

ISSN 2949-1185



Российская Академия Наук

ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

3/2023(2)

**СЕРИЯ: ЕСТЕСТВЕННЫЕ
И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

0+

Российская Академия Наук
ТРУДЫ

3/2023(2)

Научно-информационный журнал
Основан в 2010 году
Выходит 4 раза в год

Кольского научного центра. Серия: Естественные и гуманитарные науки

Главный редактор
акад. РАН, д. г.-м. н. С. В. Кривовичев
Заместитель главного редактора
к. б. н. Е. А. Боровичев

Редакционный совет:
акад. РАН, д. г. н. Г. Г. Матишов,
чл.-корр. РАН д. б. н. В. К. Жиров,
чл.-корр. РАН д. т. н. А. И. Николаев,
чл.-корр. РАН, д. х. н. И. Г. Тананаев,
д. э. н. Ф. Д. Ларичкин,
д. ф.-м. н. Е. Д. Терещенко,
к. т. н. А. С. Карпов (отв. секретарь)

Редколлегия серии:
акад. РАН, д. г.-м. н. С. В. Кривовичев,
акад. РАН, д. г. н. Г. Г. Матишов,
чл.-корр. РАН, д. б. н. В. К. Жиров,
д. г.-м. н. В. В. Балаганский,
д. г.-м. н. Т. Б. Баянова,
д. и. н. С. Г. Веригин,
д. и. н. И. Ю. Винокурова,
д. ф.-м. н. В. Г. Воробьев,
д. г. н. В. А. Даувальтер,
д. и. н. В. В. Ефимова,
д. и. н. И. Л. Жеребцов,
д. ф.-м. н. В. Е. Иванов,
д. б. н. Л. А. Иванова,
д. ф.-м. н. Б. В. Козелов,
д. г.-м. н. Н. Е. Козлов,
д. б. н. Н. А. Константинова,
д. б. н. П. Р. Макаревич,
д. т. н. Д. В. Макаров,
д. и. н. Е. П. Мартынова,
д. т. н. В. А. Маслобоев,
д. ф.-м. н. И. В. Мингалев,
д. и. н. С. А. Никонов,
д. и. н. И. А. Разумова,
д. и. н. А. А. Селин,
д. и. н. Ю. П. Шабаев,
д. б. н. Н. Ю. Шмакова,
к. ф.-м. н. Ю. В. Балабин,
к. ф.-м. н. В. Б. Белуховский,
к. б. н. Е. А. Боровичев,
к. б. н. Д. А. Давыдов,
к. б. н. Д. Б. Денисов,
к. б. н. И. В. Зенкова,
к. и. н. К. С. Казакова,
к. б. н. Н. Е. Королева,
к. ф.-м. н. О. В. Мингалев,
к. г. н. Д. В. Моисеев,
к. г.-м. н. С. В. Мудрук,
к. ф.-м. н. К. Г. Орлов,
к. и. н. Е. А. Пивнева,
к. ф.-м. н. Ю. В. Федоренко
Ответственные редакторы:
к. г. н. Д. В. Моисеев,
к. г. н. О. П. Калинин

Учредитель — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН»
(ФИЦ КНЦ РАН)

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-83506 от 24 июня 2022 г.
выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.

Научное издание

Технический редактор В. Ю. Жиганов
Редактор С. В. Тимофеева
Подписано к печати 12.06.2023.
Дата выхода в свет 22.06.2023.
Формат бумаги 60×84 1/8.
Усл. печ. л. 12,55. Заказ № 42. Тираж 500 экз.
Свободная цена.

Адрес учредителя, издателя и типографии: Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр РАН» (ФИЦ КНЦ РАН)
184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14
Тел.: 8 (81555) 7-53-50; 7-95-95, факс: 8 (81555) 7-64-25
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Бондарев О. В.	Видовой состав рыб губы Белокаменная (Кольский залив) в мае и августе–октябре 2022 года	5
Булавина А. С.	Влияние колебаний стока Оби и Енисея на площадь ледяного покрова Карского моря	10
Валуйская Д. А., Иванова Н. С.	Результаты измерения тяжелых металлов в водах Баренцева и Гренландского морей	19
Гурба А. Н.	Результаты орнитологических наблюдений в ходе береговых экспедиций ММБИ РАН в 2021–2022 годах	26
Кудрявцева О. Ю.	Характеристика прибрежной ихтиофауны губ Восточного Мурмана в летний период 2020 года	34
Максимовская Т. М.	Гидрологические исследования губы Зеленецкая летом 2021 года	45
Митяев М. В., Герасимова М. В., Дружкова Е. И., Ишкулова Т. Г., Меньшакова М. Ю.	Твердые атмосферные осадки в г. Мурманске и его окрестностях	51
Москвин К. К.	О роли полихет рода <i>Pholoe</i> в донных сообществах Кольского залива ...	68
Носкович А. Э.	Популяционные характеристики двустворчатого моллюска <i>Macoma calcareo</i> (Gmelin, 1791) во фьордах Шпицбергена с разным гидрологическим режимом	75
Пастухов И. А., Намятов А. А.	Оценка состава водных масс восточной части Баренцева моря с использованием современных данных о параметрах $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$	83
Румянцева З. Ю., Нехаев И. О.	Распространение раковинных брюхоногих моллюсков с длительной и короткой пелагической стадиями в открытых районах Баренцева моря ..	91
Усягина И. С., Мещеряков Н. И., Иванова Н. С.	Предварительные результаты исследования хронологии осадконакопления в Центральной впадине Баренцева моря	95
Чаус С. А.	Сведения о росте и возрасте арктического шлемоносного бычка <i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1830) в Карском море	103

Russian Academy of Sciences

TRANSACTIONS

3/2023(2)

Scientific journal
Published since 2010
Publication frequency — four times a year

Kola Science Centre. Series: Natural Sciences and Humanities

Editor-in-Chief

S. V. Krivovichev, Academician of RAS,
Dr. Sc. (Geology & Mineralogy)

Deputy Editor-in-Chief

E. A. Borovichev, PhD (Biology)

Editorial Council:

G. G. Matishov, Academician of RAS, Dr. Sc. (Geography),
V. K. Zhirov, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Biology),
A. I. Nikolaev, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Engineering),
I. G. Tananaev, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Chemistry),
F. D. Larichkin, Dr. Sc. (Economics),
E. D. Tereshchenko, Dr. Sc. (Physics and Mathematics),
A. S. Karpov, PhD (Engineering) — Executive Secretary

Editorial Board:

S. V. Krivovichev, Academician of RAS,
Dr. Sc. (Geology & Mineralogy),
G. G. Matishov, Academician of RAS, Dr. Sc. (Geography),
V. K. Zhirov, Cor. Member of RAS, Dr. Sc. (Biology),
V. V. Balaganskiy, Dr. Sc. (Geology & Mineralogy),
T. B. Bayanova, Dr. Sc. (Geology & Mineralogy),
S. G. Verigin, Dr. Sc. (History),
I. Yu. Vinokurova, Dr. Sc. (History),
V. G. Vorobjov, Dr. Sc. (Physics & Mathematics),
V. A. Dauvalter, Dr. Sc. (Geography),
V. V. Efimova, Dr. Sc. (History),
I. L. Zherebtsov, Dr. Sc. (History),
V. E. Ivanov, Dr. Sc. (Physics & Mathematics),
L. A. Ivanova, Dr. Sc. (Biology),
B. V. Kozelov, Dr. Sc. (Physics & Mathematics),
N. E. Kozlov, Dr. Sc. (Geology & Mineralogy),
N. A. Konstantinova, Dr. Sc. (Biology),
P. R. Makarevich, Dr. Sc. (Biology),
D. V. Makarov, Dr. Sc. (Engineering),
E. P. Martynova, Dr. Sc. (History),
V. A. Masloboev, Dr. Sc. (Engineering),
I. V. Mingalev, Dr. Sc. (Physics & Mathematics),
S. A. Nikonov, Dr. Sc. (History),
I. A. Razumova, Dr. Sc. (History),
A. A. Selin, Dr. Sc. (History),
Yu. P. Shabaev, Dr. Sc. (History),
N. Yu. Shmakova, Dr. Sc. (Biology),
Yu. V. Balabin, PhD (Physics & Mathematics),
V. B. Belakhovskiy, PhD (Physics & Mathematics),
E. A. Borovichev, PhD (Biology),
D. A. Davidov, PhD (Biology),
D. B. Denisov, PhD (Biology),
I. V. Zenkova, PhD (Biology),
K. S. Kazakova, PhD (Biology),
N. E. Koroleva, PhD (Biology),
O. V. Mingalev, PhD (Physics & Mathematics),
D. V. Moiseev, PhD (Geography),
S. V. Mudruk, PhD (Geology & Mineralogy),
K. G. Orlov, PhD (Physics & Mathematics),
E. A. Pivneva, PhD (History),
Yu. V. Fedorenko, PhD (Physics & Mathematics)

Executive Editors:

D. V. Moiseev, PhD (Geography),
O. P. Kalinka, PhD (Geography)

Founder — Federal State Budget Institution of Science
Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian
Academy of Sciences”

Mass Media Registration Certificate

ПИИ No. ФС77-83506 issued by the Federal Service for Supervision
of Communications, Information Technology and Mass Media
on June, 24 2022

Scientific publication

Technical Editor V. Yu. Zhiganov
Editor S. V. Timofeeva

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia
Tel.: (81555) 79380. Fax: (81555) 76425
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru

CONTENTS

Bondarev O. V.	Species composition of fish of Belokamennaya Bay (Kola Inlet) marked in May and August–October 2022	5
Bulavina A. S.	The effect of fluctuations of the Ob and Yenisei rivers runoff on the area of the Kara Sea ice cover	10
Valuiskaia D. A., Ivanova N. S.	Results of measurement of heavy metals in the waters of the Barents and Greenland seas	19
Gurba A. N.	The results of ornithological observations during coastal expedition of the MMBI RAS in 2021–2022	26
Kudryavtseva O. Yu.	Characteristics of coastal fish in the bays of Eastern Murman during summer 2020	34
Maksimovskaya T. M.	Hydrological studies of Zelenetskaya Bay in the summer of 2021	45
Mityaev M. V., Gerasimova M. V., Druzhkova E. I., Ishkulova T. G., Menshakova M. Yu.	Solid atmospheric precipitation in Murmansk and its environs	51
Moskvin K. K.	On the role of polychaetes of the genus <i>Pholoe</i> in benthic communities of the Kola Inlet	68
Noskovich A. E.	Population characteristics of the bivalve mollusk <i>Macoma calcaria</i> (Gmelin, 1791) in fjords with different hydrological regime (Svalbard)	75
Pastukhov I. A., Namyatov A. A.	Assessment of the composition of water masses in the easter part of the Barents Sea using modern data of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ parameters	83
Rumyantseva Z. Yu., Nekhaev I. O.	Distribution of shell-bearing gastropods with long and short pelagic stages in the areas of the Barents Sea	91
Usyagina I. S., Mescheriakov N. I., Ivanova N. S.	Preliminary results of the study of sedimentation in the Central Depression of the Barents Sea	95
Chaus S. A.	Some data about growth and age of Arctic staghorn sculpin <i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1830) in the Kara Sea	103

Научная статья
УДК 597.08 (268.45)
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.001

ВИДОВОЙ СОСТАВ РЫБ ГУБЫ БЕЛОКАМЕННАЯ (КОЛЬСКИЙ ЗАЛИВ) В МАЕ И АВГУСТЕ–ОКТЯБРЕ 2022 ГОДА

Олег Викторович Бондарев

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
bondarev@mmbi.info

Аннотация

Изучен видовой состав ихтиофауны губы Белокаменная в мае и августе–октябре 2022 г. На исследуемой акватории отмечено 10 видов рыб из 6 семейств. Большинство видов относится к бореальному комплексу. Промысловый статус в Баренцевом море имеют 7 видов рыб (70 %). По численности доминируют речная камбала *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) – 35 % и сайда *Pollachius virens* (Linnaeus, 1758) – 33 %. В уловах по биомассе преобладала речная камбала – 43.6 % и европейский керчак *Myoxocephalus scorpius* (Linnaeus, 1758) – 22.2 %.

Ключевые слова:

видовой состав рыб, губа Белокаменная, Кольский залив

Original article

SPECIES COMPOSITION OF FISH OF BELOKAMENNAYA BAY (KOLA INLET) IN MAY AND AUGUST–OCTOBER 2022

Oleg V. Bondarev

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
bondarev@mmbi.info

Abstract

The species composition of the ichthyofauna of Belokamennaya Bay were carried out from May to October 2022 was studied. 10 species of fish belonging to 6 families were found in the study area. Most of the species belong to the boreal complex. The commercial status in the Barents Sea has seven (70 %) species of fish. The European flounder *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) dominated in abundance (35 %) and the pollock *Pollachius virens* (Linnaeus, 1758) (33 %). In terms of biomass, a large share of the catch (43.6 %) was occupied by European flounder, and the European sculpin *Myoxocephalus scorpius* (Linnaeus, 1758) also accounted for a significant part – 22.2 %.

Keywords:

species composition of fish, Belokamenny Bay, Kola Inlet

Введение

Ихтиофауна Кольского залива насчитывает 60 видов рыбообразных и рыб (Карамушко и др., 2009). Кроме видов, постоянно обитающих в пределах залива, часть видов встречается на акватории в отдельные периоды жизненного цикла, а также проникает из открытых участков моря только в “теплые” или “холодные” годы. Для некоторых видов были отмечены единичные случаи поимки (синий тунец, змеевидная игла-рыба), другие были найдены на берегу (вогмер, северный веретенник) (Карамушко и др., 2009). В Кольский залив впадают крупные реки Кола и Тулома, поэтому в список видов включены проходные и полупроходные рыбы пресноводного фаунистического комплекса. Данная работа является продолжением исследований, в которых уже были рассмотрены видовой состав и его количественные характеристики. Ее цель – расширить сведения о видовом составе рыб, определить их встречаемость и численность в литоральной и верхней сублиторальной зонах западного побережья Кольского залива.

Материал и методы

Сбор первичного материала осуществлялся в мае и августе–октябре 2022 г. (табл. 1) в средней части Кольского залива – губе Белокаменная (рис. 1) в период отлива в литорально-сублиторальной зоне. Лов проводили с помощью 15-метровой мальковой волокуши (высота – 1.8 м, ячея дели в крыльях – 6 мм, в

горловине – 5 мм, в куту – 4 мм) и сетей (длина – 10 м, высота – 1.8 м). Площадь одного облова волокушей составляла 750 м². Сети с разной ячейей устанавливали перпендикулярно берегу на глубину от 1.8 до 4 м в период максимального отлива на 24 ч. Собранный материал обрабатывали по стандартным ихтиологическим методикам (Правдин, 1966; Методическое ..., 1974; Инструкции ..., 2004).

Таблица 1

Сроки проведения работ и объем материала в исследованиях 2022 г.

Table 1

Terms of work and the amount of material in the studies in 2022

Показатель	25–26 мая	29–30 августа	27 сентября	25 октября
Количество волокуш, шт.	–	–	5	4
Количество сетей, шт.	6	6	–	–
Количество рыб в волокушах, экз.	–	–	34	34
Количество рыб в сетях, экз.	16	25	–	–

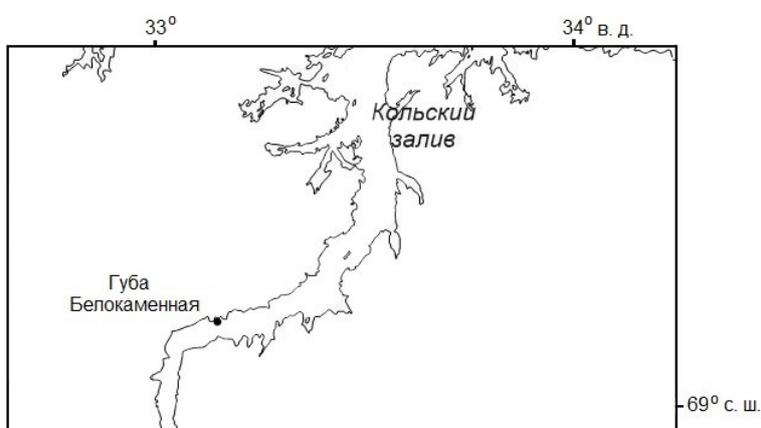


Рис. 1. Район отбора проб

Fig. 1. Sampling area

Результаты

В губе Белокаменная в 2022 г. было отмечено 10 видов рыб, относящихся к 6 семействам (табл. 2), что составило 16.6 % от общего аннотированного списка рыб и рыбообразных Кольского залива (Карамушко и др., 2009). Наибольшим числом видов (3) представлено семейство тресковых (Gadidae). Всего было поймано 109 экз. рыб, общий улов составил 6.717 кг. Все виды рыб относятся к бореальному комплексу. Из отмеченных в период исследований 70 % видов рыб имеют промысловый статус в Баренцевом море. Донные рыбы – 50 %, придонные – 30 %, неритопелагические – 20 %.

Наибольшее видовое разнообразие (9 видов) отмечено в уловах волокушей в сентябре, в остальные месяцы в уловах присутствовали 4–5 видов рыб. Сайда и речная камбала были зарегистрированы на всех этапах ихтиологических работ (табл. 3). Реже в уловах присутствовали европейский керчак и треска. Частота встречаемости таких видов рыб как пикша, трехглая колюшка, европейская бельдюга и бычок-буйвол составила 25 %. Последний вид достаточно редко встречается в западной части Мурманского побережья. Ранее лишь одна особь была выловлена в Кольском заливе (Андрияшев, 1954).

