характеристики и пространственное распределение хлорофилла на стандартном разрезе “Кольский меридиан” в апреле 2021 года	37
Кудрявцева О.Ю. Характеристика прибрежных сообществ рыб в губах Восточного Мурмана в летне-осенний период 2019 года	42
Максимовская Т.М., Запорожцев И.Ф. Изменчивость аномалий температуры и солёности вод в августе–сентябре на разрезе “Кольский меридиан” с 1970 по 2019 годы	55
Носкович А.Э. Особенности биологии двустворчатого моллюска <i>Macoma calcareea</i> (Gmelin, 1791) из фьордов Западного Шпицбергена	67
Плаксина М.П., Куikliна М.М. Гельминтофауна гаммарид <i>Gammarus oceanicus</i> и <i>Gammarus duebeni</i> Мурманского побережья Баренцева моря	78
Смолькова О.В., Мещеряков Н.И. Биология двустворчатых моллюсков <i>Mya arenaria</i> (Linnaeus, 1758) губы Хлебная Кольского залива Баренцева моря	86
Чаус С.А. Анализ сходства состава пищи арктического шлемоносного бычка <i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1830) с некоторыми промысловыми видами рыб Карского моря	99
Човган О.В. Состав и структура микропланктона фрамовской ветви Норвежского течения	104

Russian Academy of Sciences

0+

4/2022(13)
Published since 2010

UDC 551.46
ISSN 2307-5252

TRANSACTIONS

Kola Science Centre

Editor-in-Chief:
S. V. Krivovichev, Acad. 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),
E. D. Tereshchenko, Dr. Sci.
(Physics and Mathematics),
A. S. Karpov PhD (Engineering) –
Executive Secretary

OCEANOLOGY

series 10

Editorial Council
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, 7-95-95, Fax: (81555) 7-64-25
E-mail: ksc@ksc.ru www.ksc.ru

CONTENTS

	Page
Bondarev O.V. Biological characteristics of the european <i>Platichthys flesus</i> in the top of the estuary of the Tuloma River	5
Bulavina A.S. Spatio-temporal analysis of climatic factors of the Ob River runoff formation	15
Vodopianova V.V., Kalinka O.P. Monitoring of chlorophyll concentrations in the Barents Sea: comparison of long-term <i>in situ</i> and satellite data	27
Vodopyanova V.V., Bulavina A.S., Makarevich P.R. Thermohaline characteristics and spatial distribution of chlorophyll along the standart transect "Kola Section" in April 2021	37
Kudryavtseva O.Yu. Characteristics of coastal fish communities in the bays of Eastern Murman during summer and autumn 2019	42
Maksimovskaya T.M., Zaporozhtsev I.F. Variability of water temperature and salinity anomalies in August–September on the transect "Kola Section" for the period from 1970 to 2019	55
Noskovich A.E. Features of the biology of the bivalve mollusk <i>Macoma calcareo</i> (Gmelin, 1791) in the fjords of the island of Western Svalbard	67
Plaksina M.P., Kuklina M.M. Helminthofauna gammarid <i>Gammarus oceanicus</i> and <i>Gammarus duebeni</i> of the Murmansk coast of the Barents Sea	78
Smolkova O.V., Meshcheryakov N.I. Biology of the bivalve mollusks <i>Mya arenaria</i> (Linnaeus, 1758) Khlebnaya Bay of the Kola Bay of the Barents Sea	86
Chaus S.A. Food composition similarity analysis of arctic staghorn sculpin <i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1830) with some non-target fish species in the Kara Sea	99
Chovgan O.V. Composition and structure of microplankton in the fram branch of the Norwegian current during the pre-winter period	104

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.001
УДК 597.5

О.В. Бондарев

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЧНОЙ КАМБАЛЫ *PLATICHTHYS FLESUS* В ВЕРШИНЕ ЭСТУАРИЯ РЕКИ ТУЛОМА

Аннотация

Представлены результаты сезонных исследований ихтиофауны, проведенных в вершине эстуария р. Тулома в апреле, июне, сентябре и октябре 2018–2020 гг. Доминирующим видом на акватории является речная камбала, ее численность в сетных уловах с апреля по сентябрь увеличивается. Плотность распределения в сентябре 2020 г. варьировала от 13 до 1667 экз/га, биомасса – от 0.013 до 276.9 кг/га. Речная камбала на исследуемом участке в весенне-летний период представлена преимущественно молодью длиной от 15 до 18.5 см. Осенью отмечены шести- и семилетние особи размерной группы 22–24 см. Возраст речной камбалы на участке не превышал 8+ лет. Рассмотрены также половая структура, стадии зрелости гонад и питание речной камбалы.

Ключевые слова: р. Тулома, эстуарий, возраст, стадии зрелости, питание.

O.V. Bondarev

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

BIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE EUROPEAN *PLATICHTHYS FLESUS* IN THE TOP OF THE ESTUARY OF THE TULOMA RIVER

Abstract

The results of seasonal studies of the ichthyofauna carried out at the top of the estuary of the Tuloma River in April, June, September and October 2018–2020 are presented. The dominant species in the water area is the European flounder; its abundance in net catches increases from April to September. Distribution density in September 2020 varied from 13 to 1667 ind/ha, biomass – from 0.013 to 276.9 kg/ha. European flounder in the study area in the spring-summer period is represented mainly by juveniles from 15 to 18.5 cm long. In autumn, six- to seven-year-old individuals with a size group of 22–24 cm were recorded. The age of European flounder in the area did not exceed 8+ years. The sexual structure, stages of gonadal maturity and nutrition of the European flounder are also considered.

Keyword: Tuloma River, estuary, age, stages of maturity, feeding fish.

Введение. Одним из перспективных объектов изучения прибрежных сообществ рыб остается речная камбала *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758). Она образует ряд форм и широко распространена вокруг Европы, обитает

в прибрежье Баренцева и Белого морей (Андрияшев, 1954; Долгов, 2011; Семушин и др., 2011; Парин и др., 2014; Marine ..., 2018). Распространена до о. Вайгач в юго-восточной части Баренцева моря (Фукс, Семушин, 2017), а также зарегистрирована в юго-западной части Карского моря (Фукс, Гончаров, 2021). Речная камбала – донный вид, который в зависимости от стадий зрелости предпочитает жить в опресненной или солоноватой воде (Сыч, 1930). Заходит в реки (Андрияшев, 1954; Ксензов, 1966; Соловкина, 1975; Пономарев и др., 1998; Шерстков, Сковородько, 2005). Предпочитает илисто-песчаные и песчаные грунты, нерестится в море на глубине до 75 м в апреле–июле в зависимости от района обитания (Андрияшев, 1954). Икра пелагическая, личинки переносятся течениями в опресненные участки, где питаются и растут до наступления половой зрелости (Николаев, 1949). Баренцевоморская речная камбала отличается от балтийской и беломорской специфическими особенностями морфологии (Norman, 1934).

В литературе имеются сведения о биологии и распределении речной камбалы, обитающей в прибрежье Мурмана (Дерюгин, 1915; Гудимов, Фролов, 1997; Юначева, 2002, 2003; Карамушко, Юначева, 2005; Линников, 2007; Бондарев, 2019), но сведения для вершины эстуария р. Тулома отсутствуют.

В 2018–2020 годах Мурманским морским биологическим институтом были проведены ихтиологические исследования для данного района, которые показали, что речная камбала является доминирующим видом и обитает на акватории круглогодично.

Цель работы – анализ биологического состояния речной камбалы в вершине эстуария р. Тулома.

Материал и методы. Сбор ихтиологического материала в вершине эстуария р. Тулома проводился в апреле, июне, сентябре и октябре 2018–2020 гг. Были использованы ставные одностенные сети “Финка” длиной 10 м каждая. Нижние концы сети крепили к грузилам, а верхние – к поплавкам, продолжительность одной сетепостановки составляла 12 ч, в течение одного приливоотливного цикла. В сентябре 2020 г. впервые на акватории применили 15-метровую мальковую волокушу (высота – 1.8 м; ячея дели в крыльях – 6 мм, в горловине – 5 мм, в куту – 4 мм). Постановку волокуш осуществляли в период максимального отлива; площадь облова одной волокуши составляла 750 м². Схема расположения станций отбора проб представлена на рис. 1. Для выявления достоверности различий использовали критерий Стьюдента при $p = 0.05$ (Лакин, 1990).

Собранный материал обрабатывали по общепринятым ихтиологическим методикам (Чугунова, 1959; Правдин, 1966; Методическое ..., 1974; Инструкции ..., 2004). Для биологического анализа рыб отбирали по 25 экз. Измерение длины проводили от начала рыла до конца хвостового плавника, массу определяли взвешиванием, возраст рыб – по отолитам.

Интенсивность питания оценивали в баллах наполнения желудка. Биологический анализ был проведен для 535 особей речной камбалы, расчет численности и биомассы выполнен по материалу из волокуш.

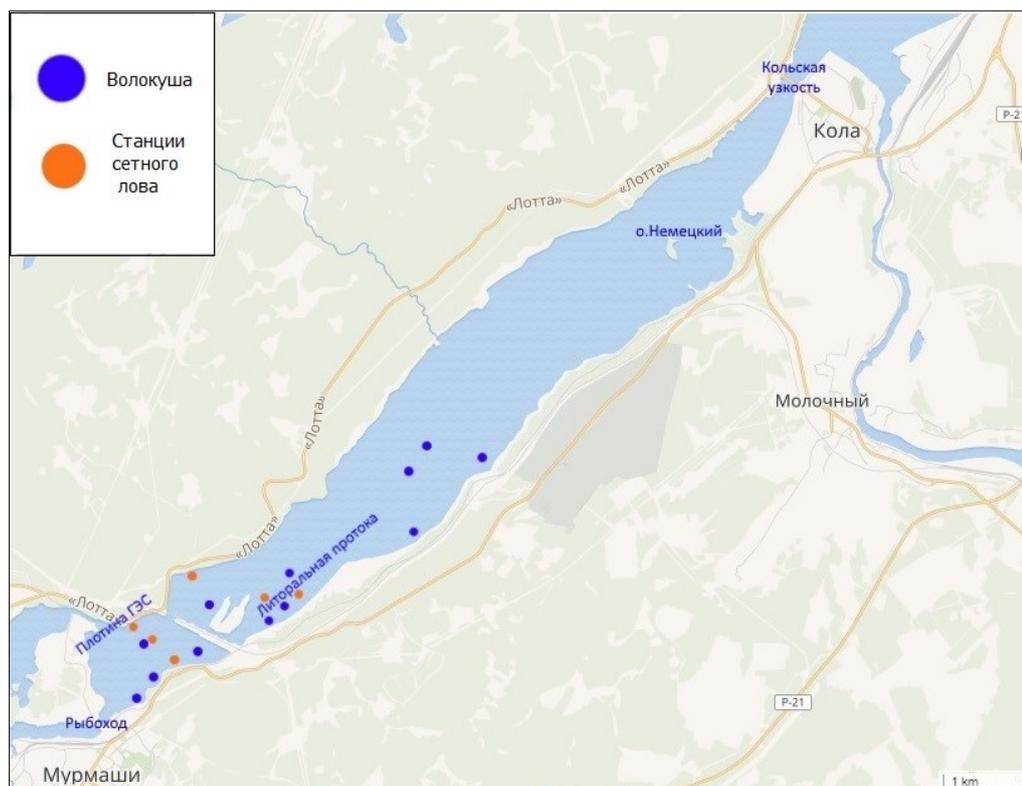


Рис. 1. Карта-схема станций отбора икhtiологических проб. Основа карты по: В.А. Потанин, Б.В. Ларин (1989)

Fig. 1. Map of ichthyological sampling stations. Basis of the map according to: V.A. Potanin, B.V. Larin (1989)

Результаты. Речная камбала отмечена во всех уловах за исключением июньских в 2020 г., когда очередной этап исследования совпал со сбросом паводковых вод с Нижнетуломской ГЭС. В результате сетного лова выловлено 181 экз., волокушами – 327 экз. Плотность распределения речной камбалы на исследуемых участках в сентябре 2020 г. варьировала от 13 до 1667 экз/га. Максимальные скопления речной камбалы обнаружены в литоральной протоке – 1667 экз/га, биомасса – 276.9 кг/га. Средняя численность и биомасса по результатам облова на 12 станциях составила 301 экз/га и 56 кг/га соответственно. В апреле и июне численность камбал в сетях была низкой – 6 и 7 экз. соответственно. Наибольшее количество особей выловлено в сентябре – 158 экз., а в октябре поймано всего 10 экз. речной камбалы.

Длина речной камбалы в уловах варьировала от 4.2 до 33 см (среднее – 21.7 ± 4.1 см). Использование волокуш позволило обнаружить молодь, которая не попадала в сети. В уловах волокушами преобладали особи длиной 22–24 см, в сетных уловах – 20–22 см (рис. 2).

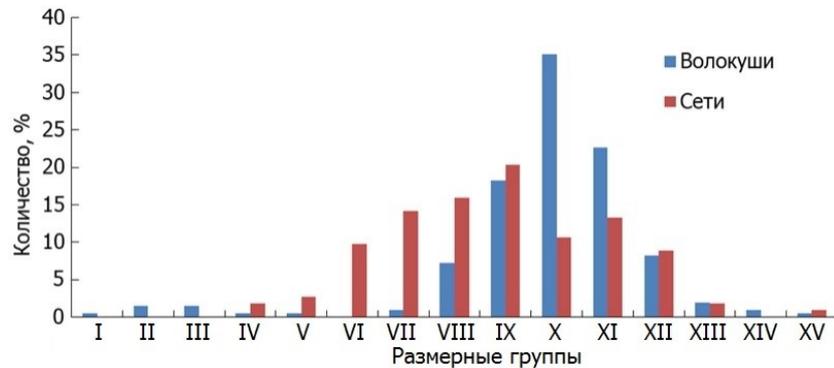


Рис. 2. Размерная структура речной камбалы из уловов 2018–2020 гг., см:
 I – 4.0–5.9, II – 6.0–7.9, III – 8.0–9.9, IV – 10.0–11.9, V – 12.0–13.9, VI – 14.0–15.9, VII – 16.0–17.9, VIII – 18.0–19.9, IX – 20.0–21.9, X – 22.0–23.9, XI – 24.0–25.9, XII – 26.0–27.9, XIII – 28.0–29.9, XIV – 30.0–31.9, XV – 32.0–33.9

Fig. 2. Dimensional structure of the European flounder from the catches in 2018–2020, cm:

I – 4.0–5.9, II – 6.0–7.9, III – 8.0–9.9, IV – 10.0–11.9, V – 12.0–13.9, VI – 14.0–15.9, VII – 16.0–17.9, VIII – 18.0–19.9, IX – 20.0–21.9, X – 22.0–23.9, XI – 24.0–25.9, XII – 26.0–27.9, XIII – 28.0–29.9, XIV – 30.0–31.9, XV – 32.0–33.9

В апреле 2019 и 2020 гг. длина речной камбалы на исследованном участке варьировала от 15 до 18.5 см, что в среднем составляло 16.2 ± 0.7 см (рис. 3). Наименьшая масса речной камбалы – 33.9 г, самая крупная особь достигала 80 г, в среднем – 56.2 ± 10 г. В июне размеры рыб колебались от 14.8 до 22.5 см (среднее – 18.1 ± 2.7 см), а масса варьировала от 38 до 146.8 г (среднее – 76 ± 38 г). В сентябрьских уловах молодь имела длину 4.2–9 см, при этом масса наименьшей особи составила 1 г, в то время как у остальных не превышала 10 г. Большая часть рыб имела размеры 16–27 см, модальную группу составляли особи 22–24 см, максимальная масса достигала 481.3 г. В октябре длина рыб на участке варьировала от 10.5 до 20 см (среднее – 14.8 ± 3 см), а масса – от 22 до 55 г (среднее – 39.5 ± 11.5 г).

Доля самок в апреле 2019 и 2020 гг. в уловах была выше, чем самцов – 2:1 (рис. 4). Все особи были с гонадами на II стадии зрелости. В июне самцы преобладают над самками, в районе исследований отмечены лишь особи с гонадами на II стадии зрелости. В сентябре 2018–2020 гг. соотношение полов близко 1:1, с небольшим доминированием самцов (54 %). Большая часть самок (59 %) была представлена уже отнерестившимися особями с гонадами в стадии зрелости VI–II, остальные самки имели II стадию зрелости гонад. Среди самцов треть

(37 %) особей с гонадами в стадии зрелости VI–II и треть (37 %) в стадии зрелости II. Кроме того, также встречены самцы в стадии зрелости III (23.8 %) и одна особь в стадии зрелости гонад IV (2.3 %). К октябрю количество самцов увеличивается, а самок уменьшается – 60 и 40 % соответственно. Всего одна самка и самец были после нереста с гонадами в VI–II стадии зрелости, остальные рыбы с созревающими гонадами II стадии.

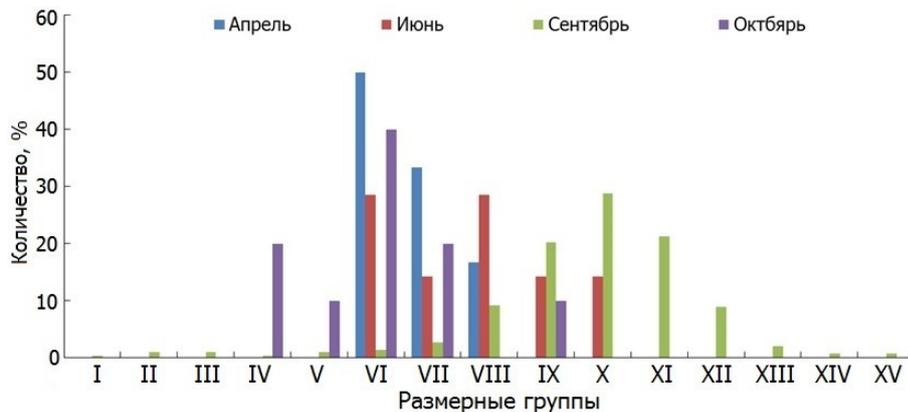


Рис. 3. Сезонная динамика размеров речной камбалы, см:

I – 4.0–5.9, II – 6.0–7.9, III – 8.0–9.9, IV – 10.0–11.9, V – 12.0–13.9, VI – 14.0–15.9, VII – 16.0–17.9, VIII – 18.0–19.9, IX – 20.0–21.9, X – 22.0–23.9, XI – 24.0–25.9, XII – 26.0–27.9, XIII – 28.0–29.9, XIV – 30.0–31.9, XV – 32.0–33.9

Fig. 3. Seasonal size dynamics of the European flounder, cm:

I – 4.0–5.9, II – 6.0–7.9, III – 8.0–9.9, IV – 10.0–11.9, V – 12.0–13.9, VI – 14.0–15.9, VII – 16.0–17.9, VIII – 18.0–19.9, IX – 20.0–21.9, X – 22.0–23.9, XI – 24.0–25.9, XII – 26.0–27.9, XIII – 28.0–29.9, XIV – 30.0–31.9, XV – 32.0–33.9

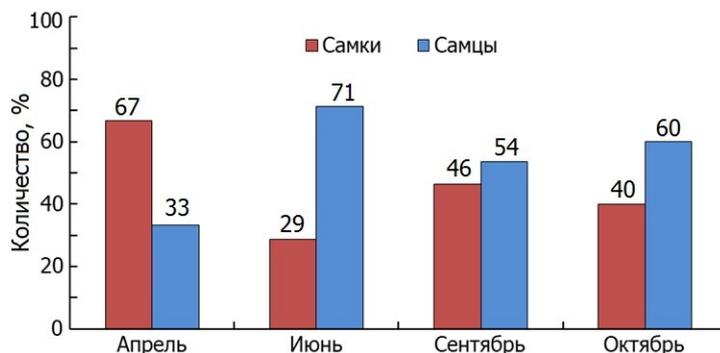


Рис. 4. Половая структура речной камбалы

Fig. 4. Sexual structure of the European flounder

Возраст речной камбалы в исследуемый период не превышал 8+ лет (рис. 5). В апреле большая часть самок и самцов были в возрасте 3+ лет – 68 %, остальные особи – 2+ лет. В июне появляются пятилетние рыбы (4+),

однако их доля невелика – 14 %, основной возрастной группой остаются особи 2+ лет. В сентябре на участке появляются группы рыб старших возрастов – от 5+ до 8+ лет, а также сеголетки – 0+ лет, численность которых в уловах не превышает 4 %. В октябре возрастная структура речной камбалы схожа с таковой из летних уловов. В таблице 1 для самок и самцов представлена размерно-возрастная структура. Статистическая обработка материала показала достоверные различия в линейном росте между самками и самцами четырехлетнего возраста (3+) в сентябрьских уловах – $t_{Эмп} = 2.9$, $t_{Кр} = 2.37$, при $p \leq 0.05$. Для остальных рыб разного возраста достоверных различий не отмечено.

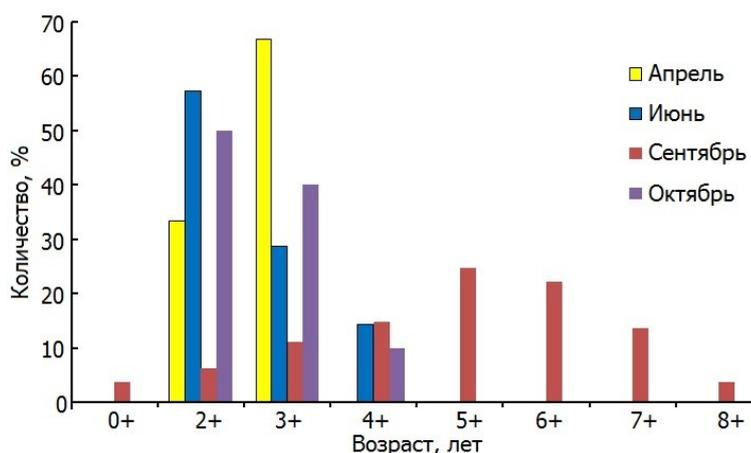


Рис. 5. Возрастная структура речной камбалы
Fig. 5. Age structure of European flounder

У 85 % камбал из сетных уловов желудки были с пищей, у 15 % – пустыми. Доля питавшихся рыб из уловов волокушей в период максимального отлива была ниже 28 %, у остальных особей желудки были пустыми, а пища из кишечника находилась в сильно переваренном состоянии.

В период исследований в желудочно-кишечном тракте речной камбалы обнаружено 11 групп кормовых объектов (исключая водоросли), а интенсивность питания изменялась в зависимости от сезона. В апреле и июне средний балл наполнения желудка не превышал 2, наиболее интенсивный откорм отмечен в сентябре и октябре – до 4 баллов. Пищевой спектр речной камбалы представлен личинками комаров (60 %) и ручейников (53 %) (табл. 2). Реже в питании присутствовали гастроподы (38 %) и двусторчатые моллюски (32 %). В пище сеголеток (0+) зарегистрированы копеподы и ветвистоусые ракообразные. Следует отметить, что спектр питания в период исследований был примерно одинаков у рыб разного возраста и длины. Отмеченные объекты питания присутствуют на акватории круглогодично, составляя кормовую базу для рыб (устное сообщ. А.А. Фролова, ММБИ).

Т а б л и ц а 1

Размерно-возрастная структура речной камбалы

T a b l e 1

Size-age structure of the European flounder

Возраст, лет	Средняя длина тела, см				Средняя масса тела, г			
	Апрель	Июнь	Сентябрь	Октябрь	Апрель	Июнь	Сентябрь	Октябрь
	Самки							
2+	15.0	15.2±0.5	14.6±0.8	13.6±2.7	60.0	38.2±2.5	36.4±7.9	34.8±8.7
3+	18.5	–	19.0±1.7	15.0	80.0	–	90.8±23.4	48.0
4+	–	–	20.0±0.8	–	–	–	91.0±12.8	–
5+	–	–	21.5±1.5	–	–	–	126.6±32.5	–
6+	–	–	25.0±0.9	–	–	–	190.5±18.3	–
7+	–	–	25.9±1.3	–	–	–	210.6±32.1	–
8+	–	–	30.7±2.0	–	–	–	343.2±39.4	–
	Самцы							
2+	15.0	18.0±2.1	13.3±1.1	11.5±1.5	46.9±18.5	69.4±20.3	24.6±4.9	25.0±4.2
3+	16.2±0.3	19.0±1.4	15.3±2.1	16.5±1.3	50.5±4.3	84.3±27.2	44.4±19.1	46.6±7.6
4+	–	22.5	19.7±1.8	20.0	–	133.5	93.2±25.3	53.0
5+	–	–	21.1±1.4	–	–	–	113.8±19.6	–
6+	–	–	23.3±2.6	–	–	–	159.6±36.3	–
7+	–	–	24.8±1.6	–	–	–	178.7±36.9	–
	Все рыбы							
2+	15.0	16.5±2.0	14.1±1.1	12.8±2.3	51.3±15.0	54.6±20.8	31.6±8.9	30.9±8.5
3+	17.3±1.3	19.0±1.4	17.8±2.5	16.2±1.3	60.3±17.2	84.2±27.3	75.3±31.2	47.0±6.2
4+	–	22.5	19.8±1.6	20.0	–	146.8	92.8±23.2	53.0
5+	–	–	21.3±1.4	–	–	–	119.6±26.2	–
6+	–	–	24.0±2.1	–	–	–	173.3±32.9	–
7+	–	–	25.3±1.5	–	–	–	193.2±37.0	–
8+	–	–	30.7±2.1	–	–	–	343.2±39.4	–

Т а б л и ц а 2

**Частота встречаемости пищевых объектов
в желудках речной камбалы в сентябре**

T a b l e 2

**The frequency of occurrence of food objects
in the stomachs of European flounder in September**

Компонент	Частота встречаемости, %
Личинки ручейников	53
Личинки комаров-звонцов	60
Гастроподы	38
Двустворчатые моллюски	32
Ветвистоусые ракообразные	12
Личинки толкунчиков	7
Водоросли	2
Водяные клещи	5
Переваренная рыба	7
Личинки мокрецов	2
Копеподы	4
Личинки жуков	1

Обсуждение. Анализ полученных данных показал, что речная камбала является одним из массовых видов рыб эстуария р. Тулома, образует локальные скопления в период нагула. Плотность распределения в сентябре 2020 г. на станциях варьирует от 13 до 1667 экз/га, в районе рыбхода не более 80 экз/га, а максимальная биомасса составляет 9.5 кг/га. В районе песчаной отмели, формирующейся в период отлива, камбала в уловах отсутствовала. Численность и биомасса в нижней части литоральной протоки составляла 787 экз/га и 118.2 кг/га соответственно, в центральной части протоки – 1667 экз/га и 276.9 кг/га, а верхней части показатели снизились до 653 экз/га и 181.9 кг/га. В целом средние значения численности (301 экз/га) и биомассы (56 кг/га) речной камбалы из эстуария р. Тулома выше, чем средние значения для этой рыбы в Кольском заливе (Карамушко, Юначева, 2005; Линников, 2007; Бондарев, 2019). Исследования показывают, что в весенний период в эстуарии р. Тулома численность рыб не высока. Камбалы, которые в прилив поднимаются в литоральную зону, представлены особями на II стадии зрелости гонад и характеризуются слабым питанием. В то время как зрелые особи на IV и V стадиях зрелости гонад мигрируют в морскую часть Кольского залива. Подтверждением служат данные по речной камбале в мае из района губы Белокаменная, где ее численность составляла 32 экз/га (биомасса – 8.5 кг/га), при этом половина самок и самцов представлены в преднерестовой IV стадии зрелости гонад, а часть особей уже отнерестилась (Бондарев, 2019). В виду растянутых сроков нереста – вплоть до августа (Андрияшев, 1954), численность камбалы в вершине эстуария р. Тулома остается низкой. В Кольском заливе в летний период средние показатели численности и биомассы находятся на высоком уровне – 130 экз/га и 23.5 кг/га соответственно (Бондарев, 2019). Осенью в эстуарии р. Тулома доля отнерестившихся особей выше, они интенсивно питаются местной фауной, в то время как в морской части (район губы Белокаменная) количественные показатели рыб снижаются (Бондарев, 2019).

Размеры речной камбалы в уловах варьировали от 4.2 до 33 см (среднее – 21.7 ± 4.1 см). Минимальная масса особи составляла 1 г, максимальная – 481.4 г (среднее – 157.6 ± 64.4 г). Согласно литературным источникам, наибольшая длина речной камбалы соответствует 60 см (Muus, Nielsen, 1999) и 61 см (Right-eyed ..., 2015), максимальная масса – 2.9 кг (IGFA ..., 2015).

На исследуемой акватории возраст речной камбалы не превышал 8+ лет, преобладала молодь в возрасте 2+ и 3+ лет. А.П. Андрияшев (1954) указывал, что возраст речной камбалы на Мурмане достигает 8+ лет, но преобладают пяти- и шестилетние особи, изредка встречаются самки 10–12 лет. В 2002–2003 годах в весенне-летний период в прибрежье Мурмана камбалы были в возрасте от 1+ до 13+ лет, в основном 10+ лет (Карамушко, Юначева, 2005). Возраст речной камбалы в устье р. Лавна в 2006 г. составлял 0+...10+ лет, при этом 6+...9+ лет имело 89 % исследованных рыб, среди которых большинство особей было в возрасте 8+ лет (Линников, 2007). По результатам исследований в губе Белокаменная в 2018 г., возраст речной камбалы

варьировал от 2+ до 11+ лет, преобладали особи 5+ лет (Бондарев, 2019). Максимальный возраст речной камбалы в Кольском заливе составляет 13+ лет, а для юго-восточной части Баренцева моря (р. Пеша) зарегистрирована поимка самки в возрасте 23 года и длиной 36.7 см (Фукс, Семушин, 2017).

Питание речной камбалы в Кольском заливе изучено достаточно хорошо (Юначева, 2002, 2003; Карамушко, Юначева, 2005; Линников, 2007; Бондарев, 2019). Основными объектами питания служат амфиподы, полихеты, двустворчатые моллюски, гастроподы и личинки насекомых, соотношение кормовых групп в желудках камбал варьирует и зависит от сезона и места обитания. Для эстуария р. Тулома сведения имеются лишь в нижней части от о. Немецкий до Кольской узкости – спектр питания камбалы в 1992–1993 гг. был представлен бокоплавами *Gammarus duebeni*, олигохетами, личинками комаров, мизидами *Stilomysis grandis* (Гудимов, Фролов, 1997), что отличается от рациона речной камбалы из вершины эстуария.

Таким образом, эстуарий р. Тулома играет важную роль для речной камбалы всех возрастов. Молодь здесь обитает на мелководье, где питается планктоном и личинками насекомых до наступления половой зрелости. Также это место кормления взрослых особей донной фауной летом. Нагул длится до наступления зимнего периода, когда взрослые особи уходят в более глубокие и теплые воды, где они нерестятся весной.

Заключение. Численность и биомасса речной камбалы на исследуемой акватории в 2018–2020 гг. максимальны в сентябре. Плотность распределения составляет 1667 экз/га, биомасса – 276.9 кг/га.

Доминирующей размерной группой речной камбалы в исследуемом районе являются особи длиной 22–24 см. Возрастная структура речной камбалы в весенне-летний период представлена преимущественно молодь – 2+ и 3+ лет, осенью отмечены половозрелые особи в возрасте 5+ и 6+ лет.

Спектр питания представлен личинками комаров и ручейников, гастроподами и двустворчатыми моллюсками.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам ММБИ РАН Е.В. Смирновой, А.А. Фролову и С.А. Чаусу за помощь при сборе и обработке материала.

Работа выполнена по теме “Биология, экофизиология и разнообразие рыб Арктики” (№ госрегистрации 121091600098-9) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Андряшев А.П. Рыбы северных морей СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 556 с.

Бондарев О.В. Сезонная динамика биологических показателей речной камбалы *Platichthys flesus* Linnaeus, 1758 в средней части Кольского залива в 2018 году // Исследования арктических экосистем: Матер. XXXVII конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2019. С. 8–14.

Гудимов А.В., Фролов А.А. Литоральные донные сообщества эстуария р. Тулома и кута залива // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. С. 122–133.

Дерюгин К.М. Фауна Кольского залива и условия ее существования // Зап. Имп. Акад. наук. 1915. Т. 34, сер. 8. 929 с.

Долгов А.В. Атлас-определитель рыб Баренцева моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2011. 188 с.

Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики. 2-е изд. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 300 с.

Карамушко О.В., Юначева О.Ю. Речная камбала прибрежных вод Мурмана // Рыбное хозяйство, 2005. № 6. С. 57–59.

Ксензов Н.А. Ихтиофауна Туломских водохранилищ // Рыбы Мурманской области. Мурманск: Мурман. кн. изд-во, 1966. С. 209–212.

Лакин Г.Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1990. 352 с.

Линников Р.А. Некоторые данные по ихтиофауне верхней сублиторали Кольского залива в летний период // Материалы XXV юбилейной конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института (май 2007 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2007. С. 122–128.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.

Николаев А.П. Материалы по биологии речной камбалы Куз-губы // Изв. Карело-Финского филиала АН СССР. 1949. № 4. С. 43–51.

Парин Н.В., Евсеенко С.А., Васильева Е.Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 733 с.

Пономарев В.И., Захаров А.Б., Шалаев С.И. О нахождении речной камбалы (*Platichthys flesus*) в реке Печоре // Вопросы ихтиологии. 1998. Т. 38, № 2. С. 274–279.

Потанин В.А., Ларин Б.В. Динамика вод южной части Кольского залива // Природа и хозяйство Севера. 1989. Вып. 17. С. 66–71.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

Семущин А.В., Шерстков В.С., Рухлова В.А. Видовой состав уловов в юго-восточной части Баренцева моря в 1980–2008 годах // Вопросы ихтиологии. 2011. Т. 51, № 6. С. 749–769.

Соловкина Л.Н. Рыбные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1975. 168 с.

Сыч Н.В. О *Pleuronectes flesus* Баренцева и Белого морей // Тр. Ин-та рыб. хоз-ва. 1930. Т. 5, вып. 4. С. 89–116.

Фукс Г.В., Гончаров Ю.В. Первая поимка речной камбалы *Platichthys flesus* (Pleuronectidae) в юго-западной части Карского моря // Вопросы ихтиологии. 2021. Т. 61, № 2. С. 235–238.

Фукс Г.В., Семущин А.В. Максимальный возраст полярной камбалы *Liopsetta glacialis*, речной камбалы *Platichthys flesus* и ершоватки *Limanda limanda* в прибрежных водах Северного рыбохозяйственного бассейна // Изв. Калининград. гос. техн. ун-та. 2017. № 46. С. 47–59.

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

Шерстков А.С., Сковородько А.А. Влияние абиотических факторов среды на ход зимовальной миграции беломорской речной камбалы *Platichthys flesus* (L.) в р. Онега в 2002–2004 гг. // Поведение рыб: Матер. докл. Междунар. конф., 1–4 ноября 2005 г., Борок, Россия. М: АКВАРОС, 2005. С. 570–573.

Юначева О.Ю. Некоторые данные по биологии речной камбалы // Материалы XX юбилейной конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института (Мурманск, апрель 2002 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2002. С. 187–190.

Юначева О.Ю. Результаты исследований биологии речной камбалы в Кольском заливе в 2002 году // Материалы XXI конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института (Мурманск, апрель 2003 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2003. С. 183–187.

IGFA. Database of IGFA angling records. IGFA, Fort Lauderdale, Florida, USA, 2015. URL: www.igfa.org, accessed

Marine fishes of the Arctic region. In two volumes / C.W. Mecklenburg, A. Lynghammar, E. Johannesen, I. Byrkjedal, J.S. Christiansen, A.V. Dolgov, O.V. Karamushko, T.A. Mecklenburg, P.R. Møller, D. Steinke, R.M. Wienerroither. Akureyri, Iceland: CAFF, 2018. Vol. I. 454 p., Vol. II. 285 p.

Muus B.J., Nielsen J.G. Sea fish. Scand. Fish. Year Book. Hedehusene, Denmark, 1999. 340 p.

Norman J.R. A systematic monograph of the Flatfishes (Heterosomata). Vol. I. Psettodidae, Bothidae, Pleuronectidae. London: British Museum, 1934. 377 p.

Right-eyed flounders (Pleuronectidae) / D. Goldsmith, A. Rijnsdorp, F. Vitale, H.J.L. Heessen // Fish atlas of the Celtic Sea, North Sea, and Baltic Sea / H.J.L. Heessen, N. Daan, J.R. Ellis (Eds.). Wageningen, Netherlands: Wageningen Acad. Publ., 2015. P. 452–471.

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.002

УДК 556.047 (282.256.1)

А.С. Булавина

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА ОБИ

Аннотация

Проведен анализ влияния климатических факторов на колебания стока р. Обь. На основе анализа многолетних рядов годового и сезонного стока Оби и разностных интегральных кривых выявлены фазы изменения стока реки. Изучены пространственные особенности изменения количества осадков и температуры воздуха в различные по водности периоды. Математико-статистическая обработка картографических изображений позволила выявить районы преобладающего влияния различных климатических факторов на объем стока реки. Определены районы водосборного бассейна, климатические колебания в которых оказали наибольшее влияние на изменение стока Оби в 1930–2017 гг. Один из таких районов почти

полностью приурочен к бассейну р. Тобол, второй примыкает к водоразделу между Обью и Енисеем. Показано, что увеличение водности зим в большей степени связано с колебаниями количества осадков и температуры воздуха. Нельзя полностью исключить влияние деградации многолетней мерзлоты на объем стока Оби, но, очевидно, этот фактор не является ключевым.

Ключевые слова: речной сток, река Обь, климатические изменения.

A.S. Bulavina

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF CLIMATIC FACTORS OF THE OB RIVER RUNOFF FORMATION

Abstract

The analysis of the influence of climatic factors on fluctuations in the flow of the Ob River is carried out. Based on the analysis of long-term series of annual and seasonal runoff of the Ob and differential integral curves, the phases of change in river flow are revealed. Spatial features of changes in precipitation and air temperature in different periods of water content have been studied. Mathematical and statistical processing of cartographic images made it possible to identify areas of the predominant influence of various climatic factors on the volume of river flow. The areas of the basin where climatic fluctuations had the greatest impact on the change in the Ob River flow in 1930–2017 have been identified. One of these areas is confined to the basin of the Tobol River, the second is adjacent to the Ob and Yenisei watershed. It is shown that the increase in winter water runoff is largely due to fluctuations in precipitation and air temperature. It is impossible to completely exclude the impact of permafrost degradation on the volume of Ob runoff, but it is obvious this factor is not significant.

Keywords: river runoff, Ob River, climate change.

Введение. В последние несколько десятилетий климат в арктических регионах претерпел значительные изменения. Среднегодовые температуры приземного воздуха в этот период интенсивно росли (Observational ..., 2000; Arctic ..., 2005). Обеспокоенность вызывает деградация многолетней мерзлоты из-за потепления климата, которая может оказать существенное влияние на гидрологический режим арктических рек. Предполагают, что таяние вечной мерзлоты способствует созданию и поддержанию грунтового питания рек (Frey, McClelland, 2010).

Обь – одна из крупнейших рек Арктического бассейна. Она обеспечивает более 30 % речного стока в Карское море. Колебания стока Оби оказывают существенное влияние на гидрологическое и экологическое состояние моря. Около 2 % площади водосборного бассейна Оби находится в области распространения сплошной многолетней мерзлоты, 5 % – прерывистой (Increasing ..., 2004). Предыдущие исследования показали, что сток р. Оби имел тенденцию к увеличению расходов воды зимой в течение последних нескольких десятилетий (Агафонов, 2010; Шестакова, 2015; Climate ..., 2020). Некоторые авторы связывают это

с деградацией многолетней мерзлоты (Climate ..., 2020), другие причину увеличения зимнего стока видят в перераспределении стока в течение года (Агафонов, 2010). В работе А.Г. Георгиади и Е.А. Кашутиной (2016) показано, что долговременные фазы изменений стока синхронны с соответствующими фазами изменений температуры воздуха и макромасштабной атмосферной циркуляции.

Район исследований – водосборный бассейн Оби, один из крупнейших в мире. Его площадь составляет около $2.99 \cdot 10^6$ км², средний годовой сток реки – 399 км³ в год (рассчитано за период 1930–2017 гг.). 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). Среднее годовое количество осадков на водосборе Оби более 500 мм, причем около 60 % приходится на период с мая по октябрь (1930–2017 гг.). Средняя годовая температура воздуха над водосбором составляет – 0.2 °С (1930–2017 гг.).

Река покрыта льдом в среднем до 200 дней в году. Ледостав на р. Обь происходит в ноябре, а весенний лед ломается примерно между 20 мая и 10 июня (Vuglinsky, 2001).

Ландшафты водосборного бассейна Оби разнообразны. Почти 85 % площади бассейна находится в пределах Западно-Сибирской равнины, юго-восточная часть – в горах Южной Сибири (Алтай, Кузнецкий Алатау, Салаирский кряж), западная – на восточном склоне Уральских гор. Водосбор реки имеет протяженность с севера на юг более 2000 км и охватывает разные природные зоны – степи на юге, тайгу в центральной области и тундру в северных районах.

Пространственное и сезонное распределение осадков и температур на территории водосборного бассейна Оби играет важную роль в колебаниях стока реки. В настоящем исследовании для анализа изменений температуры воздуха и количества осадков в бассейне Оби и влияния их пространственно-временного распределения на объем стока реки был использован картографический метод. Результаты исследования полезны для понимания роли происходящих климатических изменений в формировании стока Оби.