По численности и биомассе безусловным доминантом на участке была речная камбала – 35 и 46.6 % соответственно (рисунки 2, 3). Вторым по численности видом являлась сайда – 33 %, однако она имела сравнительно небольшую массовую долю – 12.3 %, так как основную часть улова составляли сеголетки. Численность трески и пикши суммарно не превышала 10 %, а биомасса – 21 %. Европейский керчак был представлен взрослыми особями, и несмотря на низкую численность – 7 %, по биомассе его доля высока – 22.2 %. Другие виды встречались единично, численность их была небольшой – до 7 %, а биомасса в суммарном улове не превышала 1.5 %.

Таблица 2

Видовой состав ихтиофауны в районе исследуемого участка

Table 2

Ichthyofauna species composition in the study

Вид	Биотопический статус	Зоогеографический статус	Промысловый статус
Семейство Gadidae – тресковые			
Атлантическая треска <i>Gadus morhua</i> Linnaeus, 1758	Придонно-пелагический	ПБ	+
Пикша <i>Melanogrammus aeglefinus</i> (Linnaeus, 1758)	Придонно-пелагический	ПБ	+
Сайда <i>Pollachius virens</i> (Linnaeus, 1758)	Нерито-пелагический	ПБ	+
Семейство Gasterosteidae – колюшковые			
Трехиглая колюшка <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758	Нерито-пелагический	ПБ	+
Семейство Cyprinidae – пинагоровые			
Пинагор <i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	Придонно-пелагический	ПБ	+
Семейство Zoarcidae – бельдюговые			
Европейская бельдюга <i>Zoarces viviparus</i> (Linnaeus, 1758)	Донный	ПБ	–
Семейство Pleuronectidae – камбаловые			
Речная камбала <i>Platichthys flesus</i> (Linnaeus, 1758)	Донный	ПБ	+
Камбала лиманда (ершоватка северная) <i>Limanda limanda</i> (Linnaeus, 1758)	Донный	ПБ	+
Семейство Cottidae – рогатковые			
Европейский керчак <i>Myoxocephalus scorpius</i> (Linnaeus, 1758)	Донный	ПБ	–
Бычок-буйвол <i>Taurulus bubalis</i> (Euphrasen, 1786)	Донный	БЕ	–

ПРИМЕЧАНИЕ. ПБ – преимущественно boreальный, БЕ – boreально-европейский (Карамушко, 2008).

Таблица 3

Частота встречаемости видов рыб в 2022 г.

Table 3

Frequency of occurrence of fish species in 2022

Вид	Месяцы				Частота встречаемости, %
	V	VIII	IX	X	
Пикша	–	+	–	–	25
Треска	+	+	+	–	75
Сайда	+	+	+	+	100
Европейский керчак	+	+	+	–	75
Речная камбала	+	+	+	+	100
Лиманда	–	–	+	+	50
Пинагор	–	–	+	+	50
Европейская бельдюга	–	–	+	–	25
Трехиглая колюшка	–	–	+	–	25
Бычок-буйвол	–	–	+	–	25
Всего видов	4	5	9	4	–

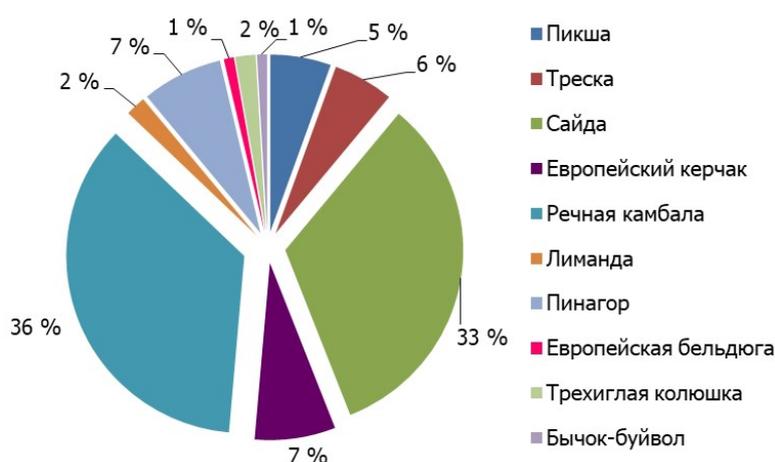


Рис. 2. Относительная численность рыб в губе Белокаменная в мае и августе–октябре 2022 г.
Fig. 2. The relative number of fish in Belokamennaya Bay in May and August–October 2022

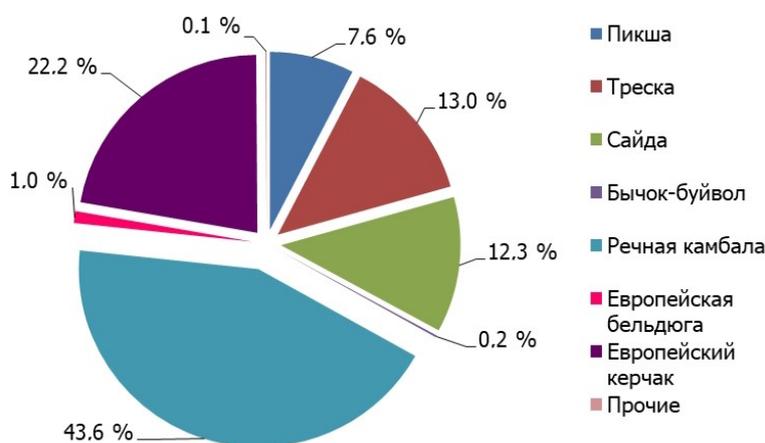


Рис. 3. Относительная биомасса рыб в губе Белокаменная в мае и августе–октябре 2022 г.
Fig. 3. Relative biomass of fish in Belokamennaya Bay in May and August–October 2022

На протяжении всего периода исследований на акватории присутствовали представители семейств тресковых, рогатковых и камбаловых. Соотношение видов в уловах сильно варьировало.

Выводы

В результате изучения ихтиофауны исследованного участка в 2022 г. было обнаружено 10 видов рыб, принадлежащих к 6 семействам. Чаще всего в уловах присутствовали представители тресковых, рогатковых и камбаловых.

По показателям численности и биомассы доминировала речная камбала *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758) – 35 и 43.6 % соответственно. Высокие показатели численности отмечаются у сайды *Pollachius virens* (Linnaeus, 1758) – 33 %, однако массовая доля не превышала 12.3 %, а биомасса европейского керчака *Muchocephalus scorpius* (Linnaeus, 1758) достигала 22.2 %, несмотря на относительно малую численность – 7 %.

Авторы выражают искреннюю благодарность сотрудникам ММБИ РАН С. А. Чаусу, Е. В. Смирновой, М. П. Плаксиной, А. В. Ежову и К. К. Москвину за помощь при сборе материала.

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

Список литературы

1. Андряшев А. П. Рыбы северных морей СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 566 с.
2. 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.
3. Кармушко О. В. Видовой состав и структура ихтиофауны Баренцева моря // Вопросы ихтиологии. 2008. Т. 48, № 3. С. 293–308.
4. Кармушко О. В., Берестовский Е. Г., Кармушко Л. И. Ихтиофауна залива // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 249–264.
5. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях / Отв. ред. Е. В. Боруцкий. М.: Наука, 1974. 254 с.
6. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

References

1. Andriyashev A. P. *Ryby severnyh morej SSSR* [Fishes of the Northern seas of the USSR]. Moscow, Leningrad, Publ. of the USSR Academy of Sciences, 1954, 566 p. (In Russ.).
2. *Instrukcii i metodicheskie rekomendacii po sboru i obrabotke biologicheskoi informacii v moryah evropejskogo Severa i Severnoj Atlantiki* [Instructions and guidelines for the collection and processing of biological information in the seas of the European North and the North Atlantic]. Moscow, Publ. VNIRO, 2004, 300 p. (In Russ.).
3. Karmushko O. V. Vidovoj sostav i struktura ihtiofauny Barenceva morya [Species composition and structure of the ichthyofauna of the Barents Sea]. *Voprosy ihtologii* [Questions of ichthyology], 2008, Vol. 48, No. 3, pp. 293–308. (In Russ.).
4. Karamushko O. V., Berestovskij E. G., Karamushko L. I. *Ihtiofauna zaliva* [Ichthyofauna of the Gulf]. Kol'skij zaliv: osvoenie i racional'noe prirodopol'zovanie [Kola Bay: development and rational nature management]. Moscow, Nauka, 2009, pp. 249–264. (In Russ.).
5. *Metodicheskoe posobie po izucheniyu pitaniya i pishchevyh otnoshenij ryb v estestvennyh usloviyah* [Methodical manual on the study of nutrition and food relations of fish in natural conditions]. Moscow, Nauka, 1974, 254 p. (In Russ.).
6. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Guide to the study of fish]. Moscow, Food industry, 1966, 376 p. (In Russ.).

Информация об авторе

Олег Викторович Бондарев – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-5333-2549>

Information about the author

Oleg V. Bondarev – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5333-2549>

Статья поступила в редакцию 29.03.2023; одобрена после рецензирования 31.03.2023; принята к публикации 03.04.2023.
The article was submitted 29.03.2023; approved after reviewing 31.03.2023; accepted for publication 03.04.2023.

Научная статья
УДК 551.467 (268.52)
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.002

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТОКА ОБИ И ЕНИСЕЯ НА ПЛОЩАДЬ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА КАРСКОГО МОРЯ

Александра Сергеевна Булавина

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
bulavina@mmbi.info

Аннотация

В работе рассмотрена связь изменений площади льда в Карском море с колебаниями стока Оби и Енисея с 1978 по 2022 гг. Статистически значимые положительные корреляции между суммарным стоком Оби и Енисея и площадью льда в Карском море обнаружены в период с 2004 по 2022 гг. В годы высокой водности Оби и Енисея наблюдалось ускорение процессов ледообразования, удлинение периода стабилизации ледяного покрова, сдвиг начала таяния льда на более поздние сроки и большая устойчивость льда к разрушению в летний сезон.

Ключевые слова:

Карское море, лед, Обь, Енисей, речной сток

Original article

THE EFFECT OF FLUCTUATIONS OF THE OB AND YENISEI RIVERS RUNOFF ON THE AREA OF THE KARA SEA ICE COVER

Alexandra S. Bulavina

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
bulavina@mmbi.info

Abstract

The paper considers the dependence of changes in the area of ice in the Kara Sea with fluctuations of the Ob and Yenisei rivers runoff during the period from 1978 to 2022. Over the period from 2004 to 2022, statistically significant positive correlations between the summary runoff of the Ob and Yenisei and the area of ice in the Kara Sea were found. There was an acceleration of ice formation processes, an elongation of the ice stabilization period, the beginning of ice melting in a later date and a higher resistance of ice to destruction during summer in the high-water content years of the Ob and Yenisei rivers.

Keywords:

Kara Sea, marine ice, Ob River, Yenisei River, river runoff

Введение

Освоение Арктики – приоритетная задача России. Карское море – одно из наиболее интенсивно исследуемых арктических морей. В последние годы на побережье и акватории моря реализуются крупные проекты по добыче нефти и газа (Никитин, Дзюбло, 2017; Поиски ..., 2018). Обеспечение безопасного судоходства в сложных ледовых условиях Карского моря способствует успешному освоению шельфовых месторождений. Необходимо совершенствовать инструменты прогноза ледовых условий Карского моря, а это невозможно без понимания основных закономерностей формирования ледяного покрова.

Карское море и его водосбор – уникальная природная система. Большой объем речного стока в Карское море обуславливает высокую значимость происходящих на водосборе процессов для гидрологического и экологического состояния моря. Более 80 % объема материкового стока в Карское море обеспечивают реки Обь и Енисей. В среднем в год Обь выносит в море 406 км³ воды, Енисей – 585 км³. В отдельные годы сток Оби достигал 571 км³ или снижался до 267 км³, а сток Енисея – 699 и 473 км³ соответственно (рассчитано по данным 1936–2022 гг.). Изменения объемов стока Оби и Енисея оказывают существенное влияние на гидрологический режим моря, а по некоторым оценкам, и на циркуляцию вод во всем Арктическом бассейне (Кулаков, 2012). Многолетние и сезонные колебания стока этих рек, а также разброс во времени смены фаз водного режима на Оби и Енисее определяют гидрологические условия в Карском море в период образования и таяния льда.

Цель работы – исследование временных колебаний стока Оби и Енисея и их влияние на ледовые процессы в Карском море.

Большую часть года Карское море покрыто сплошным ледяным покровом. Ледообразование обычно начинается в сентябре на северо-востоке моря среди остаточных льдов, распространяясь на юго-запад в сторону чистой воды. При средних условиях ледообразование моря длится в течение 75 сут. (с 5 сентября по 18 ноября). При экстремально позднем замерзании оно начинается 20 сентября и заканчивается 24 декабря (продолжительность 95 сут.), а при экстремально раннем, соответственно, 20 августа и 15 октября (продолжительность 56 сут.) (Ледяные ..., 2006). Таяние ледяного покрова начинается в первой половине июня. Очагами очищения выступают участки наиболее тонких льдов вблизи заприпайных полыней, расположенных в Обь-Енисейском районе и к западу от п-ова Ямал. Юго-западная часть моря полностью очищается от льда в сентябре. В северо-восточной части моря полного очищения от льда не происходит – средняя ледовитость к концу сентября составляет 44 % (Ледяные ..., 2006).

В последние десятилетия ледовый режим Карского моря претерпевает изменения. Ледовитость в зимний период года значительно уменьшилась, а также изменилось соотношение различных форм льда (Наумов, Гордеева, 2016). Изучение роли отдельных факторов этого процесса поможет выработать безопасную стратегию логистического и промышленного освоения данного участка Арктики и снизить экологические риски.

Материал и методы

Сведения о ледовой обстановке в Карском море были получены из открытой базы данных, опубликованной в 2017 г. и регулярно пополняемой Национальным центром данных по снегу и льду (NSIDC) США (Sea ..., 2017). Архив содержит ежедневные и ежемесячные числовые данные о площади льда в Карском море с октября 1978 г. по настоящее время. Информация о расположении льда на акватории моря представлена в виде последовательных изображений концентрации морского льда в формате PNG. Измерения начались с помощью микроволновых радиометров SMMR и продолжились с использованием прибора SSM/I, а затем прибора SSMIS, который поставляет данные и в настоящее время. Эти приборы позволяют получать данные о морской поверхности при любой освещенности, в том числе в течение полярной ночи, а также при наличии облачности.

Информация о расходах воды Оби и Енисея была взята из электронной базы данных (Arctic ..., 2023), собранной национальными гидрологическими учреждениями России (Росгидромет), Соединенных Штатов Америки (Геологическая служба США) и Канады (Служба водных ресурсов Канады). Из базы были отобраны ежедневные данные о расходах воды Оби в районе гидрологического поста “Салехард” и Енисея в районе гидрологического поста “Игарка” с 1978 по 2022 гг.

Средние годовые значения объема речного стока, а также средняя, минимальная и максимальная годовые площади льда рассчитывались за гидрологический год (с 1 октября по 30 сентября). Это позволяет рассматривать целый период накопления и расходования влаги в речном бассейне и учитывать характеристики льда только внутри одного цикла образования и разрушения льда. Каждый временной ряд был предварительно проверен на однородность в соответствии с “Методическими рекомендациями по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным” (2010), разработанными в Государственном гидрологическом институте. Анализ трендов был использован для оценки тенденций изменчивости исследуемых характеристик. Построение линии тренда проводилось путем составления линейного уравнения по методу наименьших квадратов. Значимость тренда оценивалась по критерию Стьюдента.

Данные о средней месячной температуре воздуха над Карским морем получены из архива данных, находящегося в открытом доступе на сайте Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration) (NOAA ..., 2021).

Результаты и обсуждение

С начала наблюдений в 1978 г. средняя годовая площадь ледяного покрова Карского моря имела выраженный отрицательный тренд. Площадь льда с 1978 по 2022 гг. в среднем сокращалась на 5502 км² в год.

Наиболее интенсивное сокращение площади льда началось в середине 2000-х гг. В Карском море с 2004 г. ежегодно наблюдались отрицательные аномалии ледовитости (рис. 1).

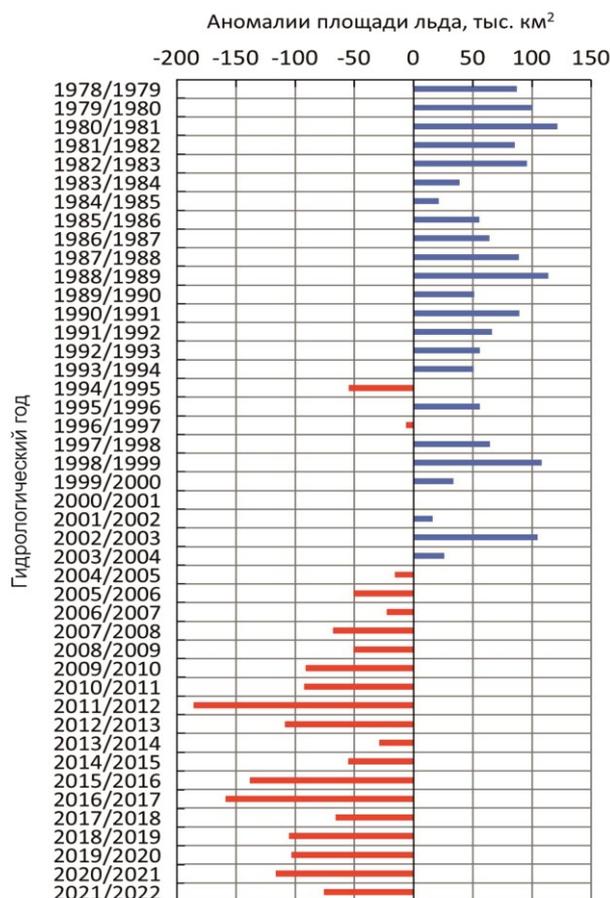


Рис. 1. Аномалии средней годовой площади льда в Карском море

Fig. 1. Anomalies of the annual ice area in the Kara Sea

Сокращение средней годовой площади льда произошло преимущественно за счет увеличения площади открытой воды в теплый период года. На графике минимальной площади льда в Карском море показано, что в течение периода наблюдений в отдельные годы площадь льда летом сокращалась до 30000–50000 км². Однако с 2004 г. столь малые значения площади льда стали повторяться ежегодно (рис. 2).

Средняя площадь льда в Карском море в летний сезон 2004–2022 гг. по сравнению с 1979–2003 гг. уменьшилась на 211000 км². Сокращение площади льда произошло как в юго-западной части моря (на 37.1 %), так и в северо-восточной (на 37.8 %).

Северо-восточная часть Карского моря с 2004 г. стала почти полностью освобождаться от льда в сентябре (рис. 3). Зимой море покрывалось льдом полностью, но небольшие участки открытой воды в отдельные годы на акватории оставались.

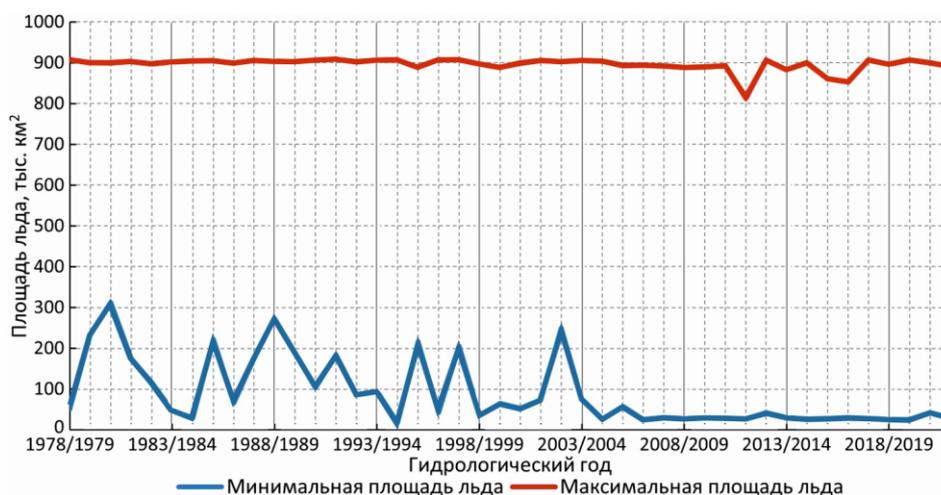


Рис. 2. Минимальная и максимальная площади льда в Карском море
Fig. 2. Minimal and maximal area of ice in the Kara Sea

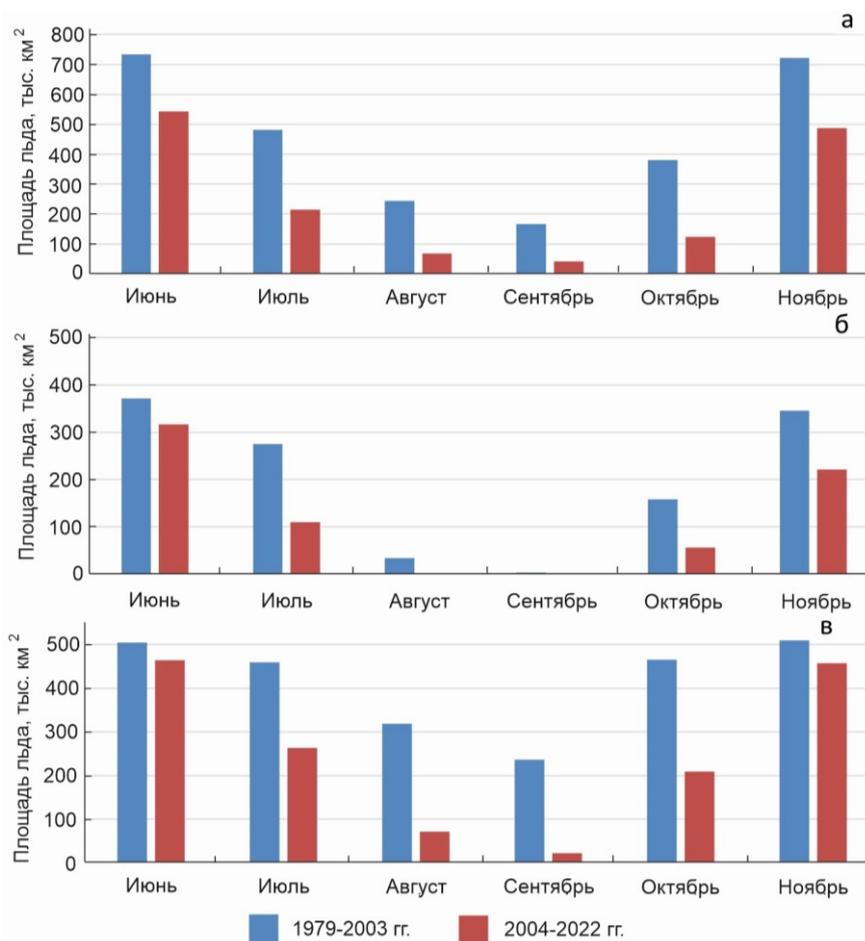


Рис. 3. Площадь льда в Карском море в июне–ноябре 1979–2003 и 2004–2022 гг.:

а – море в целом; б – юго-западная часть; в – северо-восточная часть

Fig. 3. The area of ice in the Kara Sea in 1979–2003 and 2004–2022:

а – the Kara Sea; б – the south-west of the Kara Sea; в – the north-east of the Kara Sea

Сокращение площади морского льда в морях Северного Ледовитого океана летом обусловлено в основном повышением температуры воздуха (Матвеева и др., 2020). Сток Оби и Енисея в период роста температуры воздуха над Карским морем и интенсивной перестройки его ледового режима не претерпевал значимых направленных изменений (рис. 4).

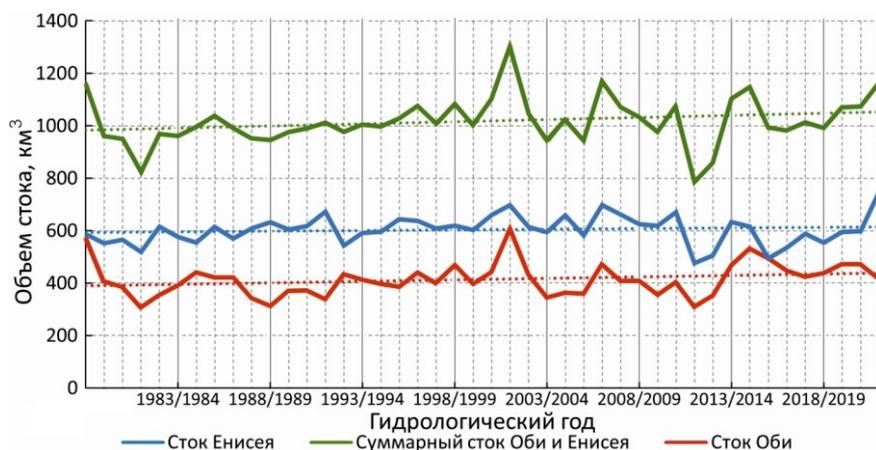


Рис. 4. Средний годовой сток Оби и Енисея в 1978–2022 гг.
Fig. 4. The annual Ob and Yenisei rivers runoff in 1978–2022

Был выполнен поиск корреляционных зависимостей между объемом стока Оби и Енисея и площадью льда в Карском море с 1978 по 2022 гг. С 1978 по 2022 и с 1978 по 2003 годы значимые корреляции между площадью льда в Карском море и стоком Оби и Енисея не обнаруживаются ни для средних годовых, ни для средних месячных значений. Однако с 2004 по 2022 гг. отмечена значимая прямая корреляция между суммарным годовым стоком Оби и Енисея и средней годовой площадью льда в Карском море (таблица).

Зависимость средней годовой площади льда в Карском море от стока Оби и Енисея
Correlation between the annual Ob and Yenisei rivers runoff and the area of ice in the Kara Sea

Предиктор	Коэффициент корреляции r	Стандартная ошибка	Критическое значение t ($p = 0.05$)	Фактическое значение t
1978–2022 гг.				
Суммарный годовой сток Оби и Енисея	0.003	0.15	2.02	0.02
Средний годовой сток Оби	-0.132	0.15	2.02	0.86
Средний годовой сток Енисея	0.160	0.15	2.02	1.05
1978–2003 гг.				
Суммарный годовой сток Оби и Енисея	-0.303	0.20	2.07	1.53
Средний годовой сток Оби	-0.261	0.20	2.07	1.30
Средний годовой сток Енисея	-0.213	0.20	2.07	1.05
2004–2022 гг.				
Суммарный годовой сток Оби и Енисея	0.604	0.20	2.12	3.03
Средний годовой сток Оби	0.163	0.25	2.12	0.66
Средний годовой сток Енисея	0.711	0.18	2.12	4.04

Вероятно, это связано с особенностями влияния солености на образование льда. Формирование обширного поверхностного опресненного слоя в начале ледового сезона усиливает процессы ледообразования.

За череду лет с крупными отрицательными аномалиями ледовитости значительная площадь моря была освобождена от старого льда и занята однолетними формами льда. В работе Л. М. Наумова и С. М. Гордеевой (2016) выполнен анализ площадей, занимаемых различными формами льда в Карском море в 1997/1998 и 2014/2015 годах. Зимой 1997/1998 г. старый лед имел площадь, соизмеримую с площадью других форм льда, в то время как зимой 2014/2015 г. старый лед почти исчез.

Однолетние льды тоньше и легче поддаются разрушению. Так как в последние два десятилетия Карское море практически лишилось многолетних льдов, средняя годовая ледовитость стала зависеть в первую очередь от площади однолетних льдов. Снижение солености в годы с большим объемом речного стока может способствовать ускорению процессов ледообразования осенью и формированию более толстых однолетних льдов в такие годы. Толстый однолетний лед имеет более длительный период таяния, а также с большей вероятностью способен пережить летний сезон.

По формуле Чегодаева была рассчитана обеспеченность средних годовых расходов воды в створе гидрологических постов “Салехард” и “Игарка” и определены маловодные (с обеспеченностью $> 75\%$) и многоводные (с обеспеченностью $< 25\%$) годы для Оби и Енисея. Соленость морской воды к началу процессов ледообразования определяется водностью предшествующего года. Поэтому площадь льда оценивалась для лет, следующих за годами высокой и низкой водности обеих рек. Зависимость процессов ледообразования и ледотаяния от водности Оби и Енисея не прослеживалась в период до 2004 г. С 2004 по 2022 годы наблюдалось статистически значимое различие в скорости нарастания и разрушения ледяного покрова в годы, следующие за таковыми высокой водности Оби и Енисея и следующие за годами низкой водности этих рек.

Учитывая обусловленность речного стока и температуры воздуха над морем изменениями циркуляции атмосферы, существует вероятность, что обнаруженная зависимость – результат регулярного наступления холодных лет вслед за влажными ввиду цикличности атмосферных колебаний. Были рассчитаны средние годовые, осенние и летние температуры над Карским морем в 2004–2022 гг. Статистически значимых различий в температуре воздуха над морем в годы, следующие за годами высокой водности Оби и Енисея и в годы, следующие за годами низкой водности, не обнаружено.

Циклы образования и разрушения ледяного покрова в Карском море в годы различной водности (2004–2022) показаны на рис. 5. В годы, которым предшествовало многоводье, нарастание ледяного покрова происходило более интенсивно, и море полностью покрывалось льдом уже в начале января, далее следовал длительный период стабилизации ледяного покрова. В годы, которым предшествовало маловодье, полное покрытие моря льдом происходило только в начале февраля, а стабилизации ледяного покрова вовсе не наблюдалось. Сокращение площади ледяного покрова в такие годы начиналось в среднем на 10 дней раньше и продолжалось вплоть до конца сентября. В годы, которым предшествовало многоводье, разрушение ледяного покрова позже начиналось и приостанавливалось уже в августе.

Летнее таяние морского льда в Арктике в сильной степени зависит от различий в величине отраженной и поглощенной солнечной радиации между покрытой льдом и открытой частями акватории. Данные экспериментов SHEBA и данные скаттерометра QuikSCAT показывают (Seasonal ..., 2007), что среднее количество поглощенной солнечной радиации системой лед–океан с апреля по сентябрь зависит от начала таяния морского льда и слабо связано с продолжительностью таяния или окончанием его таяния. Более позднее начало таяния льда способствует поддержанию низких температур над поверхностью льда, замедлению его таяния, увеличению площади остаточных льдов в конце ледового сезона и более раннему началу нового ледового сезона.

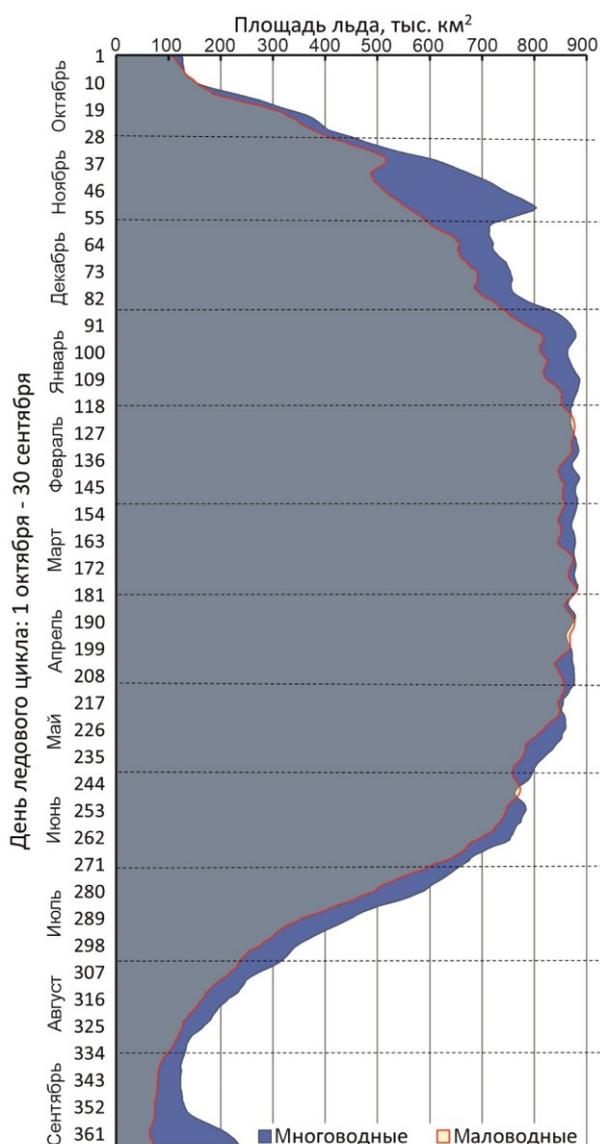


Рис. 5. Площадь ледяного покрова в годы высокой и низкой водности Оби и Енисея (2004–2022 гг.)

Fig. 5. The area of the Kara Sea ice cover during the years of high and low water content of the Ob and Yenisei rivers (2004–2022)

Заклучение

Ледовый режим Карского моря претерпел значительные изменения в последние два десятилетия. С 2004 года в Карском море наблюдались ежегодные отрицательные аномалии ледовитости. Средняя площадь льда в Карском море в летний сезон 2004–2022 гг. по сравнению с 1979–2003 гг. сократилась на 37.5 %. Северо-восточная часть моря летом ежегодно стала почти полностью освобождаться от льда. Это привело к замещению многолетних льдов однолетними. Средняя годовая ледовитость определяется преимущественно площадью льда, образовавшегося в текущем ледовом сезоне. Речной сток способен влиять на скорость процессов ледообразования. Таким образом, влияние водности Оби и Енисея на площадь льда в Карском море в последние два десятилетия возросло.

С 2004 по 2022 годы наблюдались статистически значимые положительные корреляции между суммарным стоком Оби и Енисея и площадью льда в Карском море. Высокая водность Оби и

Енисей способствовала ускорению процессов ледообразования, удлинению периода стабилизации, сдвигу начала таяния льда на более поздние сроки и большей устойчивости льда к разрушению в летний сезон.

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.