Материал и методы. Сведения о расходах воды были взяты из электронной базы данных (Arctic ..., 2021), созданной национальными гидрологическими учреждениями России (Росгидромет), Соединенных Штатов Америки (Геологическая служба США) и Канады (Служба водных ресурсов Канады). Наблюдения за расходами воды систематически проводились с 1930-х гг. Российской гидрометеорологической службой, и контроль качества данных осуществлялся тем же агентством. База данных включает ежемесячные показатели о расходах воды р. Обь с 1930 по 2021 гг.

Нами был использован набор данных GPCC V5.01 с высоким разрешением и долгосрочной привязкой к сетке, который включает ежемесячные сведения об осадках, температуре воздуха, испарении

(Matsuura, Willmott, 2018a,b,c). GPCP V5.01 охватывает временной диапазон с 1901 по 2017 гг. с пространственным разрешением 0.5×0.5 град.

В работе рассмотрен период пересечения рядов гидрологических и метеорологических данных (1930–2017 гг.). Для анализа временных рядов гидрологических и климатических характеристик были использованы такие методы как оценка однородности, анализ трендов, метод построения разностных интегральных кривых.

Предварительно выборки были проверены на соответствие нормальному закону распределения по критерию согласия Пирсона χ^2 . Для анализа на однородность каждый временной ряд был разделен на два равных периода: 1930–1973 и 1974–2017 гг. В соответствии с методическими рекомендациями (Методические..., 2010), разработанными в Государственном гидрологическом институте, для каждого ряда рассчитывались статистики критериев Стьюдента и их значимость. Затем они сопоставлялись с табличными значениями, приведенными в источнике. Анализ трендов был использован для оценки тенденций изменчивости гидрологических и климатических характеристик в период современного потепления климата. Построение линии тренда проводилось путем составления линейного уравнения по методу наименьших квадратов. Значимость тренда оценивалась по критерию Стьюдента.

Для пространственного анализа климатических факторов формирования речного стока было проведено картирование климатических характеристик и их трендов. Временные отрезки картирования выбирались исходя из периодов водности Оби. Для каждой точки 0.5 -градусной сетки на водосборе Оби были рассчитаны средние многолетние, месячные, сезонные значения температуры воздуха и количества осадков в различные периоды водности реки.

Результаты и обсуждение. Колебания климата водосбора и многолетняя динамика годового и сезонного стока Оби в 1930–2017 гг. Для выявления изменения водности Оби были построены разностные интегральные кривые расходов воды в теплое (с мая по октябрь) и холодное (с ноября по апрель) полугодия (рис. 1). В холодное полугодие период наблюдений захватывает полный цикл водности, либо его большую часть. Период с 1930 по 1969 гг. соответствует его маловодной фазе, а 1970–2017 гг. – многоводной. Для теплого полугодия можно выделить три полных цикла водности, продолжительностью более 20 лет каждый (1945–1968, 1969–1991 и 1992–2014), а также маловодную и многоводную фазу двух циклов, не вошедших целиком (1930–1944 и 2014–2017).

С 1970-х годов на территории водосбора наблюдается повышение температуры воздуха со скоростью 0.03 °C/год. Начало периода многоводных зим совпадает с началом интенсивного роста средней годовой температуры воздуха на водосборе Оби.

Авторы работы (Climate ..., 2020) пришли к выводу, что деградация многолетней мерзлоты в бассейне Оби из-за потепления климата повлияла на гидрологические процессы зимой. Однако, увеличение стока Оби в холодное

полугодие может быть обусловлено изменением метеорологических параметров (The dynamics ..., 2000), и при этом не связано с деградацией многолетней мерзлоты.

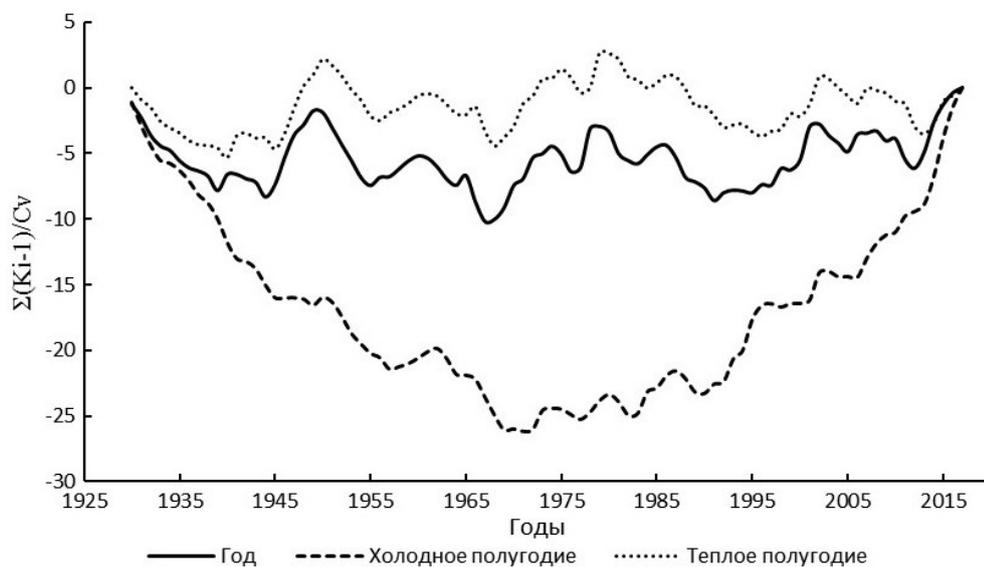


Рис. 1. Разностные интегральные кривые расходов воды в створе гидрологического поста “Салехард”

Fig. 1. Difference integral curves of water discharges at the Salekhard hydrometric station

Сток холодного полугодия формируется преимущественно за счет грунтовых вод, жидких осадков и частичного таяния снега во время зимних оттепелей. Насыщенность грунтов влагой и, соответственно, объем грунтового питания обычно связан с водностью предшествующего года (Комлев, 2002). Увеличение водности Оби в холодное полугодие может быть вызвано как перераспределением стока в течение года, так и изменением составляющих теплового и водного балансов территории (в том числе освобождением воды, ранее заключенной в многолетнемерзлых породах).

Перераспределение стока в течение года. Начиная с 1950-х годов, отмечается сдвиг дат ледостава на более поздние сроки, а половодья на более ранние (Smith, 2000). При расчете объема стока по полугодиям это будет выглядеть как его увеличение за холодное полугодие и уменьшение за теплое при неизменном среднем годовом объеме стока. Также к увеличению стока в холодное полугодие мог привести рост температуры воздуха в этот период. Увеличение температуры воздуха произошло преимущественно в южной части водосбора, где наиболее вероятен переход зимней температуры через 0 °C даже при небольшом ее повышении (рис. 2). Частичное таяние снега увеличивает зимние расходы воды и снижает сток за половодье.

Указанные процессы могли сказаться на временном распределении речного стока, увеличив сток за холодное полугодие. Однако, очевидного

перераспределения стока в течение года с наступлением периода многоводных зим (1970–2017 гг.) не произошло. Доля стока за холодное полугодие в годовом объеме выросла всего на 3 %. Наблюдалось увеличение среднего годового объема стока. Сток холодного полугодия в 1970–2017 гг. вырос на 16.8 км³ (24 %) по сравнению с предыдущим периодом (1930–1969 гг.), сток теплого полугодия – на 10.7 км³ (3 %).

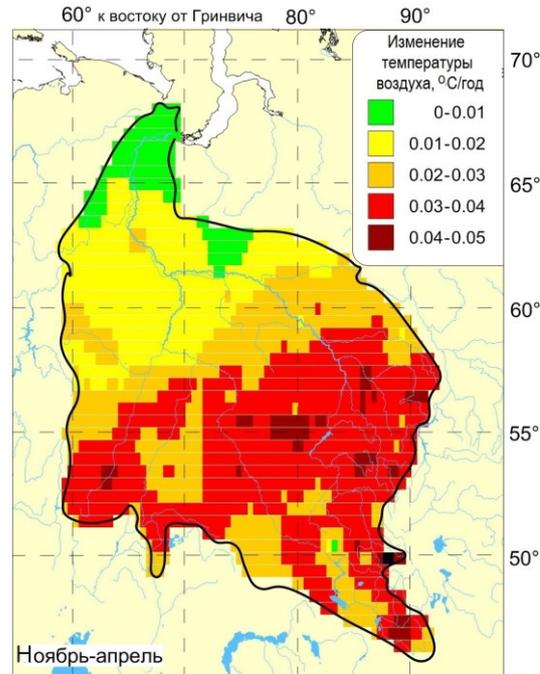


Рис. 2. Изменение температуры воздуха в бассейне Оби в холодное полугодие в 1930–2017 гг.

Fig. 2. Change of the air temperature in the Ob basin during the cold half-year in 1930–2017

Тренды годового и сезонного стока в створе р. Обь–г. Салехард статистически не значимы (табл. 1). Однако, сравнение периодов до начала роста температуры воздуха (1930–1970 гг.) и ее интенсивного роста (1970–2017 гг.) показывает, что второй период отличается более высокими расходами воды как зимой, так и в половодье (рис. 3).

Таблица 1

Коэффициенты линейных трендов годового и сезонного стока Оби

Table 1

Coefficients of the Ob River annual and seasonal runoff linear trends

Сезон	Коэффициенты линейных трендов		
	1930–2017 гг.	1930–1969 гг.	1970–2017 гг.
Год	0.51	0.55	0.17
Холодное полугодие	0.37	0.23	0.39
Теплое полугодие	0.13	0.07	–0.34

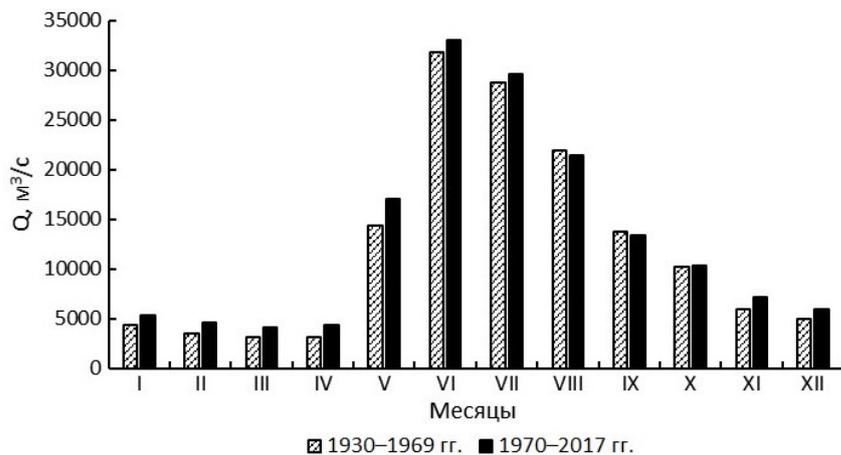


Рис. 3. Средние месячные расходы воды р. Обь (гидрологический пост “Салехард”)

Fig. 3. Average water discharge at the Salekhard hydrometric station

Таким образом, перераспределение стока в течение года было незначительным. Вероятно, увеличение водности Оби в холодное полугодие произошло за счет изменения составляющих водного баланса.

Водный бюджет водосборного бассейна Оби. Избыточные расходы воды могли быть обеспечены увеличением количества осадков в водосборном бассейне Оби. Количество осадков в холодное полугодие росло с 1930 по 2017 гг. (рис. 4). Наиболее интенсивный рост наблюдался в 1950-х гг., после чего количество осадков оставалось стабильно высоким (по сравнению с предшествующим периодом). В теплое полугодие направленного увеличения количества осадков не наблюдалось.

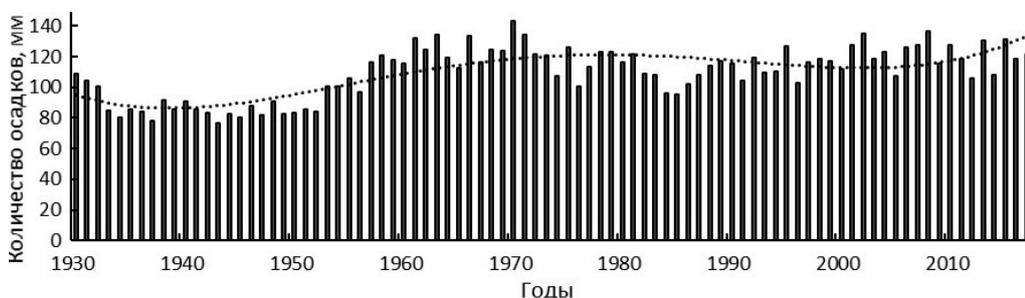


Рис. 4. Количество осадков в водосборном бассейне Оби в холодное полугодие в 1930–2017 гг.

Fig. 4. The amount of precipitation in the Ob drainage basin in the cold half-year in 1930–2017

Обильные осадки в холодное полугодие способствуют формированию снеготпасов, увеличивая тем самым сток за половодье. Также это способствует насыщению грунтов влагой, улучшая условия грунтового питания для следующей зимы.

Возросшее количество осадков может быть компенсировано повышением температуры воздуха и увеличением затрат на испарение. Как было отмечено выше, с 1970-х гг. на водосборе Оби наблюдалось повышение температуры воздуха.

Была предпринята попытка определить, могли ли различия в количестве осадков и испарении над водосбором Оби обеспечить разницу в объеме стока двух периодов: 1930–1969 и 1970–2017 гг. Был рассчитан объем воды, поступающий с осадками и способный испариться при данной температуре (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Объем поступившей и испаренной влаги в бассейне Оби

T a b l e 2

The volume of incoming and evaporated moisture in the Ob basin

Параметр	Холодное полугодие		Теплое полугодие	
	1930–1969 гг.	1970–2017 гг.	1930–1969 гг.	1970–2017 гг.
Объем воды, поступившей с осадками, км ³	365	515	1063	1058
Объем испаренной воды, км ³	33	76	1010	1107

Согласно расчетам, изменения метеорологических параметров практически не повлияли на объем водных ресурсов водосборного бассейна. Увеличение количества осадков было компенсировано ростом испарения. Картографический анализ изменения количества осадков и испарения позволил выявить участки водосборного бассейна Оби в которых происходило увеличение водных ресурсов и в которых поступление воды сократилось с 1970 по 2017 гг. в сравнении с предыдущим периодом – 1930–1969 гг. (рис. 5).

Ранее нами была обнаружена высокая корреляция между стоком Оби в теплое полугодие и количеством осадков в холодное полугодие в бассейнах Тобола, Верхней и Средней Оби (Булавина, 2020). Именно эти области обеспечили поддержание стабильности объема стока Оби в период интенсивного роста температуры воздуха на всей территории бассейна.

Таяние многолетнемерзлых пород происходит преимущественно в теплый период года. Были построены карты распределения температуры воздуха в теплое полугодие с 1930 по 1969 гг. и с 1970 по 2017 гг. В районах многолетней мерзлоты различий средней температуры воздуха между исследуемыми периодами не обнаружено. Это косвенно свидетельствует о том, что увеличение водности зим не связано с таянием многолетней мерзлоты. По данным исследований Е.Н. Шестаковой (2015), последовательное чередование фаз водности в створе р. Обь–

г. Салехард, продолжившееся после начала в потепления 1970-х гг., опровергает увеличение водных ресурсов бассейна в результате глобального потепления и таяния многолетнемерзлых пород. Была рассчитана по формуле Чегодаева обеспеченность среднегодовых расходов воды в створе гидрологического поста “Салехард” и определены маловодные (с обеспеченностью > 75 %) и многоводные (с обеспеченностью < 25 %) годы для р. Обь.

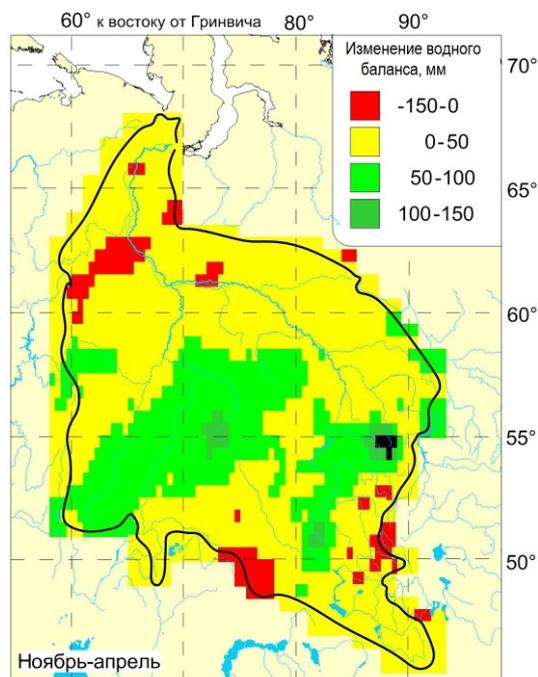


Рис. 5. Изменение водного баланса водосборного бассейна Оби в 1970–2017 гг. по отношению к 1930–1969 гг.

Fig. 5. Changes in the water balance of the Ob drainage basin in 1970–2017 in relation to the previous period (1930–1969)

Нами проанализированы изменения расходов воды по месяцам в маловодные и многоводные годы (рис. 6). Водность года увеличивалась преимущественно за счет увеличения стока в летние и осенние месяцы. Это может быть как следствием большего количества осадков в теплый период года в многоводные годы, так и аномально высокими температурами над водосбором и поступлением дополнительных порций воды из многолетнемерзлых пород.

Были рассчитаны средние месячные температуры воздуха и количества осадков отдельно для маловодных и многоводных лет и построены карты их распределения. В многоводные годы количество осадков во все месяцы было больше, чем в маловодные годы. Наибольшее увеличение количества осадков наблюдалось весной и летом в восточной части бассейна. Осенью увеличение количества осадков отмечено преимущественно

в западной и центральной частях бассейна. Также маловодные годы отличались от многоводных более высокой температурой воздуха на территории водосборного бассейна большую часть года.

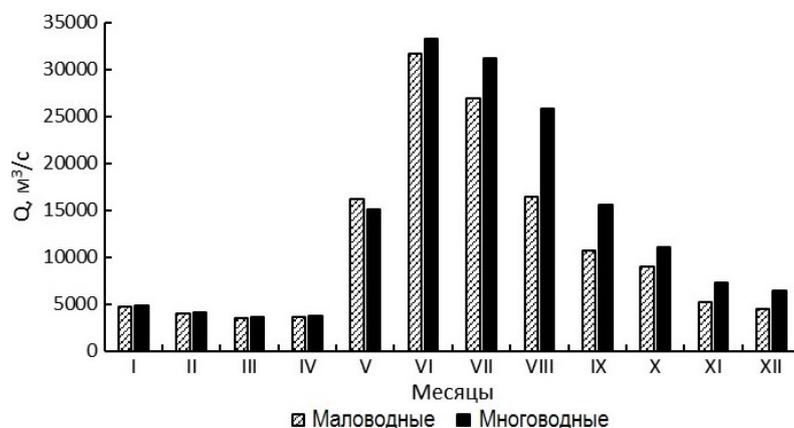


Рис. 6. Средние месячные расходы воды р. Обь (гидрологический пост “Салехард”) в маловодные и многоводные годы

Fig. 6. Average water discharge at the Salekhard hydrometric station in low and high water years

Различие в объеме воды, избыточно поступившей на водосбор в многоводные годы за счет увеличения количества осадков и снижения испарения, составило 143 км³ (табл. 3). При этом сток Оби в многоводные годы был больше, чем в маловодные годы, в среднем на 151 км³. Водоудерживающая способность почвы была принята нами одинаковой на всей территории водосборного бассейна, что неизбежно приводит к погрешности при расчете испарения. Колебания температуры воздуха и количества осадков объясняют различия в объеме стока Оби в маловодные и многоводные годы на 95 %.

Таблица 3

**Объем поступившей и испаренной влаги в бассейне Оби
в маловодные и многоводные годы**

Table 3

**The volume of incoming and evaporated moisture in the Ob
basin in low and high water years**

Параметр	Маловодный год	Многоводный год
Объем воды, поступившей с осадками, км ³	1471	1572
Объем испаренной воды, км ³	1053	1011

Согласно расчетам, изменения метеорологических параметров, начавшиеся в 1970-х гг., практически не повлияли на объем водных ресурсов водосборного бассейна. Увеличение количества осадков практически полностью было компенсировано ростом испарения. Различия

в водности отдельных многоводных и маловодных лет также могут быть объяснены изменением количества осадков и испарения, и не связаны с деградацией многолетней мерзлоты. Это также подтверждается исследованием Ю.К. Васильчука (2013), согласно которому южная граница многолетнемерзлых пород проведена даже несколько южнее, чем в более ранних работах других исследователей. Это свидетельствует о том, что интенсивной деградации многолетней мерзлоты не происходит. Новые же находки массивов многолетнемерзлых пород могут быть связаны с тем, что в некоторых районах ранее не проводилось исследований.

Заключение. На основе анализа многолетних (1930–2017) рядов годового и сезонного стока Оби и разностных интегральных кривых выявлены фазы изменения стока реки. В холодное полугодие были выделены две долгопериодные фазы. Маловодная фаза началась в 1930-х гг. и сменилась многоводной фазой в начале 1970-х гг. В теплое полугодие выделены три полных коротких (около 20 лет) цикла водности.

Рассчитаны пространственно-временные изменения количества осадков и испарения. Определены на карте районы водосборного бассейна, рост количества осадков в которых способствовал поддержанию стока Оби в период интенсивного роста температуры воздуха на всей территории бассейна в 1970–2017 гг. Один из таких районов почти полностью приурочен к бассейну р. Тобол, второй примыкает к водоразделу между Обью и Енисеем.

Показано, что увеличение водности зим связано с колебаниями количества осадков и температуры воздуха. Нельзя полностью исключить влияние деградации многолетней мерзлоты на объем стока Оби, но этот фактор не является ключевым.

Работа выполнена по теме “Планктонные сообщества арктических морей в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия” (№ государственной регистрации 121091600105-4) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

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

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

Булавина А.С. Климатические факторы формирования стока реки Обь // Наука Юга России. 2020. Т. 16, № 1. С. 45–54. DOI: 10.7868/S25000640200106

Васильчук Ю.К. Современное положение южной границы зоны многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской низменности // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII, № 1. С. 17–27.

- Георгиади А.Г., Каишутина Е.А.* Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Изв. РАН. Сер. географ. 2016. № 5. С. 70–81.
- Комлев А.М.* Закономерности формирования и методы расчета речного стока. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2002. 163 с.
- Методические* рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным. СПб.: Нестор-История, 2010. 162 с.
- Шестакова Е.Н.* Тенденции изменчивости стока низовьев Оби и рек Обско-Тазовской устьевой области в условиях изменения климата // Науч. вестн. Ямало-Ненецкого автономного округа. 2015. № 3(88). С. 108–115.
- Arctic Climate Impact Assessment.* ACIA Overview report. Cambridge University Press: New York, 2005. 1020 p. URL: <https://www.amap.no/> (Дата обращения: 15.02.2022)
- Arctic Great Rivers Observatory / A.I. Shiklomanov, R.M. Holmes, J.W. McClelland, S.E. Tank, R.G.M. Spencer // Discharge Dataset.* 2021. URL: <https://www.arcticrivers.org/data> (Дата обращения: 17.01.2022)
- Climate and hydrological changes in the Ob River Basin during 1936–2017 / M. Xu, S. Kang, X. Wang, H. Wu, D. Hu, D. Yang // Hydrological Processes.* 2020. Vol. 34. P. 1821–1836. URL: <https://doi.org/10.1002/hyp.13695>
- Frey K.E., McClelland J.W.* Impacts of permafrost degradation on Arctic river biogeochemistry // *Hydrological Processes.* 2010. Vol. 23. P. 169–182.
- Increasing river discharge in the Eurasian Arctic: Consideration of dams, permafrost thaw, and fires as potential agents of change / J.W. McClelland, R.M. Holmes, B.J. Peterson, M. Stieglitz // J. Geophysical Res.* 2004. Vol. 109. D18102. DOI: 10.1029/2004JD004583
- Matsuura K., Willmott C.J.* Terrestrial Air Temperature: 1900–2017 Gridded Monthly Time Series. 2018a. URL: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2017/README.GlobalTsT2017.html (Дата обращения: 10.02.2022)
- Matsuura K., Willmott C.J.* Terrestrial Precipitation: 1900–2017 Gridded Monthly Time Series. 2018b. URL: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2017/README.GlobalTsP2017.html (Дата обращения: 10.02.2022)
- Matsuura K., Willmott C.J.* Terrestrial Water Budget Data Archive: Monthly Time Series (1900–2017). 2018c. URL: http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/Global2017/README.GlobalWbTs2017.html (Дата обращения: 16.02.2022)
- Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment / M.C. Serreze, J.E. Walsh, F.S. Chapin, T. Osterkamp, M. Dyurgerov, V. Romanovsky // Climatic Change.* 2000. Vol. 46, № 1–2. P. 159–207.
- Smith L.C.* Trends in Russian Arctic river-ice formation and breakup, 1917 to 1994 // *Physical Geography.* 2000. Vol. 21(1). P. 46–56.
- The dynamics of River Water Inflow to the Arctic Ocean / I.A. Shiklomanov, A.I. Shiklomanov, R.B. Lammers, B.J. Peterson, C.J. Vorosmarty // The freshwater budget of the Arctic Ocean. NATO Sci. Ser. (ASE № 2. Vol. 70. Environment Security).* Springer, Dordrecht. 2020. P. 281–283. URL: https://doi.org/10.1007/978-94-011-4132-1_13
- Vuglinsky V.S.* Peculiarities of ice events in Russian Arctic rivers // *Hydrological Proc.* 2001. Vol. 16. P. 905–913.

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.003
УДК 574.583 (268.45)

В.В. Водопьянова, О.П. Калинка

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

МОНИТОРИНГ КОНЦЕНТРАЦИЙ ХЛОРОФИЛЛА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ: СРАВНЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ *IN SITU* И СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Аннотация

Фитопланктонные организмы являются основой трофической цепи и первичными продуцентами в пелагиали Баренцева моря. Изменение биомассы фитопланктона в течение вегетационного периода находится в тесной связи с изменением концентрации хлорофилла *a*. Собранные в ходе многолетних (2006, 2007, 2010, 2013, 2015–2019) экспедиционных исследований ММБИ данные по концентрации хлорофилла *a in situ* были сопоставлены с данными дистанционного спутникового зондирования. Проанализировано более чем 200 проб *in situ* и спутниковые данные в те же даты в квадрате 5x5 км, центрированном по точке отбора проб. Выявлено, что перманентная облачность над Баренцевым морем мешает проведению полноценного дистанционного мониторинга данной акватории. Малое количество совпадений концентраций *in situ* со спутниковыми данными не позволяет решать задачи глобального мониторинга. Проанализировав взаимосвязь температуры поверхности моря как ключевого фактора, влияющего на пространственно-временное распределение хлорофилла *a*, определена высокая степень корреляции ($r = 0.89$) между рассматриваемыми параметрами, что свидетельствует о достаточно высокой воспроизводимости данных натуральных измерений спутниковыми инструментами.

Ключевые слова: хлорофилл *a*, фитопланктон, Баренцево море, спутниковые данные.

V.V. Vodopianova, O.P. Kalinka

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

MONITORING OF CHLOROPHYLL CONCENTRATIONS IN THE BARENTS SEA: COMPARISON OF LONG-TERM *IN SITU* AND SATELLITE DATA

Abstract

Phytoplankton organisms are the basis of the trophic chain and primary producers in the pelagial of the Barents Sea. The variation in phytoplankton biomass during the growing season is closely related to the change in chlorophyll *a* concentration. The data on the concentration of chlorophyll *a in situ* collected during the long-term (2006, 2007, 2010, 2013, 2015–2019) MMBI expedition research were compared with remote satellite sensing data. More than 200 *in situ* samples and satellite data were analyzed on the same dates in a 5x5 km square centered on the sampling point. It was revealed that permanent cloud cover over the Barents Sea interferes with the complete remote monitoring of this water area. The small number of coincidences of concentrations *in situ*

with satellite data does not allow achieve global monitoring goals. Having analyzed the relationship of sea surface temperature as a key factor affecting the spatial and temporal distribution of chlorophyll *a*, a high degree of correlation ($r = 0.89$) between the parameters under consideration was determined, which indicates a sufficiently high reproducibility of the data of field measurements by satellite instruments.

Keywords: chlorophyll *a*, phytoplankton, Barents Sea, satellite data.

Введение. Фитопланктонные организмы являются первичными продуцентами и основой трофической цепи Баренцева моря. Хлорофилл *a* дает косвенное представление об изменениях численности и биомассы фитопланктона и может быть рассмотрен как показатель общего обилия и продуктивности фитопланктонного сообщества. Мониторинг концентраций хлорофилла *a* (в совокупности с другими параметрами фитопланктонных сообществ) позволяет судить о продукционном потенциале Баренцева моря. Существуют методы прямого (*in situ*) и дистанционного измерения концентраций хлорофилла *a* в поверхностном слое водоемов. Метод *in situ* имеет несомненное преимущество в виде высокого пространственного разрешения, однако существенно ограничен высокой стоимостью судовых работ и сложностью ледовой обстановки в Баренцевом море. Спутниковые инструменты в теории призваны охватить максимальную площадь акватории, однако на практике имеют существенные ограничения из-за облачности и ледового покрова, а также не учитывают возможные подледные цветения и подповерхностные максимумы хлорофилла.

Цель работы – сравнение многолетних натуральных и спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* для акватории Баренцева моря и температуры поверхности моря как ключевого фактора, влияющего на его распределение; выявление воспроизводимости результатов *in situ* спутниковыми инструментами; определение условий препятствующих проведению полномасштабных работ на всей акватории Баренцева моря.

Материал и методы. Материал для определения концентрации хлорофилла *a in situ* был собран во время рейсов научно-исследовательского судна “Дальние Зеленцы” Мурманского морского биологического института в 2006, 2007, 2010, 2013, 2015–2019 гг. (Vodopianova et al., 2019; Features ..., 2021; Makarevich et al., 2022) (рис. 1).

Всего в поверхностном слое пелагиали была отобрана и обработана 221 проба (табл. 1).

Для определения концентрации хлорофилла *a in situ* (мг/м³) придерживались методических рекомендаций (Aminot, Rey, 2000), основанных на классическом методе определения ЮНЕСКО (Determination ..., 1966). Отклонения от метода не допускались. Концентрацию хлорофилла *a* в экстракте определяли спектрофотометрически на УФ-видимом спектрофотометре Nicolet Evolution 500 (Spectronic Unicam, Великобритания).

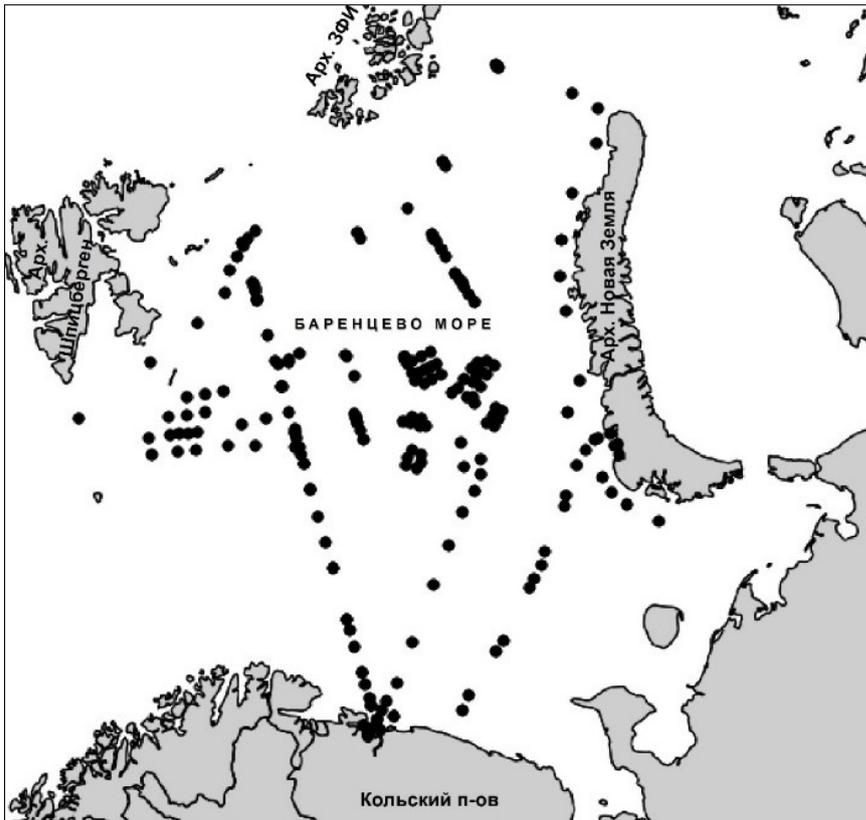


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб *in situ* в экспедициях в 2006, 2007, 2010, 2013, 2015–2019 гг. в Баренцевом море
 Fig. 1. Location of stations *in situ* the 2006, 2007, 2010, 2013, 2015–2019, Barents Sea

Для получения спутниковых данных по концентрации хлорофилла *a* использовали оперативную систему Copernicus Marine Environmental Monitoring Service – CMEMS, Служба мониторинга морской среды “Коперникус” (CMEMS MyOcean Viewer (copernicus.eu), которая предоставляет пользователям данные и детализированные прогнозы состояния морской среды как всего Мирового океана, так и морей Европы и Северного Ледовитого океана. В данной системе мы использовали продукт OCEANCOLOUR_ARC_CHL_L3_REP_OBSERVATIONS_009_069, представляющий собой репроцессинг полей концентрации хлорофилла в морской воде на основе использования данных сканеров SeaWiFS, MODISAqua и MERIS с применением региональных алгоритмов. Пользователям “Коперникус” доступны осредненные за день поля хлорофилла 1x1 км (1 пиксель = 1 км²). В связи с ограниченным объемом исходного материала в настоящем исследовании для каждой станции отбирались спутниковые данные в квадрате 5x5 км, в который попадала точка отбора проб *in situ*.

Т а б л и ц а 1

Количество проб, взятых для определения концентрации хлорофилла *a in situ*
Table 1
The number of samples to determine the concentration of chlorophyll *a in situ*

Год	Период	Количество проб
2006	17 сентября–4 октября	18
2007	4 августа–6 октября	24
2010	19–28 августа	34
2013	10–21 ноября	8
2015	23 июня–11 июля	43
2016	12–14 мая	28
2017	17–18 июля	5
	27–29 ноября	4
2018	20–27 апреля	19
	19–24 мая	15
2019	10–15 апреля	23

Сведения о температуре поверхности моря (SST) были получены с помощью датчиков MODIS (спектрорадиометр изображений с умеренным разрешением), установленных на платформах NASA Terra и Aqua. Эти продукты SST основаны на каналах MODIS в среднем инфракрасном (ИК) и тепловом ИК-диапазоне и доступны в различных пространственных и временных разрешениях (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/sst/>).

Результаты и обсуждение. По причине сильной облачности сопоставление данных по концентрации хлорофилла *a in situ*, полученных в экспедиционных условиях, и спутниковых данных за те же даты в квадрате 5x5 км, дали всего 11 пар совпадений для сравнения и корреляции (рис. 2).

Причина столь малого количества совпадений между данными *in situ* и спутниковыми – практически постоянная облачность над акваторией Баренцева моря. Пример тотальной облачности представлен на рис. 3.

Проводить полноценный анализ данных по столь малой выборке не представляется достоверным. В меньшей степени облачность влияет на получение спутниковых данных по температуре поверхности моря. На сканеры объединяются инфракрасные данные SST от датчиков спектрометра изображений с умеренным разрешением (MODIS) и микроволновые данные SST от ряда других датчиков. Микроволновые данные позволяют плавно заполнять отсутствующие ряды в инфракрасных данных, создавая продукт без пробелов (Quality ..., 2021). Температура поверхности моря, по мнению ряда исследователей (Voipio, 1981; Александров, Кудрявцева, 2012), – ключевой фактор, определяющий сезонную и многолетнюю изменчивость концентрации хлорофилла *a*. Предыдущие исследования свидетельствуют о положительной корреляции между показателями, полученными при помощи спутников и данными *in situ* (Буканова, 2014; Евтушенко, Шеберстов, 2016).

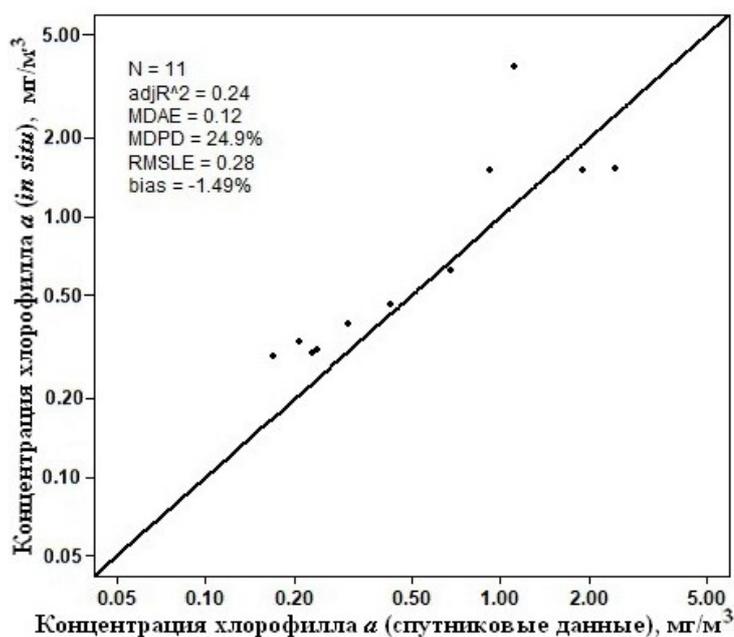


Рис. 2. Сравнение концентраций хлорофилла *a in situ* и спутниковых данных (CHEMS)
 Fig. 2. Comparison of chlorophyll *a* concentrations *in situ* and satellite (CHEMS)

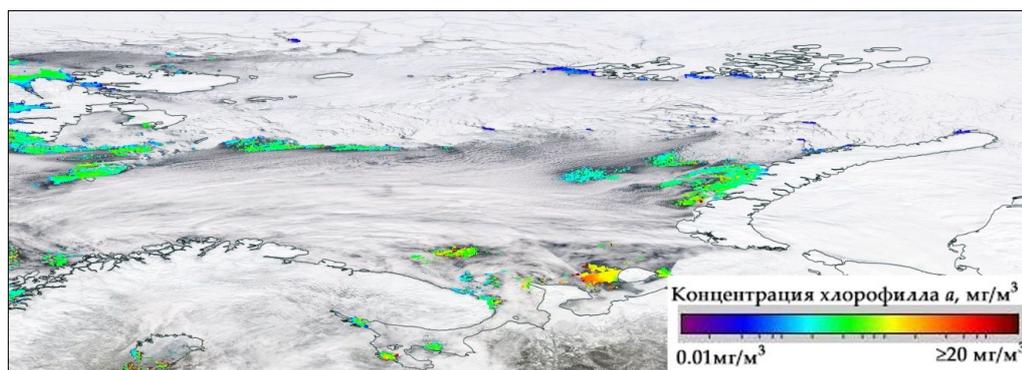


Рис. 3. Облачность над акваторией и концентрация хлорофилла *a* 25.04.2018 г. в Баренцевом море (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>)
 Fig. 3. Cloud cover over the water area and values of chlorophyll *a* concentration for 25.04.2018, Barents Sea (<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>)

Для установления связи между изменением концентрации хлорофилла *a* и температурой поверхности моря были проанализированы данные для тех станций (рис. 4), где имелись совпадения спутниковых данных по температуре поверхности моря (SST) и *in situ* концентраций хлорофилла *a* в квадрате 5x5 км. Из 221 пробы *in situ* совпадение с данными спутникового дистанционного зондирования наблюдалось только в 41 случае (рис. 5).

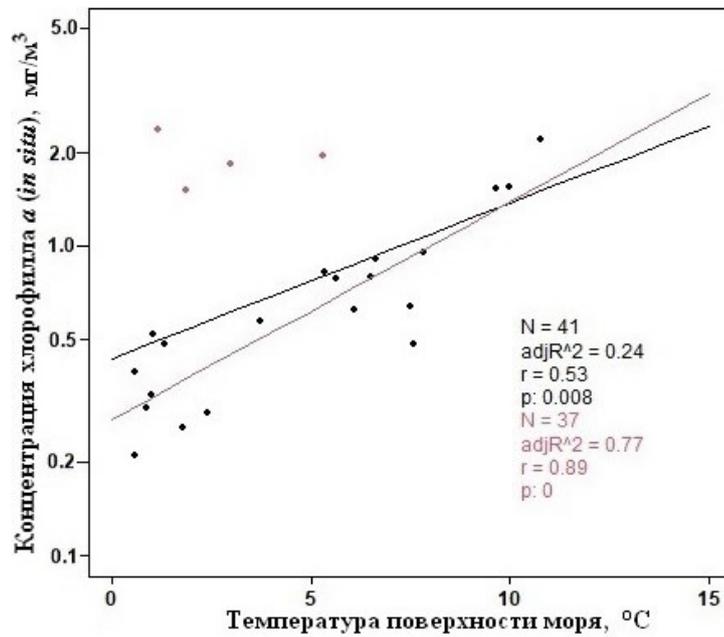


Рис. 4. Концентрация хлорофилла a *in situ* и спутниковые данные температуры поверхности моря (SST)
 Fig. 4. Comparison of chlorophyll a concentrations *in situ* and satellite data of sea surface temperature (SST)

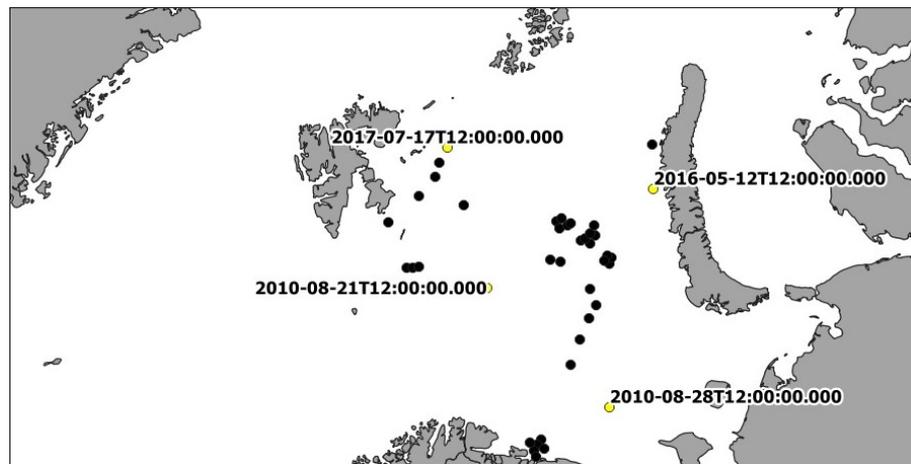


Рис. 5. Расположение станций *in situ*, для которых доступны данные дистанционного зондирования температуры поверхности моря на дату отбора проб хлорофилла (в квадрате 5x5 км) в Баренцевом море. Желтые точки – станции, где были обнаружены аномалии концентрации хлорофилла a
 Fig. 5. Location of *in situ* stations where remote sensing sea surface temperature data are available on the date of chlorophyll sampling (in a 5x5 km square), Barents Sea. Yellow dots – stations where anomalies of chlorophyll a concentration were detected

Из сравнения были исключены 4 образца *in situ*, которые соответствовали параметрам аномалий хлорофилла. Значения спутников были извлечены для элемента размером 3x3 пикселя, центрированного в точке *in situ*. Следуя стандартным методам (Bailey, Werdell, 2006), коэффициент вариации был вычислен для каждого пиксельного блока. Для обеспечения однородности и хорошего качества совпадения включались только в том случае, если коэффициент вариации по рамке был менее 0.15 и более 50 % пикселей в рамке были действительными. Медиана девяти пикселей рассматривалась в качестве спутниковой оценки для дальнейшего анализа (Quality ..., 2021).

Результаты сопоставления остальных значений показывают высокую степень корреляции. Коэффициент корреляции для 37 образцов составил 0.89 (рис. 4), что является показателем высокой степени достоверности и подтверждает тесную связь изменения концентрации хлорофилла *a* с температурой поверхности Баренцева моря. Полученные результаты могут быть использованы для разработки прогностической модели концентраций хлорофилла *a* для поверхностного слоя Баренцева моря.

Заключение. Анализ данных дистанционного спутникового мониторинга и данных *in situ* по концентрации хлорофилла *a* показал, что перманентная облачность над акваторией Баренцева моря препятствует проведению полномасштабного мониторинга с использованием спутниковых инструментов. Малое количество совпадений между натурными данными и спутниковыми не позволяет в полной мере использовать статистический анализ и судить о степени их достоверности. Сравнение спутниковых (квадрат 5x5 км) и *in situ* концентраций хлорофилла *a* не представляется возможным из-за малого объема выборки. При анализе взаимосвязи температуры поверхности моря (как ключевого фактора влияющего на пространственно-временное распределение хлорофилла) и концентрации хлорофилла выявлена высокая степень корреляции ($r = 0.89$), что свидетельствует о достаточно высокой воспроизводимости данных натурных измерений спутниковыми инструментами. Полученные результаты могут быть использованы для разработки прогностической модели концентраций хлорофилла *a* для поверхностного слоя Баренцева моря.

Авторы благодарят сотрудников Мурманского морского биологического института РАН за отбор проб в экспедиционных условиях.

Работа выполнена по теме “Планктонные сообщества арктических морей в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия” (№ госрегистрации 121091600105-4) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Александров С.В., Кудрявцева Е.А. Хлорофилл *a* и первичная продукция фитопланктона // Нефть и окружающая среда Калининградской области. Калининград: Терра Балтика, 2012. Т. II. С. 358–372.

Бужанова Т.В. Тенденции эвтрофирования юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным: Дис. ... канд. геогр. наук (25.00.28). Калининград, 2014. 142 с.

Евтушенко Н.В., Шеберстов С.В. Использование данных спутникового сканера MODIS-AQUA для исследования циклов цветения фитопланктона в Балтийском море // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2016. Т. 13, № 3. С. 114–124.

Aminot A., Rey F. Standard procedure for the determination of chlorophyll *a* by spectroscopic methods. Denmark, Copenhagen: Int. Coun. Explor. Sea, 2000. 18 p.

Bailey S.W., Werdell P.J. A multi-sensor approach for the on-orbit validation of ocean color satellite data products // Remote Sensing Environment. 2006. Vol. 102. P. 12–23. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.01.015>

Determination of photosynthetic pigments in sea-water. Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO, 1966. 69 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000071612>

Features of the distribution of chlorophyll-*a* concentration along the western coast of the Novaya Zemlya Archipelago in spring / P.R. Makarevich, V.V. Vodopianova, A.S. Bulavina, P.S. Vashchenko, T.G. Ishkulova // Water. 2021. Vol. 13, № 24. Article № 3648. URL: <https://doi.org/10.3390/w13243648>

Makarevich P.R., Vodopianova V.V., Bulavina A.S. Dynamics of the spatial chlorophyll-*a* distribution at the polar front in the marginal ice zone of the Barents Sea during spring // Water. 2022. Vol. 14, № 1. Article № 101. URL: <https://doi.org/10.3390/w14010101>

Quality information document. Ocean colour production centre. For the atlantic and arctic observation products / S. Pardo, T. Jackson, B. Taylor, J. Netting, B. Calton, B. Howey. 2021. Iss. 2.2. 33 p.

Vodopianova V.V., Vaschenko P.S., Bulavina A.S. Monitoring of chlorophyll-*a* concentration in the ice edge zone of the Barents Sea in 2017–2018 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 263, Article № 012005. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/263/1/012005>

Voipio A. The Baltic Sea. Amsterdam: Elsevier, 1981. 418 p.

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.004
УДК 574.583 + 556.047 (268.45)

В.В. Водопьянова, А.С. Булавина, П.Р. Макаревич

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ТЕРМОХАЛИННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХЛОРОФИЛЛА НА СТАНДАРТНОМ РАЗРЕЗЕ “КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН” В АПРЕЛЕ 2021 ГОДА

Аннотация

В Баренцевом море основная часть годовой первичной продукции пелагиали формируется во время весеннего сукцессионного цикла. Цветение фитопланктона

сопровождается повышением его общей численности и биомассы. Концентрация хлорофилла *a* отражает изменения биомассы фитопланктона и может служить показателем его продукционных характеристик. В апреле 2021 г. были изучены термохалинные характеристики водной толщи и распределение концентрации хлорофилла *a* на стандартном разрезе “Кольский меридиан”, который находится на пути распространения теплых вод Нордкапского течения и опресненных вод Мурманского прибрежного течения. По разрезу были выделены прибрежные, атлантические и арктические воды. Концентрация хлорофилла *a* в прибрежных водах изменялась в среднем от 0.57 до 0.86 мг/м³ (максимум 1.1 мг/м³), в атлантических – от 0.1 до 0.34 мг/м³ (максимум 0.50 мг/м³). На станции, расположенной в области интенсивного взаимодействия двух типов вод (в области соленостного и температурного фронтов), были отмечены максимальные концентрации хлорофилла *a* (0.96–1.39 мг/м³). Расположение и протяженность зон повышенных (или пониженных) концентраций хлорофилла *a* согласовались с чередованием водных масс. Начало ранневесеннего цветения фитопланктона было приурочено к прибрежной зоне Центрального Мурмана.

Ключевые слова: хлорофилл *a*, весеннее цветение, водные массы, Баренцево море.

V. V. Vodopyanova, A. S. Bulavina, P.R. Makarevich

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

THERMOHALINE CHARACTERISTICS AND SPATIAL DISTRIBUTION OF CHLOROPHYLL ALONG THE STANDART TRANSECT “KOLA SECTION” IN APRIL 2021

Abstract

In the Barents Sea, the major part of the annual primary pelagic production is formed during the spring phytoplankton bloom. A phytoplankton bloom is understood as an annually recurring increase in its total biomass. Chlorophyll *a* concentration reflects changes in phytoplankton biomass and can serve as an indicator of production characteristics. In April 2021, the thermohaline characteristics of the water column and the distribution of chlorophyll *a* concentrations along a standard transect “Kola Section” were studied. The Transect was located in the path of the warm waters of the Nordkapp current and the desalinated waters of the Murmansk coastal current. Coastal, Atlantic and Arctic waters were defined along the Transect. Chlorophyll *a* concentrations in coastal waters varied on average from 0.57 to 0.86 mg/m³ (maximum 1.11 mg/m³), in Atlantic waters from 0.11 to 0.34 mg/m³ (maximum 0.50 mg/m³). At the station located in the area of intensive interaction of two types of waters (in the area of salinity and temperature fronts) maximum concentrations of chlorophyll *a* (0.96–1.39 mg/m³) were noted. The location and extent of zones of increased (or decreased) chlorophyll *a* concentrations agreed with the alternation of water masses. The beginning of the early spring phytoplankton bloom was in the coastal zone of Central Murman.

Keywords: chlorophyll *a*, spring bloom, water masses, Barents Sea.

Введение. В Баренцевом море весеннее развитие фитопланктона начинается в конце апреля–начале мая. Этому событию предшествует

формирование благоприятного для микроводорослей светового режима во всей толще мелководного Баренцевоморского шельфа, наиболее низкие за весь годовой гидрологический цикл значения температуры воды (до $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$), а также наличие в пелагиали максимальных годовых концентраций минеральных форм биогенных элементов. Начало вегетации фитопланктона приурочено в первую очередь к зонам побережья восточного мелководья и прикромочным районам (Biological ..., 2000).

Изучение хода весеннего развития микрофитопланктона и его пигментного состава дает возможность получения более полной картины сезонной сукцессии и продукционного цикла первичных продуцентов Баренцева моря, так как большая часть годовой биомассы арктического фитопланктона продуцируется во время весеннего сукцессионного цикла. Показателем общего обилия фитопланктона служит количество хлорофилла *a*.

Баренцево море находится на пути проникновения атлантических вод в Северный Ледовитый океан. Стандартный океанографический разрез “Кольский меридиан” расположен на пути распространения теплых вод Нордкапского течения и опресненных вод Мурманского прибрежного течения. Положение разреза позволяет изучить влияние сразу нескольких типов водных масс на весеннее развитие фитопланктона.

Цель работы – изучение ранневесенних концентраций хлорофилла *a* и особенностей их распределения в водах различного генеза вдоль стандартного океанографического разреза “Кольский меридиан”.

Материал и методы. Работы были проведены в ходе рейса научно-исследовательского судна “Дальние Зеленцы” с 8 по 12 апреля 2021 г. (рис. 1).

Для описания гидрологической структуры водных масс в районе исследований были использованы материалы рейсового отчета (Рейсовый ..., 2021). На 11 станциях выполнен комплекс гидрологических работ. Температуру и соленость воды определяли с помощью СТД-зонда SEACAT SBE 19 plus V2 (Sea-Bird Scientific, США). Для определения положения границ водных масс на поверхности моря были вычислены горизонтальные градиенты температуры и солености. В качестве критерия наличия фронтальной зоны принимались значения градиентов температуры и солености, превышающие климатические градиенты для Баренцева моря ($0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$ и $0.001\text{ PSU}/\text{км}$) (Воды ..., 2016).

Отбор проб морской воды для определения концентраций хлорофилла *a* ($\text{мг}/\text{м}^3$) осуществляли в фотическом слое пелагиали на горизонтах 0, 25, 50 м. Использовали батометры Нискина на 5 и 10 л (Hydro-Bios, Германия). Всего было отобрано и обработано 18 проб (6 станций). Мы придерживались методических рекомендаций (Aminot, Rey, 2000), основанных на классическом методе определения концентраций хлорофилла *a* ЮНЕСКО (Determination ..., 1966). Отклонений от методики не допускалось. Пробы воды объемом 5 л для

каждого горизонта фильтровали немедленно на вакуумной установке в судовой лаборатории. Использовали мембранные фильтры Владипор диаметром 47 мм и размером пор 0.6 мкм. После фильтрации фильтры, сложенные пополам осадком внутрь, хранились в морозильной камере в эксикаторе с силикагелем при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Дальнейшая обработка образцов проводилась в стационарной гидрохимической лаборатории. Осадок экстрагировали 90 %-м ацетоном. После гомогенизации проводили центрифугирование образцов при 8000 об/мин. Концентрацию хлорофилла *a* в экстракте определяли на спектрофотометре Nicolet Evolution 500 (Spectronic Unicam, Великобритания).

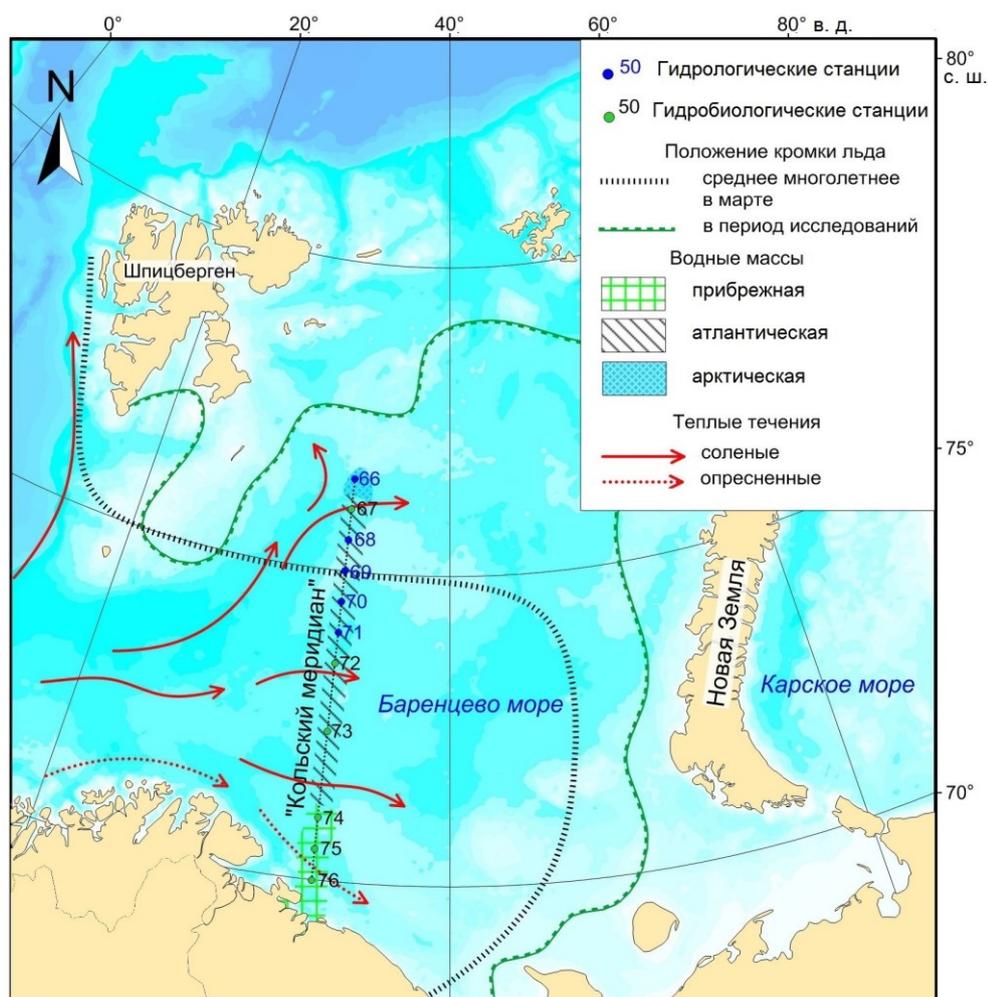


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб в апреле 2021 г. Положение кромки льда указано по: Remote ..., 2007; <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

Fig. 1. Location of stations in the April 2021. The ice edge location according to: Remote ..., 2007; <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

Результаты и обсуждение. Центральная часть разреза “Кольский меридиан” пересекает потоки теплых атлантических вод системы Нордкапского течения, южная – воды Мурманского прибрежного течения, северная – достигает арктических вод.

Граница распространения опресненных прибрежных вод определялась на поверхности моря между станциями 74 и 73. Градиент солености на поверхности моря между этими станциями составлял 0.002 PSU/км. Соленость прибрежных вод колебалась в пределах 34.44–34.65 PSU, температура – 3.4–3.6 °C (рис. 2).

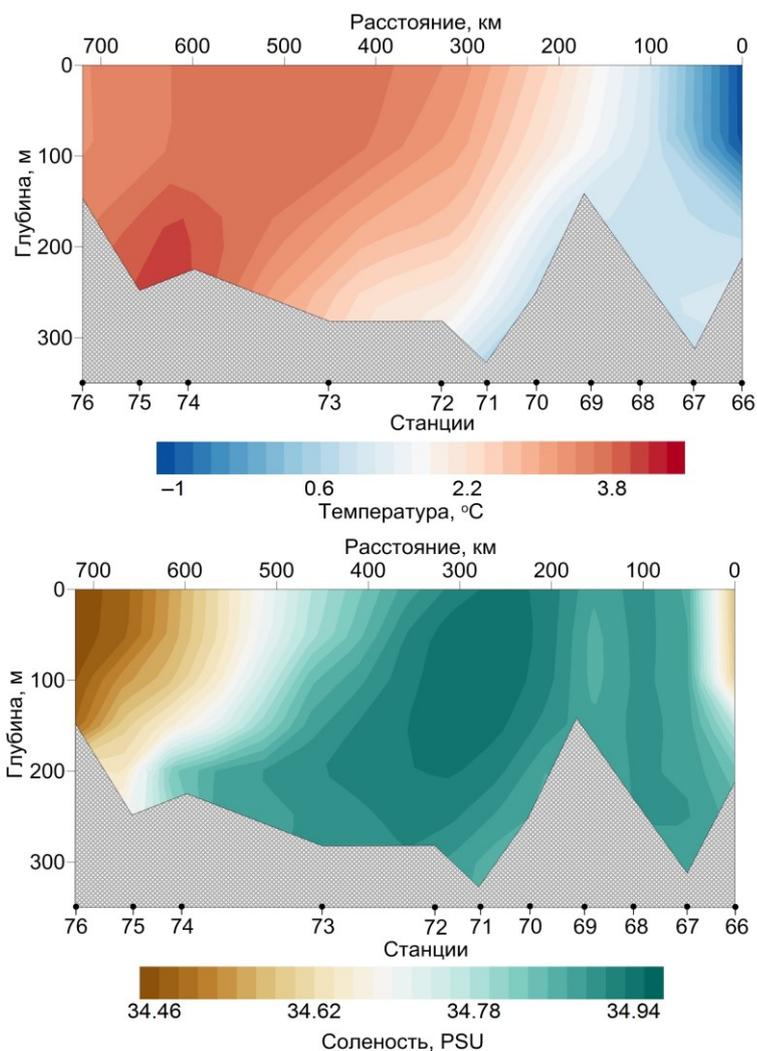


Рис. 2. Температура и соленость на разрезе “Кольский меридиан”
 Fig. 2. Water temperature and salinity at the Transect “Kola Section”

На станциях 73–67 выделены атлантические воды центральной ветви Нордкапского течения. Максимальная соленость была отмечена

на станциях 70–72 на глубине около 100 м – 34.95 PSU. На станции 66 от поверхности до 100 м располагались арктические воды, имеющие отрицательную температуру (–1.2 °С) и пониженную соленость (34.44 PSU), придонный слой был занят трансформированной атлантической водой (0.8 °С, 34.84 PSU) (рис. 2).

Концентрация хлорофилла *a*. Разрез “Кольский меридиан” включал станции, выполненные в различных водных массах (рис. 3). Станции 74, 75 и 76 находились в прибрежных водах, концентрации хлорофилла *a* были достаточно высокими во всем слое 0–50 м – 0.65 ± 0.04 мг/м³ (0 м), 0.86 ± 0.28 мг/м³ (25 м), 0.57 ± 0.08 мг/м³ (50 м). Максимальное содержания хлорофилла отмечено на горизонте 25 м – 0.91 и 1.11 мг/м³.

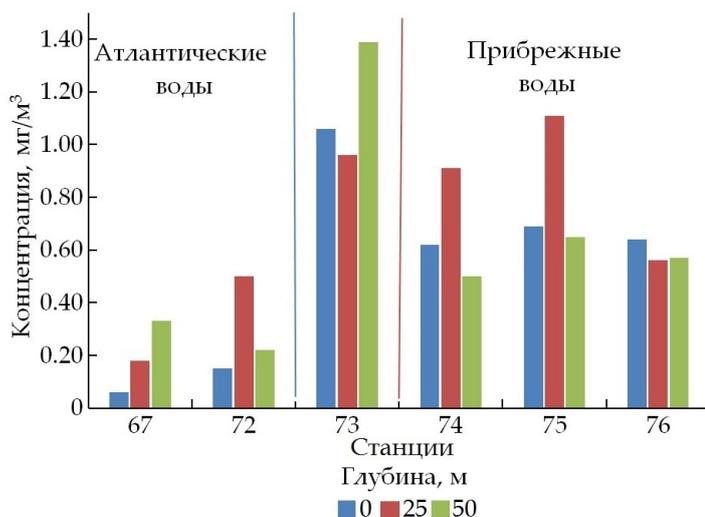


Рис. 3. Концентрация хлорофилла *a* на разрезе “Кольский меридиан”. Красная линия – температурный фронт, синяя – соленостный фронт
 Рис. 3. Concentrations of chlorophyll *a* at the Transect “Kola Section”. Red line – temperature front, blue line – salinity front

Станции 67, 72 и 73 были выполнены в атлантических водах. На станциях 67 и 72, расположенных в атлантических водах за пределами фронтальной зоны, концентрации хлорофилла *a* были низкими – не более 0.34 ± 0.23 мг/м³ (25 м), на ст. 73 высокими – максимум 1.39 мг/м³ (50 м). Обращает на себя внимание ст. 73, которая находится вблизи области распространения прибрежных вод. Термохалинные характеристики водной толщи на ст. 73 больше соответствовали атлантической воде, чем прибрежной. Однако, соленостный фронт на поверхности моря проходил между станциями 74 и 73, а температурный – между станциями 73 и 72. Таким образом, ст. 73 оказалась в области интенсивного взаимодействия двух типов вод. В атлантических водах мы не обнаружили высоких концентраций хлорофилла. Это позволяет предполагать, что причина более высоких концентраций хлорофилла на ст. 73 кроется в развитии фитопланктона, поступающего из прибрежных вод.

Весеннее цветение – это ежегодное и кратковременное повышение биомассы и численности фитопланктона. Начало весенней вегетации фитопланктона в незамерзающих частях Баренцева моря начинается в конце марта–начале апреля и приурочено в первую очередь к мелководным районам юго-восточной части баренцевоморской акватории и водам вблизи кромки льда (Biological ..., 2000). Весенний максимум развития фитопланктона формируется в основном за счет ранневесенних арктобореальных неритических диатомовых водорослей (Makarevich et al., 2012). В открытой части Баренцева моря регистрируется один весенний максимум развития фитопланктона. Концентрации могут достигать значений около 5 мг/м³ (Features ..., 2021; Makarevich et al., 2022). Максимум цветения непродолжителен, и после этого происходит быстрое снижение показателей продуктивности сообществ пелагических микроводорослей. Мощное (стремительное) цветение микроводорослей приводит к быстрому падению запасов питательных веществ в верхних слоях пелагиали, а наличие резкой стратификации препятствует пополнению этого запаса из нижележащих слоев (Кузнецов, Шошина, 2003).

По нашим данным, в апреле 2021 г. концентрации хлорофилла *a* в прибрежных водах Центрального Мурмана изменялись в среднем от 0.57±0.08 до 0.86±0.28 мг/м³, что является высоким показателем для этих вод и характеризует стадию активного развития в сукцессионном цикле фитопланктонного сообщества. Прибрежные воды Баренцева моря отличаются несколькими всплесками развития фитопланктона (от 3 до 4) за вегетационный период, однако среднее содержание хлорофилла в период активного развития в прибрежной зоне на юго-западе Баренцева моря невысоко и составляет порядка 1 мг/м³ (Кузнецов, Шошина, 2003).

Самые низкие концентрации хлорофилла *a* в период исследований были характерны для атлантических вод (станции 67, 72), где концентрации изменялись в среднем от 0.11±0.06 до 0.34±0.23 мг/м³ (максимум 0.50 мг/м³). Столь низкие концентрации хлорофилла означают, что в атлантических водах активизация весеннего развития фитопланктона еще не наступила. По некоторым данным концентрации хлорофилла *a* в атлантических водах в мае могут достигать значений около 5 мг/м³ (Features ..., 2021). На станции 73, расположенной в атлантической водной массе и в области соленостного и температурного фронтов, концентрации хлорофилла *a* были максимальными для разреза “Кольский меридиан” – до 1.39 мг/м³. Отсутствие значимых концентраций хлорофилла *a* (не > 0.50 мг/м³) на других станциях, выполненных в атлантической воде, позволяет предположить, что высокие концентрации хлорофилла обусловлены влиянием прибрежных вод и возможной адвекцией фитопланктона из прибрежной зоны.

Заключение. Особенности пространственного распределения хлорофилла *a*, наблюдаемые нами в весенний период 2021 г. на стандартном разрезе “Кольский меридиан” – это результат влияния водных масс различного генеза. Расположение и протяженность зон повышенных (или

пониженных) концентраций хлорофилла *a* согласуются с чередованием водных масс. Локальные максимумы хлорофилла были зарегистрированы в прибрежной зоне Центрального Мурмана и в атлантической воде в области влияния прибрежных вод, что свидетельствует о приуроченности начала ранневесеннего цветения фитопланктона на юго-западе Баренцева моря к прибрежным районам.

Авторы благодарят сотрудников Мурманского морского биологического института РАН за отбор проб в экспедиционных условиях.

Работа выполнена по теме “Планктонные сообщества арктических морей в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия” (№ государственной регистрации 121091600105-4) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов, А.Л. Карсаков, М.Ю. Анциферов. Мурманск: Изд-во ПИИРО, 2016. 260 с.

Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В. Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 308 с.

Рейсовый отчет комплексной экспедиции на НИС “Дальние Зеленцы” в Баренцево море (10.03–14.04.2021 г.) / Ред. П.Р. Макаревич. Мурманск: Изд. ММБИ РАН, 2021. 99 с.

Aminot A., Rey F. Standard procedure for the determination of chlorophyll *a* by spectroscopic methods. Denmark, Copenhagen: Int. Coun. Explor. Sea, 2000. 18 p.

Biological atlas of the Arctic seas 2000: Plankton of the Barents and Kara seas, 2000. URL: <https://www.nodc.noaa.gov/OC5/BARPLANK/start.html> (Дата обращения 20.03.2022).

Determination of photosynthetic pigments in sea-water. Monographs on Oceanographic Methodology. Paris: UNESCO, 1966. 69 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000071612>

*Features of the distribution of chlorophyll-*a* concentration along the western coast of the Novaya Zemlya Archipelago in spring* / P.R. Makarevich, V.V. Vodopianova, A.S. Bulavina, P.S. Vashchenko, T.G. Ishkulova // *Water*. 2021. Vol. 13, № 24. Article № 3648. URL: <https://doi.org/10.3390/w13243648>

Makarevich P.R., Druzhkova E.I., Larionov V.V. Primary producers of the Barents Sea // *Diversity of Ecosystems*. 2012. P. 367–393. DOI: 10.5772/37512

Makarevich P.R., Vodopianova V.V., Bulavina A.S. Dynamics of the spatial chlorophyll-*a* distribution at the polar front in the marginal ice zone of the Barents Sea during spring // *Water*. 2022. Vol. 14, № 1. Article № 101. URL: <https://doi.org/10.3390/w14010101>

Remote sensing of the sea ice in the Northern Sea Route. Studies and applications / O. Johannessen, V.Yu. Alexandrov, I.E. Frolov, S. Sandven, L.H. Petersson, L.P. Bobylev, K. Kloster, V.G. Smirnov, Y.U. Mironov, N.G. Babich. Chichester, UK: Praxis Publ., 2007. 464 p. + Index. URL: <https://www.nersc.no/sites/www.nersc.no/files/front-matter.pdf>

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.005
УДК 597.08.591.9

О.Ю. Кудрявцева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИБРЕЖНЫХ СООБЩЕСТВ РЫБ В ГУБАХ ВОСТОЧНОГО МУРМАНА В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2019 ГОДА

Аннотация

Рассмотрен видовой состав ихтиофауны литорально-сублиторальной зоны губ Ярнышная и Зеленецкая Баренцева моря в летне-осенний период 2019 г. Обнаружены 15 видов рыб, среди которых наиболее многочисленной и постоянной была молодь европейского керчака *Myoxocephalus scorpius*. Получены количественные характеристики распределения каждого вида рыб. Проанализирована динамика численности и разнообразия рыбной части прибрежных сообществ. В сравнении с многолетними данными рыбные сообщества в 2019 г. характеризовались низкой численностью молоди тресковых рыб, наличием субдоминантных видов и высокими показателями биоразнообразия.

Ключевые слова: ихтиофауна, состав, численность, биомасса, разнообразие, прибрежная зона, губы Ярнышная и Зеленецкая.

O.Yu. Kudryavtseva

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

CHARACTERISTICS OF COASTAL FISH COMMUNITIES IN THE BAYS OF EASTERN MURMAN DURING SUMMER AND AUTUMN 2019

Abstract

In the article was considered species composition of fish in the littoral and sublittoral zones of Yarnyshnaya and Zelenetskaya bays (Barents Sea) during summer and autumn 2019. At whole was discovered 15 species of fish and most abundant between them is young shorthorn sculpin *Myoxocephalus scorpius*. Also quantitative characteristics of the distribution for each fish species are represented. The dynamics of abundance and diversity of coastal fish communities were analyzed. Comparing of perennial data with 2019 indicates that at the present observed low abundance of young Gadidae, the presence of subdominant species, but high indicators of biodiversity in coastal communities.

Keywords: ichthyofauna, composition, quantity, biomass, diversity, intertidal zone, Yarnyshnaya and Zelenetskaya bays.

Введение. Фаунистические исследования в губах Ярнышная и Зеленецкая (Дальнезеленецкая) начались после организации Мурманской биологической станции в пос. Дальние Зеленцы. Первые работы, включающие сведения о видовом составе ихтиофауны района, носили, в основном, описательный характер (Ушаков, 1948; Чумаевская-Световидова,

1955). Позже были проведены исследования, затрагивающие основные аспекты биологии молоди тресковых видов рыб (Gadidae), обитающей в прибрежье указанных губ (Миронова, 1956, 1957; Чугунова, 1967 и др.). Однако в опубликованных по результатам исследований работах отсутствовали сведения и количественные данные, характеризующие литоральные сообщества рыб.

Этот пробел попытались восполнить начавшимися в 2008 г. в губах Восточного Мурмана исследованиями по изучению рыбной части прибрежных сообществ, а в последнее десятилетие эти работы проводятся регулярно в летне-осенний период. В результате получены многолетние непрерывные ряды данных по видовому составу прибрежной ихтиофауны, обилию, биологии видов и биоразнообразию сообществ, позволяющие не только выявить причинно-следственные связи их изменчивости, но и оценить процессы, происходящие в сообществах рыб в условиях глобальных изменений климата (Ихтиофауна ..., 2014; Представители ..., 2015; Кудрявцева, 2015, 2017, 2018, 2019; Бондарев, 2017; Кудрявцева, Кудрявцева, 2017). Кроме того, результаты исследований могут быть использованы как элементы базового мониторинга, основная задача которого состоит в наблюдении за состоянием морских экосистем и природными процессами, на которые практически не влияют региональные антропогенные факторы.

Цель исследований – оценка структуры рыбной части прибрежных сообществ в губах Восточного Мурмана в летне-осенний период 2019 г.

Материал и методы. Сбор ихтиологического материала проводили мальковой волокушей длиной 15 м, высотой 1.3 м (ячейки дели в крыльях и горловине – 5 мм, в куту – 4 мм). Площадь одного облова варьировала от 150 до 500 м². Волокуши выставляли во время сизигийных отливов в литорально-сублиторальной зоне на илисто-песчаных и песчаных грунтах. Всего выполнено 9 ихтиологических станций в губе Ярнышная и 12 – в губе Зеленецкая (табл. 1, рис. 1). На каждой станции улов разбирали по видовому составу, подсчитывали число особей и определяли их массу. Всего исследовали 764 рыбы (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Характеристика отбора ихтиологических проб в 2019 г.

T a b l e 1

Areas and dates of ichthyological sampling in 2019

Район	Дата	Количество станций
Губа Ярнышная	05.07	3
	01.08	3
	01.09	3
Губа Зеленецкая	06.07	4
	02.08	4
	02.09	4

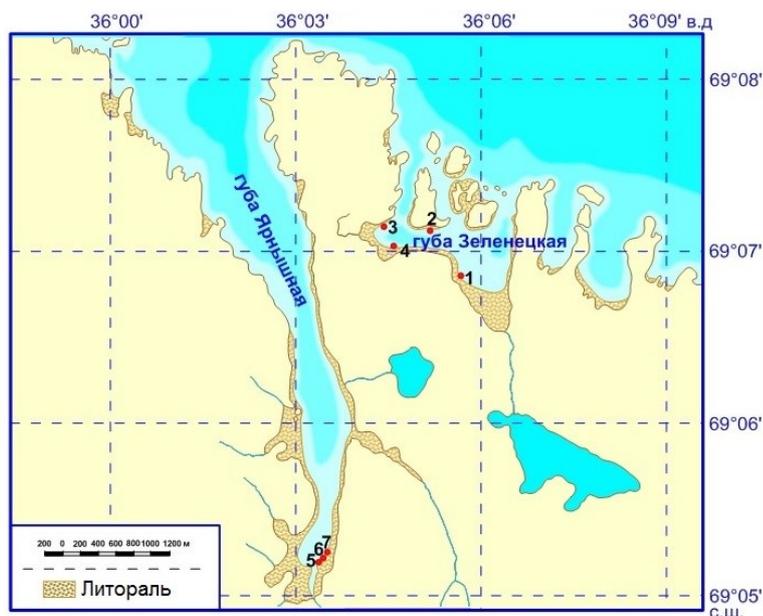


Рис. 1. Карта-схема расположения ихтиологических станций в губах Ярнышная и Зеленецкая Баренцева моря в июле–сентябре 2019 г.

Fig. 1. Sketch map of ichthyological stations in Yarnyishnaya and Zelenetskaya bays Barents Sea in July–September 2019

Т а б л и ц а 2

Объем исследованного материала, экз.

Table 2

Volume of material studied (spec.)

Вид	Губа Ярнышная	Губа Зеленецкая
Горбуша <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792)	10	–
Кумжа <i>Salmo trutta</i> Linnaeus, 1758	1	–
Атлантическая треска <i>Gadus morhua</i> Linnaeus, 1758	6	96
Сайда <i>Pollachius virens</i> (Linnaeus, 1758)	51	74
Трехиглая колюшка <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758	10	5
Атлантический крючкорог <i>Artediellus atlanticus</i> Jordan & Evermann, 1898	–	1
Арктический шлемоносный бычок <i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1830)	21	51
Европейский керчак <i>Myoxocephalus scorpius</i> (Linnaeus, 1758)	133	130
Пинагор <i>Cyclopterus lumpus</i> Linnaeus, 1758	7	33
Европейский липарис <i>Liparis liparis</i> (Linnaeus, 1766)	–	3
Европейская бельдюга <i>Zoarces viviparus</i> (Linnaeus, 1758)	–	2
Атлантический маслюк <i>Pholis gunnellus</i> (Linnaeus, 1758)	5	23
Европейская многопозвонковая песчанка <i>Ammodytes marinus</i> Raitt, 1934	5	–
Речная камбала <i>Platichthys flesus</i> (Linnaeus, 1758)	4	1
Морская камбала <i>Pleuronectes platessa</i> Linnaeus, 1758	17	75
Всего	270	494

Номенклатура и зоогеографическая характеристика видов даны в соответствии с современными представлениями о систематике рыбообразных и рыб (Андряшев, Чернова, 1994; Catalog ..., 2022). Для характеристики равномерности распределения каждого вида вычисляли частоту его встречаемости F . При анализе многолетней динамики количественных характеристик распределения и биоразнообразия сообществ рыб были использованы данные по станциям, выполненным в период наибольших сизигийных отливов в июле (губа Ярнышная) и августе (губа Зеленецкая). Показатели плотности распределения и удельной биомассы видов в каждой губе получены путем суммирования данных по станциям на общую площадь облова. Для оценки биоразнообразия использованы индексы видового богатства Менхиника D_{Mn} , неоднородности Шеннона H' и доминирования Бергера–Паркера d (Мэгарран, 1992).

Результаты и обсуждение. Видовой состав. В летне-осенний период 2019 г. в литорально-сублиторальной зоне исследованных губ отмечено 15 видов рыб, относящихся к 10 семействам 6 отрядов (табл. 3). Атлантический крючкорог *Artediellus atlanticus* впервые зарегистрирован на акватории губы Зеленецкая. По совокупности всех данных (Чумаевская-Световидова, 1955; Русяев и др., 2007; Кудрявцева, 2017, 2018, 2019), ихтиофауна этих районов насчитывает 33 вида и подвида рыб и рыбообразных, что составляет 18.1 % от количества видов, встречающихся в Баренцевом море (Карамушко, 2008).

Наиболее представительным по числу семейств были отряды Scorpaeniformes и Perciformes – 3, а по числу видов – семейство Cottidae – 3. По характеру географического ареала преобладали преимущественно бореальные виды (80 %), а остальную часть составляли бореально-европейские, бореальные и преимущественно арктические виды (по 6.7 % соответственно). Более половины видов (53.3 %) отнесены к промысловым объектам.

Уловы состояли в основном из молоди указанных видов (табл. 3), за исключением речной камбалы, представленной, как правило, крупными половозрелыми особями длиной 25.0–32.1 см. Число видов на станциях варьировало от 8 до 12, максимальное отмечено в губе Ярнышная на ст. 6. Наиболее часто в губе Ярнышная встречалась молодь сайды и европейского керчака (частота встречаемости 100 %), чуть реже (по 77.8 %) – трехиглая колюшка, арктический шлемоносный бычок и пинагор, а в губе Зеленецкая – молодь европейского керчака (100 %), атлантической трески (91.7 %) и атлантического маслюка (83.3 %) (табл. 3). Кумжа и атлантический крючкорог на литорали губ Восточного Мурмана летом 2019 г. отмечены единично.

**Частота встречаемости видов рыб
в губах Восточного Мурмана в летне-осенний период 2019 г.**

Table 3

**Frequency of species occurrence
in Eastern Murman bays during summer and autumn period in 2019**

Таксон	ГА	Губа Зеленецкая				F	Губа Ярнышная			
		Станции					Станции			
		1	2	3	4		5	6	7	F
Отряд Salmoniformes										
Семейство Salmonidae										
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	ПБ	-	-	-	-	-	+	+	-	22.2
<i>Salmo trutta</i>	Б	-	-	-	-	-	-	+	-	11.1
Отряд Gadiformes										
Семейство Gadidae										
<i>Gadus morhua</i>	ПБ	+	+	+	+	91.7	+	+	-	33.3
<i>Pollachius virens</i>	ПБ	+	+	+	+	66.7	+	+	+	100
Отряд Gasterosteiformes										
Семейство Gasterosteidae										
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	ПБ	+	-	+	+	25.0	+	+	+	77.8
Отряд Scorpaeniformes										
Семейство Cottidae										
<i>Arctiellus atlanticus</i>	ПБ	-	-	+	-	8.3	-	-	-	-
<i>Gymnocanthus tricuspis</i>	ПА	+	+	-	+	66.7	+	+	+	77.8
<i>Myoxocephalus scorpius</i>	ПБ	+	+	+	+	100	+	+	+	100
Семейство Cyclopteridae										
<i>Cyclopterus lumpus</i>	ПБ	+	+	+	+	58.3	+	+	+	77.8
Семейство Liparidae										
<i>Liparis liparis</i>	БЕ	-	+	+	+	25.0	-	-	-	-
Отряд Perciformes										
Семейство Zoarcidae										
<i>Zoarces viviparus</i>	ПБ	-	+	-	+	16.7	-	-	-	-
Семейство Pholidae										
<i>Pholis gunnellus</i>	ПБ	+	+	+	+	83.3	+	+	+	100
Семейство Ammodytidae										
<i>Ammodytes marinus</i>	ПБ	-	-	-	-	-	+	+	-	33.3
Отряд Pleuronectiformes										
Семейство Pleuronectidae										
<i>Platichthys flesus</i>	ПБ	-	-	-	+	8.3	+	+	+	44.4
<i>Pleuronectes platessa</i>	ПБ	+	-	+	+	58.3	+	+	+	55.6
Всего видов		8	8	9	11		11	12	8	

ПРИМЕЧАНИЕ. ГА – географический ареал: ПБ – преимущественно бореальный, Б – бореальный, БЕ – бореально-европейский, ПА – преимущественно арктический вид; F – частота встречаемости.

Распределение. В среднем за период исследований в 2019 г. общая плотность рыб в куту губы Ярнышная составляла 0.9 тыс. экз/га и 6.1 кг/га, а в литоральной зоне губы Зеленецкая – 1.5 тыс. экз/га и 3.7 кг/га соответственно. Прибрежные сообщества рыб в этих губах различались как по видовому составу, так и по количественным характеристикам распределения отдельных видов (рисунки 2, 3). В губе Ярнышная отмечены горбуша, кумжа и европейская многопозвонковая песчанка, но отсутствовали атлантический крючкорог, европейский липарис и европейская бельдюга, наблюдались более плотные скопления трехиглой колюшки и речной камбалы. Акваторию губы Зеленецкая предпочитали атлантическая треска, пинагор, атлантический маслюк и морская камбала. Плотность других общих для двух губ видов в разных районах различалась незначительно.