Список литературы

1. Кулаков М. Ю. О новом подходе к моделированию циркуляции вод арктических морей // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 2(92). С. 55–62.
2. Ледяные образования морей Западной Арктики / Под ред. Г. К. Зубакина. СПб: Изд. ААНИИ, 2006. 272 с.
3. Матвеева Т. А., Семенов В. А., Астафьева Е. С. Ледовитость арктических морей и ее связь с приземной температурой воздуха в Северном полушарии // Лед и снег. 2020. Т. 60, № 1. С. 134–148.
4. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определение их расчетных значений по неоднородным данным / А. В. Рождественский, А. Г. Лобанова (ред.). СПб.: Изд-во “Нестор-История”, 2010, 162 с.
5. Наумов Л. М., Гордеева С. М. Изменчивость ледовитости Карского моря // Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования: Матер. молод. науч. конф., г. Севастополь, 25–29 апреля 2016 г. Севастополь: Мор. гидрофиз. ин-т РАН, 2016. С. 332–337.
6. Никитин Б. А., Дзюбло А. Д. Перспективы освоения газовых ресурсов шельфа арктических морей России // Научно-технический сборник “Вести газовой науки”. 2017. Т. 4, № 32. С. 15–24.
7. Поиски и разведка месторождений и залежей углеводородов ПАО “Газпром” в России / В. В. Рыбальченко, А. Е. Рыжов, В. А. Скоробогатов, Д. Я. Хабибуллин // Научно-технический сборник “Вести газовой науки”. 2018. Т. 3, № 35. С. 46–57.
8. Arctic Great Rivers Observatory / J. W. McClelland, S. E. Tank, R. G. M. Spencer, A. I. Shiklomanov, S. Zolkos, R. M. Holmes // Discharge Dataset. 2023. URL: <https://arcticgreatrivers.org/data/> (дата обращения 13.02.2023).
9. NOAA. Monthly mean time series from the NCEP Reanalysis Dataset. Climate Prediction Center, National Weather Service, NOAA, 2021. URL: <http://nomad2.ncep.noaa.gov> (дата обращения 03.03.2023).
10. Sea Ice Index, Version 3 [Data Set] / F. Fetterer, K. Knowles, W. N. Meier, M. Savoie, A. K. Windnagel. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center, 2017. URL: <https://doi.org/10.7265/N5K072F8> (дата обращения 13.02.2023).
11. Seasonal evolution and interannual variability of the local solar energy absorbed by the Arctic Sea ice–ocean system / D. K. Perovich, S. V. Nghiem, T. Markus, A. Schweiger // J. Geophys. Res. 2007. № 112. C03005. DOI: 10.1029/2006JC003558

References

1. Kulakov M. Ju. O novom podhode k modelirovaniju cirkuljacii vod arkticheskikh morej [About a new approach to modeling the circulation of Arctic seas]. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Arctic and Antarctic Research], 2012, No. 2(92), pp. 55–62. (In Russ.).
2. Zubakin G. K. *Ledjanye obrazovanija morej Zapadnoj Arktiki* [Ice formations of the seas of the Western Arctic], Saint-Petersburg, Publ. AANII, 2006, 272 p. (In Russ.).
3. Matveeva T. A., Semenov V. A., Astaf'eva E. S. Ledovitost' arkticheskikh morej i ee svjaz' s prizemnoj temperaturoj vozduha v Severnom polusharii [Arctic Sea ice coverage and its relation to the surface air temperature in the Northern Hemisphere]. *Led i sneg* [Ice and snow], 2020, Vol. 60, No. 1, pp. 134–148. (In Russ.).
4. Rozhdestvenskij A. V., Lobanova A. G. *Metodicheskie rekomendacii po ocenke odnorodnosti gidrologicheskikh harakteristik i opredelenie ih raschetnyh znachenij po neodnorodnym dannym* [Methodological recommendations for assessing the homogeneity of hydrological characteristics and determining their calculated values based on heterogeneous data], Saint-Petersburg, Publ. “Nestor-Istorija”, 2010, 162 p. (In Russ.).
5. Naumov L. M., Gordeeva S. M. *Izmenchivost' ledovitosti Karskogo morja* [Variability of ice in the Kara Sea]. *Kompleksnye issledovanija morej Rossii: operativnaja okeanografija i jekspedicionnye issledovanija. Materialy molodezhnoj nauchnoj konferencii “Kompleksnye issledovanija morej Rossii: operativnaja okeanografija i jekspedicionnye issledovanija” (g. Sevastopol', 25–29 aprelya 2016 g.)* [Proceedings of the Youth Scientific Conference "Integrated research of the Russian Seas: operational oceanography and expedition research"]. Sevastopol, Marine Hydrophysical Institute of the Russian Academy of Sciences, 2016, pp. 332–337. (In Russ.).

6. Nikitin B. A., Dzjublo A. D. Perspektivy osvoenija gazovyh resursov shel'fa arkticheskikh morej Rossii [Prospects for development of Russian Arctic offshore gas resources]. *Nauchno-tehnicheskij sbornik "Vesti gazovoj nauki"* [Scientific-Technical Collection Book "News of gas science"], 2017, Vol. 4, No. 32, pp. 15–24. (In Russ.).
7. Rybal'chenko V. V., Ryzhov A. E., Skorobogatov V. A., Habibullin D. Ja. Poiski i razvedka mestorozhdenij i zalezhej uglevodorodov PAO "Gazprom" v Rossii [Searching and prospecting of hydrocarbon fields and deposits by the enterprises of the Gazprom PJSC in Russia]. *Nauchno-tehnicheskij sbornik "Vesti gazovoj nauki"* [Scientific-Technical Collection Book "News of gas science"], 2018. Vol. 3, No. 35, pp. 46–57. (In Russ.).
8. McClelland J. W., Tank S. E., Spencer R. G. M., Shiklomanov A. I., Zolkos S., Holmes R. M. Arctic Great Rivers Observatory. Discharge Dataset, 2023. Available at: <https://arcticgreatrivers.org/data/> (accessed 13.02.2023).
9. NOAA. Monthly mean time series from the NCEP Reanalysis Dataset. Climate Prediction Center, National Weather Service, NOAA, 2021. Available at: <http://nomad2.ncep.noaa.gov> (accessed 03.03.2023).
10. Fetterer F., Knowles K., Meier W. N., Savoie M., Windnagel A. K. Sea Ice Index, Version 3. Data Set Boulder. Colorado USA, National Snow and Ice Data Center, 2017. Available at: <https://doi.org/10.7265/N5K072F8> (accessed 13.02.2023).
11. Perovich D. K., Nghiem S. V., Markus T., Schweiger A. Seasonal evolution and interannual variability of the local solar energy absorbed by the Arctic Sea ice–ocean system. *Journal Geophysical Research*, 2007, No. 112, C03005, doi: 10.1029/2006JC003558

Информация об авторе

Александра Сергеевна Булавина – кандидат географических наук, научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0002-1173-9324>

Information about the author

Alexandra S. Bulavina – PhD (Geography), Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1173-9324>

Статья поступила в редакцию 23.03.2023; одобрена после рецензирования 10.04.2023; принята к публикации 13.04.2023.
The article was submitted 23.03.2023; approved after reviewing 10.04.2023; accepted for publication 13.04.2023.

Научная статья
УДК 551.464.32
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.003

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДАХ БАРЕНЦЕВА И ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЕЙ

Дарья Андреевна Валуйская¹, Наталья Сергеевна Иванова²

^{1,2}Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия

¹valuyskaya@mmbi.info[✉], ²ivanova_ns@mmbi.info

Аннотация

Представлены результаты изучения содержания растворенных форм железа, марганца, хрома в поверхностном слое морской воды восточной части Баренцева моря и на участке Гренландского моря в районе архипелага Шпицберген. Материалы получены в комплексных экспедициях ММБИ РАН в 2021 и 2022 гг. Измерение концентрации микроэлементов выполнено методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием спектрометра “КВАНТ.З”. Представлены карты распределения указанных элементов в исследуемых районах. В водах изученных акваторий средняя концентрация тяжелых металлов не превышала предельно допустимой концентрации для морских рыбохозяйственных водоемов. В целом содержание указанных тяжелых металлов в водах Ис-фьорда (Гренландское море) и его бухтах ниже, чем в водах Баренцева моря. Максимальный диапазон изменчивости содержания тяжелых металлов также наблюдается на акватории Баренцева моря. Наибольшая пространственная вариация концентраций характеризует распределение растворенных форм железа.

Ключевые слова:

Баренцево море, Гренландское море, фьорды Шпицбергена, атлантические воды, тяжелые металлы

Original article

RESULTS OF MEASUREMENT OF HEAVY METALS IN THE WATERS OF THE BARENTS AND GREENLAND SEAS

Daria A. Valuiskaia¹, Natalia S. Ivanova²

^{1,2}Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

¹valuyskaya@mmbi.info[✉], ²ivanova_ns@mmbi.info

Abstract

The results of observations of the content of dissolved forms of Fe, Mn, Cr are presented in the surface layer of sea water in the eastern part of the Barents Sea and in the area of the Greenland Sea near the Svalbard archipelago. The observations were made during the complex expeditions of the MMBI RAS in 2021 and 2022. The concentration of these microelements was measured by atomic absorption spectroscopy using a “KVANT.Z” spectrometer. Maps of the distribution of these elements of the study areas are presented, the average concentration of heavy metals did not exceed the maximum allowable concentrations for marine fishery water bodies in the waters of the studied areas. In general, the content of HMs in the waters of the Isfjord and its branches is lower than in the waters of the Barents Sea. The maximum range of heavy metals content variability is also observed in the Barents Sea. The largest spatial variation characterizes in concentrations the distribution of dissolved forms of Fe in the studied basins.

Keywords:

Barents Sea, Greenland Sea, fjords of Svalbard, Atlantic waters, heavy metals

Введение

Тяжелые металлы относятся к классу загрязняющих веществ, наблюдения за которыми очень важны для мониторинга среды водоемов с интенсивной хозяйственной деятельностью, особенно водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение (Перечень ..., 1999; СанПин ..., 2001; Ильин, 2004; Приказ ..., 2016). Баренцево и Гренландское моря, являясь рыбопромысловыми водоемами, подвергаются значительному антропогенному воздействию со стороны промышленных комплексов Северной Европы посредством трансграничного переноса атмосферными потоками и морскими течениями (Результаты ..., 2007; Ильин, Голубева, 2014). Локальными источниками тяжелых

металлов в бассейнах этих морей становятся буровые работы, изыскательские работы при разведке ископаемых промышленных ресурсов и добыче углеводородов (Ильин и др., 1993).

Для морского побережья Баренцева моря значимыми источниками загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, является береговая инфраструктура рыболовного и военного флота, речной и подземный сток, поставляющий загрязненные отходы добывающих и металлургических предприятий, отходы крупных городов и населенных пунктов побережья, продукты естественного выщелачивания горных пород. В поверхностном слое в зависимости от сезона можно наблюдать в открытом море плум вод материкового стока далеко за 20-мильной зоной.

В открытом море основное поступление тяжелых металлов в воду происходит с атмосферными выпадениями, с трансграничным переносом потоками Нордкапского течения из Северной Атлантики (Новиков, Драганов, 2017; Драганов, Новиков, 2020; Качество ..., 2021).

В бассейне Ис-фьорда источниками тяжелых металлов в морскую среду являются терриконы угольных шахт, материковый сток и атмосферные выпадения (Ильин, Голубева, 2014). В настоящее время из-за интенсивного таяния ледников Шпицбергена, вызванного потеплением в Арктике, возросла роль ледникового стока в поступлении тяжелых металлов в заливы Ис-фьорда и другие бухты побережья (Источники ..., 2019; Тяжелые ..., 2021).

Тяжелые металлы относятся к загрязняющим веществам, обладающим токсичным эффектом и способным накапливаться в живых организмах и передаваться по пищевым цепям. Многие металлы, связываясь с белковыми компонентами клеточных мембран, могут изменять проницаемость клеточной оболочки, способствуя нарушению таких физиологических функций как фотосинтез, дыхание и осморегуляция. Железо и марганец являются менее токсичными элементами, чем хром, однако они влияют на геохимическое поведение других тяжелых металлов.

Статус Баренцева и Гренландского морей как международных рыбопромысловых водоемов подчеркивает важность мониторинга поступлений и концентрации нормируемых тяжелых металлов в морской среде, изучение временной динамики, закономерностей и особенностей пространственного распределения этих микроэлементов не только в воде, но и в промысловых объектах, в том числе в объектах марикультуры (Биотестирование ..., 2003).

Цель нашего исследования – анализ современного уровня концентрации тяжелых металлов в некоторых районах Баренцева и Гренландского морей как отдельных пространственно удаленных элементах экосистем.

Материал и методы

Пробы морской воды для измерения концентрации тяжелых металлов взяты в экспедициях ММБИ РАН на НИС “Дальние Зеленцы”. Отбор проб на акватории Ис-фьорда и по разрезу вдоль меридиана 33°30’ (“Кольский меридиан”) выполнен в ноябре 2021 г., в восточной части Баренцева моря – в марте 2022 г. В общей сложности на 72 океанографических станциях было отобрано 72 пробы воды с поверхностного слоя с помощью пластикового батометра. Объем пробы составлял 1 л. В пробах анализировалось содержание растворенных форм соединений токсичных металлов – хрома и марганца, а также железа. Концентрация этих микроэлементов в воде рыбохозяйственных водоемов регулируется нормативными актами (Перечень ..., 1999; Приказ ..., 2016), в пробах воды она была определена методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием спектрометра “КВАНТ.Z”. Отбор и подготовка проб, а также процедура измерений выполнены в соответствии с РД 52.10.778-2013 (2014).

Результаты и обсуждение

На основе полученных данных были построены карты распределения тяжелых металлов в поверхностном слое морской воды (рисунки 1, 2). В Баренцевом море концентрация хрома варьировалась в пределах 0.5–8 мкг/дм³. Максимальные показатели зафиксированы в районах подводных желобов центральной части моря, по которым ориентированы ветви теплых течений. Повышение концентраций отмечено также на станциях в побережье Кольского полуострова, что связано с расположением потенциальных источников загрязнения и материковым стоком.

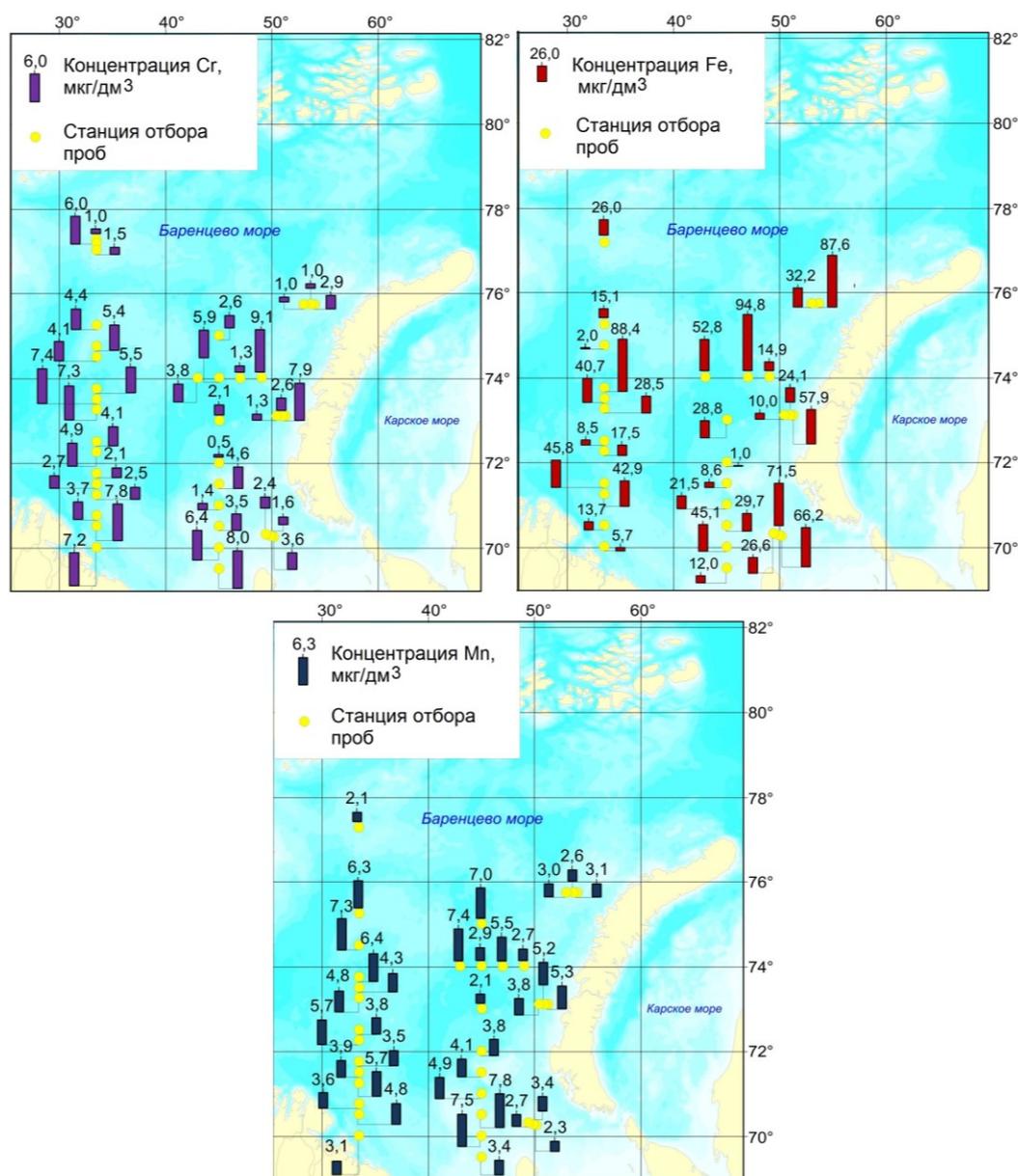


Рис. 1. Распределение хрома, железа и марганца в поверхностном слое воды Баренцева моря в ноябре 2021 г. и марте 2022 г.