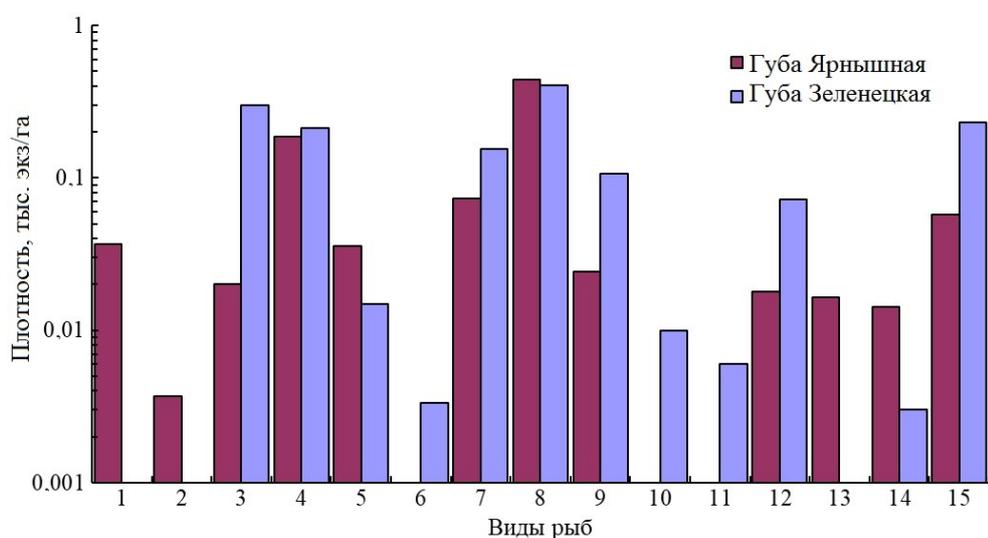


Рис. 2. Средняя плотность распределения рыб в губах Восточного Мурмана в летне-осенний период 2019 г.:

1 – *O. gorbuscha*, 2 – *S. trutta*, 3 – *G. morhua*, 4 – *P. virens*, 5 – *G. aculeatus*, 6 – *A. atlanticus* 7 – *G. tricuspis*, 8 – *M. scorpius*, 9 – *C. lumpus*, 10 – *L. liparis* 11 – *Z. viviparus*, 12 – *P. gunnellus*, 13 – *A. marinus*, 14 – *P. flesus*, 15 – *P. platessa*

Fig. 2. Mean density of fish distribution in Eastern Murman bays in summer and autumn period 2019:

1 – *O. gorbuscha*, 2 – *S. trutta*, 3 – *G. morhua*, 4 – *P. virens*, 5 – *G. aculeatus*, 6 – *A. atlanticus* 7 – *G. tricuspis*, 8 – *M. scorpius*, 9 – *C. lumpus*, 10 – *L. liparis*, 11 – *Z. viviparus*, 12 – *P. gunnellus*, 13 – *A. marinus*, 14 – *P. flesus*, 15 – *P. platessa*

Наиболее обильным по численности видом в сообществах рыб являлся европейский керчак, плотность которого в обеих губах в среднем за период наблюдений достигала 0.4 тыс. экз/га (рис. 2). Субдоминантными видами в губе Ярнышная была сайда, в губе Зеленецкая – атлантическая треска, сайда и морская камбала, численность каждого вида составляла 0.2–0.3 тыс. экз/га. Основу биомассы прибрежных сообществ рыб

составляли в губе Ярнышная единичные взрослые особи речной камбалы (4.5 кг/га), в губе Зеленецкая морская камбала (1.9 кг/га), представленная в уловах не только сеголетками, но и достаточно многочисленной старшей молодью (рис. 3). Количественные показатели распределения других видов были на порядки меньше.

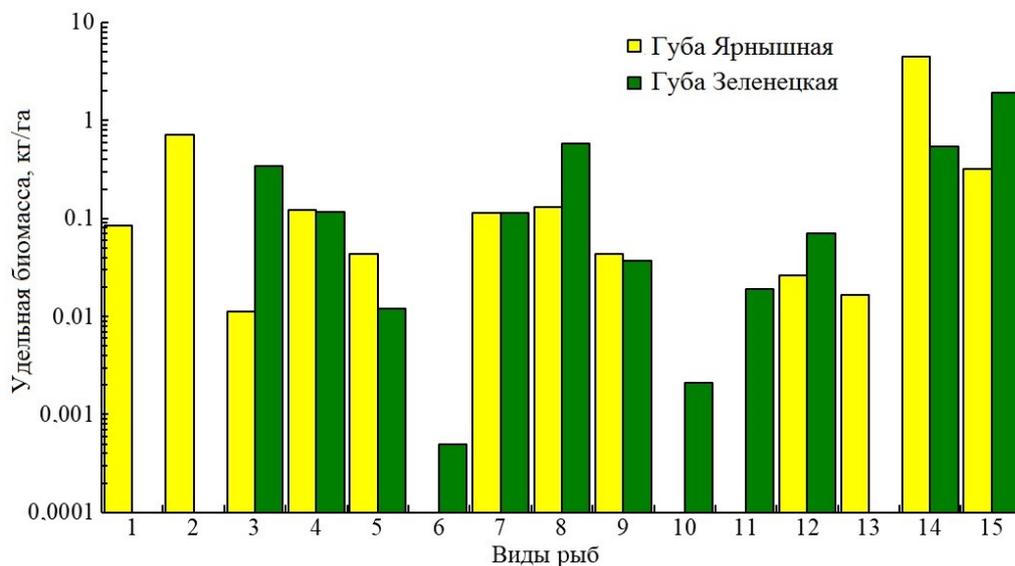


Рис. 3. Средняя удельная биомасса рыб в губах Восточного Мурмана в летне-осенний период 2019 г.:

1 – *O. gorbuscha*, 2 – *S. trutta*, 3 – *G. morhua*, 4 – *P. virens*, 5 – *G. aculeatus*, 6 – *A. atlanticus* 7 – *G. tricuspis*, 8 – *M. scorpius*, 9 – *C. lumpus*, 10 – *L. liparis* 11 – *Z. viviparus*, 12 – *P. gunnellus*, 13 – *A. marinus*, 14 – *P. flesus*, 15 – *P. platessa*

Fig. 3. Mean specific fish biomass in Eastern Murman bays in summer and autumn 2019:

1 – *O. gorbuscha*, 2 – *S. trutta*, 3 – *G. morhua*, 4 – *P. virens*, 5 – *G. aculeatus*, 6 – *A. atlanticus* 7 – *G. tricuspis*, 8 – *M. scorpius*, 9 – *C. lumpus*, 10 – *L. liparis* 11 – *Z. viviparus*, 12 – *P. gunnellus*, 13 – *A. marinus*, 14 – *P. flesus*, 15 – *P. platessa*

В течение периода наблюдений общая плотность рыб на литорали исследованных губ сохранялась на относительно низком уровне и не превышала 1.9 тыс. экз/га. В июле сопоставимые по обилию скопления рыб в прибрежной зоне исследованных губ почти наполовину состояли из сеголеток сайды, плотность которой не превышала 0.5 тыс. экз/га (рис. 4). Субдоминантным видом в обеих губах была молодь европейского керчака с плотностью распределения около 0.2 тыс. экз/га. Сеголетки трески в начале июля были отмечены только в губе Зеленецкая, численность этого вида к августу существенно возросла и достигла максимума – 0.6 тыс. экз/га. В губе Ярнышная молодь трески держалась очень разреженно, ее плотность в августе–сентябре не превышала 0.04 тыс. экз/га.

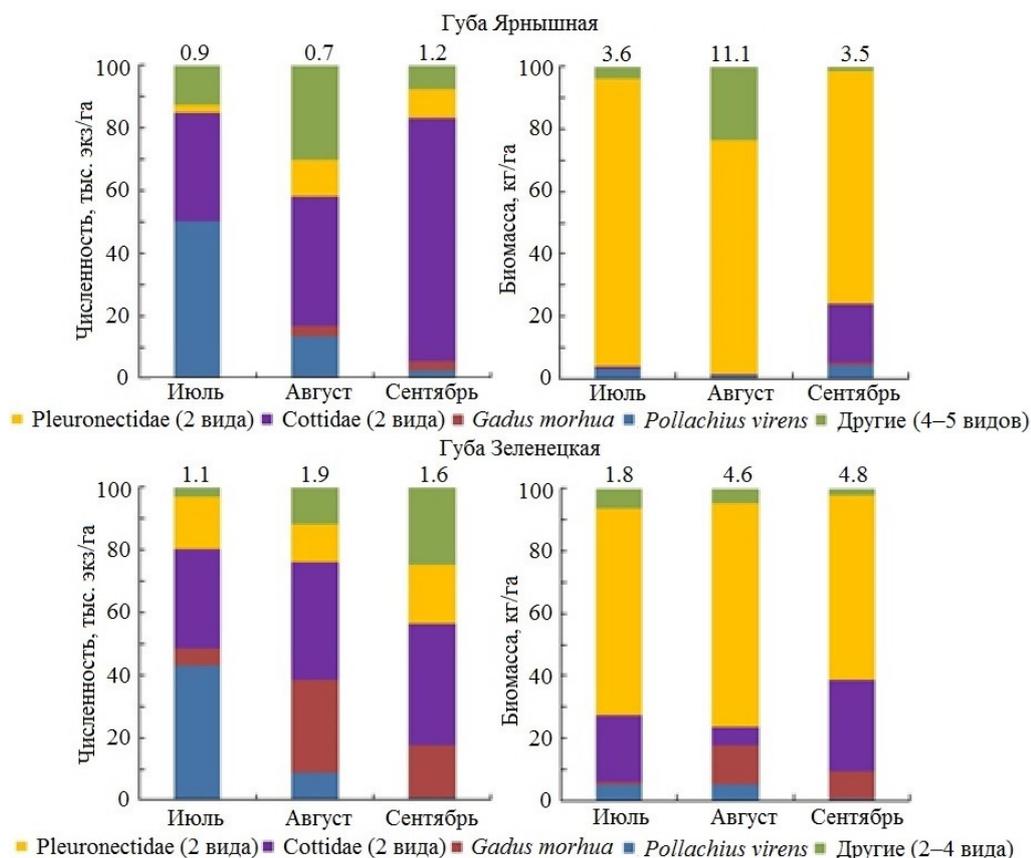


Рис. 4. Пространственно-временные изменения структуры литорально-сублиторальных сообществ рыб в июле–сентябре 2019 г. Цифры над столбиками показывают общую численность и удельную биомассу рыб

Fig. 4. Spatio-temporal changes in the structure of the littoral-sublittoral fish communities in July–September 2019. The numbers above the bars show the total density and the specific biomass of fish

С июля по сентябрь на литорали исследованных губ наблюдалось снижение численности сайды. И уже в начале августа в сообществах преобладали представители семейств Cottidae (европейский керчак и арктический шлемоносный бычок), а также наблюдалось увеличение плотности скоплений атлантической трески (в губе Зеленецкая до августа), морской камбалы, атлантического маслюка и пинагора. Эти изменения происходили одновременно в обеих губах.

Биомасса рыб на исследованной акватории губы Ярнышная не превышала 11.1 кг/га, в губе Зеленецкая – 4.8 кг/га. В течение всего периода наблюдений в 2019 г. доминирующее положение по удельной биомассе занимали представители семейства Pleuronectidae: речная камбала (2.2–7.9 кг/га) – в губе Ярнышная, преимущественно морская камбала (1.2–2.9 кг/га) – в губе Зеленецкая (рис. 4).

Анализ результатов исследований за предыдущие годы показал, что в 2019 г. сообщества рыб отличались сравнительно богатым видовым составом (12 видов), однако массовых скоплений рыб в прибрежной зоне не наблюдалось. В губе Ярнышная наиболее велика доля численности сайды (50 %) в июле в сообществах рыб, а в губе Зеленецкая – атлантической трески (30 %) в августе (рисунки 5, 6). Однако и субдоминантные виды имели достаточно высокую плотность распределения: в губе Ярнышная – европейский керчак (0.2 тыс. экз/га), в губе Зеленецкая – европейский керчак (0.5 тыс. экз/га), арктический шлемоносный бычок (0.3 тыс. экз/га) и морская камбала (0.2 тыс. экз/га). Доминирующим по биомассе видом в прибрежных сообществах рыб губы Ярнышная была речная камбала (3.2 кг/га), а в губе Зеленецкая – морская и речная камбалы с плотностью 1.7 и 1.6 кг/га соответственно.

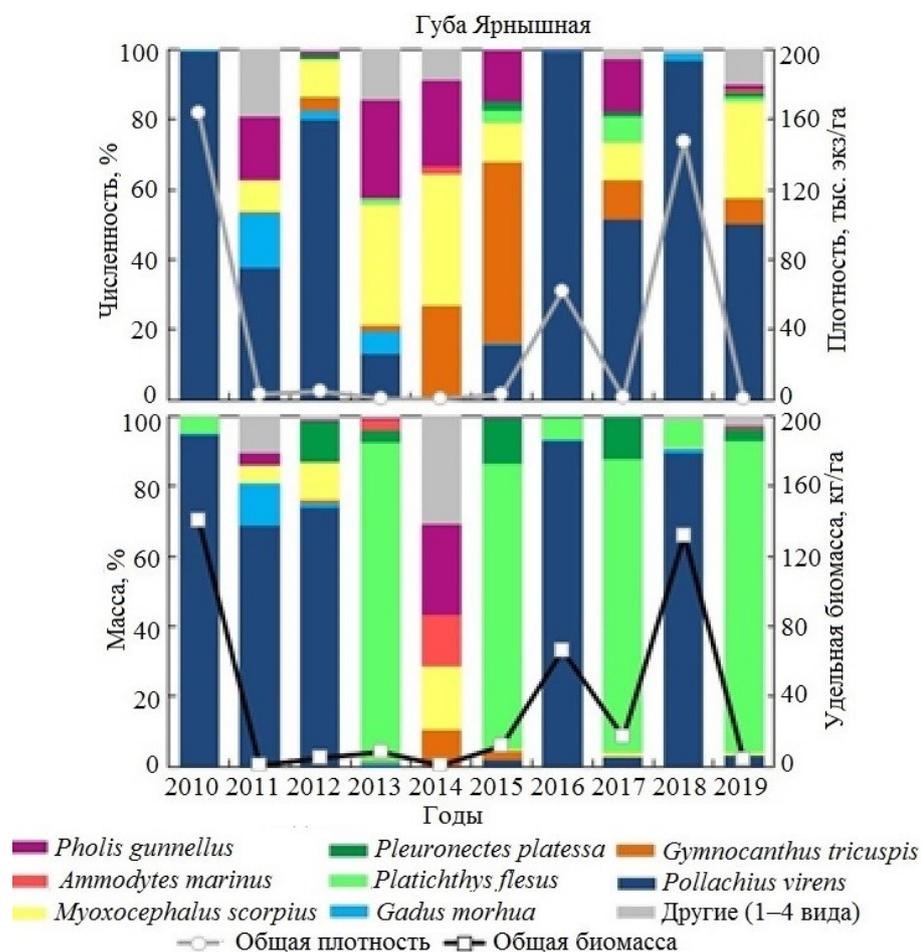


Рис. 5. Многолетняя динамика количественных показателей распределения рыб в прибрежной зоне губы Ярнышная в летний период

Fig. 5. Dynamics of quantitative characteristics of ichthyofauna distribution in coastal zone of Yarnyshnaya Bay in summer period

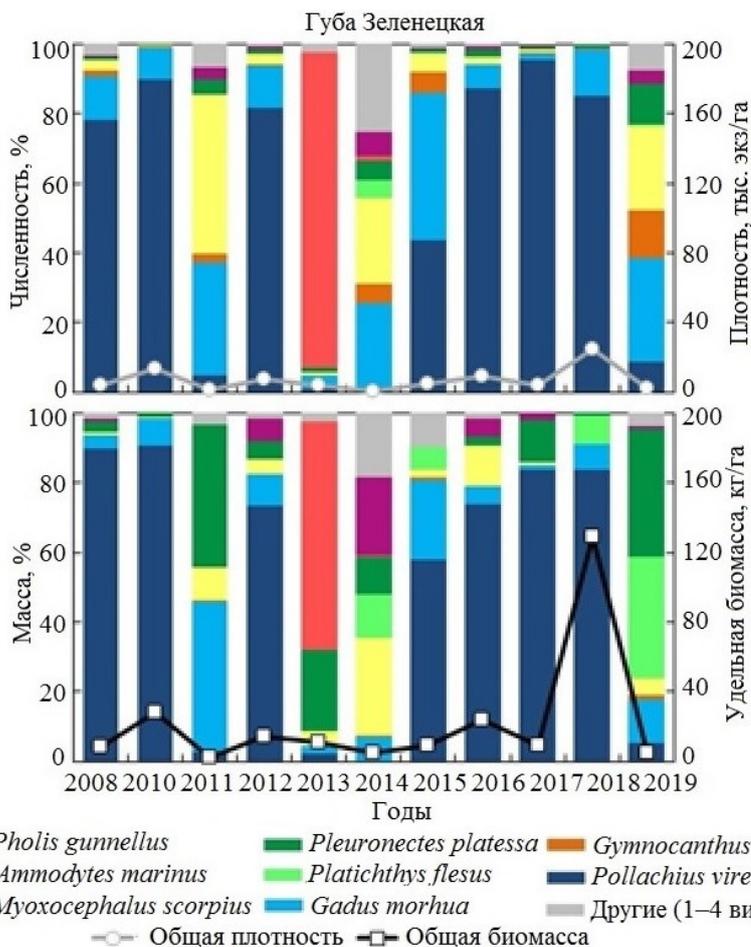


Рис. 6. Многолетняя динамика количественных показателей распределения рыб в прибрежной зоне губы Зеленецкая в летний период

Fig. 6. Dynamics of quantitative characteristics of ichthyofauna distribution in coastal zone of Zelenetskaya Bay in summer period

По степени обилия молоди тресковых видов 2019 г. следует охарактеризовать как год их низкой численности. Суммарная плотность распределения этих видов составляла, соответственно, 0.4 и 0.7 тыс. экз/га. Сходные данные наблюдались нами в 2011, 2013 и 2014 гг., когда прибрежные сообщества рыб отличались наиболее высоким видовым богатством (11–13 видов) и относительно высокой плотностью фоновых видов, в частности, европейского керчака, арктического шлемоносного бычка, европейской многопозвонковой песчанки, атлантического маслюка и морской камбалы.

Биоразнообразие сообществ. В июле 2019 г. на литорали губы Ярнышная рыбные сообщества характеризовались относительно высокими индексами видового богатства и биоразнообразия ($D_{Mn} = 1.1$, $H' = 2.1$), обусловленными низкой численностью и степенью доминирования сайды

($d = 0.5$) (рис. 7). В августе прибрежная ихтиофауна губы Зеленецкая вследствие незначительного преобладания атлантической трески ($d = 0.3$) отличалась высокой выравненностью других видов, что отразилось в заметном увеличении индекса Шеннона ($D_{Mn} = 0.7, H' = 2.7$).

Сходные высокие показатели биоразнообразия прибрежной ихтиофауны наблюдались при низкой степени доминирования преобладающего вида ($d \leq 0.52$) и при наличии в сообществах содоминантов или субдоминантов. Такими характеристиками, как правило, обладали литоральные сообщества рыб в годы отсутствия или невысокой численности сеголеток сайды.

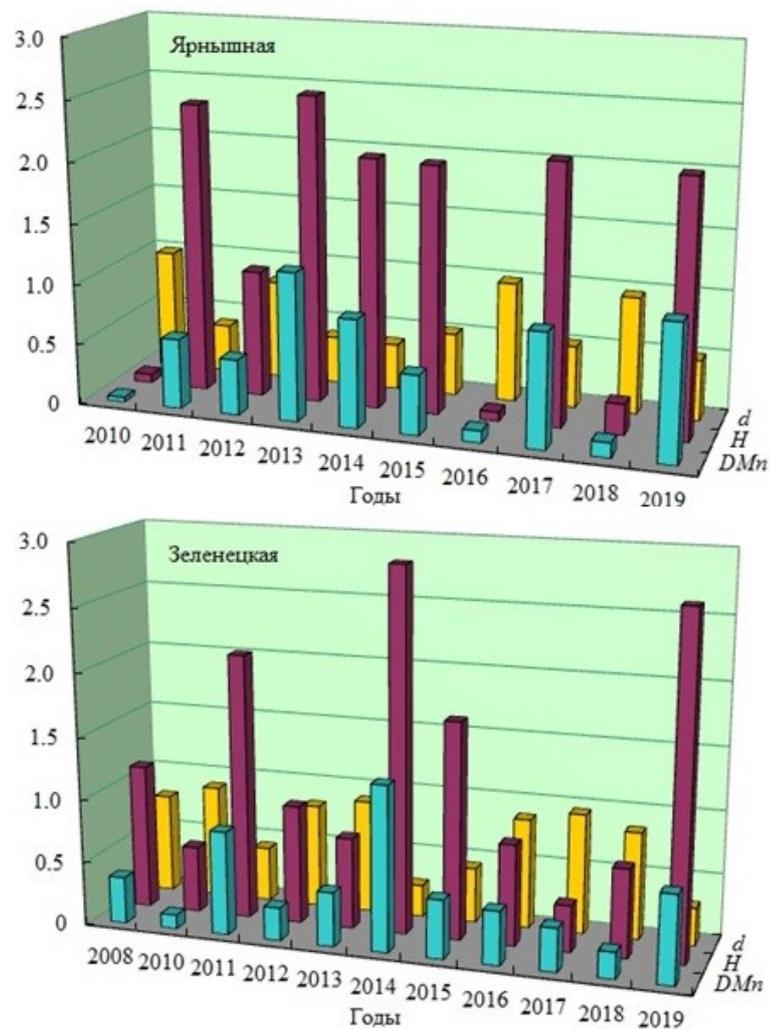


Рис. 7. Динамика показателей видового разнообразия рыбной части прибрежных сообществ в губах Ярнышная (июль) и Зеленецкая (август)

Fig. 7. Dynamics of indices of diversity of coastal fish communities in Yarnyshnaya (July) and Zelenetskaya (August) bays

Заключение. В летне-осенний период 2019 г. ихтиофауну губ Восточного Мурмана составляли 15 видов, среди которых наиболее часто встречались сеголетки керчаковых и тресковых рыб.

Массовых скоплений рыб в прибрежной зоне не наблюдалось, их общая плотность распределения в разных районах в среднем за период исследований не превышала 1.5 тыс. экз/га по численности и 6.1 кг/га по биомассе. Наиболее обильным по численности видом являлся европейский керчак, по массе – речная камбала в губе Ярнышная и морская камбала в губе Зеленецкая.

В структуре литоральных сообществ рыб в 2019 г. наблюдались внутрисезонные изменения: снижение численности молоди сайды, связанное с особенностями ее экологии, и увеличение плотности атлантической трески, европейского керчака, арктического шлемоносного бычка, морской камбалы, атлантического маслюка и пинагора.

В сравнении с многолетними данными 2019 г. характеризовался низкой плотностью рыб в прибрежной зоне, обусловленной низкой численностью и степенью доминирования молоди тресковых видов. Рыбные сообщества отличались высоким видовым богатством и значительной степенью выравненности видов, что отразилось в заметном увеличении их биоразнообразия. Сходные характеристики обилия и биоразнообразия прибрежной ихтиофауны наблюдались нами в годы отсутствия или невысокой численности сеголеток сайды – 2011, 2013 и 2014 гг.

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам ММБИ РАН М.В. Макарову, И.В. Рыжик, Д.В. Пуговкину, Д.О. Салахову, М.В. Митяеву, М.В. Герасимовой за всестороннюю помощь в проведении исследований и сборе материала.

Работа выполнена по теме “Биология, экофизиология и разнообразие рыб Арктики” (№ госрегистрации 121091600098-9) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Андряшев А.П., Чернова Н.В. Аннотированный список рыбообразных и рыб морей Арктики и сопредельных вод // Вопросы ихтиологии. 1994. Т. 34, № 4. С. 435–456.

Бондарев О.В. Питание и межвидовые отношения сеголеток трески и сайды в летний период 2012 года в губе Зеленецкая // Исследования экосистем морей Арктики: Матер. XXXV конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной Году экологии в России. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2017. С. 19–24.

Ихтиофауна прибрежной зоны губ Восточного Мурмана (Ярнышная, Зеленецкая) в летний период 2013 г. / К.И. Ким, О.В. Бондарев, О.Ю. Кудрявцева, С.С. Малавенда // Проблемы Арктического региона: Матер. XIV Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов. Т. II. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2014. С. 84–85.

Карамушко О.В. Видовой состав и структура ихтиофауны Баренцева моря // Вопросы ихтиологии. 2008. Т. 48, № 3. С. 293–308.

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-во 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. Новые поимки северного пятиусого налима *Ciliata septentrionalis* (Lotidae) в Баренцевом море // Вопросы ихтиологии. 2017. Т. 57, № 4. С. 472–474.

Кудрявцева О.Ю. Структура прибрежных сообществ рыб в губах Ярнышная и Зеленецкая (Восточный Мурман) // Вопросы ихтиологии. 2018. Т. 58, № 4. С. 428–438.

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

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

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

Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение: Пер. с англ. М.: Мир, 1992. 184 с.

Представители ихтиофауны в прибрежных зонах губ Ярнышная и Зеленецкая в летний период в 2013 и 2014 гг. / О.В. Бондарев, К.И. Ким, С.С. Малавенда, О.Ю. Кудрявцева // Проблемы Арктического региона: Тез. докл. XV Междунар. науч. конф. студентов и аспирантов (г. Мурманск, 14 мая 2015 г.). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2015. С. 70–71.

Русяев С.М., Долгов А.В., Карамушко О.В. Случаи поимок змеевидной иглы-рыбы *Entelurus aequoreus* (Syngnathiformes, Syngnathidae) в Баренцевом и Гренландском морях // Вопросы ихтиологии. 2007. Т.47, № 4. С. 574–576.

Ушаков П.В. Мурманская биологическая станция Академии наук СССР в губе Дальне-Зеленецкой и ее первые научные работы // Тр. Мурман. биол. станции АН СССР. 1948. Т. 1. С. 10–32.

Чугунова Н.И. Сравнительные данные по росту молодой трески из прибрежных районов Мурмана в различные годы // Тр. Мурман. мор. биол. ин-та АН СССР. 1967. Вып. 15(19). С. 44–53.

Чумаевская-Световидова Е.В. Видовой состав рыб в районе Мурманской биологической станции // Тр. Мурман. биол. станции АН СССР. 1955. Т. 2. С. 5–11.

Catalog of fishes: genera, species, references / R. Fricke, W.N. Eschmeyer, R. van der Laan (Eds). Electronic version accessed 08 March 2022. URL: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.006
УДК 551.463

Т.М. Максимовская, И.Ф. Запорожцев

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ИЗМЕНЧИВОСТЬ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И СОЛЕННОСТИ ВОД В АВГУСТЕ–СЕНТЯБРЕ НА РАЗРЕЗЕ “КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН” С 1970 ПО 2019 ГОДЫ

Аннотация

В работе рассматриваются межгодовая изменчивость температуры и солёности вдоль океанографического разреза “Кольский меридиан” с 1970 по 2019 гг. с использованием натуральных измерений из базы данных Мирового океана, ИКЕС и локальной базы данных Мурманского морского биологического института РАН. Рассчитаны обновленные нормы и аномалии температуры и солёности воды. С помощью метода главных компонент проведено объединение станций разреза с учетом схемы течений Баренцева моря. Выполнена классификация аномалий температуры воды на разрезе по типу года. Наиболее теплый год в августе–сентябре (1970–2017 гг.) был выявлен с 1970 по 1976 гг. Спектральный анализ рядов аномалий температуры, а также рядов внешних влияющих на него факторов показал наличие нескольких значимых периодичностей.

Ключевые слова: Баренцево море, разрез “Кольский меридиан”, температура, солёность, нормы и аномалии.

T.M. Maksimovskaya, I.F. Zaporozhtsev

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

VARIABILITY OF WATER TEMPERATURE AND SALINITY ANOMALIES IN AUGUST–SEPTEMBER ON THE TRANSECT “KOLA SECTION” FOR THE PERIOD FROM 1970 TO 2019

Abstract

The paper considers the interannual variability of temperature and salinity along the oceanographic section of the transect “Kola Section” for the period 1970–2019 using field measurements from the World Ocean Database, ICES and the local database of the Murmansk Marine Biological Institute RAS. Updated norms and anomalies of water temperature and salinity were calculated. Using the principal component analysis, the stations of the section were combined according to the scheme of currents of the Barents Sea. The classification of water temperature anomalies in the section according to the type of year was made. The warmest for the period from 1970 to 2017 in August–September was identified from 1970 to 1976. Spectral analysis of series of temperature anomalies, as well as series of external factors influencing it, showed the presence of several significant periodicities.

Keywords: Barents Sea, transect “Kola Section”, temperature, salinity, norms and anomalies.

Введение. Главной особенностью Баренцева моря, выделяющей его среди других шельфовых морей Арктики, является широкомасштабное поступление атлантических вод через его западную границу. Благодаря отепляющему влиянию этого потока в водоеме складывается многообразие идентифицированных водных масс и их локальных модификаций, высокая сезонная и многолетняя изменчивость гидрологических условий в бассейне. К числу факторов, определяющих динамичность гидрологического режима, относятся также климатообразующие факторы, из которых наиболее значимыми следует считать крупномасштабную циркуляцию атмосферы и теплообмен морской поверхности с атмосферой. Глобальные климатические изменения, активно отражающиеся на состоянии водоема с конца 1990-х гг. вынуждают уточнять и пересматривать установленные ранее климатические нормы, характеризующие гидрологический режим Баренцева моря. Наиболее информативной характеристикой для всего водоема является поступление тепла из Северной Атлантики с ветвями Нордкапского течения, в частности – актуализация норм и аномалий температуры и солености вод в наиболее репрезентативном участке моря. При исследовании сезонных и многолетних изменений океанологического режима вод необходим массив данных, адекватно отображающих взаимодействие основных потоков, формирующих структуру вод бассейна. Традиционно таким участком является разрез “Кольский меридиан”, который проходит по 33°30' восточной долготы от 69°30' до 78° северной широты (или до ледовой кромки). Первые исследования здесь были выполнены в 1900 г. и к настоящему моменту насчитывают более чем вековую историю наблюдений на станциях. Для этого разреза характерен наиболее репрезентативный набор данных, необходимый для исследования процессов климатического масштаба на акватории Баренцева моря. Разрез пересекает Прибрежную и Основную ветви Мурманского течения, Центральную ветвь Нордкапского течения, Центральное и течение Персея (рис. 1) (Карсаков, 2009). Результаты наблюдений на разрезе “Кольский меридиан” публикуются в большом количестве как российскими, так и зарубежными учеными (Loeng, 1991; Терещенко, 1997; Ottersen et al., 2005; Исследование ..., 2005; Бочков, 2005; Бойцов, 2007; Матишов и др., 2007; Карсаков, 2009; Современные ..., 2011; Voitsov et al., 2012; Seasonal ..., 2018; Запорожцев, Моисеев, 2018 и др.).

Принятые в ММБИ до настоящего времени нормы температуры и солености были вычислены на основании данных с 1900 по 2001 гг. (Голубев и др., 1992; Climatic ..., 2004). Следует упомянуть, что эти характеристики рассчитаны на участке разреза, ограниченном 74° с. ш. (10 стандартных станций) из-за более сложной в тот период ледовой обстановки и постановки более узкой задачи – анализа потоков только теплых вод. Нормы и аномалии температуры используются до настоящего времени для классификации гидрологического года по тепловому признаку теплый–холодный, а также для рыбопромыслового прогнозирования.

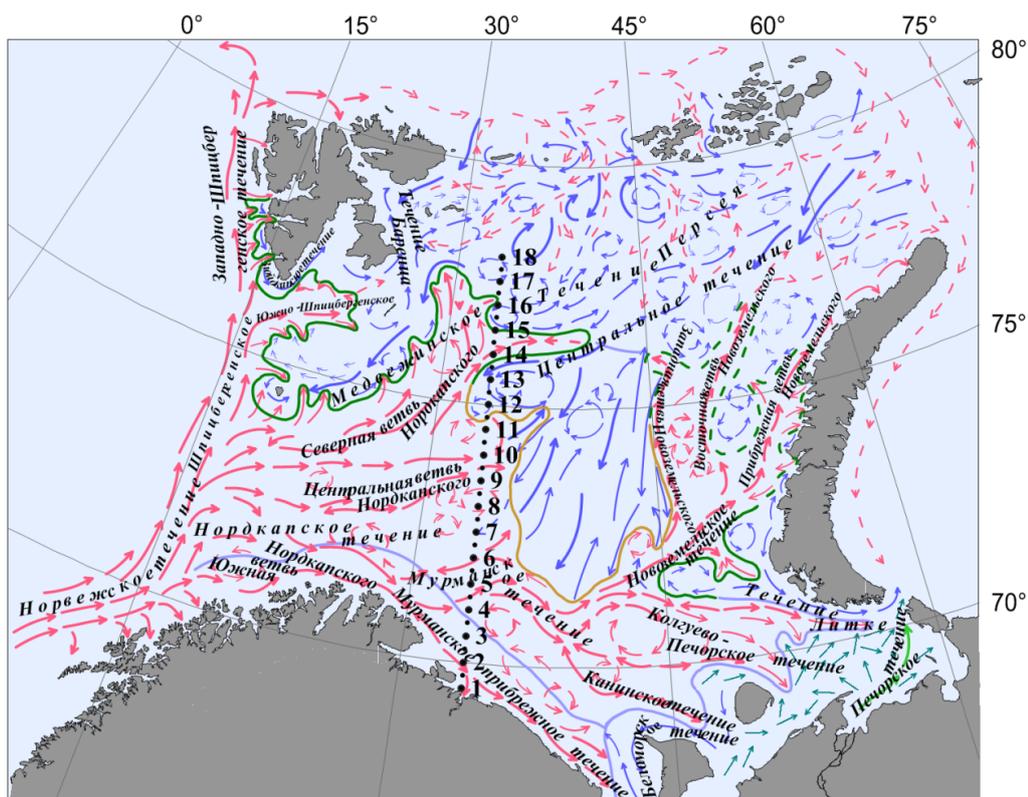


Рис. 1. Положение станций разреза “Кольский меридиан” на карте течений Баренцева моря (Климатические ..., 2010)

Fig. 1. Position of the of the transect “Kola Section” stations on the Barents Sea current map (Климатические ..., 2010)

В связи с этим авторами была поставлена задача оценить изменчивость аномалий температуры и солёности вод на разрезе “Кольский меридиан” в период климатических флуктуаций по данным собранных инструментальных наблюдений (1970–2019 гг.). При этом расчет норм и аномалий проводился относительно того, в какой водной массе находится точка наблюдений в конкретный момент времени. Кроме того ставилась задача увеличения количества стандартных станций разреза для получения более исчерпывающей информации о состоянии моря, не ограничиваясь потребностями прогнозов рыбного промысла.

Материал и методы. В работе использовались материалы из общедоступной базы данных Мирового океана (<https://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/dbsearch/dbsearch.html>) и Международного совета по исследованию моря (<https://www.ices.dk/data/data-portals/Pages/ocean.aspx>), а также локальные данные, полученные в ходе экспедиций Мурманского морского биологического института РАН и Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии

им. Н.М. Книповича с 2000 по 2019 гг., не вошедшие в международные базы данных. В общей сложности для анализа было отобрано 12580 станций профилирования температуры и 7030 станций профилирования солёности воды на разрезе.

В работе применяли характеристики, которые предполагались потенциальными предикторами возможной регрессионной модели и для которых исследовалась периодическая составляющая их изменчивости: число Вольфа (показатель солнечной активности, ежемесячные значения 1970–2019 гг.; <http://meteo-dv.ru/geospace/averageMonthW>); ледовитость Баренцева моря (ежемесячные значения 1977–2015 гг., локальная база данных ММБИ; индекс Арктического колебания (ежемесячные значения 1970–2015 гг.; https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/monthly.ao.index.b50.current.ascii); индекс Северо-Атлантического колебания (ежемесячные значения 1970–2019 гг.; <http://crudata.uea.ac.uk/cru/data/nao/>).

Результаты и обсуждение. Количество выполняемых станций при исследовании разреза “Кольский меридиан” не является фиксированной величиной и зависит от многих внешних факторов, а также целей и задач экспедиций. Десять наиболее часто выполняемых станций разреза (от 69°30' до 74° с. ш.) имеют различную дискретность – от 15' до 30' по широте. В отдельных экспедициях измерения на разрезе выполнялись с дискретностью в 15 морских миль от 69°30' с.ш. вплоть до ледовой кромки для выявления более подробной структуры пересекаемых разрезом участков Полярной фронтальной зоны Баренцева моря. При отсутствии единой программы целевого мониторинга (после 1990 г.) используемые в работе гидрологические данные со станций разреза имеют нерегулярный характер, как во временном, так и в пространственном разрешении.

Расчет норм и аномалий термохалинных характеристик среды проводился с дискретностью по глубине через каждые 5 м. Однако, несмотря на то, что современные зондирующие устройства появились до 1970 гг., наибольшее количество задействованных данных соответствует стандартным горизонтам батометрических исследований. Как следствие, на большом количестве используемых станций проводилась интерполяция значений по глубине.

Количественное распределение океанографических станций показано на рис. 2. Максимальное число наблюдений за анализируемый период в 50 лет было выполнено в мае, августе и апреле, минимальное – в октябре, сентябре и январе.

Число анализируемых станций разреза в данной работе не является фиксированным для всех расчетных периодов (месяцев) и варьирует от 10 до 18 (от 69°30' до 78° с. ш.). Объем значений температуры на станциях разреза превышает количество измерений солёности, что связано с техническими затруднениями измерения солёности при батометрических наблюдениях в 1970–1980-х гг. или при батитермографическом зондировании.

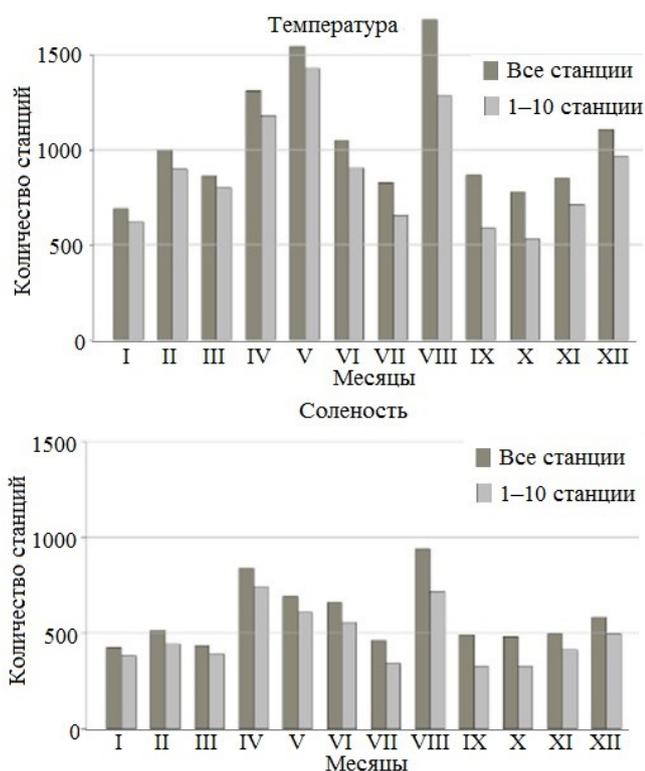


Рис. 2. Количество доступных для анализа океанографических станций на разрезе “Кольский меридиан”

Fig. 2. Number of available oceanographic stations in the transect “Kola Section”

Климатические нормы используются для сравнительной оценки результатов текущих наблюдений, анализа трендов и прогнозирования гидрологических условий в изучаемом районе или в водоеме в целом. Всемирная метеорологическая организация рекомендует использовать для оценки климатических условий временной период усреднения равный 30 годам (Руководство ..., 2018). Данный период был выбран в качестве стандарта, так как при составлении руководящих документов по анализу наблюдений и подготовке климатических сводок в первой половине XX века в распоряжении исследователей имелись данные только за 30 лет. В данной работе рассматривается временной отрезок длительностью в 50 лет – с 1970 по 2019 гг. Выбор периода основан на результатах исследований климатологов СССР, которые показали, что оптимальными являются нормы, рассчитанные за 50–70 лет, так как с увеличением периода осреднения устойчивость норм возрастает (Климатология ..., 1989). При этом количество данных STD-зондирования водной толщи, дающего более подробные сведения о

профилях температуры и солености в сравнении с батометрической съемкой, значительно увеличивалось. К настоящему времени батометрические наблюдения в море не практикуются вовсе.

Для оперативного расчета норм и аномалий было создано веб-приложение, реализованное на языке программирования R. Оно предназначено для работы с наиболее распространенными входными файлами формата *.csv и *.xls/.xlsx. Вывод пересчитанных аномалий проводился в формате *.xlsx.

С помощью рассчитанных программой норм температуры и солености воды на разрезе были получены аномалии соответствующих характеристик. Следует еще раз подчеркнуть неравномерность наблюдений последних лет на всех станциях разреза (18 станций). Поэтому для интерпретации полученного материала были взяты результаты расчета аномалий лишь за два наиболее обеспеченных данными месяца – август и сентябрь (измерения часто выполнялись на стыке двух месяцев, в связи с чем были объединены) в период с 1970 по 2015 гг. Рассчитанные аномалии были осреднены по трем, принятым в гидрологии и морской промысловой биологии, слоям, м: 0–50, 150–200, 0–дно.

Верхний 50-метровый слой наиболее подвержен влиянию притока солнечной радиации, теплообмена с атмосферой и активного ветроволнового перемешивания. Благодаря чему здесь должны быть более выраженными все циклические процессы. Промежуточный слой от 150 до 200 м отражает изменчивость аномалий температуры и солености в довольно тонком заглубленном слое. Интегральная аномалия по всему столбу воды на станции показывает общую динамику теплового и солевого состояния вод на разрезе “Кольский меридиан”.

Для уменьшения информационного шума при расчете климатических аномалий температуры и солености воды используется расчет осредненных характеристик в струях основных течений Баренцева моря: Прибрежной ветви Мурманского течения (течение 1), Основной ветви Мурманского течения (течение 2), Центральной ветви Нордкапского течения (течение 3), Центрального (течение 4) и течения Персея (течение 5). Такой подход оценки главным образом термического состояния вод Баренцева моря дает ясную физическую интерпретацию. А также, что важно в современных ограниченных объемах исследований, пространственное осреднение по течениям позволяет получить более репрезентативный ряд с меньшим количеством пропусков. Такое осреднение можно выполнять, объединяя станции соответственно географическому положению течений на карте либо осуществляя деление станций на основе результатов статистической обработки. Здесь в качестве последнего использовался метод главных компонент, сущность которого состоит в расчете определенных функций (главных компонент), которые более эффективно описывают закономерности,

содержащиеся в исходных рядах данных. Однако, несмотря на преимущества подхода, выражающиеся в автоматизации процесса, имеется и недостаток. Составленные по статистическому признаку группы станций не всегда соответствуют их географическому делению.

Объединение происходит как для нескольких ветвей течений, так и для всех станций разреза. Особенно в летние месяцы, когда верхний слой прогрет и не наблюдаются значительные градиенты температуры. На рисунке 3 станции сгруппированы по старым и новым нормам температуры и солёности. По вертикали точками, соединенными линиями, по месяцам показаны для сравнения старая и новая норма температуры и солёности. Горизонтальными линиями разделены течения по географическому признаку. Вертикальные пунктирные красные линии представляют случаи, когда данных не было. По температуре наиболее четко выделяется только течение Персея с мая по сентябрь. Для остальных деление станций методом главных компонент не дало ожидаемого результата, поэтому географическое деление станций остается наиболее предпочтительным.

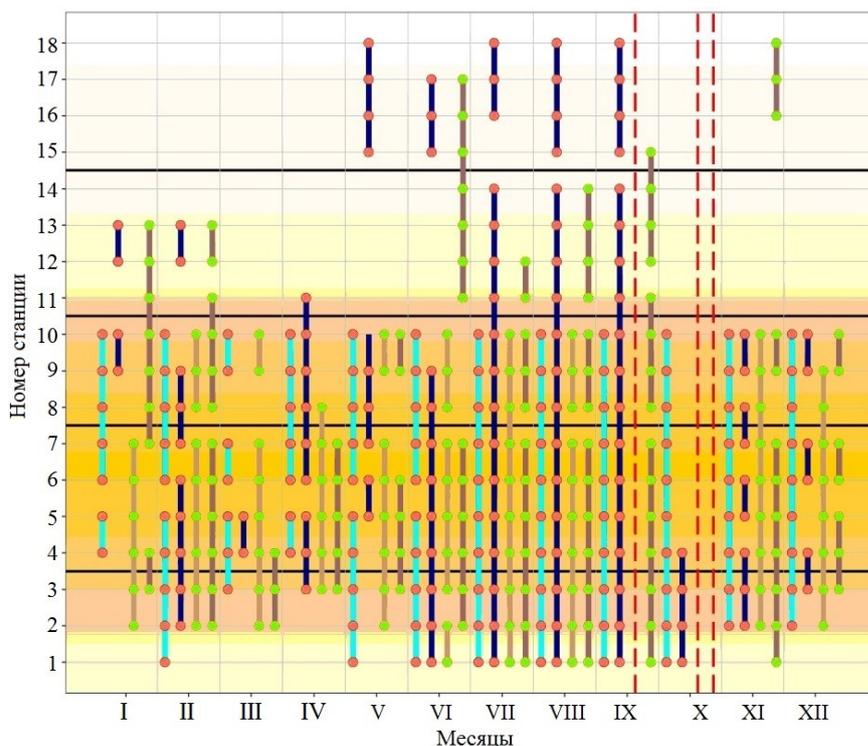


Рис. 3. Объединение станций разреза методом главных компонент
 Fig. 3. Combination of the transect stations by the principal component analysis

Исходя из полученных аномалий температуры воды в августе–сентябре 1970–2015 гг., выполнена типизация лет по градации: аномально теплый, теплый, нормальный (средний), холодный год (рис. 4). В качестве

критерия классификации принималась величина соотношения между аномалиями температуры и среднеквадратичными отклонениями использовались осредненные по 16 станциям отклонения (Бровин, Юлин, 1990). Для расчета среднеквадратического отклонения разреза использовали значения аномалии температуры в слое от поверхности до дна. Среднеквадратическое отклонение, характеризующее разброс значений относительно среднего, для ряда с 1970 по 2015 гг. составило 0.52 °С. Минимальная величина аномалии была -0.74 °С, максимальная – 1.12 °С, среднее – 0.34 °С. Относительно среднеквадратического отклонения происходило распределение по типам лет. Применение критерия для определения типа года показало, что в рассматриваемой выборке года относились к четырем типам: аномально теплomu, теплomu, нормальному и холодному. Большая часть периода исследования соответствовала нормальному типу – 18 лет, аномально теплых лет было 12, теплых – 11, холодных – 5. Наиболее теплым был период с 1970 по 1976 гг., здесь наблюдалось последовательно пять лет, характеризующихся как аномально теплые.

Для определения наиболее значимых периодов в рядах аномалий температуры был выполнен спектральный анализ и построены периодограммы для слоев 0–50 м, 150–200 м и 0–дно и трех течений (1–3) в августе–сентябре (рис. 5). Перед исследованием периодических составляющих выполнялась стандартизация данных (центрирование и нормирование). На всех периодограммах, кроме слоя 0–дно, заметен существенный пик в начале спектра, который является показателем наличия трендовой составляющей. Для течения 2 и слоя 150–200 м наблюдается наибольшая мощность для начальных частот. Для него же во всех слоях хорошо выражены периодические составляющие на 7.5 лет. Слой 0–дно этого течения демонстрирует пики в 7.5, 5.5, 3.3, 3 года.

Рассмотрим взаимосвязь между изменчивостью межгодового хода аномалий температуры и солёности и четырьмя параметрами, оказывающими воздействие на состояние вод Баренцева моря, и оценим возможность создания статистической модели на основе этих данных. Такими предикторами являются показатель интенсивности солнечной активности (число Вольфа), индекс Арктического колебания (АО), индекс Северо-Атлантического колебания (NAO), ледовитость Баренцева моря (рис. 6). Данные ряды так же, как и ряды аномалий, осреднялись за два месяца (август и сентябрь) с 1970 по 2015 гг. Самый выраженный пик в межгодовом распределении при этом демонстрирует число Вольфа – 11-летний цикл, ледовитость Баренцева моря – 7 лет, для индекса Арктического колебания наиболее значимый пик отмечается с 3-летним периодом, Северо-Атлантическое колебание в августе–сентябре ожидаемо не содержит периодических составляющих.

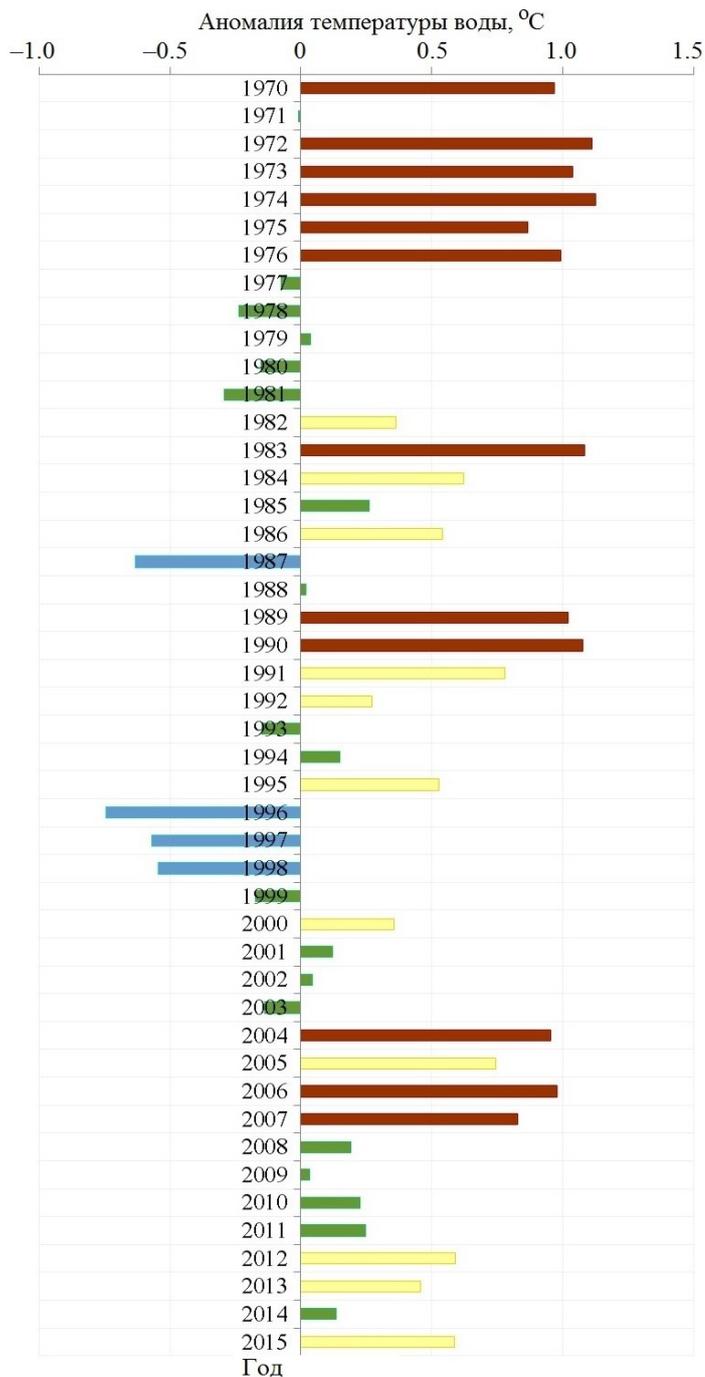


Рис. 4. Изменчивость аномалии температуры воды и распределение типов лет с 1970 по 2015 гг. Красный цвет – аномально теплый год, желтый – теплый год, зеленый – нормальный год, голубой – холодный

Fig. 4. Variability of water temperature anomaly and distribution of year types for the period from 1970 to 2015. Red – abnormally warm year, yellow – warm year, green – normal year, blue – cold year

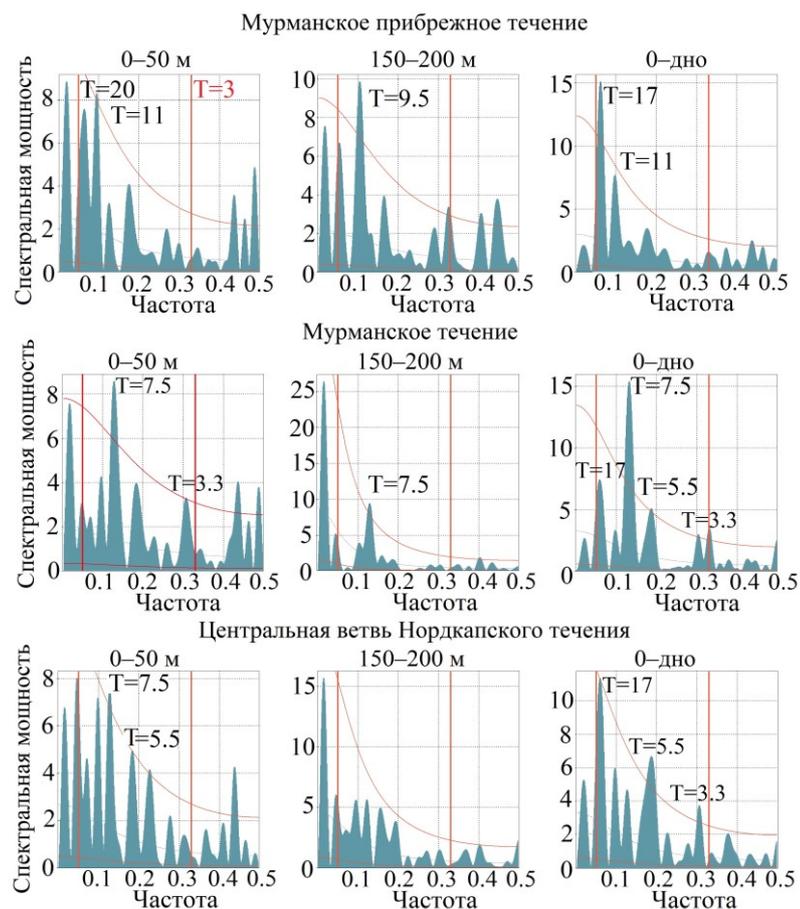


Рис. 5. Периодограммы для разных слоев воды течений 1–3 и временные ряды исходных аномалий. Красные вертикальные линии обозначают периоды от 3 до 20 лет и верхнюю границу доверительного интервала ($p = 0.95$), что является границей значимости пиков

Fig. 5. Periodograms for currents 1–3 and different layers: time series of initial anomalies. The red vertical lines indicate periods from 3 to 20 years and the upper limit of the confidence interval ($p = 0.95$), which is the significance limit of the peaks

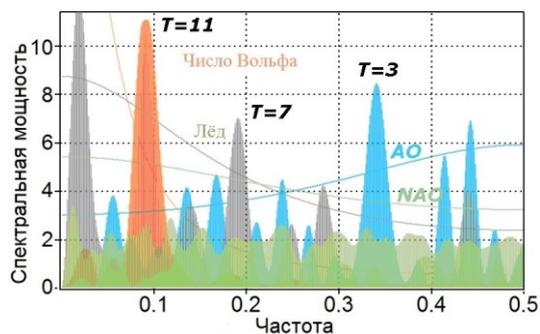


Рис. 6. Периодограмма используемых предикторов
Fig. 6. Periodogram of predictors used

Значимые корреляции обнаружены лишь в случае пар солености для течения 1 и 2 и ледовитости без сдвига (-0.57) и температуры для течений 1 и 2 и числа Вольфа со сдвигом 3 года (-0.61). Таким образом, можно сделать вывод о том, что данные предикторы весьма ограниченно подходят для составления статистических моделей при прогнозировании аномалий температуры и солености в августе и сентябре.

Заключение. В результате исследования были рассчитаны нормы и аномалии для температуры и солености вод на разрезе “Кольский меридиан” с 1970 по 2019 гг. Выполнена градация аномалий температуры на разрезе по типу года с 1970 по 2015 гг. Показано, что наиболее теплым является период с 1970 по 1976 гг., большая часть исследуемого периода относилась к нормальному типу, аномально теплых лет было 12, теплых – 11, холодных, аномально холодных – 5. С помощью первичного спектрального анализа были выявлены значимые периодичности в рядах аномалии температуры воды в трех течениях, разделенных на три слоя, а также в рядах предполагаемых предикторов модели. Полученный результат предполагает дальнейшую работу, поскольку рассматриваемые ряды данных нуждаются в более подробной методической обработке при составлении адекватных статистических моделей, предназначенных для прогнозирования температуры и солености вод на разрезе “Кольский меридиан”.

Работа выполнена по теме “Планктонные сообщества арктических морей в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия” (№ госрегистрации 121091600105-4) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Бойцов В.Д. Космогеофизические факторы и межгодовые колебания температуры воды Баренцева моря // Рыбное хозяйство. 2007. № 1. С. 57–60.

Бочков Ю.А. Крупномасштабные колебания температуры воды на разрезе “Кольский меридиан” и их прогнозирование // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе “Кольский меридиан” в Баренцевом море: Сб. докл. Междунар. симпозиума. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. С. 47–65.

Бровин А.И., Юлин А.В. К вопросу о выделении градаций аномальности в рядах гидрометеорологических элементов // Тр. ААНИИ. 1990. Т. 423. С. 84–88.

Голубев В.А., Зуев А.Н., Лебедев И.А. Комплекс методов статистической обработки и объективного анализа данных натуральных океанографических экспериментов // Тр. ААНИИ. 1992. Т. 426, С. 7–19.

Запорожцев И.Ф., Моисеев Д.В. Оценка временной изменчивости затока атлантических вод в Баренцево море по термохалинным данным разреза “Кольский меридиан” с 1970 г. до наших дней // Процессы в геосредах. 2018. № 3(17). С. 223–224.

Исследование и долгосрочное прогнозирование тепловых процессов на разрезе “Кольский меридиан” / А.С. Аверкиев, А.С. Густоев, И.П. Карпова, Е.И. Серяков // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе “Кольский меридиан” в Баренцевом море: Сб. докл. Междунар. симпозиума. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. С. 15–31.

Карсаков А.Л. Океанографические исследования на разрезе “Кольский меридиан” в Баренцевом море за период 1900–2008 гг. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2009. 139 с.

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

Климатология / О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева, А.Н. Раевский, Л.К. Смекалова, В.П. Школьный. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.

Матишов Г.Г., Голубев В.А., Жичкин А.П. Температурные аномалии вод Баренцева моря в летний период 2001–2005 годов // Докл. РАН. 2007. Т. 412, № 1. С. 112–114.

Руководство по климатологической практике. ВМО-№ 100. Женева: Изд-во ВМО, 2018. 168 с.

Современные климатические тенденции в Баренцевом море / Г.Г. Матишов, В.В. Денисов, А.П. Жичкин, Д.В. Моисеев, М.С. Громов // Докл. РАН. 2011. Т. 441, № 3. С. 395–398.

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

Boitsov V.D., Karsakov A.L., Trofimov A.G. Atlantic water temperature and climate in the Barents Sea, 2000–2009 // ICES J. Mar. Sci. 2012. Vol. 69(5). P. 833–840.

Climatic atlas of the Arctic Seas 2004 / G. Matishov, A. Zuyev, V. Golubev, N. Adrov, S. Timofeev, O. Karamusko, L. Pavlova, O. Fadyakin, A. Buzan, A. Braunstein, D. Moiseev // NODC Accession 0098061. URL: <https://catalog.data.gov/dataset/nodc-standard-product-climatic-atlas-of-the-arctic-seas-2004-database-of-the-barents-kara-lapt>

Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea // Polar Res. 1991. Vol. 10(1). P. 5–18.

Ottersen G., Edlandsvik B., Loeng H. The Kola section – an indicator of Barents Sea climate // // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе “Кольский меридиан” в Баренцевом море: Сб. докл. Междунар. симпозиума. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. P. 236–251.

Seasonal and interannual variations of heat fluxes in the Barents Sea Region / I.L. Bashmachnikov, A.Yu. Yurova, L.P. Bobylev, A.V. Vesman // Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics. 2018. Vol. 54, № 2. P. 213–222.

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.007

УДК 591.1:591.16

А.Э. Носкович

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *MACOMA CALCAREA* (GMELIN, 1791) ИЗ ФЬОРДОВ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Аннотация

Установлены особенности распределения и биологии двустворчатого моллюска *Macoma calcaria* из фьордов Западного Шпицбергена в 2015 г. Наиболее благоприятные условия для формирования поселений с различной размерно-возрастной структурой *Macoma calcaria* благодаря высокой температуре воды характерны для более мелководных фьордов (например, Грэн-фьорда). Для изолированных фьордов с отрицательными температурами воды характерны наименее благоприятные условия. Поселения *Macoma calcaria* во фьордах Западного Шпицбергена можно считать нестабильными и развивающимися, о чем свидетельствует обилие молодежи в их составе. Повсеместно отмечено преобладание самок над самцами, а размножение начинается при меньших размерах, чем на востоке Баренцева моря.

Ключевые слова: двустворчатый моллюск, *Macoma calcaria*, Шпицберген, Грэн-фьорд, обилие, молодежь, размерно-возрастная структура.

A.E. Noskovich

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

FEATURES OF THE BIOLOGY OF THE BIVALVE MOLLUSK *MACOMA CALCAREA* (GMELIN, 1791) IN THE FJORDS OF THE ISLAND OF WESTERN SVALBARD

Abstract

The features of distribution and biology of the bivalve mollusk *Macoma calcaria* in the fjords of Western Svalbard in 2015 were established. Due to the high water temperature, the most favorable conditions for the formation of settlements with a diverse size and age structure of *Macoma calcaria* are characteristic of shallower fjords (for example, the Grenfjord). The least favorable conditions are typical for isolated fjords with negative water temperatures. The settlements of *Macoma calcaria* in the fjords of Svalbard can be considered unstable due to the abundance of juveniles in their composition. The predominance of females over males is noted everywhere, and reproduction begins at a smaller size than in the east of the Barents Sea.

Keywords: bivalve, *Macoma calcaria*, Svalbard, Grenfjord, abundance, juveniles, size and age structure.

Введение. Архипелаг Шпицберген расположен в шельфовой зоне на стыке взаимодействия атлантических и арктических вод. Заливы и фьорды о. Западный Шпицберген являются уникальными акваториями, в которых проходят сложные гидрологические процессы. Океанографические условия заливов и фьордов о. Западный Шпицберген со стороны Гренландского моря определяются влиянием теплых вод Западно-Шпицбергенского течения, сложным рельефом дна, действием выводных ледников.

Во фьордах Западного Шпицбергена на донную биоту влияют водные массы различного происхождения. Ис-фьорд – второй по длине среди заливов на норвежском архипелаге Шпицберген, находится на западном берегу о. Западный Шпицберген. Береговая линия Ис-фьорда сильно изрезана и образует несколько заливов: Грэн-фьорд и Адвент-фьорд на южной стороне, Билле-фьорд на северо-востоке и др. (Блошкина, Фильчук, 2018). В Ис-фьорде на глубине до 120 м в результате смешения поверхностных и атлантических водных масс залегают промежуточные водные массы с температурой от 1 до 5 °С (The physical ..., 2002). Под промежуточными водными массами формируются трансформированные атлантические водные массы, температура которых варьирует от 2 до 2.5 °С. На глубине 120–200 м в западной части были зафиксированы атлантические водные массы с температурой 4–4.3 °С и соленостью 34.9–35.4 ‰ (Блошкина, Фильчук, 2018).

Залив Грэн-фьорд расположен в южной части Ис-фьорда, у его выхода в Гренландское море. Он ориентирован с юга на север и имеет протяженность около 16.5 км, его ширина меняется от 1.8 км в кутовой части до 5.4 км на границе с Ис-фьордом, а глубина постепенно увеличивается от 50 м в кутовой части до 170 м на выходе из фьорда (Результаты ..., 2007). Порог в горловине Грэн-фьорда отсутствует, что обеспечивает возможность свободного обмена с водными массами Ис-фьорда. Для Грэн-фьорда характерна значительная межгодовая изменчивость объема различных водных масс, присутствующих в заливе. В летний период на глубине от 70 до 110 м располагаются промежуточные водные массы, а от 110 м – трансформированные атлантические водные массы с температурой от 1.5 до 2.5 °С. В последующие годы на этих же глубинах могли преобладать атлантические водные массы (температура воды от 3.9 до 4.9 °С, соленость от 34.9 до 35.1 ‰) (Блошкина, Фильчук, 2018).

Билле-фьорд, расположенный глубоко в восточной части Ис-фьорда, – единственный из рассматриваемых в системе Ис-фьорда, который имеет на входе два топографических барьера (внешний и внутренний), препятствующих свободному водообмену с соседними акваториями. В Билле-фьорде на глубине от 75 м располагаются зимние водные массы (температура –1...–0.5 °С, соленость 34.6–34.7 ‰) (The physical ..., 2002; Блошкина, Фильчук, 2018).

Во фьорды Западного Шпицбергена в результате таяния ледников поступают холодные пресные воды с большим количеством минеральной взвеси и моренного материала (Матишов, 1984; Митяев, Герасимова, 2003; Тарасов, 2009). Со стороны океана на акваторию заливов проникают теплые соленые атлантические воды.

Особенности гидрологического режима фьордов Шпицбергена определяют интерес к исследованию закономерностей распределения здесь донных организмов. Поэтому цель данной работы – установить особенности распределения и биологии в поселениях двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* в различных фьордах Западного Шпицбергена.

Macoma calcarea – широко распространена во всех северных морях России (Наумов, 2006). Для данного вида характерно образование обширных поселений на мягких (илистых, песчаных) и смешанных грунтах (Филатова, Зенкевич, 1957; Федяков, 1986; Наумов, 2006; Бритаев и др., 2010). Несмотря на широкое распространение и обилие этого вида моллюсков, некоторые аспекты биологии были изучены недостаточно, а сведения о популяционных характеристиках *Macoma calcarea* в водах архипелага Шпицберген отсутствуют. В условиях такой динамической структуры водной массы могут формироваться поселения с различными характеристиками.

Материал и методы. Материал, использованный в работе, был собран сотрудниками Мурманского морского биологического института РАН на 13 станциях в разных фьордах о. Западный Шпицберген в ноябре–декабре 2015 г. (рис. 1). Пробы собирали с помощью дночерпателя ван-Вина с площадью захвата 0.1 м² в трехкратной повторности. Грунт промывали через сито с размером ячеек 0.5 мм и фиксировали 4 %-м раствором формалина; после сортировки пробы переводили в 75 %-й раствор этилового спирта. Моллюски *Macoma calcarea* были отмечены на 7 станциях. Всего изучен 561 моллюск (таблицы 1, 2).

У каждой особи штангенциркулем измеряли длину раковины с точностью до 0.1 мм, у мелких экземпляров – с помощью окулярной линейки бинокулярного микроскопа. Возрастные изменения длины тела оценивали по конечному размеру группы разновозрастных особей, а ежегодный прирост – по разнице смежных величин конечной длины раковины в последовательном ряду возрастов (Методы ..., 1990). Определяли прирост в первые годы жизни (до наступления половозрелости) и после достижения половой зрелости, а также рассчитывали среднее за все годы жизни.

Пол моллюсков определяли под микроскопом “Микмед-6” по числу и строению половых клеток в гонадах. Если при вскрытии моллюска гонады отсутствовали, считали, что данный моллюск неполовозрелый.

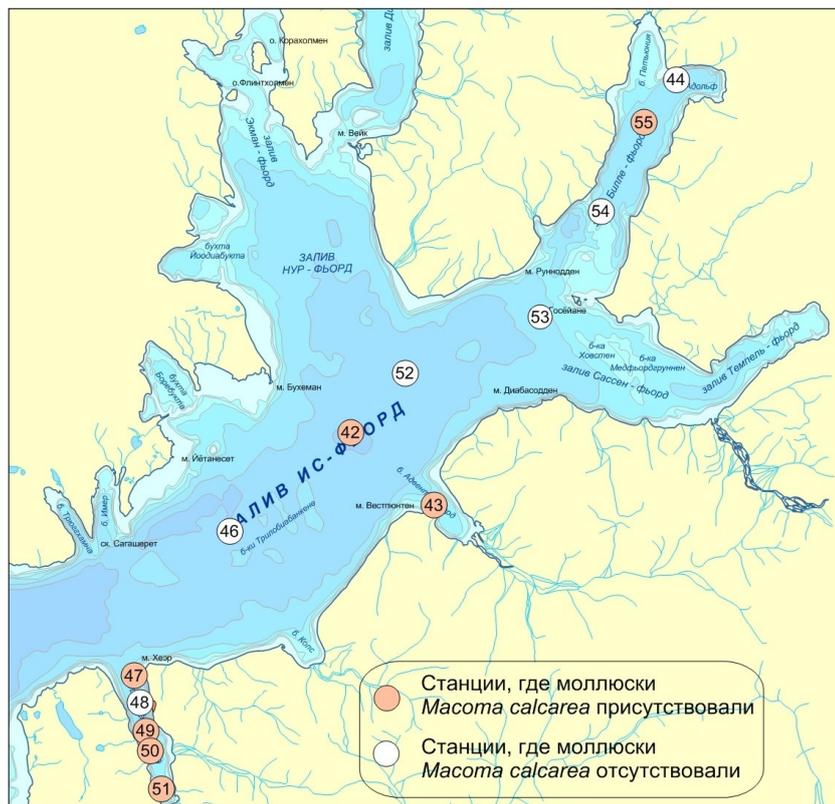


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб
Fig. 1. The map of the sampling sites

Таблица 1

Объем проанализированного материала и характеристика поселений *Macoma calcaria*

Table 1

Volume of material analyzed and characteristics of settlements *Macoma calcaria*

Номер станции	Количество моллюсков, экз.	$B \pm m$, г/м ²	$N \pm m$, экз/м ²	$W_{\text{ср}}$, г
		Ис-фьорд		
42	3	0.17±0.04	10.0±0.01	0.017
		Адвент-фьорд		
43	206	3.49±0.15	686.6±27.16	0.005
		Грён-фьорд		
47	54	39.56±0.68	180.0±4.93	0.19
49	3	0.47±0.02	10.0±0.57	0.04
50	42	83.32±2.71	140.0±4.51	0.56
51	122	67.15±2.81	406.6±15.64	0.14
		Билле-фьорд		
55	131	0.18±0.01	436.6±43.16	0.0004

ПРИМЕЧАНИЕ. B – средняя биомасса, N – плотность поселения, m – ошибка среднего, $W_{\text{ср}}$ – средняя масса моллюска.

Характеристика района отбора проб

Т а б л и ц а 2

Characteristics sampling areas

Table 2

Район	Номер станции	H , м	T , °С	S , ‰	Характеристика грунта
Ис-фьорд	42	271.0	1.9	34.7	Светло-коричневый ил, камни
Адвент-фьорд	43	73.0	2.1	34.2	Светло-коричневый песчанистый ил, серая и черная глина
Грён-фьорд	47	123.0	4.2	34.7	Светло-коричневый ил, камни
	49	139.0	4.7	34.8	Светло-коричневый ил, темно-серая и черная глина, камни
	50	128.0	4.4	34.7	Светло-коричневый ил, песок, камни, галька, ракуша
	51	87.0	3.4	34.5	Светло-коричневый ил, серо-черная мягкая глина, редкие камни
Билле-фьорд	55	142.0	-1.4	34.7	Коричневый ил с песком, серая мягкая глина

ПРИМЕЧАНИЕ. H – глубина, T – придонная температура, S – соленость.

Для сравнения выборок по размерно-возрастному составу моллюсков использовали непараметрический критерий (для нескольких выборок) Краскела-Уоллиса (уровень значимости $p < 0.05$), а для сравнения темпов роста *Macoma calcarea* использовали непараметрический критерий Манна-Уитни (для двух выборок) (уровень значимости $p \leq 0.05$) (Закс, 1976). Соответствие соотношения половозрелых и неполовозрелых особей проверяли на основе критерия χ^2 Пирсона (Ивантер, Коросов, 2003). Для картографического изображения участков сбора проб использовали программу Map Viewer 8.

Результаты и обсуждение. В водах архипелага Шпицберген биомасса и плотность поселения *Macoma calcarea* были распределены неравномерно (табл. 1), а сами моллюски встречались не на всех станциях (рис. 1). Высокое значение биомассы отмечено в промежуточных водных массах залива Грён-фьорд ($T = 3.4$ °С, $S = 34.5$ ‰) на глубине 87 м, а минимальное – в Ис-фьорде в трансформированных атлантических водных массах ($T = 1.9$ °С, $S = 34.7$ ‰) на большей глубине – 271 м. Низкие значения биомассы отмечены также в слое зимних водных масс ($T = -1.4$ °С, $S = 34.7$ ‰) на глубине 142 м в Билле-фьорде. Образование этих вод происходит в результате выхолаживания до температуры замерзания при высокой солености и выделения рассола при формировании льда (Блошкина, Фильчук, 2018).

Максимальную плотность поселения моллюски формировали в промежуточных водных массах ($T = 2.1$ °C, $S = 34.2$ ‰) на глубине 73 м в Адвент-фьорде, а минимальную – в Ис-фьорде (табл. 1). Не выявлено зависимости биомассы моллюсков от глубины, но наблюдается небольшая отрицательная зависимость с глубиной в изменении их численности (рис. 2). Придонная температура также не влияет на распределение моллюсков по показателям обилия, что доказывает их высокую толерантность к различным температурным условиям.

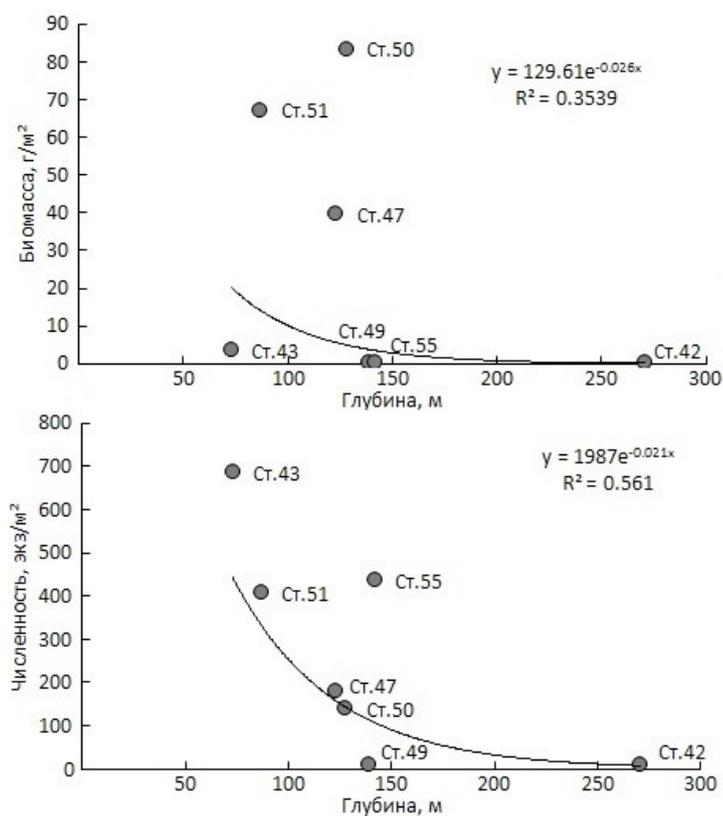


Рис. 2. Зависимость биомассы и плотности поселения моллюсков *Macoma calcarea* от глубины

Fig. 2. The dependence of the biomass and density of the *Macoma calcarea* mollusk settlement on the depth

В заливе Грэн-фьорд на четырех станциях были обнаружены моллюски *Macoma calcarea* широкого размерного ряда (от 0.8 до 29.3 мм) с преимущественным доминированием молодежи – 45 % (рис. 3). В бухте Адвент-фьорд отмечены моллюски с длиной раковины до 10 мм, при этом доля молодежи составляла 87 %, а в заливе Билле-фьорд она формировала основу поселения (рис. 3). Сравнение размерного состава моллюсков показывает, что различия статистически значимы (критерий Краскела-Уоллиса – $H = 31.239$; $p < 0.05$). В заливе Ис-фьорд лишь на одной станции были зарегистрированы

моллюски *Macoma calcaria* (3 экз.). Предположительно, это связано с тем, что станции, на которых отбирались пробы в данном фьорде, имели большие глубины – от 227 до 271 м.

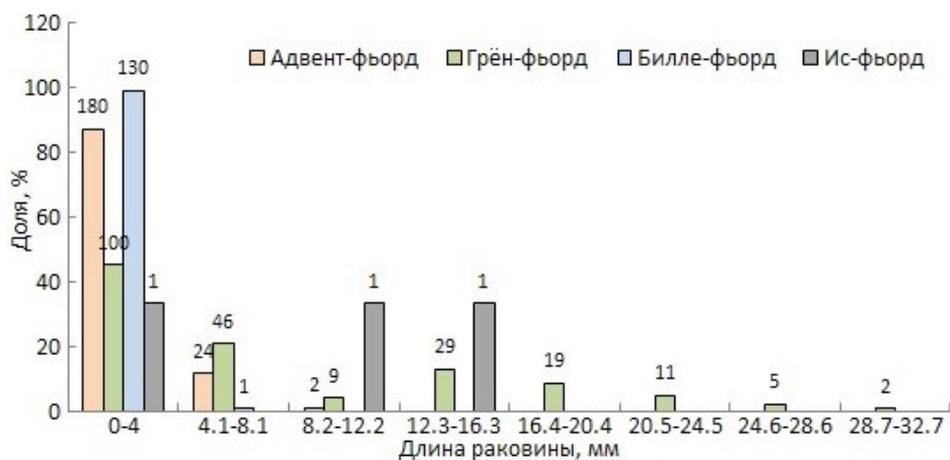


Рис. 3. Размерный состав поселений *Macoma calcaria*
 Fig. 3. The size structure of *Macoma calcaria* aggregations

Во всех фьордах о. Западный Шпицберген по численности доминировали сеголетки (рис. 4). В заливе Грэн-фьорд возрастная структура *Macoma calcaria* более равномерная и разнообразная, максимальная продолжительность жизни здесь – 18 лет. В Ис-фьорде встретились моллюски в возрасте от 1 года до 5 лет, а в Билле-фьорде только один моллюск был в возрасте 2+ (рис. 4). Сравнение выборок показало значимое различие возрастного состава в изучаемых фьордах (критерий Краскела-Уоллиса – $H = 9.493$; $p < 0.05$).

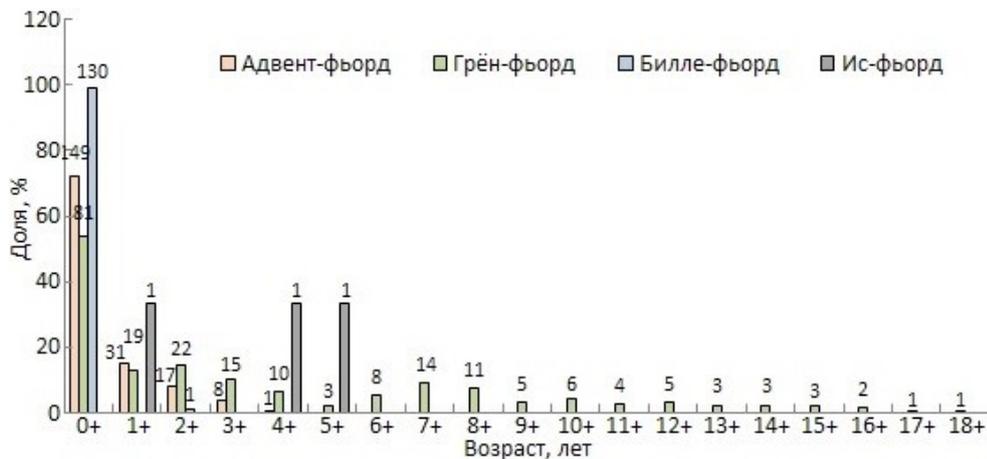


Рис. 4. Возрастной состав поселений *Macoma calcaria*
 Fig. 4. The age structure of *Macoma calcaria* aggregations

Большое количество молодежи в Адвент-фьорде и Грэн-фьорде и небольшое количество особей других возрастных групп свидетельствует о нестабильных, но развивающихся поселениях, по сравнению с моллюсками из восточной части Баренцева моря, где *Macoma calcarea*, наоборот, образуют стабильные поселения с более полной размерной структурой (Носкович, 2021). Следует отметить, что большое количество сеголеток и отсутствие в пробах особей более старших возрастных групп в поселениях в заливе Билле-фьорд является временным, так как личинки заносятся лишь в период чистой воды зимой. В летний период из-за обильного таяния ледников образуется большое количество взвеси, что неблагоприятно для дальнейшего развития поселений молодежи.

Сведения по продолжительности жизни двустворчатых моллюсков *Macoma calcarea* различны. Для особей из Балтийского моря этот показатель равен 14 годам (Юргенс, 2006), из вод Западной Гренландии – 17 (Petersen, 1978), из Баренцева и Карского морей, по сведениям В.Н. Золотарева (1989) – 15, в то время как по данным К.Н. Лисицыной и А.В. Герасимовой (2019) для *Macoma calcarea* максимальная продолжительность жизни в Карском море соответствует 18–20 годам, а нами у берегов Новой Земли (Баренцево море) отмечены 26-летние особи (Носкович, 2021).

В заливе Адвент-фьорд среднегодовая скорость роста составила 1.9 мм/год, что выше, чем в заливе Грэн-фьорд – 1.5 мм/год. В первые годы жизни скорость роста моллюсков Грэн-фьорда и Адвент-фьорда практически не отличалась – 1.2–1.5 мм/год (рис. 5). В заливе Грэн-фьорд моллюски растут равномерно, максимальный прирост приходится со второго по третий год жизни – 2.2 мм/год. В Адвент-фьорде моллюски постепенно увеличивают темпы роста до 4 лет, максимальный прирост отмечен с 3 до 4 лет – 2.9 мм/год. Различия в темпах роста статистически незначимы (критерий Манна-Уитни – $U_{эмп} = 20$, $U_{кр} = 14$; $U_{эмп} > U_{кр}$; $p \leq 0.05$).