Fig. 1. Distribution of Cr, Fe and Mn in the surface water layer of the Barents Sea, November 2021 and March 2022

Средняя концентрация железа в Баренцевом море составила $46.5 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Однако в прибрежных районах Новой Земли и в целом в юго-восточной части моря отмечено повышенное содержание – до $110 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. Источник такого повышения не определен и нуждается в дополнительном исследовании. Наиболее вероятной причиной, на наш взгляд, могут быть локальные особенности динамики вод в зоне смешения водных масс.

Распределение марганца в поверхностном слое воды Баренцева моря было относительно равномерным по сравнению с другими микроэлементами. Его содержание варьировалось в пределах $2\text{--}7 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, что составило 0.14 ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

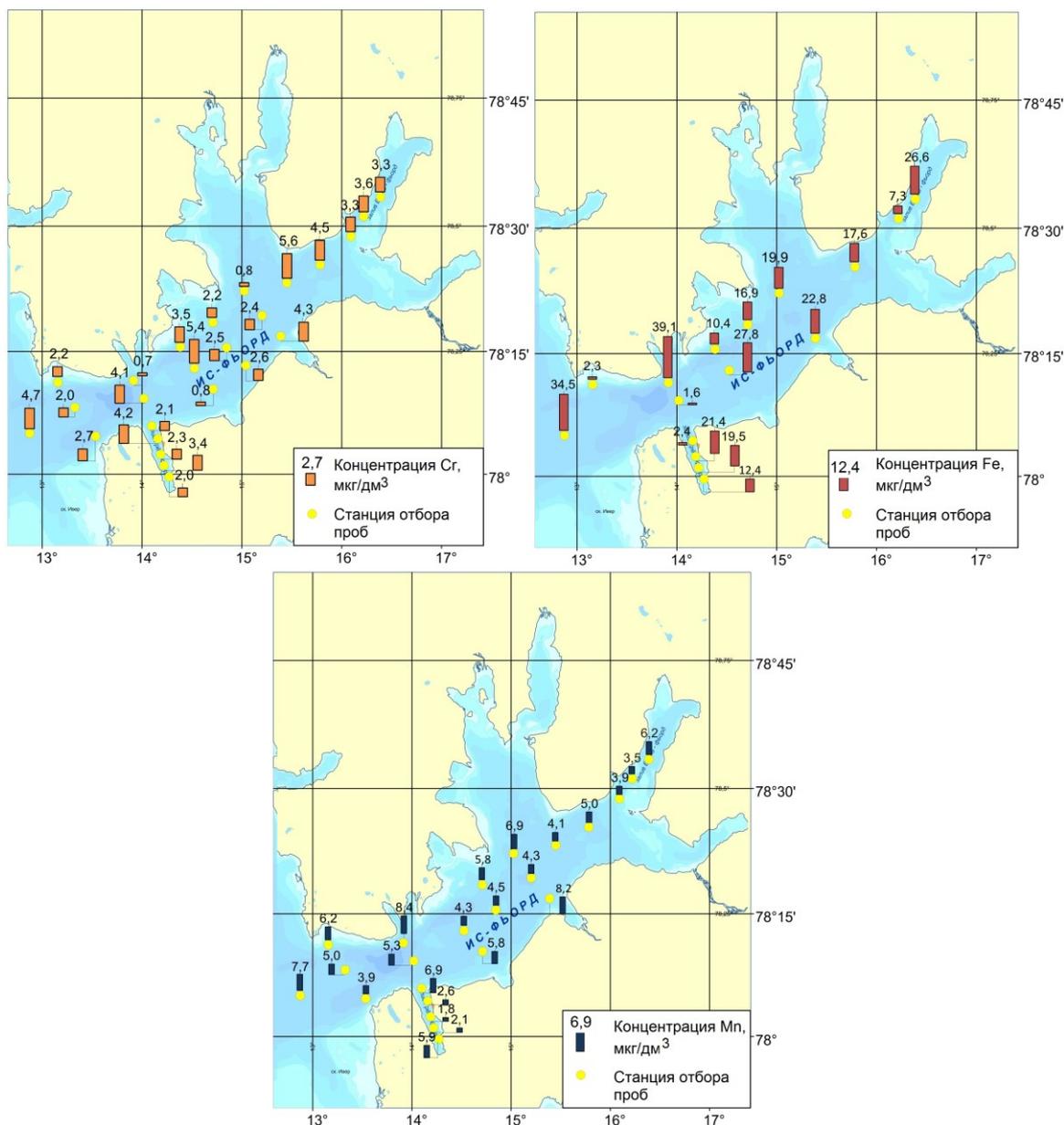


Рис. 2. Распределение хрома, железа и марганца в поверхностном слое морской воды Ис-фьорда в ноябре 2021 г.
Fig. 2. Distribution of Cr, Fe and Mn in the surface layer of sea water in Isfjord, November 2021

В целом исследования показали, что концентрации металлов в пробах воды Баренцева моря были сравнительно низкими и не превышали предельно допустимых концентраций (таблица).

В прибрежье архипелага Шпицберген, в системе залива Ис-фьорд, концентрация металлов в морской воде весьма разнообразна (таблица). В целом очевидна главная закономерность – превышение концентрации наблюдаемых микроэлементов в воде Ис-фьорда над таковыми в боковых ответвлениях. Это просматривается на примере Грён-фьорда. Так содержание железа в воде вдоль осевой линии Ис-фьорда изменялось в диапазоне от 1.5 до 40 мкг/дм³. Значения почти в 2 раза выше по сравнению с заливами Билле-фьорд и Грён-фьорд (рис. 2). Возможно, это вызвано тем, что основная масса загрязняющих веществ поступает с водами Западно-Шпицбергенского течения.

**Концентрации тяжелых металлов в воде Баренцева и Гренландского морей
в ноябре 2021 г. и марте 2022 г., мкг/дм³
Concentrations of heavy metals in sea water
of the Barents and Greenland seas, November 2021 and March 2022, µg/dm³**

Район	Fe (ПДК = 50)	Mn (ПДК = 50)	Cr
Баренцево море	1–110 (46.4)	2.1–7.8 (4.5)	1–7.8 (4.0)
Гренландское море			
Ис-фьорд	1.6–39.1 (25.4)	4.3–8.4 (5.5)	0.8–5.4 (2.9)
Билле-фьорд	7.3–26.6 (17.0)	3.5–6.2 (4.9)	3.3–3.6 (3.5)
Грён-фьорд	2.4–21.4 (13.9)	1.8–6.9 (3.4)	2.0–4.2 (3.0)

ПРИМЕЧАНИЕ. Цифры в скобках – среднее значение.

Концентрация марганца на акватории Ис-фьорда составила от 1.5 до 8.5 мкг/дм³. При этом низкие концентрации отмечены в бухтах системы фьорда, более подверженных влиянию изменчивого материкового стока (таблица). Вероятно, ситуация с уровнем содержания данного микроэлемента в поверхностном слое вод фьорда характеризует естественный геохимический фон.

Содержание хрома в исследуемом районе варьировалось в пределах 0.8–5 мкг/дм³ (рис. 2). Можно предположить, что максимальное поступление тяжелых металлов из всех источников приходится в Ис-фьорд не с материковым и ледовым стоком. Основной причиной этого следует рассматривать перенос в залив северо-атлантических вод. Однако для получения полного представления о происходящих процессах необходимы дополнительные океанографические исследования.

Заключение

По результатам исследований на акватории Баренцева и Гренландского морей содержание тяжелых металлов не выходило за рамки установленных ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов за исключением единичных случаев. Более высокие концентрации железа, хрома и марганца отмечены в прибрежных районах морей рядом с потенциальными источниками загрязняющих веществ. В акватории удаленного от влияния промышленных и селитебных центров залива Ис-фьорд (Западный Шпицберген) формирование фона концентрации железа, хрома и марганца происходит главным образом под влиянием водообмена с открытой акваторией Гренландского моря и Северо-Шпицбергенского течения. Необходимо дальнейшее комплексное изучение для более полного представления о динамике тяжелых металлов в морской среде изучаемых водоемов.

Авторы выражают благодарность за плодотворную работу Е. В. Горшениной, И. С. Усягиной и Т. М. Максимовской, а также научной группе и экипажу НИС “Дальние Зеленцы”.

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.

Список литературы

1. Биотестирование и прогноз изменчивости водных экосистем при антропогенном загрязнении / Г. Г. Матишов, С. В. Кренева, В. М. Муравейко, И. А. Шпарковский, Г. В. Ильин. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 468 с.
2. Драганов Д. М., Новиков М. А. Атлас загрязнения водных масс Баренцева моря. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2020. 276 с.
3. Ильин Г. В. Современные концентрации тяжелых металлов в компонентах морской экосистемы как фоновый уровень мониторинга нефтегазовых разработок на шельфе Баренцева моря // Нефть и газ Арктического шельфа-2004: Матер. Междунар. конф., г. Мурманск, 17–19 ноября 2004 г. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2004. С. 121–131.
4. Ильин Г. В., Голубева Н. И. Антропогенные нагрузки и риски химического загрязнения морской среды в Арктике // Морские экосистемы и сообщества в условиях современных климатических изменений. СПб.: Реноме, 2014. С. 50–76.

5. Ильин Г. В., Петров В. С., Фролова Е. А. Комплексная оценка воздействия нефтегазоразведочных работ с плавучих буровых платформ на природную среду Баренцева моря // Арктические моря: биоиндикация состояния среды, биотестирование и технология деструкции загрязнителей. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1993. С. 136–152.
6. Источники природных и искусственных радионуклидов на архипелаге Шпицберген / И. С. Усягина, Г. В. Ильин, Н. И. Мещеряков, Д. А. Валуйская // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019: Сб. статей по матер. Междунар. науч.-практ. конф. (23–26 сентября 2019 г.). Севастополь: Изд-во Сев. гос. ун-та, 2019. С. 1650–1654.
7. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2020 / Под ред. А. Н. Коршенко. М.: Наука, 2021. 230 с.
8. Новиков М. А., Драганов Д. М. Пространственное распределение водных масс Баренцева моря // Водные ресурсы. 2017. Т. 44, № 5. С. 583–589.
9. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд-во ВНИРО, 1999. 352 с.
10. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552 “Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения”. URL: https://www.chemanalytica.ru/f/prikaz_minselkhoza_rossii_ot_13122016_n_552_ob_utverzhenii_pdk.pdf
11. Результаты измерений тяжелых металлов в атмосферных аэрозолях в открытых районах арктических морей в 2009–2010 гг. / Н. И. Голубева, Л. В. Бурцева, Г. Г. Матишов, Г. В. Ильин // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Вып. 2. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 517–530.
12. СанПин 2.3.2.1078-01 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы “Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов”. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293855/4293855259.pdf>
13. РД 52.10.778-2013. Руководящий документ. Массовая концентрация растворенных форм железа, марганца и хрома в пробах морской воды // Методика измерений методом атомно-абсорбционной спектроскопии. М., 2014.
14. Тяжелые металлы в донных отложениях озера Фара, Западный Шпицберген / В. А. Даувальтер, Н. И. Мещеряков, И. С. Усягина, Г. Н. Духно, В. В. Шарин, Э. И. Слуковский, Д. Б. Денисов // Тр. Ферсмановской науч. сессии Геол. ин-та КНЦ РАН. 2021. Т. 18. С. 145–149.

References

1. Matishov G. G., Kreneva S. V., Muravejko V. M., Shparkovskij I. A., Il'in G. V. *Biotestirovanie i prognoz izmenchivosti vodnyh ekosistem pri antropogennom zagryaznenii* [Biotesting and prediction of the aquatic ecosystems variability at the anthropogenic contamination]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2003, 468 p. (In Russ.).
2. Draganov D. M., Novikov M. A. *Atlas zagryazneniya vodnyh mass Barenceva morya* [Atlas of the Barents Sea waters pollution]. Murmansk, Publ. PINRO, 2020, 276 p. (In Russ.).
3. Il'in G. V. *Sovremennye koncentracii tyazhelyh metallov v komponentah morskoy ekosistemy kak fonovyj uroven' monitoringa neftegazovyh razrabotok na shel'fe Barenceva morya* [Modern concentrations of heavy metals in the components of the marine ecosystem as a background level for monitoring oil and gas developments on the shelf of the Barents Sea]. *Neft' i gaz Arkticheskogo shel'fa-2004: Materialy Mezhdunarodnoj konferencii, g. Murmansk, 17–19 noyabrya 2004 g.* [Oil and Gas of the Arctic Shelf-2004: Materials of the International Conference, Murmansk, November 17–19, 2004]. Murmansk, Publ. MMBI KSC RAS, 2004, pp. 121–131. (In Russ.).
4. Ilyin G. V., Golubeva N. I. *Antropogennyye nagruzki i riski himicheskogo zagryazneniya morskoy sredy v Arktike* [Anthropogenic loads and risks of chemical pollution of the marine environment in the Arctic]. *Morskie ekosistemy i soobshchestva v usloviyah sovremennyh klimaticheskikh izmenenij* [Marine ecosystems and communities under modern climate change]. Saint-Petersburg, Renome, 2014, pp. 50–76. (In Russ.).
5. Ilyin G. V., Petrov V. S., Frolova E. A. *Kompleksnaya ocenka vozdeystviya neftegazorazvedochnyh rabot s plavuchih burovyyh platform na prirodnyuyu sredyu Barenceva morya* [Comprehensive assessment of the impact of oil and gas exploration from floating drilling platforms on the natural environment of the Barents Sea]. *Arkticheskie morya: bioindikaciya sostoyaniya sredy, biotestirovanie i tekhnologiya destrukcii zagryaznitelej* [Arctic seas: bioindication of the state of the environment, biotesting and technology for the destruction of pollutants]. Apatity, Publ. KSC RAS, 1993, pp. 136–152. (In Russ.).

6. Usyagina I. S., Ilyin G. V., Meshcheryakov N. I., Valuyskaya D. A. Valujskaya Istochniki prirodnyh i iskusstvennyh radionuklidov na arhipelage Shpicbergen [Sources of natural and artificial radionuclides in the Svalbard archipelago]. *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' – 2019: Sbornik statej po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (23–26 sentyabrya 2019 g.)* [Ecological, industrial and energy security – 2019: Collection of articles based on the materials of the International Scientific and Practical Conference (September 23–26, 2019)]. Sevastopol, Publ. Sevastopol State University, 2019, pp. 1650–1654. (In Russ.).
7. *Kachestvo morskikh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam. Ezhegodnik 2020* [The quality of sea waters by hydrochemical indicators. Yearbook 2020]. Moscow, Nauka, 2021, 230 p. (In Russ.).
8. Novikov M. A., Draganov D. M. Prostranstvennoe raspredelenie vodnyh mass Barenceva moray [Spatial Distribution of Water Mass Pollution Characteristics in the Barents Sea]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2017, Vol. 44, No. 5, pp. 583–589. (In Russ.).
9. *Perechen' rybohozyajstvennykh normativov: predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovochno bezopasnykh urovnej vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vodnykh ob"ektov, imeyushchih rybohozyajstvennoe znachenie* [List of fishery standards: maximum allowable concentrations (MAC) and approximate safe exposure levels (SLI) of harmful substances for water bodies of fishery importance]. Moscow, Publ. VNIRO, 1999, 352 p. (In Russ.).
10. Prikaz Minsel'hoza Rossii ot 13.12.2016 g. № 552 “Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob"ektov rybohozyajstvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyh koncentracij vrednykh veshchestv v vodah vodnykh ob"ektov rybohozyajstvennogo znacheniya” [Order of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016 No. 552 “On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance”]. Available at: https://www.chemanalytica.ru/f/prikaz_minselkhoza_rossii_ot_13122016_n_552_ob_utverzhdenii_pdk.pdf (In Russ.).
11. Golubeva N. I., Burtseva L. V., Matishov G. G., Ilyin G. V. Rezul'taty izmerenij tyazhelykh metallov v atmosferynykh aerolyah v otkrytykh rajonah arkticheskikh morej v 2009–2010 gg. [Results of measurements of heavy metals in atmospheric aerosols in open areas of the Arctic seas in 2009–2010]. *Kompleksnye issledovaniya processov, harakteristik i resursov rossijskikh morej Severo-Evropejskogo bassejna. Vypusk 2* [Integrated studies of processes, characteristics and resources of the Russian seas of the North European basin. Issue 2]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2007, pp. 517–530. (In Russ.).
12. SanPin 2.3.2.1078-01 Sanitarno-epidemiologicheskie pravila i normativy “Gigienicheskie trebovaniya k bezopasnosti i pishchevoj cennosti pishchevykh produktov” [SanPin 2.3.2.1078-01 Sanitary requirements to safety and nutritive value of food products]. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293855/4293855259.pdf> (In Russ.).
13. RD 52.10.778-2013. Rukovodyashchij dokument. Massovaya koncentraciya rastvorenykh form zheleza, marganca i hroma v probah morskoy vody [RD 52.10.778-2013. Guidance document. Mass concentration of dissolved forms of iron, manganese and chromium in samples of sea water]. Metodika izmerenij metodom atomno-absorbcionnoj spektrometrii [Method of measurement by atomic absorption spectrometry]. Moscow, 2014. (In Russ.).
14. Dauwalter V. A., Meshcheryakov N. I., Usyagina I. S., Duhno G. N., Sharin V. V., Slukovsky Z. I., Denisov D. B. Tyazhelye metally v donnykh otlozheniyah ozera Fara, Zapadnyj Shpicbergen [Heavy metals in the bottom sediments of Lake Fara, Western Svalbard]. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoj sessii Geologicheskogo instituta Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Proceedings of the Fersman scientific session GI KSC RAS]. 2021, Vol. 18, pp. 145–149. (In Russ.).