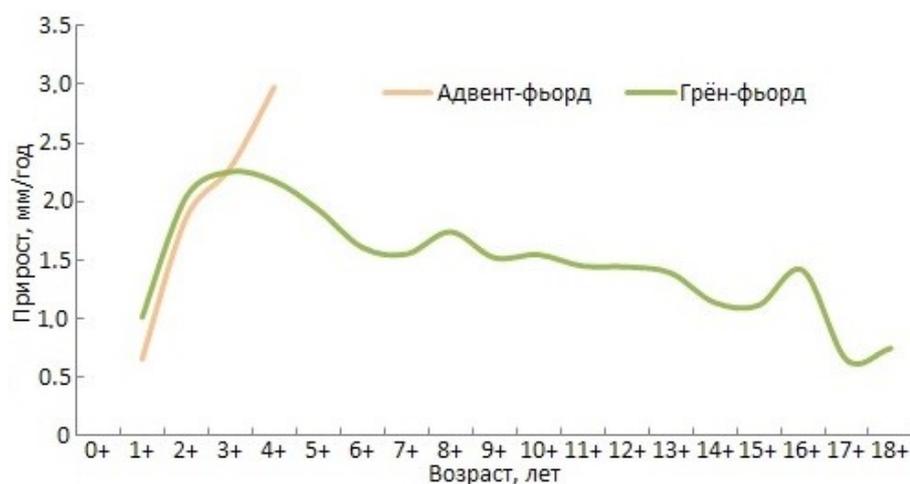


Рис. 5. Возрастные изменения ежегодного прироста длины раковины моллюсков
 Fig. 5. Age-related variations in annual increase in shell length of clam

Сведений о линейном росте *Macoma calcaria* из разных районов их распространения крайне мало. По нашим данным, рост в первые годы жизни во фьордах Западного Шпицбергена отличается весьма низкой скоростью роста – 1 мм/год, как и у *Macoma calcaria* из Печорского и Карского морей (Лисицына, Герасимова, 2019; Distribution ..., 2019). У берегов Новой Земли темпы роста несколько выше – 2.1 мм/год (Носкович, 2021), а среднегодовой прирост в заливе Грэн-фьорд – 1.5 мм/год – схож с показателями для вод Западной Гренландии (Petersen, 1978) и восточной части Баренцева моря (Носкович, 2018), где прирост около 1.5 мм/год. А среднегодовой прирост в Адвент-фьорде – 2 мм/год – сравним с аналогичными показателями моллюсков из Карского и Печорского морей (Лисицына, Герасимова, 2019; Distribution ..., 2019) и южной части Баренцева моря (Носкович, 2018).

В Адвент-фьорде и Билле-фьорде количественно преобладали неполовозрелые моллюски, в Грэн-фьорде – половозрелые особи (рис. 6А), при этом данные различия статистически достоверны (критерий $\chi^2 \geq \chi^2_{0.05}$).

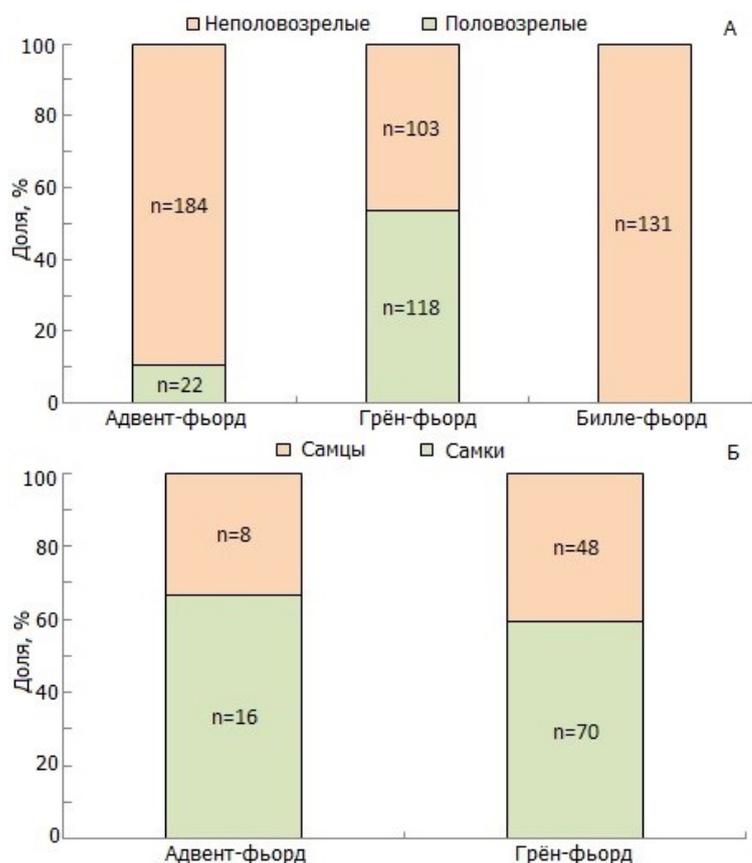


Рис. 6. Соотношение половозрелых и неполовозрелых особей (А) и полов (Б) в поселениях *Macoma calcaria*

Fig. 6. The ratio of mature to immature individuals (A) and the sex ratio (B) in *Macoma calcaria* aggregations

Повсеместно отмечено преобладание самок над самцами, соотношение полов немного отличается от стандартного 1:1 (рис. 6Б). В предыдущих наших исследованиях о размножении *Macoma calcarea* в южной и восточной частях Баренцева моря доминировали самцы (Носкович, Павлова, 2018; Носкович, 2021). В Адвент-фьорде моллюски становятся половозрелыми при длине раковины от 4.7 мм (самцы) и 4.9 мм (самки). В Грён-фьорде самки достигают половой зрелости при меньшей длине раковины – от 4.1 мм, а самцы – от 4.4 мм. В то время как на востоке Баренцева моря моллюски становятся половозрелыми при большей длине раковины – 7.5 мм (Носкович, 2021). Меньшие размеры наступления половой зрелости и высокая доля самок в поселениях во фьордах Западного Шпицбергена показывают, что это растущие поселения, в которых размножение начинается раньше (Одум, 1986).

Заключение. Таким образом, особенности размерно-возрастного состава моллюсков (большое количество молодежи и небольшое количество особей других возрастных групп) в Адвент-фьорде и Грён-фьорде свидетельствуют о том, что поселения *Macoma calcarea* нестабильны, и их можно назвать развивающимися. Для размножения и роста моллюсков *Macoma calcarea* наиболее благоприятными являются промежуточные водные массы с положительными температурами на глубине до 87 м. Наименее благоприятные условия для развития поселений *Macoma calcarea* наблюдались в изолированных фьордах с отрицательными температурами воды (зимние водные массы), где формировались временные поселения, вымирающие в период таяния ледников в летний период. Только в относительно мелководном заливе Грён-фьорд размерно-возрастная структура поселений была более разнообразной, а максимальная продолжительность жизни составляла 18 лет. Повсеместно отмечено преобладание самок над самцами, а половозрелыми моллюски становятся уже при меньших размерах, чем в других районах Баренцева моря.

Автор выражает глубокую благодарность коллегам из ММБИ РАН за сбор материала, а также с.н.с. лаборатории зообентоса Института Л.В. Павловой за ценные замечания при написании работы.

Работа выполнена по теме “Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях” (№ госрегистрации 122020900044-2) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Блошкина Е.В., Фильчук К.В. Современное состояние вод фьордов Западного Шпицбергена // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64, № 2. С. 125–140.

Бритаев Т.А., Удалов А.А., Ржавский А.В. Структура и многолетняя динамика сообществ мягких грунтов заливов Баренцева моря // Успехи современной биологии. 2010. Т. 130, № 1. С. 50–62.

Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 600 с.

Золотарев В.Н. Склерохронология морских двустворчатых моллюсков. Киев: Наук. думка, 1989. 112 с.

Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: Изд-во Петрозавод. гос. ун-та, 2003. 304 с.

Лисицына К.Н., Герасимова А.В. Рост и распределение *Macoma calcarea* (Gmelin) в Карском море // Морские исследования и образование (MARESEDU-2018): Тр. VII Междунар. науч.-практ. конф. (Москва, 19–22 ноября 2018 г.). Т. III(IV). Тверь: ООО “ПолиПРЕСС”, 2019. С. 418–424.

Матишов Г.Г. Дно океана в ледниковый период. Л.: Наука, 1984. 176 с.

Митяев М.В., Герасимова М.В. Фациальная изменчивость современных донных отложений в заливе Хорнсунн (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 3. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. С. 99–108.

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 / Отв. ред. В.Я. Бергер. СПб.: Изд. Зоол. ин-та РАН, 2006. 367 с.

Носкович А.Э. Изменчивость скорости роста двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Bivalvia, Tellinidae) в разных районах Баренцева моря // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Мурманск, 25 апреля 2018 г.). Мурманск: Изд-во Мурман. гос. техн. ун-та, 2018. С. 372–378.

Носкович А.Э. Пространственное распределение, рост и размножение двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) у берегов Новой Земли // Биология моря. 2021. Т. 47, № 1. С. 45–53.

Носкович А.Э., Павлова Л.В. Особенности размножения двустворчатых моллюсков *Macoma calcarea* (Bivalvia, Tellinidae) в разных районах Баренцева моря // Исследования арктических экосистем: Матер. XXXVI конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвящ. 40-летию научно-исследовательского судна “Дальние Зеленцы”. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2018. С. 77–84.

Одум Ю. Экология: В 2-х т. М.: Мир, 1986. Т. 2. 376 с.

Тарасов Г.А. Современное водно-ледниковое осадкообразование в заливе Грэн-фьорд (Шпицберген) // Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген. Вып. 9. М.: ГЕОС, 2009. С. 394–400.

Результаты комплексных океанографических исследований залива Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) летом 2006 г. / М.В. Третьяков, О.Ф. Голованов, А.К. Павлов, С.М. Прямыков, Б.В. Иванов // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 7. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 164–177.

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

Филатова З.А., Зенкевич Л.А. Количественное распределение донной фауны Карского моря // Тр. Всесоюз. гидробиол. общ-ва. 1957. Т. 8. С. 3–62.

Юргенс Е.М. Экологическая характеристика моллюска *Macoma balthica* (Linne, 1758) в южной части Балтийского моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Калининград, 2006. 21 с.

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

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

The physical environment of Kongsfjorden-Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard / H. Svendsen, A. Beszczynska-Moller, J.O. Hagen, B. Lefauconnier, V. Tverberg, S. Gerland, J.B. Orbaek, K. Bischof, C. Papucci, M. Zajaczkowski, R. Azzolini, O. Bruland, C. Wiencke, J.-G. Winther, W. Dallmann // Polar Res. 2002. Vol. 21. P. 133–166.

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.008

УДК 576.895.1:595.371.13

М.П. Плаксина, М.М. Куклина

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

ГЕЛЬМИНТОФАУНА ГАММАРИД *GAMMARUS OCEANICUS* И *GAMMARUS DUEBENI* МУРМАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Аннотация

Представлены результаты паразитологического обследования амфипод сем. Gammaridae (*Gammarus oceanicus* и *Gammarus duebeni*), собранных в мае–июле 2021 г. на литорали Мурманского побережья Баренцева моря (губы Печенга, Териберская, Ярнышная, Ивановская). Установлено, что в состав гельминтофауны гаммарид входят личиночные стадии 6 видов гельминтов (метацеркарии трематод *Podocotyle atomon* и *Podocotyle reflexa*, цистицеркоиды цестод *Microsomacantus* sp., личинки нематод сем. Spiruridae и акантеллы скребней *Polymorphus phippsi* и *Echinorhynchus gadi*). Метацеркариями трематод *Podocotyle atomon* заражены оба вида гаммарусов во всех районах проведения исследований. Сравнительный анализ показал, что у гаммарусов в губе Печенга (район фермерского лососевого хозяйства) гельминтофауна представлена только теми паразитами, жизненный цикл которых проходит с использованием в качестве окончательного хозяина морских рыб – *Podocotyle atomon*, *Echinorhynchus gadi*. Установлено наличие корреляции между количественными параметрами инвазии гаммарид метацеркариями трематод *Podocotyle atomon* и соленостью воды в районах сбора материала.

Ключевые слова: *Gammarus oceanicus*, *Gammarus duebeni*, гельминтофауна, Мурманское побережье, трематоды, цестоды, скребни, нематоды.

M.P. Plaksina, M.M. Kuklina

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

HELMINTHOFAUNA GAMMARID *GAMMARUS OCEANICUS* AND *GAMMARUS DUEBENI* OF THE MURMANSK COAST OF THE BARENTS SEA

Abstract

The results of a parasitological examination of Gammaridae (*Gammarus oceanicus* and *Gammarus duebeni*) collected in May–July 2021 on the littoral of the Murmansk coast of the Barents Sea (Pechenga Bay, Teriberskaya Bay, Yarnyshnaya Bay, Ivanovskaya Bay) are presented. It was found that the helminthofauna of gammarids includes larval stages of 6 helminth species (metacercariae of trematodes *Podocotyle atomon* and *Podocotyle reflexa*, cysticercoids of cestodes *Microsomacantus* sp., larvae of nematodes Spiruridae and acanthellas of the acanthocephalan *Polymorphus phippi* and *Echinorhynchus gadi*). Metacercariae of trematodes *Podocotyle atomon* infect both gammarusids species regardless of their habitat. Comparative analysis has shown that in amphipods from the Pechenga Bay area near the salmon farm, the helminthofauna is represented by parasites whose life cycle takes place using marine fish as the final host only – *Podocotyle atomon*, *Echinorhynchus gadi*. A correlation between the quantitative parameters of invasion by *Podocotyle atomon* trematode metacercariae and the salinity of water in the collection areas was established.

Keyword: *Gammarus oceanicus*, *Gammarus duebeni*, helminthofauna, Murmansk coast, trematodes, cestodes, acanthocephalans, nematodes.

Введение. Ракообразные широко распространены в прибрежных биоценозах северных морей и играют важную роль в качестве кормовых объектов для многих морских позвоночных животных (рыб, птиц, тюленей и китов). При этом трематоды, цестоды, нематоды и скребни используют амфипод сем. Gammaridae в качестве промежуточных хозяев. По этой причине гаммарусы в силу своей многочисленности и подвижности могут быть распространителями опасных гельминтозов и представлять угрозу для многих объектов активно развивающейся аквакультуры на Мурманском побережье Баренцева моря. Паразитологические исследования литоральных ракообразных в прибрежье Баренцева моря немногочисленны и посвящены главным образом изучению гельминтофауны гаммарид из районов восточного побережья (Успенская, 1963; Марасаева, 1990; Куклин, Маслич, 2011).

По указанным причинам целью настоящего исследования было изучение видового состава гельминтофауны и количественных параметров инвазии у гаммарид в различных районах Мурманского побережья (губы Печенга, Териберская, Ярнышная и Ивановская).

Материал и методы. Материал для настоящей работы собран на литорали Мурманского побережья Баренцева моря (губы Печенга, Териберская, Ярнышная, Ивановская) в мае–июле 2021 г. в ходе

береговых экспедиций, организованных Мурманским морским биологическим институтом РАН (рис. 1). В качестве объектов исследования выбраны массовые виды амфипод – *Gammarus oceanicus* и *Gammarus duebeni*. Сбор проводили вручную во время отлива со среднего горизонта литорали. Раков фиксировали 70 %-м этиловым спиртом и затем обрабатывали в лабораторных условиях.



Рис. 1. Карта-схема районов отбора проб на литорали Мурманского побережья Баренцева моря:

а – губа Печенга, б – губы Териберская и Ярнышная, в – губа Ивановская

Fig. 1. Map of sampling areas on the littoral of the Murmansk coast of the Barents Sea:

a – Pechenga Bay, б – Teriberskaya and Yarnyshnaya bays, в – Ivanovskaya Bay

Фиксированные пробы промывали проточной водой и проводили видовую идентификацию ракообразных с использованием бинокля МБС-10 (Россия), Микромед-МС-2 Zoom (Россия) и определителя Н.Л. Цветковой (1975). Исследовано 706 экз. *Gammarus oceanicus* и 662 экз. *Gammarus duebeni* из четырех районов побережья (табл. 1).

Паразитологическое вскрытие и видовую идентификацию паразитов проводили под биноклем МБС-10 (Россия) с ув. 16. Обнаруженных гельминтов извлекали, подсчитывали их количество и изготавливали временные препараты. Систематический статус паразитов определяли с использованием сводок А.В. Успенской (1963) и Е.Д. Вальтер, М.А. Валовой (1990).

Из количественных показателей заражения ракообразных определяли экстенсивность инвазии (ЭИ), интенсивность инвазии (ИИ) и индекс обилия (ИО).

Таблица 1

Видовой состав и количество обследованных ракообразных
сем. Gammaridae Мурманского побережья (май–июль 2021 г.)

Table 1

Species composition and the number of crustaceans of the Gammaridae
of the Murmansk coast (May–July 2021)

Район	<i>Gammarus oceanicus</i>	<i>Gammarus duebeni</i>
Губа Печенга		
Бухта Девкина заводь	73	37
Бухта Девкина заводь, лососевая ферма	100	33
Устье реки Печенга	9	251
Губа Териберская		
Бухта Завалишина	218	47
Бухта Лодейная	89	105
Губа Ярнышная	100	56
Губа Ивановская	117	133

При статистической обработке результатов исследований использовали методы расчета и сравнения доверительных интервалов ЭИ при 5 %-м уровне значимости, основанные на *F*-распределении (Животовский, 1991).

Сравнительный анализ показателей ЭИ и ИО для гаммарусов из разных районов обитания проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа. Взаимосвязь значений ЭИ и ИО гельминтами от показателей солености воды в местах сбора проб оценивали с помощью корреляционного анализа.

Результаты и обсуждение. Гаммарусы *Gammarus oceanicus* и *Gammarus duebeni* инвазированы метацеркариями трематод *Podocotyle atomon* и *Podocotyle reflexa*, цистицеркоидами цестод *Microsomacantus* sp., личинками нематод сем. Spiruridae и акантеллами скребней *Polymorphus phippi* и *Echinorhynchus gadi* (табл. 2). Окончательными хозяевами *Podocotyle atomon*, *Podocotyle reflexa* и *Echinorhynchus gadi* служат морские рыбы (Полянский, 1955; Успенская, 1963), а *Microsomacantus* sp. и *Polymorphus phippi* завершают свое развитие в морских птицах – утках и чайках (Белопольская, 1952). Точную идентификацию нематод сем. Spiruridae провести не удалось, так как обнаруженные личинки представлены I и II стадиями.

В губе Печенга у гаммарид обнаружены лишь гельминты, завершающие свое развитие в рыбах. В состав паразитофауны гаммарусов из районов губ Териберская, Ярнышная и Ивановская входят виды паразитов, которые используют в качестве окончательных хозяев и морских рыб, и морских птиц (табл. 2). Максимальные значения параметров инвазии цистицеркоидами цестод *Microsomacantus* sp. зарегистрированы у гаммарусов обоих видов, обитающих на литорали губы Териберская, а акантеллами скребней *Polymorphus phippi* отмечены у гаммарид этих видов из губы Ярнышная.

Столь высокие показатели инвазии свидетельствуют об интенсивных трофических контактах промежуточных хозяев (гаммарид) и окончательных хозяев (морских птиц) в вышеуказанных районах.

Единственным видом паразитов у обоих видов гаммарусов во всех районах проведения исследований был *Podocotyle atomon*. Жизненный цикл трематод *Podocotyle atomon* изучен А. Ханниненом и Р. Кэблем (Hunninen, Cable, 1943). В качестве первого промежуточного хозяина выступают брюхоногие моллюски, в которых развиваются короткохвостые церкарии. В Баренцевоморском регионе роль первых промежуточных хозяев играют *Littorina saxatillis* и *Littorina obtusata* (Подлипаев, 1979). Вторым промежуточным хозяином служат амфиподы сем. Gammaridae – *Gammarus oceanicus*, *Gammarus duebeni* и др. Многочисленные виды морских рыб, обитающих в зоне литорали и верхней сублиторали, выступают как окончательные хозяева (Полянский, 1955). Церкария *Podocotyle atomon* малоподвижна, так как хвост у нее редуцирован и превращен в короткий придаток, с помощью которого она может прикрепиться к субстрату. Используя стратегию пассивного ожидания, церкария атакует и внедряется во второго промежуточного хозяина – гаммарид (Прокофьев, 1994).

Т а б л и ц а 2

Показатели зараженности *Gammarus oceanicus* и *Gammarus duebeni* литорали Мурманского побережья Баренцева моря, май–июль 2021 г.

Table 2

Parameters of infection *Gammarus oceanicus* and *Gammarus duebeni* living on the littoral of the Murmansk coast of the Barents Sea, May–July 2021

Вид паразита	Губа Печенга			Губа Териберская		
	ЭИ, %	ИИ, экз.	ИО, экз.	ЭИ, %	ИИ, экз.	ИО, экз.
	<i>Gammarus oceanicus</i>					
<i>Podocotyle atomon</i>	60.1 (52.4–67.5)	1–23	2.9 (2.4–3.5)	42.7 (36.0–49.5)	1–16	1.1 (0.9–1.4)
<i>Podocotyle reflexa</i>	–	–	–	0.46 (0–2.5)	1	0.005 (0–0.01)
<i>Microsomacantus</i> sp.	–	–	–	15.1 (10.7– 20.6)	2–248	9.4 (5.5–15.0)
<i>Spirurida</i> sp.	–	–	–	13.3 (9.1–18.5)	1–7	0.25 (0.1–0.4)
<i>Polymorphus phippi</i>	–	–	–	1.4 (0.3–4.0)	1	0.014 (0–0.03)
<i>Echinorhynchus gadi</i>	3.5 (1.3–7.4)	1	0.03 (0.01–0.06)	–	–	–
	<i>Gammarus duebeni</i>					
<i>Podocotyle atomon</i>	38.6 (27.2– 51.0)	1–16	1.7 (1.1–2.7)	17.0 (7.6–30.8)	1–7	0.47 (0.2–1.0)
<i>Podocotyle reflexa</i>	–	–	–	–	–	–
<i>Microsomacantus</i> sp.	–	–	–	6.4 (1.3–17.5)	12–56	2.2 (0.3–6.8)
<i>Spirurida</i> sp.	–	–	–	–	–	–
<i>Polymorphus phippi</i>	–	–	–	–	–	–
<i>Echinorhynchus gadi</i>	–	–	–	–	–	–

Вид паразита	Губа Ярнышная			Губа Ивановская		
	ЭИ, %	ИИ, экз.	ИО, экз.	ЭИ, %	ИИ, экз.	ИО, экз.
	<i>Gammarus oceanicus</i>					
<i>Podocotyle atomon</i>	60.0 (49.7–69.7)	1–12	1.8 (1.4–2.3)	63.2 (53.8–72.0)	1–27	2.3 (1.8–3.3)
<i>Podocotyle reflexa</i>	–	–	–	–	–	–
<i>Microsomacantus</i> sp.	8.0 (3.5–15.2)	6–186	6.2 (2.5–13.1)	0.8 (0–4.7)	38	0.32 (0–1.0)
<i>Spirurida</i> sp.	13.0 (7.1–21.2)	1–2	0.16 (0.08– 0.3)	41.0 (32.0–50.5)	1–5	0.7 (0.5–0.9)
<i>Polymorphus phippsi</i>	4.0 (1.1–9.9)	1	0.04 (0.01– 0.08)	–	–	–
<i>Echinorhynchus gadi</i>	–	–	–	–	–	–
	<i>Gammarus duebeni</i>					
<i>Podocotyle atomon</i>	62.5 (48.5– 75.1)	1–9	1.4 (1.0–1.9)	39.1 (30.8–47.9)	1–8	0.8 (0.6–1.1)
<i>Podocotyle reflexa</i>	–	–	–	–	–	–
<i>Microsomacantus</i> sp.	1.8 (0–9.6)	184	3.29 (0–10.0)	0.75 (0–4.1)	158	1.2 (0–3.6)
<i>Spirurida</i> sp.	14.3 (6.4–26.2)	1–2	0.2 (0.07–0.4)	37.6 (29.3–46.4)	1–11	0.7 (0.5–1.0)
<i>Polymorphus phippsi</i>	1.8 (0–9.6)	1	0.028 (0–0.05)	–	–	–
<i>Echinorhynchus gadi</i>	–	–	–	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. В скобках приведены значения верхней и нижней границ 95 %-го доверительного интервала для ЭИ и ИО.

Сравнительный анализ показал, что значения ЭИ и ИО зараженности метацеркариями *Podocotyle atomon* у *Gammarus oceanicus* из губ Печенга, Ивановская, Териберская статистически значимо выше, чем у *Gammarus duebeni* ($p < 0.05$). В то же время у *Gammarus oceanicus* и *Gammarus duebeni* из губы Ярнышная значения ЭИ и ИО не имели достоверных различий. По итогам анализа данных установлена корреляция между значениями ЭИ метацеркариями *Podocotyle atomon* у *Gammarus oceanicus* и соленостью воды ($r = 0.64$) (рис. 2). У *Gammarus duebeni* коэффициенты корреляции имели более низкие значения – $r = 0.48$. Значения коэффициента корреляции между соленостью воды и ИО у *Gammarus oceanicus* и *Gammarus duebeni* составили 0.59 и 0.44 соответственно. Возможно, эти закономерности связаны с особенностями влияния факторов среды на реализацию жизненного цикла *Podocotyle atomon*. Установлено, что на продолжительность жизни церкарии *Podocotyle atomon* влияют такие абиотические факторы как соленость и температура (Прокофьев, 2001). С уменьшением солености и повышением температуры среды средняя продолжительность жизни церкарии снижается. В связи с этим уменьшается вероятность заражения гаммарид. При повышении солености, очевидно, наблюдается обратная картина.

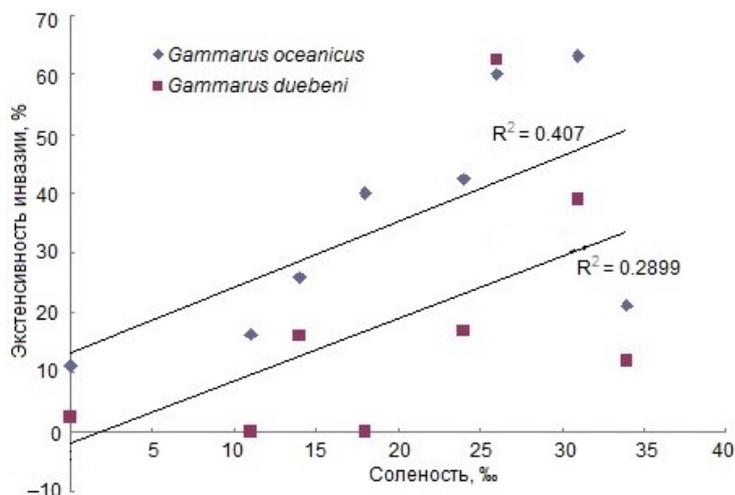


Рис. 2. Корреляционно-регрессионные кривые зависимости экстенсивности инвазии метацеркариями трематод *Podocotyle atomon* от солености среды

Fig. 2. Correlation and regression curves of the dependence of the prevalence of invasion by metacercariae of trematodes *Podocotyle atomon* on the salinity of the environment

С учетом наличия фермерского лососевого хозяйства в губе Печенга проведен анализ локальных особенностей инвазии гаммарид по двум выборкам: первая отобрана вблизи лососевой фермы, вторая – на 1 км севернее фермы. Значения ЭИ метацеркариями *Podocotyle atomon* у *Gammarus oceanicus* из района 1 превышает ЭИ у гаммарид из района 2 более, чем в 5 раз ($p < 0.05$), а значения ИО – более, чем в 20 раз ($p < 0.01$) (рис. 3).

Отмечено, что гаммарусы, обитающие вблизи фермерского лососевого хозяйства, заражены личинками скребней *Echinorhynchus gadi* (ЭИ = 6.5 %, ИО = 0.07). На втором полигоне в губе Печенга эти гельминты у гаммарид обнаружены не были.

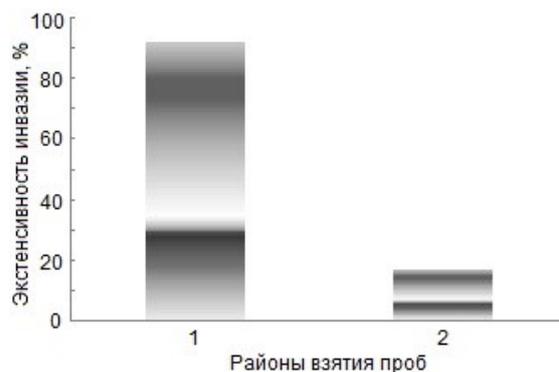


Рис. 3. Экстенсивность инвазии метацеркариями *Podocotyle atomon* бокоплавов *Gammarus oceanicus* из двух районов губы Печенга

Fig. 3. The prevalence of invasion by metacercariae *Podocotyle atomon* gammarus *Gammarus oceanicus* from two areas of the Pechenga Bay

И трематоды *Podocotyle atomon*, и скребни *Echinorhynchus gadi* используют рыб в качестве окончательного хозяина, в кишечнике которого завершают свое развития, активно растут и продуцируют огромное количество яиц. Обладая мощным прикрепительным аппаратом и достаточно крупными размерами, скребни *Echinorhynchus gadi* представляют определенную угрозу для лососевых рыб фермерского хозяйства. В кишечнике рыб скребни снижают эффективность использования питательных веществ при росте и развитии хозяина и тем самым вызывают серьезные экономические потери для предпринимателей (The impact ..., 2017; Challenges ..., 2020). Таким образом, информация о составе гельминтофауны ракообразных в районе рыбных ферм может иметь важное значение для размещения объектов марикультуры на Мурманском побережье Баренцева моря. Паразитологическое обследование и контроль может предотвратить массовую гибель рыб при их искусственном разведении.

Заключение. В состав паразитофауны амфипод *Gammarus oceanicus* и *Gammarus duebeni* в районах проведения исследований входят метацеркарии трематод *Podocotyle atomon* и *Podocotyle reflexa*, цистицеркоиды цестод *Microsomacantus* sp., личинки нематод сем. Spiruridae и акантеллы скребней *Polymorphus phippii* и *Echinorhynchus gadi*.

Метацеркарии трематод *Podocotyle atomon* у гаммарусов *Gammarus oceanicus* и *Gammarus duebeni* распространены повсеместно от запада до востока Мурманского побережья Баренцева моря.

Показатели заражения личинками паразитов рыб у *Gammarus oceanicus*, обитающих на литорали вблизи фермерского лососевого хозяйства в губе Печенга, имели наибольшее значение по сравнению с аналогичными параметрами у гаммарид из других районов.

Авторы выражают благодарность научному сотруднику лаборатории инженерной экологии П.С. Ващенко за помощь в подготовке графических материалов.

Работа выполнена по теме “Морские птицы Арктики и Субарктики: биология, физиология, паразитология” (№ госрегистрации 121091600102-3) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Белопольская М.М. Паразитофауна морских водоплавающих птиц // Учен. зап. ЛГУ. 1952. Вып. 28, № 141. С. 127–180.

Вальтер Е.Д., Валовая М.А. Экспериментальное подтверждение участия ракообразных в жизненном цикле нематоды *Ascarophis* sp. (*arctica*?) // Морфология и экология паразитов морских животных. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР. 1990. С. 33–48.

Животовский Л.А. Популяционная биометрия. М.: Наука, 1991. 271 с.

Куклин В.В., Маслич М.А. Паразитофауна ракообразных семейства Gammaridae Мурманского побережья Баренцева моря // Докл. РАН. 2011. Т. 477, № 5. С. 709–713.

Марсаева Е.Ф. Экологический анализ паразитофауны бокоплава *Gammarus oceanicus* на литорали Восточного Мурмана // Морфология и экология паразитов морских животных. Апатиты: Изд-во КНЦ АН СССР, 1990. С. 76–88.

Полянский Ю.И. Материалы по паразитологии рыб северных морей СССР. Паразиты рыб Баренцева моря // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1955. Т. 19. 170 с.

Прокофьев В.В. “Засадный” тип поведения церкарий некоторых морских трематод // Зоол. журн. 1994. Т. 73, № 5. С. 13–20.

Прокофьев В.В. Влияние температуры и солености воды на продолжительность жизни церкарий морских литоральных трематод *Podocotyle atomon* (Opencolidae) и *Renicola thaidus* (Renicolidae) // Паразитология. 2001. Т. 35, № 1. С. 69–76.

Подлипаев С.А. Партениты и личинки трематод литоральных моллюсков Восточного Мурмана // Экологическая и экспериментальная паразитология. Л., 1979. Вып. 2. С. 47–101.

Успенская А.В. Паразитофауна бентических ракообразных Баренцева моря. Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 128 с.

Цветкова Н.Л. Прибрежные гаммариды северных и дальневосточных морей СССР и сопредельных вод. Л.: Наука, 1975. 257 с.

Challenges in the control of acanthocephalosis in aquaculture: special emphasis on *Neoechinorhynchus buttnerae* / G.M.R. Valladão, S.U. Gallani, G.T. Jerônimo, A.T. de Seixas // Aquaculture. 2020. Vol. 12, № 3. P. 1360–1372.

Hunninen A.V., Cable R.M. The life history of *Podogotyle atomon* (Rud.) (Trematoda: Opencolidae) // Trans. Am. Microsc. Soc. 1943. Vol. 62. P. 57–68.

The impact of *Neoechinorhynchus buttnerae* (Golvan, 1956) (Eoacanthocephala: Neoechinorhynchidae) outbreaks on productive and economic performance of the tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), reared in ponds / A.L. Silva-Gomes, J.G. Coelho-Filho, W. Viana-Silva, M.I. Braga-Oliveira, G. Bernardino, J.I. Costa // Lat. Am. J. Aquat. Res. 2017. Vol. 45, № 2. P. 496–500.

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.009

УДК 574.5

О.В. Смолькова, Н.И. Мещеряков

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

БИОЛОГИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ *MYA ARENARIA* (LINNAEUS, 1758) ГУБЫ ХЛЕБНАЯ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Аннотация

Получены данные о распределении и биологии двустворчатых моллюсков *Mya arenaria* Linnaeus, 1758, обитающих в Кольском заливе Баренцева моря. Работа выполнена на литорали губы Хлебная с марта по ноябрь 2021 г. в рамках комплексной береговой экспедиции ММБИ РАН. Исследованы количественные характеристики, размерно-возрастной состав поселения *Mya arenaria*. Рассмотрены особенности относительного роста различных частей тела моллюсков.

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, *Mya arenaria*, Кольский залив, плотность поселения, биомасса, рост.

O.V. Smolkova, N.I. Meshcheryakov

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

BIOLOGY OF THE BIVALVE MOLLUSKS *MYA ARENARIA* (LINNAEUS, 1758) KHLEBNAYA BAY OF THE KOLA BAY OF THE BARENTS SEA

Abstract

For the first time, data about distribution and biology of the bivalve mollusk *Mya arenaria* Linnaeus, 1758 living in the Kola Bay of the Barents Sea has been obtained. The work was carried out on the Khlebnaya Bay intertidal zone since March to November 2021 as a part of a complex coastal expedition of the MMBI RAS. The quantitative characteristics, size and age composition of the *Mya arenaria* settlement were investigated. The features of the allometric growth of mollusks are considered.

Keywords: Bivalvia, *Mya arenaria*, Kola Bay, density, biomass, growth.

Введение. Двустворчатые моллюски *Mya arenaria* Linnaeus, 1758 (мия, песчаная ракушка) широко распространены на литорали в Северном полушарии. Ареал этого бореального вида охватывает прибрежные умеренные воды Атлантического и Тихого океанов, а также моря Северного Ледовитого океана (Strasser, 1999; Physical ..., 2008). В солоноватых водах на севере Европы и в Северной Америке *Mya arenaria* образуют крупные скопления промыслового значения. Не исключено, что этот вид может стать одним из возможных объектов промысла и в Арктическом регионе.

Моллюски *Mya arenaria* ведут малоподвижный образ жизни, способны выдерживать изменение факторов среды в широких диапазонах (Федяков, 1986). Они устойчивы к изменению солености от 1 до 30 ‰ (Хлебович, Станкявичус, 1979; Бергер, 1986), благоприятная температура для них составляет от 4 до 16 °C (Byers, 2007). *Mya arenaria* обладают устойчивостью к высокому содержанию в воде сероводорода и дефициту кислорода (Thramdrup, 1935; Свешников, 1963). Моллюски этого вида играют важную роль в прибрежных водах в качестве фильтраторов-сестонофагов. Они связывают взвешенное органическое вещество водной толщи, способствуя накоплению отложений на дне, используя таким образом первичную продукцию и улучшая качество воды (Forster, Zettler, 2004). Вопреки высокой толерантности к изменению солености, температуры и газового состава среды, *Mya arenaria* в своем распространении на литорали тесно связаны с составом грунта (Свешников, 1963). Условия в местах обитания определяют особенности аллометрического роста моллюсков, в результате которого создается форма раковин, адаптированная к этим условиям (Hidu, 1982). Для

понимания адаптивного характера изменчивости моллюсков и оценки влияния на них различных экологических факторов важно изучение относительного (аллометрического) роста моллюсков.

Проведено множество исследований, отражающих различные особенности биологии и экологии этого вида (Schaffer, Zettler, 2007; Cardoso et al., 2009). Большая часть работ по *Mya arenaria* связана с Балтийским и Белым морями (Максимович, 1978; Наумов, 2004; Comparative ..., 2014), есть публикации по биологии моллюсков Азово-Черноморского бассейна (Савчук, 1970; Золотницкий, Сытник, 2020). Информация по распространению и биологии данного вида в Баренцевом море и в частности в Кольском заливе, за исключением ранних работ начала прошлого века (Дерюгин, 1915; Гурьянова и др., 1929), очень фрагментарна, а количественные представления о современном состоянии популяции *Mya arenaria* Баренцева моря в целом не сформированы.

Цель исследования – оценить состояние поселения двустворчатых моллюсков *Mya arenaria* в губе Хлебная, изучить морфометрические характеристики роста различных частей тела мии и подробно описать гранулометрический состав донных отложений в месте наибольшего скопления моллюсков на литорали. Для данного района такие исследования выполняются впервые.

Материал и методы. Работы проведены на литорали губы Хлебная с марта по ноябрь 2021 г. в рамках комплексной береговой экспедиции ММБИ РАН (рис. 1).

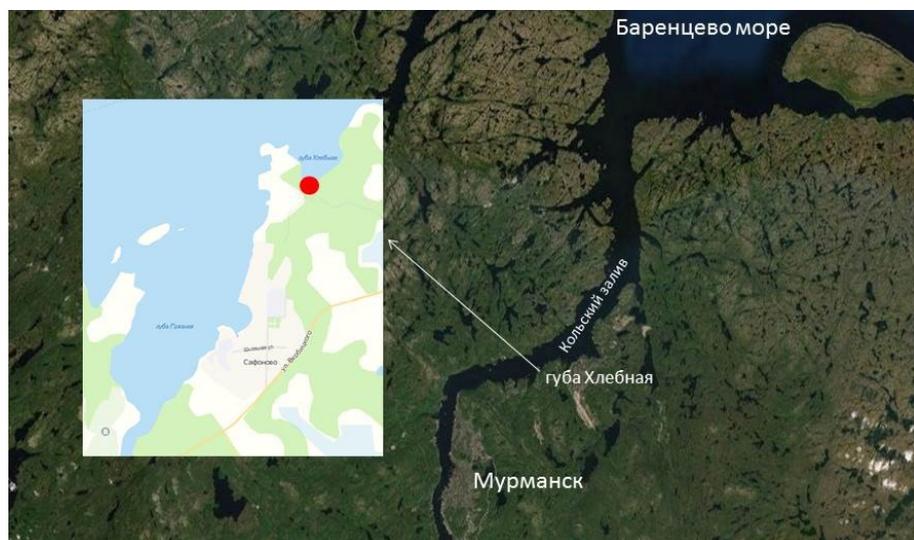


Рис. 1. Карта-схема района исследований
Fig.1. Area map

Количественный учет *Mya arenaria* проводился на литорали во время отлива с помощью рамки площадью 1 м². От уреза воды к берегу была проложена трансекта длиной 103 м, вдоль которой накладывалась рамка, в каждом квадрате подсчитывалось количество отверстий *Mya arenaria*. Соленость и температура воды измерены у уреза воды с помощью портативного рефрактометра и термометра соответственно.

В этой же локации на трех станциях в разных горизонтах литорали (рис. 2) были взяты пробы грунта на гранулометрический состав. Донные отложения отбирали с помощью колонок с внутренним диаметром 7 см. Мощность вскрытой осадочной толщи в каждой точке составила 20 см. В колонках было выделено по три горизонта (0–5, 5–10 и 10–20 см). Грунт на станциях оценивали визуально, а далее, уже в лабораторных условиях, пробы подвергали полному гранулометрическому анализу по методике, разработанной во ВНИИОкеангеология (Андреева, Лапина, 1999). Типы донных отложений выделены согласно М.В. Кленовой (1948). Содержание органического вещества в донных отложениях определяли через потери массы осадка при прокаливании (ППП). Также рассчитана их естественная влажность. Всего на разрезе было собрано и проанализировано 9 проб донных отложений.

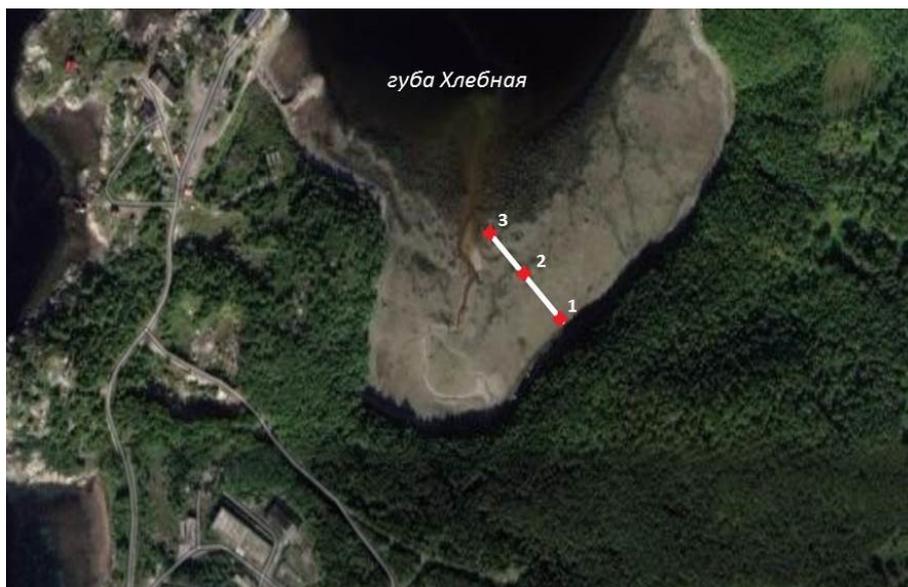


Рис. 2. Схема расположения трансекты для количественного учета *Mya arenaria* и станций отбора проб (1–3) для гранулометрического анализа донных отложений

Fig. 2. Schematic location map of the sampling stations (1–3)

Для проведения морфометрического анализа моллюсков в местах их скопления было отобрано 10 проб грунта рамкой площадью 0.1 м², при этом грунт изымался на глубину до 30 см. Было обнаружено 47 экз.

особей *Mya arenaria*, для которых проведено описание морфологии и аллометрического роста. У каждого моллюска измерены длина L (мм), высота H (мм) и выпуклость D (мм) раковины. Эти параметры были использованы для вычисления коэффициентов удлинения (H/L) и выпуклости (D/L , D/H) раковины в процессе роста моллюсков. Определяли общую (живую) массу моллюска W (г), массу раковины W_r (г), мягких тканей W_m (г) и сифона W_s (г), массу мантийной жидкости W_w (г). Путем подсчета годичных колец, образующихся при зимней остановке роста и представляющих собой утолщенные линии нарастания, определяли возраст. Рассчитывали среднее значение M (мм), стандартное отклонение SD и коэффициенты вариации CV (%).

Связь изменений между различными частями тела *Mya arenaria* была исследована с использованием уравнения простой аллометрии (Алимов, 1981)

$$Y = aX^b,$$

где X и Y – исследуемые параметры моллюсков; a , b – коэффициенты. Анализ выборки проведен из совокупности, включающей особей разного размера и возраста.

Достоверность различий между средними показателями определяли при уровне значимости $p < 0.05$. Математические расчеты проведены с использованием программного пакета STATISTICA 10.0. и электронных таблиц MS Excel-2010.

Результаты и обсуждение. Краткая характеристика условий обитания. Губа Хлебная расположена на юго-восточном берегу среднего колена Кольского залива. Имеет форму треугольника с вершиной, обращенной на юг. С запада она отделена от залива мысом Никитин, с северо-востока – высоким скалистым берегом. В вершину впадает ручей. Литораль губы пологая, представлена разными типами грунтов. В настоящее время Кольский залив отнесен к умеренно загрязненным участкам морской акватории на Мурманском побережье Баренцева моря (Информационный ..., 2013).

Соленость воды в губе у уреза варьировала от 16 до 31 ‰, температура от 1 °С в марте до 16 °С в августе.

Проведенный анализ гранулометрического состава грунта показал, что донные отложения губы Хлебная представлены песчаным илом и илистым песком с примесью алеврита в поверхностном слое (рис. 3). С глубиной залегания алевритовые примеси замещаются песком с преобладанием мелкопесчаной фракции – от 40.2 % в слое 5–10 см до 62.5 % в слое ниже 10 см. Максимальное содержание алеврита отмечено в верхнем горизонте литорали (44.6 %). Для центральной части литорали характерно распространение илистого песка с примесью гравийного материала на глубине залегания 5–10 см до 6.8 %. В нижней части литорали грунт сложен преимущественно мелким плотным песком. Содержание органического

вещества на литорали в районе губы Хлебная составляет от 0.3 до 1.7 %. Его максимальное значение в донных отложениях отмечается в поверхностном слое верхнего и среднего горизонтов литорали. В нижней части литорали (около ручья) количество органики от 0.3 до 0.8 %, с максимальным значением этого показателя в слое 0–5 см. Влажность донных отложений колебалась от 20 до 35 %.

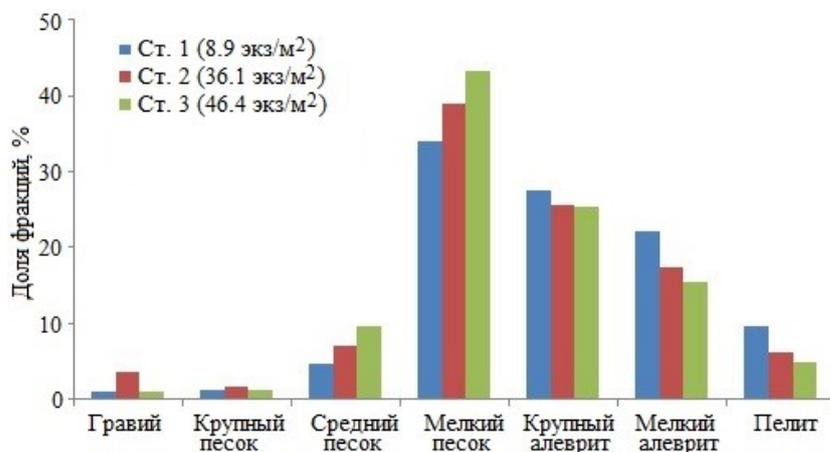


Рис. 3. Гранулометрический состав донных отложений губы Хлебная. В скобках приведена средняя плотность моллюсков на станциях

Fig. 3. Granulometric composition of bottom sediments of Khlebnaya Bay. In parentheses – average density of mollusks at stations

Локализация скоплений и особенности распределения моллюсков на литорали в зависимости от гранулометрического состава грунта. Поселение *Mya arenaria* расположено в юго-восточной части губы, где донные отложения представлены песчаным илом и илистым песком. Ранее, при проведении гидробиологических исследований зообентоса литорали этого района (Павлова, 2000), *Mya arenaria* здесь отмечены не были. Моллюски занимают преимущественно средний и нижний горизонты литорали. Плотность поселения варьирует от 1 до 82 экз/м², средняя плотность – 67.1 экз/м², средняя биомасса – 974 г/м². Наибольшей плотности (до 82 экз/м²) поселение достигает на участках, представленных мелкопесчанистыми фракциями, а на участках, где увеличивается доля мелких алевритовых и пелитовых фракций, плотность поселения минимальна (1–15 экз/м²) (рис. 3). Отмечена сильная обратная корреляционная связь между содержанием в грунте мелких алевритовых и пелитовых фракций и плотностью поселения моллюсков ($r = -0.9995$). Отрицательной корреляционной зависимостью ($r = -0.9979$) плотность поселения связана и с содержанием органического вещества в поверхностном слое грунта.

Следует отметить, что количественные характеристики поселения *Mya arenaria* губы Хлебная, относящейся к умеренно загрязненным районам Кольского залива, достаточно высокие и сопоставимы с обилием моллюсков

Mya arenaria на литорали губы Колежемская Белого моря (66.7 экз/м²) и практически в 2 раза выше показателей поселений мелководных и более чистых районов Восточного Мурмана (Smolkova, 2021).

Размерно-возрастной состав. Поселение на илисто-песчаной литорали губы Хлебная представлено моллюсками в возрасте от 4 до 14 лет. Размеры особей варьируют от 28.4 до 91.2 мм при массе тела от 1.5 до 64.5 г. Основную долю (40 %) в поселении составляют моллюски в возрасте 7–8 лет с длиной раковины 50.0–59.9 мм (рис. 4). Самый крупный моллюск имел длину 91.2 мм, общую массу тела 36.8 г, возраст 14 лет и принадлежал к когорте 2007 г. При анализе возрастного состава в губе Хлебная особи младших возрастных групп (1–3 года) не отмечены, что для поселений данного вида является вполне закономерным и отмечено ранее (Герасимова, Максимович, 2009). По данным нашей выборки можно сказать, что период 2012–2013 гг. был наиболее благоприятным для пополнения этого поселения молодью.

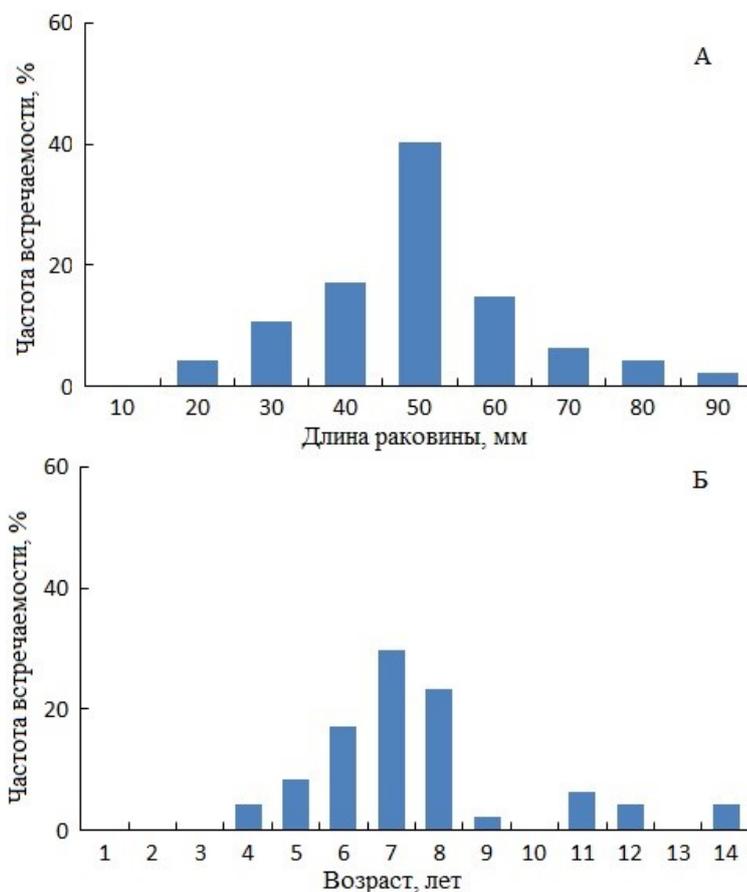


Рис. 4. Частотное распределение размерного (А) и возрастного состава (Б) моллюсков *Mya arenaria* губы Хлебная

Fig. 4. Frequency distribution of the size and age composition of *Mya arenaria* mollusks of Khlebnyaya Bay

Аллометрический рост. Соотношение между линейными параметрами раковин *Mya arenaria* было вычислено по уравнению простой аллометрии $Y = aX^b$. Анализ относительных изменений длины L и высоты H раковин моллюсков показал, что связь описывается степенной функцией (рис. 5, кривая 1):

$$H = 0.698L^{0.9654} (n = 47, R^2 = 0.977).$$

Среднее значение отношения высоты к длине раковины (индекс H/L) равно 0.611, т. е. высота составляет в среднем 61.1 % от длины моллюска при стандартном отклонении $SD = 0.026$ и варьировании минимальных и максимальных значений в пределах 0.56–0.65.

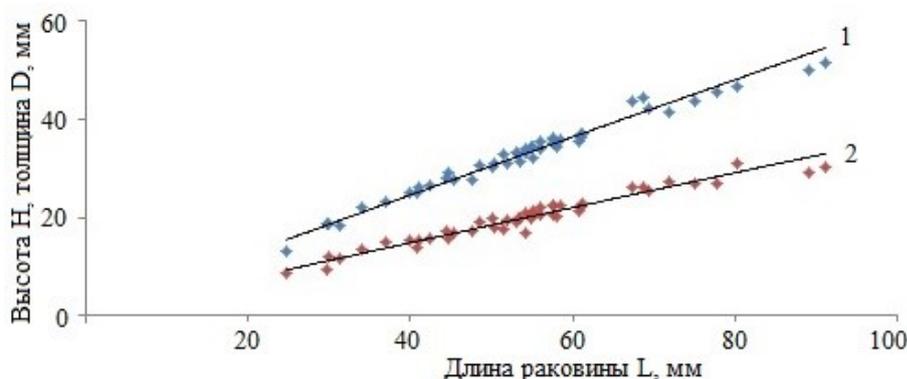


Рис. 5. Зависимость высоты H (1) и толщины D (2) от длины L раковины *Mya arenaria*

Fig. 5. Relationship between the soft-shell clam *Mya arenaria* shell height H (1), depth D (2) and its length L

Зависимость выпуклости раковины D от ее длины L у *Mya arenaria* описывается степенной функцией (рис. 5, кривая 2):

$$D = 0.418L^{0.9679} (n = 47, R^2 = 0.954).$$

Средняя величина отношения толщины к длине *Mya arenaria* (D/L) составила 0.371 (37.1 %) при $SD = 0.021$ и колебании минимальных и максимальных значений от 0.31 до 0.41.

Длина, высота и выпуклость раковин характеризуются низким уровнем изменчивости индексов H/L , D/L , D/H ($CV = 4.2$ – 5.9 %). Рассчитанные величины параметров уравнения аллометрического роста показали, что у изученных *Mya arenaria* губы Хлебная формообразование раковины происходит по принципу отрицательной аллометрии ($b < 1$). Нарастание длины раковины происходит быстрее, чем увеличение высоты и выпуклости, поэтому раковина имеет уплощенную форму. Это обусловлено тем, что

моллюски живут в грунте, где воздействие течений и волновых нагонов минимально, и необходимость сопротивляться подвижной внешней среде отсутствует. Полученные данные согласуются с результатами исследований *Mya arenaria* из северо-западной части Черного моря (Савчук, 1976) и южной части Азовского моря (Золотницкий, Сытник, 2020).

Анализ соотношения размерно-весовых характеристик показал, что связь длины с массой моллюсков описывается аллометрическим уравнением $W = 3.5 \cdot 10^{-4} L^{2.08}$ ($R^2 = 0.718$; рис. 6). На графике видно, что масса моллюсков отстает от их роста в длину, и зависимость параметров характеризуется отрицательной аллометрией ($b < 3$).

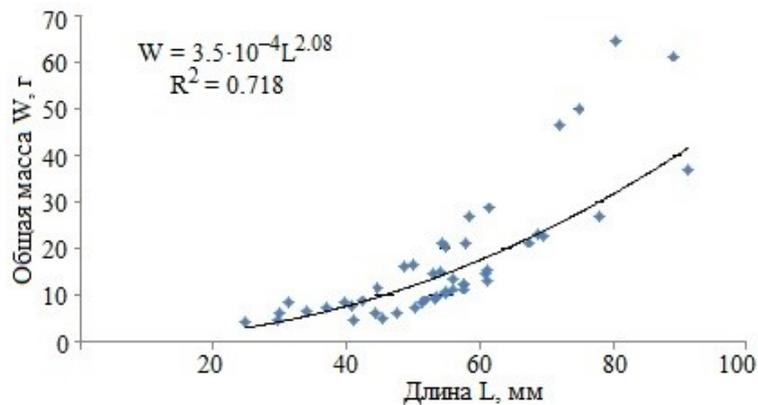


Рис. 6. Связь длины L раковины с общей массой W *Mya arenaria* в процессе роста

Fig. 6. Relationship between the soft-shell clam *Mya arenaria* shell length L and its live weight W in the course of its growth

Ранее, при анализе данных по губам Ярнышная и Зеленецкая, было показано, что связь между длиной и массой моллюска описывается уравнением $W = 2.0 \cdot 10^{-4} L^{2.9}$ (Смолькова, 2021). В работах по изучению аллометрического роста *Mya arenaria* в Белом (Максимович, 1978), Балтийском (Schaffer, Zettler, 2007) и Азовском (Золотницкий, Сытник, 2020) морях были получены иные коэффициенты a и b (табл. 1), что объяснимо различиями гидрологических условий этих районов.

Приведенные показатели коэффициентов отражают общую закономерность связи между длиной раковины и общей (живой) массой моллюсков. Зависимость между размерными и весовыми параметрами у данного вида во всех исследованных районах характеризуется отрицательной аллометрией ($b < 3$). Однако, коэффициент a , отражающий силу взаимодействия исследуемых параметров друг относительно друга, имеет существенные отличия и показывает, что прирост массы у моллюсков в губе Хлебная гораздо выше, чем у моллюсков из других географических районов. Связь длины с массой тела может существенно варьировать в зависимости от различных факторов среды (Feder, Paul, 1974;

Miac et al., 1997). В данном случае основным фактором, определяющим более быстрый прирост биомассы, скорее всего, служит трофический. Ручей, впадающий в вершину губы, вероятно, приносит необходимое количество питательных веществ, что способствует хорошему росту моллюсков и успешному протеканию основных физиологических процессов (питание, дыхание, размножение). Высокое содержание органического вещества в поверхностном слое донных отложений губы Хлебная подтверждается результатами, полученными при прокаливании донных отложений (от 0.8 до 1.7 %). При этом подходящий гранулометрический состав грунта обеспечивает благоприятные условия для закапывания моллюсков и создания неоплывающих плотных норок.

Т а б л и ц а 1

Параметры уравнений зависимости общей массы от длины раковины *Mya arenaria* в разных районах исследований

Table 1

Parameters of the dependence equations of live weight on shell length *Mya arenaria* in different research areas

Район исследований	Коэффициент a	Коэффициент b
Губа Хлебная, Баренцево море	$3.5 \cdot 10^{-4}$	2.08
Губа Зеленецкая, Баренцево море	$3.0 \cdot 10^{-4}$	2.75
Губа Ярнышная, Баренцево море	$2.0 \cdot 10^{-4}$	2.90
Губа Чупа, Белое море	$2.0 \cdot 10^{-4}$	2.86
Устье р. Варнов, Балтийское море	$1.8 \cdot 10^{-4}$	2.75
Бухта Булганак, Азовское море	$1.6 \cdot 10^{-4}$	2.90

Помимо прочего, *Mya arenaria* обладают высокой пластичностью и способны выдерживать критические значения различных факторов среды (солености, температуры, содержания кислорода и сероводорода), что дает возможность моллюскам адаптироваться и формировать поселения с высокой плотностью в районах, неблагоприятных для других менее устойчивых к изменениям среды видов-конкурентов.

Изучение аллометрических отношений между весовыми параметрами моллюсков и анализ относительного роста массы мягких тканей W_m , массы сифона W_s и раковины W_r от общей массы моллюска W необходимо для решения практических задач и оценки возможности использования *Mya arenaria* в марикультуре. Статистический анализ показывает, что связь между этими параметрами описывается линейной функцией с коэффициентами детерминации $R^2 = 0.84-0.98$.

Доля средней массы раковины (W_r/W) *Mya arenaria* в губе Хлебная составила более 60 % при колебании от 38 до 77 %. Средняя масса мягких тканей меньше (табл. 2), ее диапазон 23–52 %. Масса сифона не превышает 13 % от общей массы тела. Значения коэффициента корреляции, представленные в табл. 2, варьируют незначительно.

Данные регрессионного анализа и коэффициент
корреляции, рассчитанные для весовых параметров *Mya arenaria*

Regression analysis data and correlation coefficient calculated
for the weight parameters *Mya arenaria*

Параметр, %	$M \pm SD$	Min–max	a	b	r
W_r/W	61.1±1.41	38.4–76.6	1.45	0.25	0.99
W_m/W	37.2±1.21	23.4–51.8	–1.71	0.75	0.95
W_s/W	12.7±0.53	6.1–20.5	–0.53	0.09	0.92
W_w/W	17.0±0.90	10.1–34.2	–2.04	0.79	0.92

ПРИМЕЧАНИЕ: M – средние значения исследуемых отношений, SD – стандартное отклонение, a и b – параметры уравнения регрессии $y = a + bx$, r – коэффициент корреляции.

Важным показателем, связанным с обменом веществ, является мантийная жидкость моллюска, поэтому была проведена оценка относительной массы данного компонента (W_w/W). Содержания мантийной жидкости в организме было сравнительно небольшим и составило 17 %.

Заключение. Наши исследования позволили впервые получить информацию о состоянии поселений двустворчатого моллюска *Mya arenaria* на литорали губы Хлебная Кольского залива Баренцева моря и охарактеризовать некоторые особенности относительного роста различных частей тела. Установлен гранулометрический состав и содержание органического вещества в донных отложениях губы, которые представлены песчаным илом и илистым песком с примесью алеврита в поверхностном слое. Содержание органического вещества составляет от 0.3 до 1.7 %. Поселение *Mya arenaria* занимает преимущественно средний и нижний горизонты илисто-песчаной литорали. Количественные характеристики поселения *Mya arenaria* в умеренно загрязненной губе Хлебная сравнительно высокие и имеют схожие значения с поселениями моллюсков юго-восточной части Белого моря. Максимальную плотность поселения *Mya arenaria* формирует на участках с мелкопесчанистыми фракциями и минимальным содержанием в поверхностных слоях грунта органического вещества – 82 экз/м², минимальную (1–15 экз/м²) – на участках с высоким (45 %) содержанием мелких алевритовых и пелитовых фракций.

Показано, что у изученных *Mya arenaria* губы Хлебная формирование раковины происходит по принципу слабой отрицательной аллометрии. Нарастание длины раковины происходит быстрее, чем увеличение высоты и выпуклости, поэтому раковина имеет уплощенную форму. Определена закономерность связи между длиной раковины и общей (живой) массой моллюсков. Прирост общей массы у моллюсков в губе Хлебная гораздо выше, чем у моллюсков из других

географических районов. Основными показателями, определяющими наиболее благоприятные условия жизни в губе Хлебная, являются содержание органического вещества, гранулометрический состав грунта и высокая устойчивость моллюсков к изменению условий среды.

Полученные данные о биологии двустворчатого моллюска *Mya arenaria* в губе Хлебная Баренцева моря в дальнейшем послужат базой для мониторинга возможных изменений, вызванных антропогенным воздействием или климатическими флуктуациями. Они также могут быть применены для решения практических задач, связанных с возможностью использования *Mya arenaria* в марикультуре.

Работа выполнена по теме “Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях” (№ госрегистрации 122020900044-2) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1981. Т. 96. С. 137–154.

Андреева И.А., Лапина Н.Н. Методика гранулометрического анализа донных осадков Мирового океана и геологическая интерпретация результатов лабораторного изучения вещественного состава осадков. СПб.: Изд. ВНИИОкеангеология, 1998. 45 с.

Бергер В.Я. Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды // Исследования фауны морей. Л., 1986. Т. 32(40). 214 с.

Герасимова А.В., Максимович Н.В. О закономерностях организации поселений массовых видов двустворчатых моллюсков Белого моря // Вестн. СПбГУ. 2009. Сер. 3, вып. 3. С. 82–97.

Гурьянова Е.Ф., Закс И.Г., Ушаков П.В. Литораль Кольского залива. Ч. II // Тр. Ленингр. общ-ва естествоиспытателей. 1929. Т. 59, вып. 2. С. 17–107.

Дерюгин К.М. Фауна Кольского залива и условия ее существования // Зап. Имп. Академии наук. СПб., 1915. Т. 34, № 1. 929 с.

Золотницкий А.П., Сытник Н.А. Характеристика аллометрического роста песчаной ракушки мии (*Mya arenaria* Linnaeus, 1758) южной части Азовского моря // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3, № 3. С. 56–66. URL: <http://journal.azniirkh.ru>

Информационный бюллетень о состоянии геологической среды прибрежно-шельфовых зон Баренцева, Белого и Балтийского морей в 2012 г. СПб.: Картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2013. 112 с.

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

Максимович Н.В. Особенности экологии и биоэнергетические свойства популяций *Mya arenaria* L. (*Bivalvia*) в губе Чула // Вестн. Ленингр. гос. ун-та. 1978. Сер. Биология. № 21. С. 28–36.

Наумов А.Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. СПб: Изд. Зоол. ин-та РАН, 2004. 367 с.

Павлова Л.В. Предварительные результаты изучения зообентоса литорали губы Хлебная (Кольский залив) // Материалы конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института, посвященной 65-летию МБС-ММБИ (г. Мурманск, март 2000 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2000. С. 58–62.

Савчук М.Я. Акклиматизация двустворчатого моллюска *Mya arenaria* в Черном море // Биология моря. 1976. № 6. Р. 40–46.

Свеишников В.А. Биоценотипические связи и условия существования некоторых кормовых беспозвоночных инфауны литорали Кандалакшского залива Белого моря // Тр. Кандалакшского гос. заповедника. Вып. IV, № 2; Тр. ББС МГУ. 1963. Т. II. С. 114–134.

Смолькова О.В. Продукционные характеристики поселений двустворчатого моллюска *Mya arenaria* L., 1758 Баренцева моря // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2021. Т. 3(12). Сер. Океанология. Вып. 9. С. 141–150 DOI: 10.37614/2307-5252.2021.3.9.017

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

Хлебович В.В., Станкявичюс А.Б. Пределы ступенчатой адаптации *Macoma balthica*, *Mytilus edulis* и *Mya arenaria* из восточной части Балтийского моря // Моллюски. Основные результаты их изучения: Автореф. докл. Сб. 6. Л.: Наука, 1979. С. 42–43.

Byers J. Global invasive species database (WWW Document). *Mya arenaria* (Mollusc). 2007. URL: <http://issg.org/database/species/ecology.asp?si=1159&fr=1&sts=sss&lang=EN>

Cardoso J.F.M.F., Witte J.I.J., van der Veer H.W. Differential reproductive strategies of two bivalves in the Dutch Wadden Sea // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2009. Vol. 84, iss. 1. P. 37–44. DOI: 10.1016/j.ecss.2009.05.026

Comparative study of ecophysiological and biochemical variation between the Baltic and North Sea populations of the invasive soft shell clam *Mya arenaria* (L., 1758) / R. Lasota, K. Kucharska, J. Miac, M. Wolowicz // Oceanol. Hydrobiol. Stud. 2014. Vol. 43, № 3. P. 303–311. DOI: 10.2478/s13545-014-0145-8

Smolkova O.V. Linear growth and yield of bivalve mollusks *Mya arenaria* Linnaeus, 1758 in the conditions of the littoral of the Barents and White seas // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science: AFE-2021 (Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2021, 20–21 June 2021, Ussurijsk, Russian Federation). 2021. Vol. 937. Article № 022078. P. 1–10. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022078

Feder H.M., Paul A.J. Age, growth and size-weight relationships of the soft-shelled clam, *M. arenaria*, in Prince William Sound, Alaska // Proc. Nation. Shellfish. Ass. 1974. Vol. 64. P. 45–52.

Forster S., Zettler M.L. The capacity of the filter-feeding bivalve *Mya arenaria* L. water transport in sandy beds // Mar. Biol. 2004. Vol. 144. P. 1183–1189. URL: <https://doi.org/10.1007/s00227-003-1278-2>

Hidu H. The effects of sediment type on growth rate and shell allometry in soft shelled clam, *Mya arenaria* // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1982. Vol. 65(3). P. 285–295.

Miac J., Groth M., Wolowicz M. Seasonal changes in the *Mya arenaria* (L.) population from Inner Puck Bay // Oceanologia. 1997. Vol. 39, № 2. P. 177–195.

Schaffer F., Zettler M.L. The clam siphon as indicator for growth indices in the soft-shell clam *Mya arenaria* // Helgoland Mar. Res. 2007. Vol. 61, № 1. P. 9–16. DOI: 10.1007/s10152-006-0049-0

Physical properties of soft shell clams, *Mya arenaria* / F.W. Wheaton, G.U. Schaffer, A.L. Ingling, L.W. Douglass // Aquacultural Eng. 2008. Vol. 38, iss. 3. P. 181–188. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2008.03.002

Strasser M. *Mya arenaria* – an ancient invader of the North Sea coast // Helgolander Meeresuntersuchungen. 1999. Vol. 52. P. 309–324. DOI: 10.1007/BF02908905

Thumdrup H.M. Beiträge zur Ökologie der Wattenfauna auf experimenteller Grundlage // Meddelelser Komm. Danmarks Fiskeri-Havundersøgelser. Ser. Fiskeri. 1935. Vol. 10, № 2. 125 p.

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.010

УДК 597.2.5 (268.52)

С.А. Чаус

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия

АНАЛИЗ СХОДСТВА СОСТАВА ПИЩИ АРКТИЧЕСКОГО ШЛЕМОНОСНОГО БЫЧКА *GYMNOCANTHUS TRICUSPIS* (REINHARDT, 1830) С НЕКОТОРЫМИ НЕПРОМЫСЛОВЫМИ ВИДАМИ РЫБ КАРСКОГО МОРЯ

Аннотация

Представлены сведения о составе пищи арктического шлемоносного бычка *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830) в Карском море в 2012, 2015 и 2016 гг. Рассматриваемый вид является типичным бентофагом, основу питания которого в Карском море составляют полихеты, изоподы и кумовые раки. Выполнено сравнение пищи бычка с другими представителями непромысловых рыб Карского моря. Показано, что наиболее близки в трофическом отношении такие виды как атлантический крючкорог, ледовитоморская лисичка и восточный ицел.

Ключевые слова: арктический шлемоносный бычок *Gymnocanthus tricuspis*, Карское море, питание.

S.A. Chaus

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

Murmansk State Technical University, Murmansk, Russia

FOOD COMPOSITION SIMILARITY ANALYSIS OF ARCTIC STAGHORN SCULPIN *GYMNOCANTHUS TRICUSPIS* (REINHARDT, 1830) WITH SOME NON-TARGET FISH SPECIES IN THE KARA SEA

Abstract

This article provides data on diet composition of arctic staghorn sculpin *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830) in the Kara Sea in the 2012, 2015, 2016. This species is a typical benthivorous fish whose diet in the Kara Sea is based on polychaetas, isopods

and cumaceans. The similarity of arctic staghorn sculpin diet with other representatives of non-commercial fish of the Kara Sea was considered. Closest trophic species were identified, such as atlantic hooker sculpin, arctic alligatorfish, spatulate sculpin.

Keywords: arctic staghorn sculpin *Gymnocanthus tricuspis*, the Kara Sea, diet.

Введение. Одними из важных аспектов в биологии и экологии рыб являются питание и пищевые взаимоотношения, позволяющие проследить трансформацию вещества и энергии в экосистеме. Арктический шлемоносный бычок – значимая часть трофических цепей в северных морях. В стадии планктонной личинки этот вид является кормом для трески (The diets ..., 2013), взрослые особи становятся пищей для других рыб (Food ..., 1997) и тюленей (Lowry et al., 1980; Population ..., 1997). В западных арктических морях (Берингово, Чукотское и море Бофорта) основными компонентами питания для объекта исследований являются амфиподы, сифоны двустворчатых моллюсков, кумовые раки и полихеты (Food ..., 1997; Cui et al., 2012; Whitehouse et al., 2017). В литературе имеются сведения о питании рассматриваемого вида в Баренцевом и Карском морях, где упоминается об обнаружении в желудках полихет, донных ракообразных и молоди трески (Брискина, 1939; Андрияшев, 1954; Долгов, 1995). Многие опубликованные сведения дают преимущественно качественную оценку питания вида, в то время как количественным параметрам уделяется недостаточно внимания. В связи с этим возникает потребность получения и систематизации сведений о качественных и количественных характеристиках питания как можно большего количества представителей ихтиофауны северных морей, в том числе и арктического шлемоносного бычка.

Цель настоящей работы – сравнение питания *Gymnocanthus tricuspis* с другими непромысловыми видами рыб Карского моря.

Материал и методы. Использованный в работе материал отобран в экспедициях Мурманского морского биологического института в Карском море в 2012, 2015 и 2016 гг. на НИС “Дальние Зеленцы”. Анализ содержимого желудков выполнен в лабораторных условиях с использованием стандартного количественно-весового метода (Правдин, 1966; Методическое ..., 1974; Инструкции ..., 2004). Всего исследовано 78 особей арктического шлемоносного бычка, из них у 15.2 % рыб желудки были пустые. При анализе питания использованы показатели массовой доли (m , %) – процент массы конкретного пищевого объекта от общей массы пищевого комка, а также частота встречаемости (f , %), высчитываемая как процент желудков с данным пищевым компонентом от общего количества желудков с пищей.

Для оценки сходства питания рыб применяли индекс пищевого сходства (ИПС), предложенный А.А. Шорыгиным (1952). Степень пищевого сходства равна сумме меньших значений компонентов пищи, независимо от того, у какой из двух сравниваемых рыб каждый из них представлен в пище. Данный

индекс состава пищи не определяет напряженности пищевых отношений между разными видами рыб, а лишь указывает на возможную конкуренцию.

Результаты и обсуждение. В желудочно-кишечном тракте арктического шлемоносного бычка в 2012–2016 гг. были обнаружены представители 31 таксона. Как по массовой доле, так и по частоте встречаемости в питании вида преобладали полихеты, кумовые раки и изоподы (табл. 1). Неполовозрелые особи питаются преимущественно кумовыми раками и копеподами. Полученные данные согласуются с ранее опубликованной информацией по питанию рассматриваемого вида (Брискина, 1939; Андрияшев, 1952; Есипов, 1952; Fedorov, 1986; Долгов, 1995).

Таблица 1

**Состав пищи арктического шлемоносного бычка
в Карском море в 2012, 2015, 2016 гг.**

Table 1

Arctic staghorn sculpin's diet composition in the Kara Sea in the 2012, 2015, 2016

Пищевой компонент	<i>m</i> , %	<i>f</i> , %
Polychaeta	24.18	31.3
Polychaeta sp.	13.88	16.2
<i>Phyllodoce groenlandica</i>	5.45	13.1
Polynoidae sp.	4.85	2.1
Amphipoda	11.21	18.2
<i>Tryphosites longipes</i>	0.30	3.0
<i>Onisimus</i> sp.	0.30	3.0
<i>Ampelisca</i> sp.	2.03	3.0
<i>Lysianassa</i> sp.	1.52	3.0
Hyperiidae	6.06	6.1
Cumacea	18.21	27.4
<i>Diastylis</i> sp.	3.10	3.2
<i>Diastylis glabra</i>	15.11	24.2
Ostracoda	6.06	6.1
Ostracoda sp.	3.03	3.0
<i>Rabilimis septentrionalis</i>	3.03	3.0
Ophiuridae	0.15	3.0
<i>Stegophiura nodosa</i>	0.15	3.0
Copepoda	12.03	17.2
Gastropoda	2.27	6.0
Naticidae sp.	0.90	3.0
Cylichnoides sp.	1.36	3.0
Bivalvia	7.42	12.2
Bivalvia sp.	2.73	9.1
<i>Hiatella arctica</i>	4.70	3.1
Mysidae	6.67	9.1
Mysida sp.	3.64	6.1
<i>Mysis polaris</i>	3.03	3.0
Isopoda	14.24	25.2
<i>Synidotea bicuspidata</i>	6.93	9.1
<i>Synidotea nodulosa</i>	7.11	16.2
Переваренная пища	3.70	19.2

Сравнение состава пищи арктического шлемоносного бычка и других непромысловых рыб (Долгов и др., 2014) выявило близкие в трофическом отношении виды. Наивысшие значения ИПС отмечены между объектом исследования и другими видами-бентофагами, такими как лисичка-лептагон *Leptagonus decagonus* и атлантический крющорог *Artediellus atlanticus* (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Индексы сходства состава пищи арктического шлемоносного бычка с непромысловыми видами рыб Карского моря (Долгов и др., 2014)

Table 2

Arctic staghorn sculpin's and some non-target fish species' from Kara Sea diet similarity indexes (Долгов и др., 2014)

Вид рыб	<i>Gymnocanthus tricuspis</i>
<i>Leptagonus decagonus</i>	45.96
<i>Artediellus atlanticus</i>	40.43
<i>Lycodes rossi</i>	38.02
<i>Icelus spatula</i>	33.72
<i>Aspidophoroides olrikii</i>	31.66
<i>Liparis bathyartcticus</i>	20.08
<i>Lycodes polaris</i>	14.09
<i>Careproctus reinhardti</i>	13.89
<i>Liparis fabricii</i>	13.71
<i>Cottunculus microps</i>	11.35
<i>Icelus bicornis</i>	11.15
<i>Triglops nybelini</i>	6.25
<i>Lycodes reticulatus</i>	4.56

Трофические связи между этими видами в той ли иной степени выражены в питании полихетами, гастроподами, изоподами и амфиподами. Также относительно высок показатель ИПС между арктическим шлемоносным бычком и восточным ицелом *Icelus spatula*, а также ликодом Росса *Lycodes rossi*. Несмотря на предрасположенность употребления последним сайки, сходство достигается за счет значительной доли полихет и амфипод в питании видов. Низкие значения ИПС получены при сравнении спектров питания объекта исследований с видами-планктофагами и хищниками, основу пищи которых составляли эвфаузииды, копеподы, мизиды и рыбы.

Выводы. В питании арктического шлемоносного бычка в Карском море преобладают донные бентосные организмы – полихеты, кумовые раки и изоподы, у молоди зачастую отмечаются копеподы.

Индекс пищевого сходства арктического шлемоносного бычка максимален с лисичкой-лептагон *Leptagonus decagonus* (45.96), атлантическим крющорогом *Artediellus atlanticus* (40.43), ликодом Росса *Lycodes rossi* (38.02).

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам лаборатории ихтиологии ММБИ РАН за помощь в сборе материала, а также сотрудникам лаборатории зообентоса ММБИ РАН к.б.н. Л.В. Павловой, к.б.н. А.А. Фролову, О.Л. Зиминной за помощь в определении компонентов питания.

Работа выполнена по теме “Биология, экофизиология и разнообразие рыб Арктики” (№ госрегистрации 121091600098-9) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Андряшев А.П. Рыбы северных морей СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 566 с.

Брискина М.М. Питание промысловых рыб Баренцова моря // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та мор. рыбного хозяйства и океанографии. 1939. Т. IV. С. 339–354.

Долгов А.В. Некоторые вопросы биологии промысловых рыб Баренцева моря // Сборник докладов конференции-конкурса молодых ученых и специалистов ПИНРО “Проблемы рыбохозяйственной науки в творчестве молодых”. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1995. С. 69–94.

Долгов А.В., Бензик А.Н., Четыркина О.Ю. Питание промысловых рыб и их роль в продуктивности экосистемы Карского моря // Современные методы оценки биопродуктивности вод промрайонов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2014. С. 190–208 (Тр. ВНИРО. Т. 152).

Есипов В.К. Рыбы Карского моря. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 146 с.

Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 300 с.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

Шорыгин А.А. Питание и пищевые взаимоотношения рыб Каспийского моря. М.: Пищепромиздат, 1952. 268 с.

Cui X., Grebmeier J.M., Cooper L.W. Feeding ecology of dominant ground-fish in the northern Bering Sea // *Polar Biol.* 2012. Vol. 35. P. 1407–1419.

Fedorov V.V. Cottidae // *Fishes of the Northeastern Atlantic and the Mediterranean* / P.J.P. Whitehead, M.-L. Bauchot, J.-C. Hureau, J. Nielsen, E. Tortonese (Eds.). Paris: UNESCO, 1986. Vol. 3. P. 1243–1260.

Food habits of four demersal Chukchi Sea fishes / K.O. Coyle, J.A. Gillespie, R.L. Smith, W.E. Barber // *Am. Fish. Soc. Symp.* 1997. Vol. 19. P. 310–318.

Lowry L.F., Frost K.J., Burns J.J. Variability in the diet of ringed seals, *Phocahispida*, in Alaska // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1980. Vol. 37. P. 2254–2261.

Population biology of the Arctic Staghorn Sculpin in the Northeastern Chukchi Sea / R.L. Smith, W.E. Barber, M. Vallerino, J. Gillispie, A. Ritchie // *Am. Fish. Soc. Symp.* 1997. Vol. 19. P. 133–139.

*The diets of Polar cod (*Boreogadus saida*) from August 2008 in the U.S. Beaufort Sea* / K.M. Rand, A. Whitehouse, E.A. Logerwell, E. Ahgeak, R. Hibpshman, S. Parker-Stetter // *Polar Biol.* 2013. Vol. 36. P. 907–912.

Whitehouse G.A., Buckley T.W., Danielson S.L. Diet compositions and trophic guild structure of the eastern Chukchi Sea demersal fish community // Deep-Sea Res. Part II. Top. Stud. Oceanogr. 2017. Vol. 135. P. 95–110.

DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.011
УДК 574.583

О.В. Човган

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

СОСТАВ И СТРУКТУРА МИКРОПЛАНТОНА ФРАМОВСКОЙ ВЕТВИ НОРВЕЖСКОГО ТЕЧЕНИЯ

Аннотация

Приведен современный таксономический состав микропланктона в предзимний период и биогеографическая характеристика видов на востоке пролива Фрама, находящегося под влиянием теплых и соленых вод Западно-Шпицбергенского течения (ответвление от Норвежского), именуемого в северной части архипелага Шпицберген фрамовской ветвью. Материал исследований – экспедиции НИС “Дальние Зеленцы” 2019 и 2021 гг., вторая половина ноября. Обнаружены новые для исследуемого региона виды тепловодного, в том числе тропического, происхождения: динофлагелляты *Corythodinium diploconus*, *Dicroerisma psilonereiella*, *Dinophysis ovata*, *Dinophysis tripos*, *Oxytoxum caudatum*, *Pronoctiluca rostrata*, *Podolampas palmipes*, раковинные инфузории *Amphorellopsis tetragona*, *Ormosella haeckeli*, *Parundella caudata*, диатомея *Proboscia indica*, консорциум двух видов – диатомеи *Leptocylindrus mediterraneus* и жгутикового эпифита *Solenicola setigera*. Большая часть указанных находок характерна для акватории Северной Атлантики, виды также отмечены как чужеродная флора и фауна в Баренцевом море, в районе Нордкапского течения – ответвления Норвежского течения.

Ключевые слова: планктон, биогеография, миграции, потепление, Гренландское море, Арктика.