Информация об авторе

Дарья Андреевна Валуйская – научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-0633-5229>

Наталья Сергеевна Иванова – стажер-исследователь

Information about the author

Daria A. Valuiskaia – Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-0633-5229>

Natalia S. Ivanova – Trainee Researcher

Статья поступила в редакцию 30.04.2023; одобрена после рецензирования 03.05.2023; принята к публикации 07.05.2023.
The article was submitted 30.04.2023; approved after reviewing 03.05.2023; accepted for publication 07.05.2023.

Научная статья
УДК 598.2
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.004

РЕЗУЛЬТАТЫ ОРНИТОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ХОДЕ БЕРЕГОВЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ ММБИ РАН В 2021–2022 ГОДАХ

Анастасия Николаевна Гурба

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
gurba@mmbi.info

Аннотация

Представлены результаты маршрутных учетов морских и околоводных птиц в разных частях северного побережья Мурманской области. Показана сезонная динамика численности обыкновенной гаги и серебристой чайки в районе поселка Териберка, а также приведен индекс видового богатства для некоторых районов Кольского залива. Отмечены изменения в орнитофауне некоторых районов Печенгского и Кольского заливов.

Ключевые слова:

видовой состав, численность, орнитофауна, Печенгский залив, Кольский залив, Териберка

Original article

THE RESULTS OF ORNITHOLOGICAL OBSERVATIONS DURING COASTIAL EXPEDITION OF THE MMBI RAS IN 2021–2022

Anastasiya N. Gurba

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
gurba@mmbi.info

Abstract

The work presents the results of route counts of marine and near-water birds in different parts of the northern coast of the Murmansk region. The seasonal dynamics of the population of the common eider and herring gull in the area of Teriberka were shown, as well as the index of species diversity for some areas of the Kola Inlet. According to the results of observations, changes in the avifauna of some areas of the Pechenga and Kola inlets were noted.

Keywords:

species composition, number, avifauna, Pechenga Inlet, Kola Inlet, Teriberka

Введение

Наиболее полные орнитологические наблюдения получены для Кольского залива Баренцева моря (Краснов, Горяев, 2009, 2013), что связано с доступностью этого района для исследований. В 2021–2022 годах ММБИ РАН были организованы ежемесячные комплексные экспедиции для оценки состояния прибрежных экосистем. Результаты проведенных наблюдений позволяют оценить состояние популяций тех или иных видов птиц, а также связать выявленные изменения с различными факторами.

Цель работы – получение данных о видовом составе и численности морских и околоводных птиц для анализа состояния орнитофауны в губах и заливах побережья Мурманска в настоящее время.

Материал и методы

Наблюдения проводили в Печенгском заливе (губа Печенга, бухта Девкина Заводь), Кольском заливе (мыс Еловый, Абрам-мыс, губы Белокаменная, Ретинская, Грязная, Хлебная, Ваенга), в районе поселка Териберка (эстуарий р. Териберка, губы Лодейная, Завалишина) (рис. 1). Сроки проведения учетов указаны в табл. 1. Общая длина береговых маршрутов составила в Териберке 6.5 км, Печенге – 5 км, Кольском заливе 15 км, а общая площадь учетной прибрежной акватории – в Териберке 3.9 км², Печенге 3 км², Кольском заливе 9 км².

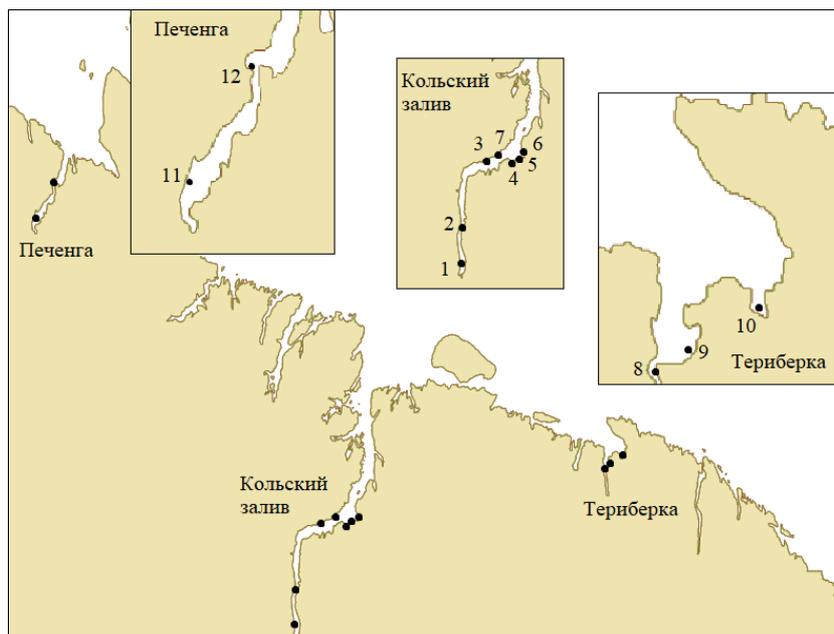


Рис. 1. Карта-схема расположения районов работ:

1 – мыс Еловый, 2 – Абрам-мыс, 3 – губа Белокаменная, 4 – губа Грязная, 5 – губа Хлебная, 6 – губа Ваенга, 7 – губа Ретинская, 8 – устье р. Терiberка, 9 – бухта Корабельная, 10 – губа Завалишина, 11 – устье р. Печенга, 12 – бухта Девкина Заводь

Fig. 1. Map of the location of work areas:

1 – cape Elovyyj, 2 – cape Abram, 3 – Belokamennaya Bay, 4 – Gryaznaya Bay, 5 – Hlebnaya Bay, 6 – Vaenga Bay, 7 – Retinskaya Bay, 8 – Teriberka river estuary, 9 – Korabelnaya Bay, 10 – Zavalishina Bay, 11 – Pechenga river estuary, 12 – Devkina Zavod' Bay

Таблица 1

Сроки проведения орнитологических учетов в Печенгском, Кольском заливах и районе пос. Терiberка

Table 1

Dates of ornithological surveys in the Pechenga, Kola inlets and Teriberka

Год	Дата	Печенгский залив	Кольский залив	Район пос. Терiberка
2021	26–30.04	+	+	+
	26–29.05	+	+	+
	24–30.06	+	+	+
	23–27.08	+	+	+
	20–23.09	+	+	+
	11.10	–	+	–
	0.8–11.11	+	+	–
	2022	01–06.04	–	+
18–20.04		–	+	+
16–18.05		–	+	+
14–16.06		–	+	+
13–15.07		–	+	+
12–17.08		–	+	+
12–14.09		+	+	–
10–12.10		–	+	+
07–09.11	–	+	+	

Осмотр акватории проводился невооруженным глазом и с помощью 16-кратного бинокля. Наблюдения велись преимущественно в светлое время суток во время отлива. Учитывались все птицы в пределах видимости. Регистрировались вид, численность и характер распределения птиц по акватории, по возможности определялись их пол и возраст.

Более частая периодичность наблюдений позволила вычислить индекс видового богатства Маргалёфа для мыса Еловый, губ Белокаменная и Ваенга:

$$d = \frac{s - 1}{\ln N},$$

где s – число видов, N – количество особей.

Результаты и обсуждение

В ходе наблюдений в Кольском заливе отмечено 33, в Печенгском заливе – 17, в районе пос. Териберка – 22 вида морских и околоводных птиц (табл. 2).

Таблица 2

Видовой состав морских и околоводных птиц отдельных районов побережья Мурмана в 2021–2022 гг.

Table 2

Species composition of marine and near-water birds in the explored areas in 2021–2022

Вид	Печенгский залив	Кольский залив	Район пос. Териберка
Чернозобая гагара <i>Gavia arctica</i>	+	–	+
Большой баклан <i>Phalacrocorax carbo</i>	+	+	+
Гуменник <i>Anser fabalis</i>	–	+	+
Пеганка <i>Tadorna tadorna</i>	–	+	–
Кряква <i>Anas platyrhynchos</i>	–	+	–
Чирок-свистунок <i>Anas crecca</i>	–	+	+
Свиязь <i>Anas penelope</i>	+	+	–
Хохлатая чернеть <i>Aythya fuligula</i>	–	+	–
Морянка <i>Clangula hyemalis</i>	+	+	+
Обыкновенный гоголь <i>Bucephala clangula</i>	+	+	+
Обыкновенная гага <i>Somateria mollissima</i>	+	+	+
Гага-гребенушка <i>Somateria spectabilis</i>	–	+	–
Сибирская гага <i>Polysticta stelleri</i>	–	+	+
Синьга <i>Melanitta nigra</i>	–	+	–
Турпан <i>Melanitta fusca</i>	–	–	+
Длинноносый крохаль <i>Mergus serrator</i>	–	+	+
Большой крохаль <i>Mergus merganser</i>	+	+	+
Золотистая ржанка <i>Pluvialis apricaria</i>	–	+	–
Галстучник <i>Charadrius hiaticula</i>	+	+	+
Кулик-сорока <i>Haematopus ostralegus</i>	+	+	+
Фифи <i>Tringa glareola</i>	–	+	–
Травник <i>Tringa totanus</i>	–	+	+
Перевозчик <i>Actitis hypoleucos</i>	–	+	–
Турухтан <i>Phylomachus pugnax</i>	–	+	–
Чернозобик <i>Calidris alpina</i>	–	+	–
Морской песочник <i>Calidris maritima</i>	–	+	+
Малый веретенник <i>Limosa lapponica</i>	+	+	+
Озерная чайка <i>Larus ridibundus</i>	+	+	–
Серебристая чайка <i>Larus argentatus</i>	+	+	+
Бургомистр <i>Larus hyperboreus</i>	+	+	+
Морская чайка <i>Larus marinus</i>	+	+	+
Сизая чайка <i>Larus canus</i>	+	+	+
Моевка <i>Rissa tridactyla</i>	+	+	+
Полярная крачка <i>Sterna paradisaea</i>	+	+	–
Чистик <i>Scopelus grylle</i>	–	+	+

Апрель. Это время характеризуется сменой видового состава водоплавающих птиц. Зимующие виды начинают отлетать в районы размножения, а часть видов, гнездящихся на Мурмане, еще не прилетела. Кряквы были отмечены в распресненных участках Кольского залива, но в гораздо меньших количествах,

чем в зимний период (Гурба, 2021). Большие (до 300 особей) скопления обыкновенных и сибирских гаг наблюдались в устье р. Териберка и Корабельной бухте, а в среднем колене Кольского залива (губы Хлебная и Грязная) отмечались группировки обыкновенных гаг численностью не более 30 особей. Во всех районах исследований наблюдалось большое количество (до 50 экз/км²) различных чаек, основу которых составляли серебристые и моевки, прилетевшие к этому времени.

Май. Орнитофауна исследованных акваторий в конце мая становится разнообразней, чем в апреле. Численность уток снизилась в связи с их отлетом в места гнездования. В Кольском заливе кряквы и морянки отмечались по несколько пар, а обыкновенные гаги встречались группами по 20–30 особей. В это время появляются пеганка, чирок-свистунок, длинноносый и большой крохали. В Териберке наблюдали обыкновенных и стеллеровых гаг, их численность варьировала от 40 до 130 особей. Основу орнитофауны эстуария р. Печенга и Девкиной Заводи в данный период времени представляли чайковые птицы. Фиксировались встречи полярных крачек и чернозобых гагар. Во время отлива почти во всех наблюдаемых районах на литорали присутствовали различные кулики, использующие ее в качестве кормовой станции – кулик-сорока, галстучник, малый веретенник, чернозобик и морской песочник.

Июнь. В первой половине лета группировки обыкновенной гаги представлены в основном самками с выводками и небольшим количеством линяющих самцов. В южных частях Кольского и Печенгского заливов наблюдали линные скопления гоголя, которые насчитывали до 300 экз/км². В устье р. Печенга была отмечена стая малых веретенников из 35 птиц, кормящихся на литорали у уреза воды. В летний период они, как и кулики-сорочки, активно используют обширную литораль в этом районе для поиска пищи. В 2021 году в губе Хлебная на каменистом мысу было обнаружено гнездо с двумя яйцами полярной крачки, а недалеко от него пара куликов-сорок демонстрировала гнездовое поведение. В 2022 году крачки гнездились на том же месте, однако в кладке было одно яйцо. В окрестностях мыса Никитина также гнездятся галстучники, о чем можно судить по их “отвлекающему” поведению. В районе пос. Териберка численность птиц была невысокой. Чаще всего встречали серебристую чайку и моевку – их количество 56 и 23 особи соответственно. В это время здесь отмечены пара чернозобых гагар, несколько больших крохалей и куликов-сорок.

Август. Во всех наблюдаемых районах Кольского залива в численном отношении преобладали чайки, образующие совместные группировки на литоральных отмелях для отдыха и поиска корма. При этом неполовозрелые особи составляли около 22 % от общего числа птиц. Часть взрослых особей к этому времени приобретает зимнее оперение. В устье р. Териберка отмечено скопление больших крохалей численностью несколько десятков птиц. В устье Печенгского залива наблюдали совместное скопление серебристых, сизых и морских чаек из 160 особей. Также здесь отмечен один малый веретенник. Обыкновенная гага встречалась почти повсеместно, но небольшими группами в среднем по 20 птиц, состоящими из самок и неполовозрелых особей.

Сентябрь. Видовой состав птиц не отличался высоким разнообразием, что связано, в первую очередь, с осенней миграцией морских и околотовных птиц (Краснов, Горяев, 2009). Из водоплавающих наиболее массовым видом были обыкновенные гаги, например, их плотность в губе Ваенга достигала 35 экз/км². С меньшей плотностью (10–15 экз/км²), но почти повсеместно были встречены крохали (большой и длинноносый). Среди чаек началось изменение видового состава. Стали преобладать по численности бургомистры, а не серебристые чайки, что связано с отлетом последних в районы зимовки. Заливы и губы Мурмана также покинула большая часть моевок и озерных чаек. Из куликов был отмечен лишь морской песочник, который обычно ежегодно зимует на побережье Кольского полуострова (Краснов, Гаврило, 2009).

Ноябрь. В это время орнитофауна исследуемых районов была характерна для начала зимнего периода. Количество встреченных видов не было достаточно большим по сравнению с другими сезонами. Наиболее часто отмечали представителей гусеобразных – морянку (в устье р. Печенга) и обыкновенную гагу (в губе Ваенга). Достаточно массовым видом почти во всех районах были бургомистры, их численность в некоторых районах достигала 100 особей.

Чтобы определить видовое разнообразие птиц в южном, среднем и северном колене Кольского залива для мыса Еловый, губ Белокаменная и Ваенга был определен индекс видового богатства Маргалёфа. Выбранные районы имеют примерно одинаковую площадь осушаемой во время отлива

литорали, им характерна близость лесной зоны и сходная степень антропогенного беспокойства. Для губы Белокаменная этот индекс равен 1.87, для мыса Еловый – 1.5, а для губы Ваенга он составил 1.2. Исходя из полученных значений, можно утверждать, что наибольшее разнообразие птиц характерно для среднего колена залива, в то время как к северу и к югу он снижается. Это может быть связано в свою очередь с разнообразием и биомассой кормовых объектов, преимущественно бентоса. Низкая биомасса типична для верхних горизонтов литорали южного колена залива с его распреснением и для вершин губ среднего колена, куда впадают реки или ручьи (Кольский ..., 2018).

По результатам учетов в устье р. Териберка, бухтах Корабельная и Завалишина определены два наиболее массовых вида птиц, встречающихся в этом районе в течение всего периода наблюдений. Наибольшая численность обыкновенной гаги отмечена в основном во время весенне-осенних миграций и на зимовке (рис. 2). В летний период часть птиц здесь гнездятся, так как неоднократно были встречены самки с утятами. Чаще всего скопления этого вида отмечены в устье реки, где они питаются мидиями *Mytilus edulis*.

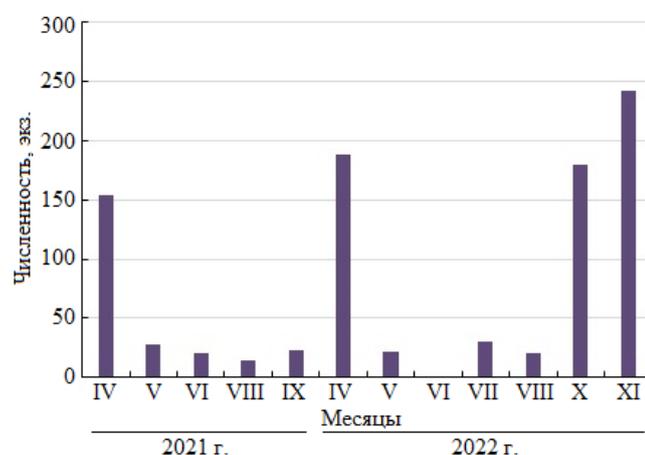


Рис. 2. Динамика численности обыкновенной гаги в районе пос. Териберка в 2021–2022 гг.

Fig. 2. Seasonal dynamics of population of the common eider in the area of Teriberka in 2021–2022

По сравнению с 2021 г. в 2022 г. несколько выросла численность серебристых чаек в данном районе (рис. 3). Это возможно связано с увеличением любительского рыбного промысла, поскольку, по личным наблюдениям, чайки этого вида собираются именно в местах выброса отходов трески *Gadus morhua* и других рыб, которых активно добывают в прибрежной акватории Баренцева моря весной.