O.V. Chovgan

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

COMPOSITION AND STRUCTURE OF MICROPLANKTON IN THE FRAM BRANCH OF THE NORWEGIAN CURRENT DURING THE PRE-WINTER PERIOD

Abstract

The research reports the current taxonomic composition of microplankton and its biogeographical characteristics during the pre-winter period in the east of the Fram Strait, which is influenced by the West Spitsbergen branch of the Norwegian Current and called Fram Strait branch. Research materials are based on marine expeditions of R/V “Dalnie Zelentsy” during the second half of November in 2019 and 2021. The taxonomic

composition includes new for this region records of warm-water species: dinoflagellates *Corythodinium diploconus*, *Dinophysis ovata*, *Dinophysis tripos*, *Oxytoxum caudatum*, *Pronoclituca rostrata*, *Podolampas palmipes*, tintinnids *Amphorellopsis tetragona*, *Ormosella haeckeli*, *Parundella caudata*, the diatom *Proboscia indica*, the consortium of two organisms – the diatom *Leptocylindrus mediterraneus* and the flagellate *Solenicola setigera*. Most of records belong to the North Atlantic, and were previously noted as alien species in the Barents Sea, in the area of the North Cape Current.

Keywords: plankton, biogeography, migration, warming, Greenland Sea, Arctic.

Введение. Состав и структуру пелагических сообществ Арктического региона в значительной степени определяет адвекция атлантических вод Норвежским течением (Сушкина, 1962; Паутова, 2021). Норвежское течение, разделяясь на Западно-Шпицбергенское, проникающее в Гренландское море, и Нордкапское – в Баренцево, обеспечивает поступление тепла в высокие широты (Махотин, Иванов, 2016). Как следствие, на фоне текущего процесса “атлантификации” наблюдается трансформация планктонных сообществ Арктики (Csapó et al., 2021), включая один из наиболее удаленных районов под влиянием теплых вод – пролив Фрама (Zooplankton ..., 2017; Lavrentyev et al., 2019). Воды атлантического генезиса в акватории пролива обусловлены Западно-Шпицбергенским течением на востоке, сохранившем по мере продвижения в Арктике положительную температуру и высокую соленость, и именуется фрамовской ветвью (Махотин, Иванов, 2016).

В то же время на фоне температурных аномалий в арктических широтах регистрируются инвазии тепловодных видов микропланктона (Bjørklund et al., 2012; Тепловодные ..., 2019; Макаревич, Олейник, 2020), что диктует необходимость ревизии таксономического состава. Однако исследования микропланктона открытой акватории на востоке пролива Фрама эпизодичны (Кузьмина, 1962; Graudinger, Baumann, 1991; Иванова, 2010; Lampe et al., 2021), в силу сложных гидрологических условий не освещен предзимний период.

Цель исследований – оценить современный таксономический состав по биогеографической структуре сообщества микропланктона в районе фрамовской ветви Норвежского течения в предзимний период.

Материал и методы. Исследование основано на планктонном материале экспедиций НИС “Дальние Зеленцы” 2019 и 2021 гг. вдоль восточной части пролива Фрама во второй половине ноября (рис. 1). Станции отбора проб охватывают поток атлантических вод согласно термохалинным параметрам водной толщи по результатам СТД-зондирования.

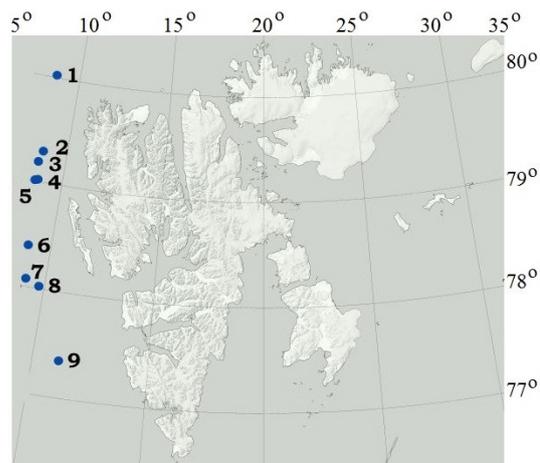


Рис. 1. Карта-схема станций в восточной части пролива Фрама
 Fig. 1. Map-scheme of stations in the eastern part of the Fram Strait

Отбор проб микропланктона выполнен планктонной сетью (размер ячеек фильтрующего полотна 29 мкм) послойно и батометром Нискина по горизонтам (0, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 250 м, дно). В судовой лаборатории батометрические пробы объемом 1–1.5 л были сконцентрированы посредством камеры обратной фильтрации через мембранные фильтры с размером пор 2 мкм, в лаборатории Института – методом осаждения. В качестве фиксатора использован нейтральный раствор формальдегида, конечное содержание в пробе 2 % (Современные ..., 1983; Суханова, 1983).

Идентификация микропланктона проведена методом прямой микроскопии с помощью учетной камеры Нажотта (объем рабочего поля 0.08 мл) при ув. 400. Фотографии организмов получены камерой для микроскопа “SCOPOTEK DSM-510”.

Результаты и обсуждение. Сообщество микропланктона фрамовской ветви Норвежского течения в предзимний период включает 100 таксонов видового ранга (таблица) и представлено главным образом североатлантическими видами, также обычными в водах Баренцева моря (Макаревич, Олейник, 2017; Паутова, 2021). Формирование таксономически схожих пелагических сообществ в обеих акваториях, описываемых как обедненная флора и фауна Северной Атлантики (Околодков, 2000), обусловлено общим источником миграций – Норвежским течением.

На основании обширных исследований закономерностей распространения планктона и границ видовых ареалов (Dunbar, 1953; Semina, 1997; Околодков, 2000), а также комплексной биогеографической характеристики видов, приведенной в литературных источниках (Okolodkov, 1996, 2005; Rat'kova, 2000; Коновалова, 2004; Сезонная ..., 2005; Сравнительная ..., 2011; Boltovskoy, Correa, 2016; Gogorev, Samsonov, 2016; Community ..., 2021), определено оригинальное происхождение обнаруженных таксонов. Биогеографическая структура сообщества

микропланктона в исследуемом регионе представлена 8 типами ареалов, доля видов в каждом из которых следующая: космополитный – 24 %, биполярный – 7 %, арктический – 1 %, аркто-бореальный – 30 %, бореальный – 4 %, аркто-бореально-тропический – 14 %, тропическо-бореальный – 12 %, субтропический и тропический – 3 %; статус 5 % видов не определен. Присутствие аллохтонного микропланктона тепловодного происхождения в районе исследований закономерно: виды выносятся из основного ареала трансформируемыми водами в пределах собственных норм реакций по мере продвижения широтных течений (Беклемишев, 1961). Особенности биогеографической структуры таксономического состава на востоке пролива Фрама рассмотрены далее по типам видовых ареалов.

**Таксономический состав микропланктона
фрамовской ветви Норвежского течения
Taxonomic composition of microplankton
from the Fram Strait branch of the Norwegian Current**

Таксон	Тип ареала
Bacillariophyta	
<i>Achnanthes taeniata</i> Grunow	А-Б
<i>Chaetoceros borealis</i> Bailey	А-Т-Б
<i>Chaetoceros concavicornis</i> Mangin	БИП
<i>Chaetoceros convolutus</i> Castracane	БИП
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve	К
<i>Chaetoceros diadema</i> (Ehrenberg) Gran	К
<i>Chaetoceros furcellatus</i> Bailey (спора)	А-Б
<i>Chaetoceros mitra</i> (Bailey) Cleve (спора)	А-Б
<i>Corethron criophilum</i> var. <i>hystrix</i> (Hensen) Hendey	А-Б
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> (Ehrenberg) Ehrenberg	А-Б
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann et Lewin	К
<i>Entomoneis paludosa</i> var. <i>hyperborea</i> (Grunow) Poulin et Cardinal	А-Б
<i>Fragilariopsis oceanica</i> (Cleve) Hasle	А-Б
<i>Navicula distans</i> (W. Smith) Ralfs	А-Б
<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) C. Agardh	А-Б
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	К
<i>Pleurosigma angulatum</i> (Queckett) W. Smith	–
<i>Porosira glacialis</i> (Grunow) Jörgensen	БИП
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sundström	К
<i>Proboscia indica</i> (Peragallo) Hernández-Becerril	Т-Б
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden	А-Б
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> (Cleve) Peragall	А-Б
<i>Rhizosolenia hebetata</i> f. <i>hiemalis</i> Gran	А-Б
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky	А-Т-Б
<i>Thalassiosira hyalina</i> (Grunow) Gran	А-Б
Dinophyta	
<i>Amphidinium sphenoides</i> Wülf	А-Б
<i>Ceratium arcticum</i> (Ehrenberg) Cleve	А-Б
<i>Ceratium bucephalum</i> (Cleve) Cleve	Т-Б
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède & Lachmann	К ?
<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujar	А-Б-Т

Таксон	Тип ареала
<i>Ceratium horridum</i> (Cleve) Gran	Т-Б
<i>Ceratium lineatum</i> (Müller) Nitzsch	К ?
<i>Ceratium longipes</i> (Bailey) Gran	А-Б-Т
<i>Ceratium macroceros</i> (Ehrenberg) Vanhöffen	Т-Б
<i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch	К ?
<i>Corythodinium diploconus</i> (F. Stein) F.J.R. Taylor	Т-Б
<i>Dicroerisma psilonereiella</i> F.J.R. Taylor & S.A. Cattell	Б ?
<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann	А-Б-Т
<i>Dinophysis acuta</i> Ehrenberg	БИП
<i>Dinophysis contracta</i> (Kofoid & Skogsberg) Balech	А-Б-Т
<i>Dinophysis norvegica</i> Claparède & Lachmann	А-Б
<i>Dinophysis ovata</i> Claparède & Lachmann	Т-Б
<i>Dinophysis rotundata</i> Claparède & Lachmann	А-Б-Т
<i>Dinophysis tripos</i> Gourret	Т-Б
<i>Prorocentrum balticum</i> (Lohmann) Loeblich III	К
<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparède & Lachmann) Diesing	К
<i>Gyrodinium fusiforme</i> Kofoid & Swezy	А-Б-Т
<i>Lessardia elongata</i> Saldarriaga & Taylor aff.	Б ?
<i>Micracanthodinium claytonii</i> (Holmes) Dodge	А-Б
<i>Oxytoxum belgicae</i> Meunier	Т-Б
<i>Oxytoxum caudatum</i> Schiller	Т-Б
<i>Podolampas palmipes</i> Stein	Т-Б
<i>Polarella glacialis</i> Montresor, Procaccini & Stoecker (циста)	БИП
<i>Pronoctiluca pelagica</i> Fabre-Domergue	К ?
<i>Pronoctiluca rostrata</i> F.J.R. Taylor	Т-Б
<i>Protoperidinium</i> aff. <i>cerasus</i> (Paulsen) Balech	А-Б-Т
<i>Protoperidinium arcticum</i> (Grøntved & Seidenfaden) Okolodkov	А
<i>Protoperidinium bipes</i> (Paulsen) Balech	А-Б
<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech	А-Б-Т
<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh	А-Б-Т
<i>Protoperidinium conicum</i> (Gran) Balech (циста)	А-Б-Т
<i>Protoperidinium granii</i> (Ostenfeld) Balech	К ?
<i>Protoperidinium brevipes</i> (Paulsen) Balech	К
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich III (циста)	К
<i>Zygabikodinium lenticulatum</i> Loeblich & Loeblich III	К
Ciliophora	
<i>Acanthostomella norvegica</i> (Daday)	БИП
<i>Amphorella vitrea</i> Meunier	–
<i>Amphorellopsis tetragona</i> (Jørgensen) Kofoid & Campbell	С/Т-Т
<i>Codonellopsis pusilla</i> (Cleve) Jørgensen	К
<i>Ormosella haeckeli</i> Kofoid & Campbell	С/Т-Т
<i>Parafavella denticulata</i> (Ehrenberg)	А-Б
<i>Parafavella edentata</i> (Brandt) Kofoid & Campbell	А-Б
<i>Parundella caudata</i> (Ostenfeld) Jørgensen	К ?
<i>Ptychocylis obtusa</i> Brandt	БИП
<i>Ptychocylis urnula</i> Brandt	А-Б
<i>Salpingella secata</i> (Brandt, 1896)	–
<i>Salpingella acuminata</i> (Claparède & Lachmann) Jørgensen	К

Таксон	Тип ареала
<i>Salpingella</i> aff. <i>rotundata</i> (Kofoid & Campbell)	–
<i>Stenosemella oliva</i> (Meunier)	Б
<i>Strombidium</i> aff. <i>conicum</i> (Lohmann) Wulff	–
<i>Tintinnopsis fimbriata</i> Meunier	А-Б
<i>Tintinnopsis patula</i> Meunier	–
Radiozoa	
<i>Amphimelissa setosa</i> (Cleve) Jörgensen	А-Б
<i>Arachnosphaera dichotoma</i> Jörgensen	–
<i>Challengeron diodon</i> Borgert	А-Б-Т
<i>Challengeron neptuni</i> Borgert	А-Б
<i>Hexadoras borealis</i> Cleve	Б
<i>Phormacantha hystrix</i> (Jörgensen) Jörgensen	А-Б
<i>Plagiacantha arachnoides</i> (Claparède)	А-Б
<i>Plectacantha oikiskos</i> Jörgensen	А-Б
<i>Protocystis tridens</i> Bjørklund	К
<i>Siphocampe lineata</i> (Ehrenberg) Nigrini	Б
<i>Sticholonche zanclea</i> Hertwig	К
Chrysophyta	
<i>Octactis speculum</i> (Ehrenberg) Chang, Grieve & Sutherland	К
Foramenifera	
<i>Globigerina bulloides</i> d'Orbigny	А-Б
Prasinophyta	
<i>Halosphaera viridis</i> Schmitz	К
Нартопфита	
<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller	А-Б ?
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann) Hay & Mohler	К
Формы <i>incertae sedis</i>	
<i>Fusopsis elongata</i> Meunier	–
<i>Leptocylindrus mediterraneus</i> Hasle + <i>Solenicola setigera</i> Pavillard	С/Т-Т ?

ПРИМЕЧАНИЕ. К – космополитный, Б – биполярный, А – арктический, А-Б – аркто-бореальный, Б – бореальный, А-Б-Т – аркто-бореально-тропический, Т-Б – тропическо-бореальный, С/Т-Т – субтропический и тропический тип ареала.

Космополитный тип – ареал эврибионтных видов, широко распространенных в Северном и Южном полушариях.

Представители данного типа распространения в районе исследований были обнаружены на всех станциях: динофлагелляты *Ceratium furca*, *Ceratium lineatum*, *Ceratium tripos*, *Protoperidinium brevipes*, *Protoperidinium granii*, *Prorocentrum baltica*, *Pronoctiluca pelagica*, *Zygabikodinium lenticulatum*, тинтинниды *Codonellopsis pusilla*, *Salpingella acuminata*, *Parundella caudata* (новая для региона), радиолярия *Sticholonche zanclea*, кокколитофорида *Emiliania huxleyi*, прازیнофитовая водоросль *Halosphaera viridis*. Виды являются типичными представителями предзимнего комплекса морского микропланктона вод Западной Арктики (Макаревич, Олейник, 2017).

Широтно-зональное распространение некоторых указанных таксонов требует уточнения, в особенности – раковинных инфузорий, географическая характеристика которых затруднена в силу морфологической variability лорики. Тинтиниды *Codonellopsis pusilla* и *Salpingella acuminata* И.В. Бурковский (1976) описывает как бореальный и аркто-бореальный виды соответственно. Однако современные исследования подтверждают находки тинтинид также в Средиземноморье (Microoplankton ..., 2009), у берегов Индии (Sai Elangovan, Gauns, 2018) и Южной Америки (Tintinnid ..., 2011), Антарктике (Southern ..., 2012; Changes ..., 2020). Таким образом, в настоящем исследовании виды *Codonellopsis pusilla* и *Salpingella acuminata* рассмотрены в качестве космополитов.

Впервые в проливе Фрама отмечена тинтиннида *Parundella caudata*, распространение которой, вероятно, можно считать космополитным. Вид обнаружен в Северном и Южном полушариях, в частности в Норвежском и Средиземном морях (Cordeiro, Sassi, 1997; Summertime ..., 2021), в тропической и субтропической областях (Tintinnid ..., 2011; Sai Elangovan, Gauns, 2018; Santiago, Lagman, 2018), Субантарктике (Thompson, Alder, 2005; Southern ..., 2012). Тинтиннида как инвазивный вид отмечена и в Баренцевом море, в зоне влияния Нордкапского течения (Chovgan, 2019). Вместе с тем в прошлом столетии для баренцевоморской фауны описана морфологически близкая раковинная инфузория *Parundella pellucida* (Определитель ..., 1948). Разграничение тинтиннид на два самостоятельных вида внутри рода *Parundella* (Jørgensen, 1924), возможно, не имеет достаточных оснований по причине полиморфности раковинных инфузорий (South ..., 1999). По всей видимости, инфузория *Parundella caudata* не является новым видом для арктической акватории, и находки в проливе Фрама могут быть связаны как с расширением ареала в широтном направлении, так и увеличением количества исследований в регионе.

К космополитному типу отнесены и панцирные жгутиконосцы *Ceratium furca*, *Ceratium lineatum*, *Ceratium tripos* – эврибионтные виды антарктико-тропическо-бореального распространения (Dodge, Marshall, 1994; Окологдов, 2000), обычные в северных морях Западной Арктики (Паутова, 2021).

Важно подчеркнуть, что космополитизм большинства рассматриваемых видов следует считать условным: на фоне обильного распространения в Мировом океане развитие в Арктике связано с адвекцией атлантических вод, что описывается в различных исследованиях (Сушкина, 1962; Паутова, 2021). Так, расширение в высоких широтах ареала *Emiliania huxleyi* напрямую связывают с усилением “атлантификации” Западно-Арктического региона (Neukermans et al., 2018; Паутова, 2021). В отношении динофлагеллят, распространенных в Арктике под влиянием теплых течений, предложен термин “субкосмополиты” (Окологдов, 2000).

Биполярный тип – ареал видов, обитающих в акваториях Северного и Южного полушарий и отсутствующих в тропической области.

В исследуемом регионе биполярный тип распространения свойственен неретическим радиоляриям *Phormacantha hystrix*, *Plectacantha oikiskos*, *Hexadoras borealis* (Nishimura et al., 1997). В то же время указанная закономерность приводится для радиолярий осадочного материала, распространение в пелагиали рассматривается в Северном полушарии как арктобореальное (Boltovskoy, Correa, 2016).

Биполярное распространение наблюдается также у раковинных инфузорий *Acanthostomella norvegica* и *Ptychocyclus obtusa*; вследствие разобщенности во времени и пространстве некоторые исследователи (Sothorn ..., 2012) предполагают, что виды Северного и Южного полушарий являются криптическими. В северных морях тинтиниды характеризуются арктобореальным распространением (Бурковский, 1976).

Среди динофлагеллят с биполярным типом ареала обнаружен единственный вид – *Polarella glacialis* на стадии цисты (Bipolar ..., 2003).

Арктический тип – ареал холодноводных и эндемичных видов Арктики, распространение которых ограничено циркумполярной областью. Малочисленный в видовом отношении тип ареала планктонных видов среди полярных морей. Вероятно, считать строго арктическими можно лишь небольшое количество представителей микропланктона северных вод (Околодков, 2000).

В настоящем исследовании встречен один вид данного типа ареала – панцирный жгутиконосец *Protoperidinium arcticum*. Распространение вида не связано с адвекцией атлантических вод и находка, по-видимому, из смежного слоя арктического генезиса.

Аркто-бореальный тип – ареал холодноводных видов, обитание которых охватывает северные акватории до границы Субарктики.

Ключевой тип распространения микропланктона в Арктике, что обусловлено формированием условий обитания в первую очередь арктической водной массой, источник которой – Северный Ледовитый океан, в сочетании с тепловодной и соленой североатлантического происхождения со стороны запада или северотихоокеанского – с востока. Тип включает обычные для Арктического региона виды, доминантные в холодный сезон (Макаревич, Олейник, 2017).

На востоке пролива Фрама аркто-бореальные таксоны обоснованно распространены на всех станциях и отражают “фазу затухания” в период критического снижения инсоляции (Макаревич, Дружкова, 2010) – динофлагелляты *Dinophysis norvegica*, *Ceratium arcticum*, диатомей *Entomoneis paludosa* var. *hyperborea*, *Corethron criophilum* var. *hystrix*, *Chaetoceros furcellatus* и *Chaetoceros mitra* на стадии покоящихся спор, тинтинида *Parafavella denticulata*, радиолярия *Protocystis tridens*, фораминифера *Globigerina bulloides*, малочисленно присутствуют криофильные водоросли *Fragilariopsis oceanica* и *Achnanthes taeniata*. Указанные виды в силу циркумполярного распространения не следует рассматривать как арктические: на северо-востоке Баренцева моря и в

Карском выявлена приуроченность к затоку атлантических вод (Сушкина, 1962; Берштейн, 1934; Семина, Рыжов, 1985).

К представителям аркто-бореального типа отнесен холодноводный вид кокколитофорид *Coccolithus pelagicus*, который является маркером атлантификации в Арктике, основной ареал – Гренландское море (Паутова, 2021).

Бореальный тип – ареал тепловодных видов, обитающих в умеренной зоне Мирового океана.

В число бореальных видов микропланктона включена динофлагеллята *Dicroerisma psilonereia*, обнаруженная на востоке пролива Фрама впервые, ближайшие находки – Баренцево и Карское моря (Олейник, 2015). Вид известен из вод Тихого океана (Gómez, 2008; Фитопланктон..., 2010), найден в тропической акватории (Gómez, 2008).

Аркто-бореально-тропический тип – ареал эврибионтных видов в водах Северного полушария и тропической области Мирового океана.

На востоке пролива Фрама в указанный тип наряду с космополитным и аркто-бореальным входят виды, распространенные на всех станциях и соответствующие предзимнему комплексу микропланктона северных морей – *Ceratium longipes*, *Ceratium fusus*, *Dinophysis rotundata*, а также панцирные жгутиконосцы *Protoperidinium cerasus*, *Protoperidinium depressum*, *Protoperidinium pellucidum*. В настоящем материале идентификация вида *Protoperidinium cerasus* может быть ошибочна.

Тропическо-бореальный тип – ареал тепловодных видов микропланктона, при котором Арктика является областью выселения организмов широтными течениями из Атлантики и Тихого океана, основной ареал – Японское, Желтое, Черное, Средиземное, Мраморное, Филиппинское моря и другие, а также Индийский океан.

Среди тропическо-бореальных видов в районе исследования обильно обнаружены динофлагелляты *Ceratium bucefalum*, *Ceratium horridum*, *Ceratium macroceros* – обычные тепловодные представители в составе микропланктона Западной Арктики (Сушкина, 1962; Околотков, 2000; Паутова, 2021). В силу широкого распространения ряд авторов относит виды рода *Ceratium* к космополитам (Dodge, Marshall, 1994; Коновалова, 2004; Gómez, 2019).

Также обнаружены тропическо-бореальные виды, новые для восточной части пролива Фрама – динофлагелляты *Corythodinium diploconus*, *Pronoctiluca rostrata* (рис. 2А), *Podolampas palmipes*, *Dinophysis ovata*, *Dinophysis tripos* (рис. 2Б), *Oxytoxum caudatum*, диатомея *Proboscia indica*, что допустимо рассматривать признаком усиления атлантификации в высоких широтах Арктики. Указанные представители отмечены и для Баренцева моря как чужеродные виды атлантического генезиса (Макаревич, Олейник, 2017, 2020). Единственным натурализовавшимся в баренцевоморской акватории видом, вероятно, является *Oxytoxum caudatum*, массово развивающийся в зимний сезон (Макаревич, Олейник, 2017).

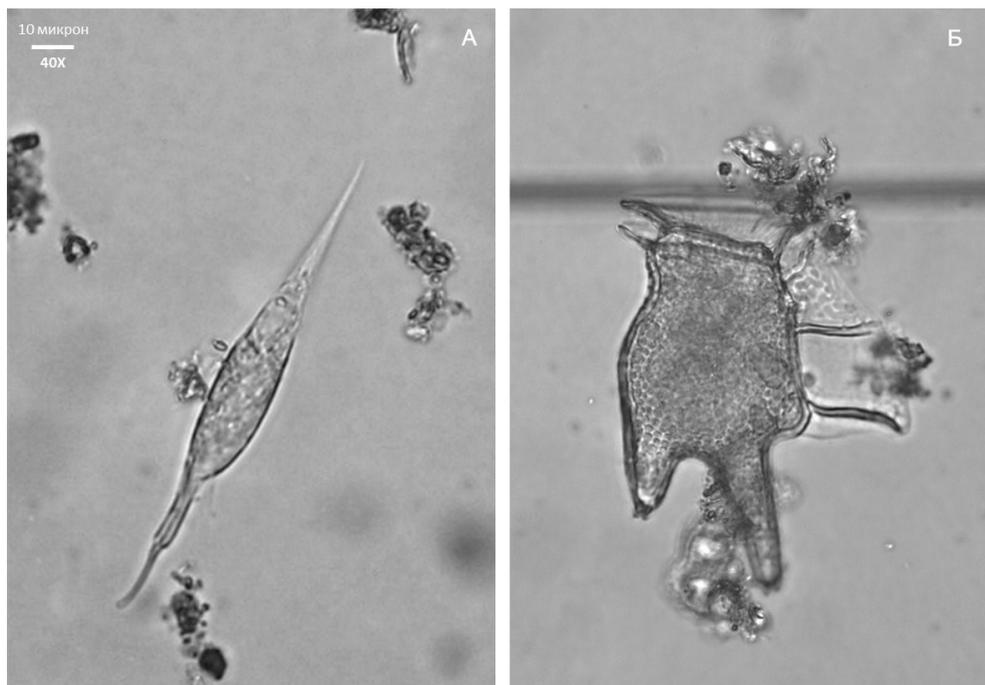


Рис. 2. Первые находки в восточной части пролива Фрама динофлагеллят *Pronoctiluca rostrata* (А) и *Dinophysis tripos* (Б)

Fig. 2. The first records in the eastern of the Fram Strait on the dinoflagellates *Pronoctiluca rostrata* (A) and *Dinophysis tripos* (B)

Dinophysis tripos отмечен для Арктики впервые. Вид характеризуется сильной морфологической вариабельностью и сходством на определенных стадиях с *Dinophysis caudata*, однако более ранние находки обоих тепловодных видов прежде были ограничены Норвежским морем (Molecular ..., 2013).

Субтропический и тропический тип – ареал тепловодных видов, экзотичных для Арктического региона, распространение которых приурочено к Индийскому океану, южным областям Атлантического и Тихого, субтропической акватории (Мраморное, Средиземное, Филиппинское моря и др.). Способны единично мигрировать в высокие широты посредством системы течений.

Тип ареала для описания биогеографической структуры микропланктона Западной Арктики, в частности пролива Фрама, выделен впервые в силу отсутствия двух видов раковинных инфузорий *Amphorellopsis tetragona* и *Ormosella haeckeli* за пределами субтропической области (Southern ..., 2012; Sai Elangovan, Gauns, 2018; Santiago, Lagman, 2018). Находки *Ormosella haeckeli* в Субантарктике связывают с проникновением из тропического района Тихого океана (Souto, 1979). На востоке пролива Фрама тинтиниды неоднократно отмечены в оба года исследований, ранее обнаружены в атлантическом слое водной толщи Баренцева моря (Chovgan, 2019).

Вероятно, к данному типу также принадлежит симбиотический консорциум диатомовой водоросли *Leptocylindrus mediterraneus* и жгутикового эпифита *Solenicola setigera*, который сообщается как космополит (Gómez, 2007). Однако не исключено, что основной ареал, по-видимому, воды экваториальной области (Gómez, 2007; Simbiosis ..., 2012) и находки в иных регионах связаны с выносом широтными течениями. В Баренцевом море консорциум обнаружен в районе влияния вод Северной Атлантики (Макаревич, Олейник, 2020).

Заключение. Современный состав микропланктонного сообщества на востоке пролива Фрама формируется под влиянием Западно-Шпицбергенского течения, обеспечивающего адвекцию атлантических вод в Арктику, что способствует миграции тепловодных видов. Как следствие, обнаружены новые для исследуемого региона виды: динофлагелляты *Corythodinium diploconus*, *Dicroerisma psilonereia*, *Dinophysis ovata*, *Dinophysis tripos*, *Oxytoxum caudatum*, *Pronoctiluca rostrata*, *Podolampas palmipes*, раковинные инфузории *Amphorellopsis tetragona*, *Ormosella haeckeli*, *Parundella caudata*, диатомея *Proboscia indica*, консортный комплекс из диатомеи *Leptocylindrus mediterraneus* и жгутикового эпифита *Solenicola setigera*. Увеличение в таксономическом составе предзимнего планктона количества тропическо-бореальных видов и проникновение тропических можно рассматривать маркером текущего процесса атлантификации. Аналогичные чужеродные находки в Баренцевом море и единый источник инвазий атлантического микропланктона в Западной Арктике позволяют констатировать расширение ареала тепловодных видов в акваторию Полярного бассейна. Вероятно, список видов-вселенцев в проливе Фрама на фоне цикла потепления в XX столетии может быть дополнен уже известными для баренцевоморской акватории.

Работа выполнена по теме “Планктонные сообщества арктических морей в условиях современных климатических изменений и антропогенного воздействия” (№ госрегистрации 121091600105-4) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Литература

Беклемишев К.В. О пространственной структуре планктонных сообществ в зависимости от типа океанической циркуляции // Океанология. 1961. Т. 1, № 6. С. 1051–1072.

Бернштейн Т.П. Зоопланктон Карского моря по материалам экспедиции Арктического института на “Седове” 1930 года и “Ломоносове” 1931 года // Тр. Арктического ин-та. 1934. Т. 9. С. 3–58.

Бурковский И.В. Новые данные по тинтиннидам Арктики и ревизия фауны // Зоол. журн. 1976. Т. 55, № 3. С. 325–336.

Иванова Д.Д. Пространственно-временная изменчивость фитопланктона пролива Фрама: Дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. 138 с.

Коновалова Г.В. Планктонная флора прибрежных вод восточной Камчатки. Жгутиковые водоросли. // Тр. Камчат. фил. ТИГ ДВО РАН. 2004. Вып. V. С. 131–182.

Кузьмина А.И. Количественное развитие и распределение фитопланктона в северной части Гренландского моря // Исследования по программе международного геофизического года. Сб. 1. М.: Пищепромиздат, 1962. С. 287–296 (Тр. ВНИРО. Т. XLVI).

Макаревич П.Р., Дружкова Е.И. Сезонные циклические процессы в прибрежных планктонных альгоценозах северных морей. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2010. 280 с.

Макаревич П.Р., Олейник А.А. Микропланктон Баренцева моря: современный состав и структура в предзимний период // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2017. Т. 20, № 2. С. 316–325.

Макаревич П.Р., Олейник А.А. Флористические находки в Баренцевом море: климатический тренд как фактор флорогенеза // Рос. журн. биол. инвазий. 2020. Т. 13, № 3. С. 40–50.

Махотин М.С., Иванов В.В. Распространение атлантических водных масс в Баренцевом море по данным наблюдений и численного моделирования // Тр. Гидромет. НИЦ РФ. 2016. № 361. С. 169–191.

Околотков Ю.Б. Динофлагеллаты (Dinophyceae) морей Евразийской Арктики: Дис. ... докт. биол. наук. СПб., 2000. 363 с.

Олейник А.А. Фитопланктон побережья архипелага Земля Франца-Иосифа // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2015. № 2(21). С. 25–32.

Определитель фауны и флоры северных морей СССР / Под ред. Н.С. Гаевской. М.: Сов. наука, 1948. 740 с.

Паутова Л.А. Фитопланктон Баренцева моря // Система Баренцева моря. М.: ГЕОС, 2021. С. 317–330.

Сезонная и межгодовая изменчивость видового состава фитопланктона залива Анива Охотского моря / М.С. Селина, И.В. Стоник, Т.Ю. Кантаков, Т.Ю. Орлова // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях. Южно-Сахалинск: Изд. СахНИРО, 2005. С. 179–196 (Тр. СахНИРО. Т. 7).

Семина Г.И., Рыжов В.М. Ареалы некоторых видов планктона Северного полушария // Исследования океанического фитопланктона. М.: Наука, 1985. С. 16–27.

Современные методы количественной оценки распределения морского планктона / Под ред. М.Е. Виноградова. М.: Наука, 1983. 279 с.

Сравнительная характеристика фитопланктона эпипелагиали тихоокеанских вод Камчатки / Е.В. Лепская, В.В. Коломейцев, О.Б. Тепнин, А.Э. Шагинян // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. 2011. Вып. 22. С. 5–22.

Суханова И.Н. Концентрирование фитопланктона в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М.: Наука, 1983. С. 97–108.

Сушкина А.П. Планктонные организмы-индикаторы течений в фареро-исландских водах и прилежащих районах // Исследования по программе международного геофизического года. Сб. 1. М.: Пищепромиздат, 1962. С. 267–287 (Тр. ВНИРО. Т. XLVI).

- Тепловодные* планктонные фораминиферы в осадках Карского моря / Н.С. Оськина, Т.А. Хусид, Н.В. Либина, М.М. Доманов, А.Г. Матуль // Океанология. 2019. Т. 59, № 3. С. 485–496.
- Фитопланктон* Западной Арктики в июле–августе 2003 г. / В.М. Сергеева, И.Н. Суханова, М.В. Флинт, Л.А. Паутова, Д.М. Гребмайер, Л.В. Купер // Океанология. 2010. Т. 50, № 2. С. 184–197.
- Bipolar* distribution of the cyst-forming dinoflagellate *Polarella glacialis* / M. Montresor, C. Lovejoy, L. Orsini, G. Procaccini, S. Roy // Polar Biol. 2003. Vol. 26. P. 186–194.
- Boltovskoy D., Correa N.* Biogeography of Radiolaria polycystina (Protista) in the World Ocean // Prog. Ocean. 2016. Vol. 149. P. 82–105.
- Bjørklund K.R., Kruglikova S.B., Anderson O.R.* Modern incursions of tropical Radiolaria into the Arctic Ocean // J. Micropalaeontol. 2012. Vol. 31(2). P. 139–158.
- Changes* in tintinnid assemblages from Subantarctic zone to Antarctic zone along transect in Amundsen Sea (West Antarctica) in Early Austral Autumn / L. Chen, L. Haibo, Z.H. Wuchang, T. Zhencheng, Z.H. Yuan // J. Ocean. Univ. China (Oceanic and Coastal Sea Research). 2020. Vol. 19(2). P. 339–350.
- Chovgan O.* Review of tintinnid species (Ciliophora: Tintinnina) from the Barents Sea // Protistology. 2019. Vol. 13(3). P. 141–147.
- Community* structure and spatial distribution of phytoplankton in relation to hydrography in the Laptev Sea and the East Siberian Sea (autumn 2008) / Y.I. Polyakova, I.M. Kryukova, F.M. Martynov, A.E. Novikhin, E.N. Abramova, H. Kassens, J. Hölemann // Polar. Biol. 2021. Vol. 44. P. 1229–1250.
- Cordeiro T.A., Sassi R.* Tintinnina (Ciliophora, Protista) of the North Sea during the spring of 1986 // Helgolander Meeresunters. 1997. Vol. 51. P. 155–172.
- Csapó H.K., Grabowski M., Węstawski J.M.* Coming home – Boreal ecosystem claims Atlantic sector of the Arctic // Sci. Total Environ. 2021. Vol. 771. Article № 144817. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitote>
- Dodge J.D., Marshall H.G.* Biogeographic analysis of the armored planktonic dinoflagellate *Ceratium* in the North Atlantic and adjacent seas // J. Phycol. 1994. Vol. 30(6). P. 905–922.
- Dunbar M.J.* Arctic and Subarctic marine ecology: immediate problems // Arctic. 1953. Vol. 6. P. 75–90.
- Gogorev R.M., Samsonov N.I.* The genus *Chaetoceros* (Bacillariophyta) in Arctic and Antarctic // Новости систематики низших растений. 2016. № 50. С. 56–111.
- Gómez F.* The consortium of the protozoan *Solenicola setigera* and the diatom *Leptocylindrus mediterraneus* in the Pacific Ocean // Acta Protozoologica. 2007. Vol. 46. P. 15–24.
- Gómez F.* *Dicroerisma* (Actiniscales, Dinophyceae) in the open Pacific Ocean, a gymnodinioid dinoflagellate with an endoskeleton // Chin. J. Ocean. Limnol. 2008. Vol. 26. P. 116–120.
- Gómez F.* Comments on the non-indigenous microalgae in the European seas // Mar. Pollut. Bull. 2019. Vol. 148. P. 1–2.
- Gradinger R.R., Baumann M.E.M.* Distribution of phytoplankton communities in relation to the large-scale hydrographical regime in the Fram Strait // Mar. Biol. 1991. Vol. 111. P. 311–321.

Jørgensen E.G. Mediterranean Tintinnidae. Report on the Danish oceanographical expedition 1908–1910 to the Mediterranean and adjacent seas // *Biology*. 1924. Vol. 2. 110 p.

Lampe V., Nöthig E.-M., Schartau M. Spatio-temporal variations in community size structure of Arctic protist plankton in the Fram Strait // *Front. Mar. Sci.* 2021. Vol. 7. P. 579–880.

Lavrentyev P.J., Franzè G., Moore F.B. Microzooplankton distribution and dynamics in the Eastern Fram Strait and the Arctic Ocean in May and August 2014 // *Front. Mar. Sci.* 2019. Vol. 6(264). P. 264–279.

Microzooplankton (tintinnid ciliates) diversity: coastal community structure and driving mechanisms in the southern Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean) / R. Sitran, A. Bergamasco, F. Decembrini, L. Guglielmo // *J. Plankton Res.* 2009. Vol. 31(2). P. 153–170.

Molecular probes and microarrays for the detection of toxic algae in the genera *Dinophysis* and *Phalacroma* (Dinophyta) / B. Edvardsen, S.M. Dittami, R. Groben, S. Brubak, L. Escalera, F. Rodríguez, B. Reguera, J. Chen, L.K. Medlin // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2013. Vol. 20. P. 6733–6750.

Neukermans G., Oziel L., Babin M. Increased intrusion of warming Atlantic water leads to rapid expansion of temperate phytoplankton in the Arctic // *Global Change Biol.* 2018. Vol. 24(6). P. 2545–2553.

Nishimura A., Nakaseko K., Okuda Y. A new coastal water radiolarian assemblage recovered from sediment samples from the Antarctic Ocean // *Mar. Micropaleontol.* 1997. Vol. 30. P. 29–44.

Okolodkov Y.B. Biogeography of Arctic-boreal and bipolar dinoflagellates // *Ботан. журн.* 1996. Т. 81(9). С. 18–30.

Okolodkov Y.B. *Protoperidinium* Bergh (Dinoflagellata) in the southeastern Mexican Pacific Ocean: part I // *Botan. Mar.* 2005. Vol. 48(4). P. 284–296.

Ratkova T.N. Phytoplankton composition in the White Sea Basin in summer-autumn 1998 and 1999 // *Berichte zur Polarforschung*. 2000. Vol. 359. P. 97–100.

Sai Elangovan S., Gauns M. A checklist of tintinnids (loricate ciliates) from the coastal zone of India // *Environ. Monit. Assess.* 2018. Vol. 190(11). P. 1–18.

Santiago J.A., Lagman M.C. Species check-list for tintinnids of the Philippines Archipelago (Protozoa, Ciliophora) // *Zookeys*. 2018. Vol. 771. P. 1–14.

Semina H.J. An outline of the geographical distribution of oceanic phytoplankton // *Adv. Mar. Biol.* 1997. Vol. 32. P. 527–563.

South Atlantic Zooplankton / D. Boltovskoy (Ed.). Leiden, Netherlands: Backhuys Publ., 1999. Vol. 1. 110 p.

Southern Ocean biogeography of tintinnid ciliates of the marine plankton / J.R. Dolan, R.W. Pierce, B.J. Yang, S.Y. Kim // *J. Eukaryot. Microbiol.* 2012. Vol. 59(6). P. 511–519.

Souto S. Tintinidos del Atlántico Sudoccidental y Antártida Argentina (Protozoa, Ciliata). Estudio taxonómico, distribucional y ecológico: Tesis diss. Univer. Buenos Aires. 1979. 191 p.

Summertime tintinnid community in the surface waters across the North Pacific transition zone / H. Li, J. Xuan, C. Wang, Z. Chen, G. Grégori, Y. Zhao, W. Zhang // *Front. Microbiol.* 2021. Vol. 12. Article № 697801. DOI: 10.3389/fmicb.2021.697801

Symbiosis between the stramenopile protist *Solenicola setigera* and the diatom *Leptocylindrus mediterraneus* in the north eastern Arabian Sea / K.B. Padmakumar, L. Cicily, A. Shaji, T.P. Maneesh, V.N. Sanjeevan // *Symbiosis*. 2012. Vol. 56(2). P. 97–101.

Thompson G.A., Alder V.A. Patterns in tintinnid species composition and abundance in relation to hydrological conditions of the southwestern Atlantic during austral spring // *Aquat. Microbiol. Ecol.* 2005. Vol. 40. P. 85–101.

Tintinnid distributions in the Strait of Magellan (Chile) / S. Fonda Umani, M. Monti, B. Cataletto, G. Budillon // *Polar Biol.* 2011. Vol. 34. P. 1285–1299.

Zooplankton structure in high latitude fjords with contrasting oceanography (Hornsund and Kongsfjorden, Spitsbergen) / M.R. Ormańczyk, M. Głuchowska, A. Olszewska, S. Kwasniewski // *Oceanologia*. 2017. Vol. 59(4). P. 508–524.