С целью сравнения данных, полученных в апреле–июне 2021 г., были взяты материалы по орнитофауне губы Печенга за тот же период 2005–2007 гг. (Иваненко, 2013) (табл. 3). Кряква отмечалась в губе в течение предыдущих лет, однако во время наших наблюдений она не была отмечена ни в вершине залива, ни в бухте Девкина Заводь. Также не встречались длинноносые крохали, а большого крохали наблюдали лишь в конце июня. В отличие от предыдущих учетов, во время наблюдений в 2021 г. обыкновенная гага встречалась только в июне.

Кулика-сороку отмечали во все года наблюдений, при этом его численность несколько варьирует. Морские песочники не встречались во время учетов в мае–июне, так как уже улетели в места размножения. Численность сизых чаек в данном районе в летний период возросла, скорее всего, из-за улучшения кормовых условий. Они вместе с чайками других видов образуют достаточно плотные скопления (до 73 экз/км²) на обширных литоральных отмелях в южной части залива и вокруг рыбных садков в бухте Девкина Заводь. Также во время наблюдений не было отмечено ни одного представителя отряда чистиковые, которые обитают в основном в северной части Печенгского залива. Во время наших наблюдений не отмечалась краснозобая гагара и большой баклан, их численность на Мурмане снизилась в последние годы (Ежов, Гурба, 2022). В целом для Печенгского залива в предгнездовой и гнездовой период 2021 г. выявлено изменение видового состава и численности водоплавающих и околоводных птиц, и для выяснения причин необходимы дальнейшие постоянные наблюдения.

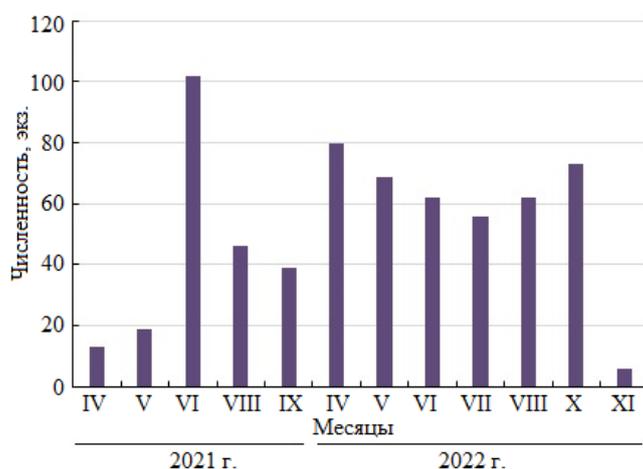


Рис. 3. Динамика численности серебристой чайки в районе пос. Териберка в 2021–2022 гг.
Fig. 3. Seasonal dynamics of population of the herring gull in the area of Teriberka in 2021–2022

Таблица 3

Видовой состав и плотность распределения птиц на акватории Печенгского залива в предгнездовой и гнездовой период 2005–2007 (Иваненко, 2013) и 2021 гг., экз/км²

Table 3

Species composition and abundance of birds in the waters of Pechenga Inlet in pre-breeding and breeding period 2005–2007, 2021, ind/km²

Вид	Апрель				Май			Июнь		
	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2021 г.	2006 г.	2007 г.	2021 г.	2005 г.	2007 г.	2021 г.
Краснозобая гагара	–	–	–	–	0.1	0.35	–	–	0.35	–
Чернозобая гагара	–	–	–	–	–	–	1	1.4	–	1.7
Большой баклан	0.3	–	–	–	0.1	0.65	–	0.03	0.05	–
Гуменник	–	–	–	–	0.2	–	–	–	–	–
Кряква	0.6	1.9	0.7	–	–	0.25	–	0.03	–	–
Чирок-свистунок	–	–	–	–	–	1.45	–	–	–	–
Связь	–	–	–	–	–	–	–	0.8	1.7	1.7
Обыкновенная гага	1.2	2.3	–	–	1.55	1.5	–	3.6	0.6	0.7
Морянка	5.8	6.3	1.4	–	0.45	1	2.4	0.4	–	–
Гоголь	–	–	–	–	–	–	–	–	0.6	34.5
Длинноносый крохаль	2.9	–	1.1	–	0.2	0.6	–	1.3	–	–
Большой крохаль	–	1.3	–	–	0.55	8.3	–	0.2	0.8	0.7
Галстучник*	–	–	–	–	–	1.4	0.7	0.3	–	–
Кулик-сорока*	1.6	2.5	5.1	–	7	4.6	1.4	3.9	0.7	3.4
Травник*	–	–	–	–	0.4	4.3	–	0.1	0.3	–
Морской песочник*	3.5	–	0.4	–	–	–	–	–	–	–
Малый веретенник*	–	–	–	–	16.7	39.6	–	11.6	13	12
Короткохвостый поморник	–	–	–	–	–	0.35	0.3	0.4	0.15	–
Сизая чайка	4.4	2.4	6.4	1.4	16.1	17.3	11.4	2.3	1.4	7.9
Серебристая чайка	10.1	14.5	1.3	1	23.3	37.6	8.6	4.5	1.7	12
Морская чайка	1.2	3.7	0.6	–	3.2	5.9	2.6	2.9	3.1	2
Озерная чайка	0.5	3.1	2.3	4.1	–	–	–	0.2	0.05	–
Моевка	0.2	–	–	14.8	–	–	3.1	0.8	–	2.8
Полярная крачка	–	–	–	–	0.25	29	1	3.2	9.1	0.3

*Численность на 1 км маршрута.

Выводы

В ходе наблюдений в Кольском заливе было встречено 33, в Печенгском заливе – 17, в районе пос. Териберка – 22 вида морских и околоводных птиц.

Для Западного Мурмана в предгнездовой и гнездовой период отмечены изменения как видового состава, так и численности птиц. Во время учетов не были отмечены краснозобая гагара, большой баклан, кряква, чирок-свистун, длинноносый крохаль, травник, морской песочник. Незначительные изменения численности отмечены для чайковых птиц.

В Кольском заливе прослежена сезонная динамика численности и видового состава морских и околоводных птиц. Отличия в видовом разнообразии птиц в различных районах залива связаны с кормовыми условиями, строением губ и погодными условиями.

Для района пос. Териберка определены два наиболее массовых во все сезоны вида птиц – обыкновенная гага и серебристая чайка. Рост численности последней связан в основном с улучшением кормовых условий за счет увеличения рыболовной деятельности в этой местности. Скопления обыкновенных гаг приурочены к местообитаниям их основного кормового объекта – мидии съедобной.

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

Список литературы

1. Гурба А. Н. Зимняя авифауна Кольского залива в 2020–2021 гг. // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2021. Т. 3(12). Сер. Океанология. Вып. 9. С. 54–59.
2. Ежов А. В., Гурба А. Н. Современное состояние популяций большого *Phalacrocorax carbo* и хохлатого *Ph. aristotelis* бакланов на побережье Мурмана // Русский орнитологический журн. 2022. Т. XXXI, № 2229. С. 4145–4147.
3. Иваненко Н. Ю. Орнитофауна Западного Мурмана на примере губы Печенга и Айновых островов // Птицы северных и южных морей России: фауна, экология. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. С. 64–102.
4. Кольский залив и нефть: биота, карты уязвимости, загрязнение / Под ред. А. А. Шавыкина. СПб.: Реноме, 2018. 520 с.
5. Краснов Ю. В., Гаврило М. В. О зимовке морского песочника *Calidris maritima* на побережьях Кольского полуострова // Кулики Северной Евразии: экология, миграция и охрана: Тез. докл. VIII Междунар. науч. конф. (10–12 ноября 2009 г., Ростов-на-Дону). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 79–80.
6. Краснов Ю. В., Горяев Ю. И. Фауна морских и водоплавающих птиц // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / Отв. ред. Г.Г. Матишов. М.: Наука, 2009. С. 264–284.
7. Краснов Ю. В., Горяев Ю. И. Основные тенденции развития авифауны Кольского залива и факторы ее определяющие // Птицы северных и южных морей России: фауна, экология. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2013. С. 38–64.

References

1. Gurba A. N. Zimnjaja avifauna Kol'skogo zaliva v 2020–2021 gg. [Winter avifauna of the Kola Inlet in 2020–2021]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN: Seria Okeanologija* [Transactions of the Kola Science Centre RAS], 2021, Vol. 3(12), Series Oceanology, No. 9, pp. 54–59. (In Russ.).
2. Ezhov A. V., Gurba A. N. Sovremennoe sostojanie populjacij bol'shogo *Phalacrocorax carbo* i hohlatogo *Ph. aristotelis* baklanov na poberezh'e Murmana [The current state of the populations of the great cormorant *Phalacrocorax carbo* and european shag *Ph. aristotelis* on the coast Murman]. *Russkij ornitologičeskij zhurnal* [Russian ornithological journal], 2022, Vol. XXXI, No. 2229, pp. 4145–4147. (In Russ.).
3. Ivanenko N. Ju. Ornitofauna Zapadnogo Murmana na primere guby Pechenga i Ajnovykh ostrovov [Avifauna of Western Murman on the example of the Pechenga Inlet and Ainovy islands]. *Pticy severnyh i juzhnyh morej Rossii: fauna, jekologija* [Birds of northern and southern Russian seas: fauna, ecology]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2013, pp. 64–102. (In Russ.).
4. *Kol'skij zaliv i neft': biota, karty ujazvivosti, zagrjaznenie* [Kola Bay and Oil: Biota, Vulnerability Maps, Pollution]. Saint-Petersburg, Renome, 2018, 520 p. (In Russ.).
5. Krasnov Ju. V., Gavrilov M. V. O zimovke morskogo pesochnika *Calidris maritima* na poberezh'jah Kol'skogo poluostrova [On wintering of the purple sandpiper *Calidris maritima* on the coasts of the Kola Peninsula]. *Tezisy dokladov VIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii "Kuliki Severnoj Evrazii: jekologija, migracija i ohrana" (g. Rostov-na-Donu, 10–12 noyabrya 2009 g.)* [Abstracts of the VIII international scientific conference “Waders of Northern Eurasia: ecology, migration and protection”]. Rostov-on-Don, Publ. SSC RAS, 2009, pp. 79–80. (In Russ.).

6. Krasnov Ju. V., Gorjaev Ju. I. Fauna morskikh i vodoplavajushhih ptic [Fauna of marine and waterfowl]. *Kol'skij zaliv: osvoenie i racional'noe prirodopol'zovanie* [Kola Bay: Development and Rational Nature Management]. Moscow, Nauka, 2009, pp. 264–284. (In Russ.).
7. Krasnov Ju. V., Gorjaev Ju. I. Osnovnye tendencii razvitija avifauny Kol'skogo zaliva i faktory ee opredeljajushhie [The main trends in the development of the avifauna of the Kola Inlet and its determinants]. *Pticy severnyh i juzhnyh morej Rossii: fauna, jekologija* [Birds of northern and southern Russian seas: fauna, ecology]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2013, pp. 38–64. (In Russ.).

Информация об авторе

Анастасия Николаевна Гурба – стажер-исследователь, <https://orcid.org/0000-0002-5414-5788>

Information about the author

Anastasiya N. Gurba – Trainee Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5414-5788>

Статья поступила в редакцию 29.03.2023; одобрена после рецензирования 13.04.2023; принята к публикации 17.04.2023.
The article was submitted 29.03.2023; approved after reviewing 13.04.2023; accepted for publication 17.04.2023.

Научная статья
УДК 597.08.591.9
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.005

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИБРЕЖНОЙ ИХТИОФАУНЫ ГУБ ВОСТОЧНОГО МУРМАНА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2020 ГОДА

Оксана Юрьевна Кудрявцева

*Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
kudryavtseva@mmbi.info*

Аннотация

Рассмотрен видовой состав ихтиофауны литорально-сублиторальной зоны губ Ярнышная и Зеленецкая Баренцева моря в летний период 2020 г. Впервые на исследованной акватории был зарегистрирован арктический липарис *Liparis tunicatus*. Обнаружены 15 видов рыб, среди которых наиболее многочисленными и постоянными были арктический шлемоносный бычок *Gymnocanthus tricuspis* и европейский керчак *Myoxocephalus scorpius*. Получены количественные характеристики распределения каждого вида рыб. Проанализирована динамика численности и разнообразия прибрежной ихтиофауны. В сравнении с многолетними данными, рыбные сообщества в 2020 г. характеризовались относительно богатым видовым составом, низкой плотностью распределения рыб, низкими показателями обилия молоди тресковых рыб и высокими индексами биоразнообразия.

Ключевые слова:

ихтиофауна, состав, численность, биомасса, разнообразие, прибрежная зона, губы Ярнышная и Зеленецкая

Original article

CHARACTERISTICS OF COASTAL FISH IN THE BAYS OF EASTERN MURMAN DURING SUMMER 2020

Oksana Yu. Kudryavtseva

*Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
kudryavtseva@mmbi.info*

Abstract

In the article was considered species composition of fish in the littoral and sublittoral zones of Yarnyishnaya and Zelenetskaya bays (Barents Sea) during summer 2020. For the first time, the kelp snailfish *Liparis tunicatus* was recorded in the studied water area. At whole was discovered 15 species of fish and most abundant between them is staghorn sculpin *Gymnocanthus tricuspis* and 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 2020 indicates that at the present observed relatively rich species composition, low fish distribution density, low abundance of young Gadidae, but high indicators of biodiversity in coastal communities.

Keywords:

ichthyofauna, composition, quantity, biomass, diversity, intertidal zone, Yarnyishnaya and Zelenetskaya bays

Введение

Интенсивное освоение береговой линии в последние десятилетия требует все большего внимания к сохранению биоразнообразия наиболее уязвимых к антропогенному воздействию прибрежных экосистем. Высокопродуктивные прибрежные районы используются многими видами рыб для размножения, питания и защиты от хищников на ранних этапах онтогенеза. Нарушение целостности литоральных сообществ рыб, являющихся биоиндикаторами состояния экосистем, может свидетельствовать об изменении условий окружающей среды, вызванном как климатическими флуктуациями, так и высокой антропогенной нагрузкой или загрязнением. Для выявления таких нарушений и понимания их причинно-следственных связей наблюдения за состоянием ихтиофауны должны вестись в течение многих лет.

В губах Ярнышная и Зеленецкая (Восточный Мурман) исследования рыбной части прибрежных сообществ проводятся регулярно с 2008 г. в летне-осенний период. Эта серия данных дала уникальную

возможность для изучения тенденций изменчивости структуры и биоразнообразия рыбных сообществ литоральной зоны исследованных губ, а также встречаемости, распределения и обилия видов рыб (Ихтиофауна ..., 2014; Представители ..., 2015; Кудрявцева, 2015, 2017, 2018, 2019, 2022). В частности, было показано, что литоральная зона исследованных губ характеризуется достаточно высоким видовым богатством рыбных сообществ и играет важную роль как место летнего нагула сеголеток сайды и атлантической трески. Также установлено, что основной вклад в изменчивость обилия и состава прибрежной ихтиофауны вносят флуктуации численности сайды: уменьшение ее численности приводит к увеличению разнообразия сообществ и выравниванию долей других видов, населяющих этот биотоп, а в некоторых случаях – к существенному увеличению численности одного из них (Кудрявцева, 2018, 2019, 2022).

Исследованные губы Восточного Мурмана являются экологически чистыми районами поскольку расположены вдали от промышленных источников загрязнения и крупных поселений. Поэтому полученные данные о структуре прибрежной ихтиофауны могут быть использованы как элементы базового мониторинга экосистем, на которые практически не влияют региональные антропогенные факторы.

В настоящей работе представлены результаты ихтиологических исследований, проведенных в летний период 2020 г., цель которых состояла в оценке структуры и биоразнообразия рыбной части прибрежных сообществ в губах Ярнышная и Зеленецкая в сравнении с многолетними данными.

Материал и методы

Подробное описание районов исследований и расположения ихтиологических станций изложены нами в более ранних публикациях (Кудрявцева, 2018, 2019, 2022). 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). На каждой станции улов разбирали по видовому составу, подсчитывали число особей и определяли их массу. Всего исследовали 769 рыб (табл. 2).

Таблица 1

Время проведения работ и количество выполненных станций в 2020 г.

Table 1

The time of work and the number of completed stations in 2020

Район	Дата	Количество станций
Губа Ярнышная	09.07	3
	24.07	3
	19.08	3
Губа Зеленецкая	22.07	4
	04.08	4
	21.08	4

Номенклатура и зоогеографическая характеристика видов представлены в соответствии с современными представлениями о систематике рыбообразных и рыб (Андрияшев, Чернова, 1994; Catalog ..., 2023). 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).

Таблица 2

Объем исследованного материала, экз.

Table 2

Volume of material studied, spec.

Вид	Губа Ярнышная	Губа Зеленецкая
Горбуша <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792)	1	–
Атлантическая треска <i>Gadus morhua</i> Linnaeus, 1758	22	29
Сайда <i>Pollachius virens</i> (Linnaeus, 1758)	21	1
Трехиглая колюшка <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758	6	–
Арктический шлемоносный бычок <i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1830)	186	44
Европейский керчак <i>Myoxocephalus scorpius</i> (Linnaeus, 1758)	186	97
Пинагор <i>Cyclopterus lumpus</i> Linnaeus, 1758	5	10
Европейский липарис <i>Liparis liparis</i> (Linnaeus, 1766)	–	2
Арктический липарис <i>Liparis tunicatus</i> Reinhardt, 1836	–	2
Европейская бельдюга <i>Zoarces viviparus</i> (Linnaeus, 1758)	–	4
Люмпен Фабриция <i>Lumpenus fabricii</i> (Reinhardt, 1836)	1	–
Атлантический маслюк <i>Pholis gunnellus</i> (Linnaeus, 1758)	28	2
Ершоватка <i>Limanda limanda</i> (Linnaeus, 1758)	–	1
Речная камбала <i>Platichthys flesus</i> (Linnaeus, 1758)	2	2
Морская камбала <i>Pleuronectes platessa</i> Linnaeus, 1758	8	107
Всего	466	303

Результаты и обсуждение

Видовой состав. В летний период 2020 г. в литорально-сублиторальной зоне исследованных губ обнаружены 15 видов рыб, относящихся к 10 семействам, 6 отрядам (табл. 3). Арктический липарис *Liparis tunicatus* впервые зарегистрирован на акватории губы Зеленецкая. По совокупности всех данных (Чумаевская-Световидова, 1955; Русяев и др., 2007; Кудрявцева, 2017, 2018, 2019, 2022), ихтиофауна исследованных районов насчитывает 34 вида рыб, что составляет 18.6 % от числа видов, встречающихся в Баренцевом море (Карамушко, 2008).

Наиболее представительными по числу семейств были отряды Scorpaeniformes и Perciformes – 3, а по числу видов – семейство Pleuronectidae – 3 (табл. 3). По характеру зоогеографического ареала преобладали преимущественно бореальные виды (73.3 %), а остальную долю сообществ составляли преимущественно арктические (13.3 %), арктические и бореально-европейские виды (по 6.7 % соответственно). Число видов на станциях варьировало от 5 до 9. Наиболее часто в обеих губах встречалась молодь европейского керчака (частота встречаемости 100 %) и арктического шлемоносного бычка (88.9–91.7 %) (табл. 3). Горбуша, люмпен Фабриция и ершоватка на литорали исследованных губ отмечались редко.

Распределение. В среднем за период наблюдений в 2020 г. общая численность рыб в куту губы Ярнышная составляла 1.5, в литоральной зоне губы Зеленецкая – 0.9 тыс. экз/га, а их биомасса в обеих губах была сходной – 3.8 кг/га. Прибрежные сообщества рыб в разных районах различались по видовому составу и количественным характеристикам распределения отдельных видов (рисунки 1, 2). В губе Ярнышная встречались горбуша, трехиглая колюшка и люмпен Фабриция, но отсутствовали липариды, европейская бельдюга и ершоватка. Здесь наблюдались более плотные скопления сайды, европейского керчака, арктического шлемоносного бычка и атлантического маслюка. Литораль губы Зеленецкая предпочитали пинагор и морская камбала. Плотность других обих для обеих губ видов в разных районах практически не различалась.

Таблица 3

Частота встречаемости видов рыб в губах Восточного Мурмана в летний период 2020 г.

Table 3

Frequency of species occurrence in Eastern Murman bays during summer period in 2020

Таксон	ГА	Губа Зеленецкая					Губа Ярнышная			
		Станции				F	Станции			F
		1	2	3	4		5	6	7	
Отряд Salmoniformes										
Семейство Salmonidae										
<i>Oncorhynchus gorbuscha</i>	ПБ	–	–	–	–	–	+	–	–	11.1
Отряд Gadiformes										
Семейство Gadidae										
<i>Gadus morhua</i>	ПБ	+	+	+	+	75.0	+	+	+	66.7
<i>Pollachius virens</i>	ПБ	–	–	+	–	8.3	–	+	+	33.3
Отряд Gasterosteiformes										
Семейство Gasterosteidae										
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	ПБ	–	–	–	–	–	+	+	+	44.4
Отряд Scorpaeniformes										
Семейство Cottidae										
<i>Gymnocanthus tricuspis</i>	ПА	+	+	+	+	91.7	+	+	+	88.9
<i>Muohoccephalus scorpius</i>	ПБ	+	+	+	+	100	+	+	+	100
Семейство Cyclopteridae										
<i>Cyclopterus lumpus</i>	ПБ	+	+	–	+	41.7	+	+	+	44.4
Семейство Liparidae										
<i>Liparis liparis</i>	БЕ	+	–	–	+	16.7	–	–	–	–
<i>Liparis tunicatus</i>	А	–	–	–	+	16.7	–	–	–	–
Отряд Perciformes										
Семейство Zoarcidae										
<i>Zoarces viviparus</i>	ПБ	+	+	–	–	25.0	–	–	–	–
Семейство Stichaeidae										
<i>Lumpenus fabricii</i>	ПА	–	–	–	–	–	+	–	–	11.1
Семейство Pholidae										
<i>Pholis gunnellus</i>	ПБ	+	+	–	–	25.0	+	+	+	55.6
Отряд Pleuronectiformes										
Семейство Pleuronectidae										
<i>Limanda limanda</i>	ПБ	+	–	–	–	8.3	–	–	–	–
<i>Platichthys flesus</i>	ПБ	–	–	–	+	16.7	–	+	+	22.2
<i>Pleuronectes platessa</i>	ПБ	+	–	+	+	50.0	+	–	+	44.4
Всего видов		9	6	5	8		9	8	9	

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

Наиболее обильными видами в сообществах рыб губы Ярнышная были европейский керчак и арктический шлемоносный бычок, плотность каждого из которых в среднем за сезон достигала 0.6 тыс. экз/га (рис. 1). В губе Зеленецкая преобладали европейский керчак и морская камбала (по 0.3 тыс. экз/га соответственно). Субдоминантными видами в губе Ярнышная были сайда, атлантическая треска и атлантический маслюк, в губе Зеленецкая – атлантическая треска и арктический шлемоносный бычок, численность каждого из которых не превышала 0.1 тыс. экз/га.

Основу биомассы прибрежных сообществ рыб летом 2020 г. составляла речная камбала (в губе Ярнышная – 3.3 кг/га, в губе Зеленецкая – 1.8 кг/га). В последней губе отмечалась также относительно высокая биомасса морской камбалы (1.2 кг/га) (рис. 2). Показатели обилия других видов были на порядки меньше.

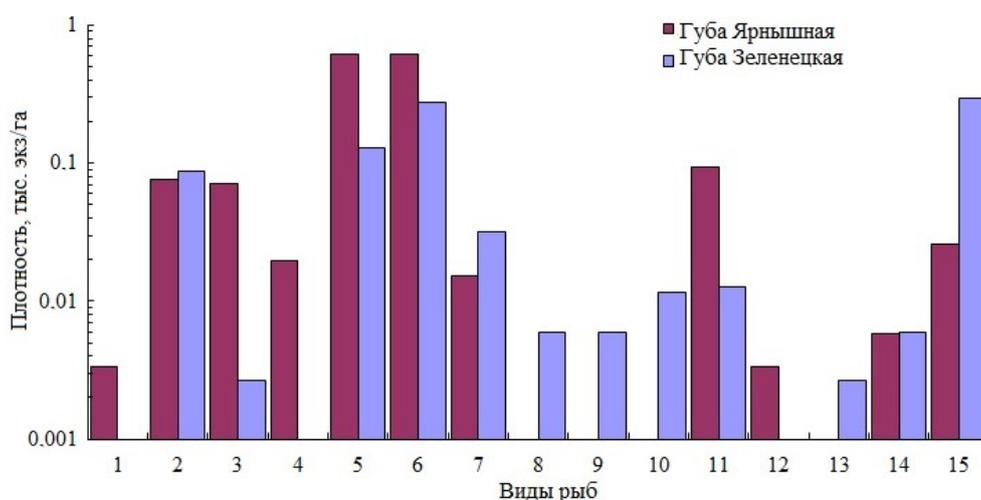


Рис. 1. Средняя плотность распределения рыб в губах Восточного Мурмана в летний период 2020 г.:
 1 – *O. gorbuscha*, 2 – *G. morhua*, 3 – *P. virens*, 4 – *G. aculeatus*, 5 – *G. tricuspsis*, 6 – *M. scorpius*, 7 – *C. lumpus*,
 8 – *L. liparis*, 9 – *L. tunicatus*, 10 – *Z. viviparus*, 11 – *L. fabricii*, 12 – *P. gunnellus*, 13 – *L. limanda*, 14 – *P. flesus*, 15 – *P. platessa*
Fig. 1. Mean density of fish distribution in Eastern Murman bays in summer period 2020:
 1 – *O. gorbuscha*, 2 – *G. morhua*, 3 – *P. virens*, 4 – *G. aculeatus*, 5 – *G. tricuspsis*, 6 – *M. scorpius*, 7 – *C. lumpus*,
 8 – *L. liparis*, 9 – *L. tunicatus*, 10 – *Z. viviparus*, 11 – *L. fabricii*, 12 – *P. gunnellus*, 13 – *L. limanda*, 14 – *P. flesus*, 15 – *P. platessa*

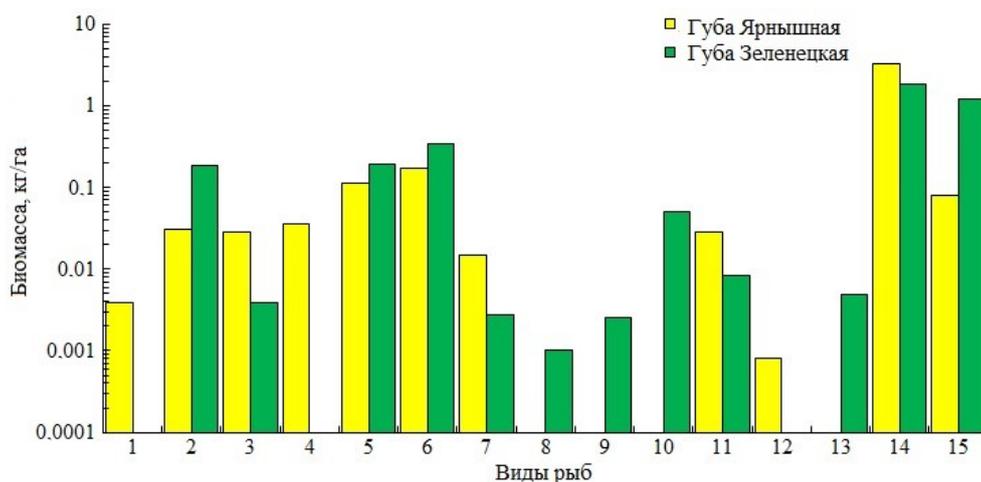


Рис. 2. Средняя удельная биомасса рыб в губах Восточного Мурмана в летний период 2020 г.:
 1 – *O. gorbuscha*, 2 – *G. morhua*, 3 – *P. virens*, 4 – *G. aculeatus*, 5 – *G. tricuspsis*, 6 – *M. scorpius*, 7 – *C. lumpus*,
 8 – *L. liparis*, 9 – *L. tunicatus*, 10 – *Z. viviparus*, 11 – *L. fabricii*, 12 – *P. gunnellus*, 13 – *L. limanda*, 14 – *P. flesus*, 15 – *P. platessa*
Fig. 2. Mean specific fish biomass in Eastern Murman bays in summer 2020:
 1 – *O. gorbuscha*, 2 – *G. morhua*, 3 – *P. virens*, 4 – *G. aculeatus*, 5 – *G. tricuspsis*, 6 – *M. scorpius*, 7 – *C. lumpus*,
 8 – *L. liparis*, 9 – *L. tunicatus*, 10 – *Z. viviparus*, 11 – *L. fabricii*, 12 – *P. gunnellus*, 13 – *L. limanda*, 14 – *P. flesus*, 15 – *P. platessa*

С июля по август 2020 г. в литоральной зоне исследованных губ наблюдалось уменьшение общей численности рыб (рис. 3). Структура рыбных сообществ губы Ярнышная на протяжении всего сезона оставалась практически неизменной: в ихтиофауне литорали преобладали представители бычковых (европейский керчак и арктический шлемоносный бычок), суммарная численная доля которых к августу уменьшилась с 81.6 до 74.5 %, а их плотность – с 3.0 до 0.3 тыс. экз/га. Ядро сообществ губы Зеленецкая в начале периода наблюдений формировали молодь морской камбалы и европейского керчака, плотность которых составляла, соответственно, 0.5 и 0.4 тыс. экз/га. В августе наблюдалось существенное снижение плотности морской камбалы (0.02 тыс. экз/га) и европейского

керчака (0.2 тыс. экз/га), а также увеличение обилия атлантической трески, которая к концу сезона наряду с европейским керчаком заняла лидирующее положение по численности в рыбных сообществах.

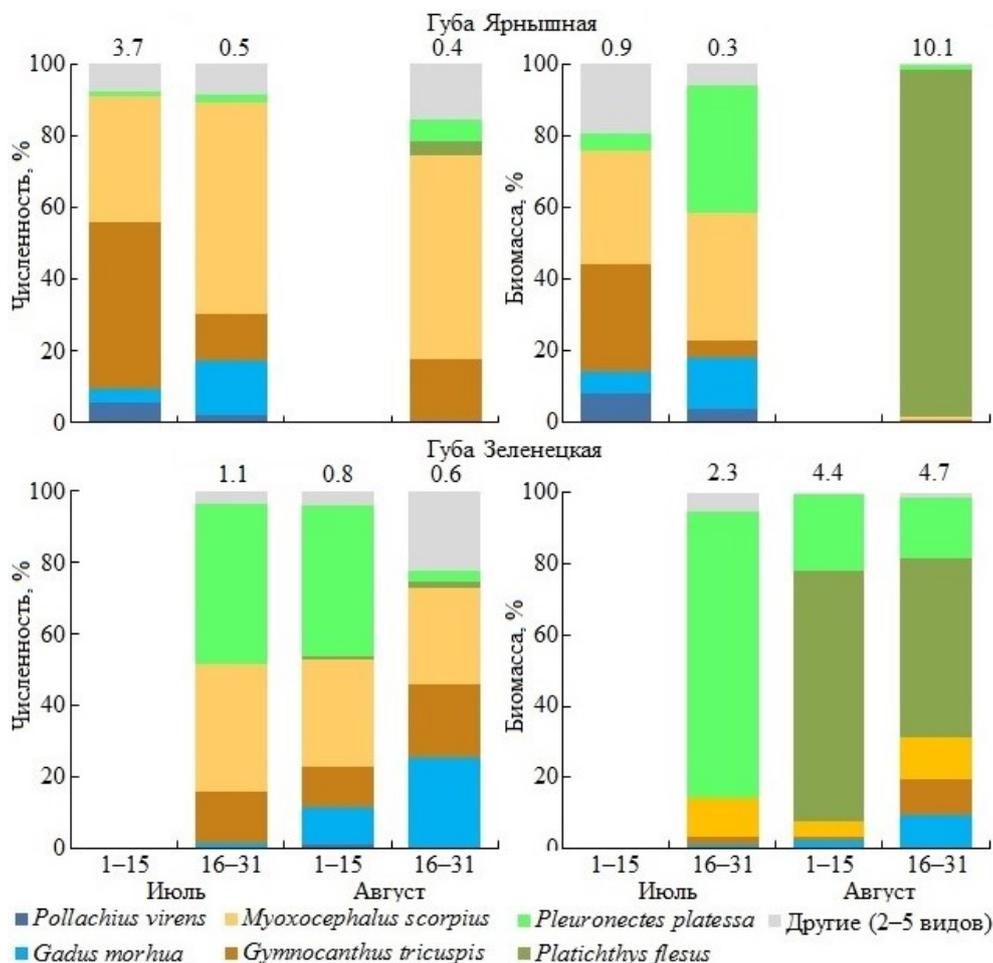


Рис. 3. Пространственно-временные изменения структуры литорально-сублиторальных сообществ рыб летом 2020 г. Цифры над столбиками показывают общую численность и удельную биомассу рыб

Fig. 3. Spatio-temporal changes in the structure of the littoral-sublittoral fish communities in summer 2020. The numbers above the bars show the total density and the specific biomass of fish

В июле наиболее обильными по биомассе в губе Ярнышная была молодь бычковых, а в губе Зеленецкая доминировала морская камбала, массовая доля которой составляла 80.5 %. Общая биомасса рыб к августу, напротив, существенно увеличилась за счет появления в литоральной зоне губ взрослых особей речной камбалы (рис. 3). Биомасса этого вида в августе была наиболее высока в губе Ярнышная (9.8 кг/га), а в губе Зеленецкая варьировала в пределах 2.4–3.1 кг/га.

Анализ результатов многолетних наблюдений показал, что в 2020 г. литоральные сообщества рыб в губах Восточного Мурмана отличались низкой плотностью распределения и сравнительно богатым видовым составом (14 видов). В губе Ярнышная наиболее велика была доля арктического шлемоносного бычка в сообществах рыб (46.3 %) (рис. 4), а в губе Зеленецкая – морской камбалы (42.5 %) (рис. 5). Плотность распределения этих видов составляла, соответственно, 1.7 и 0.4 тыс. экз/га. Достаточно высокую численность имел и субдоминантный вид – европейский керчак (1.3 тыс. экз/га в губе Ярнышная и 0.3 тыс. экз/га в губе Зеленецкая). Преобладающими по биомассе видами икhtiофауны губы Ярнышная в равных долях были европейский керчак и арктический шлемоносный бычок (по 0.3 кг/га соответственно), а в губе Зеленецкая доминировала речная камбала (3.1 кг/га).

Суммарная плотность распределения в июле сайды не превышала 0.4 тыс. экз/га и атлантической трески – 0.2 кг/га, а в августе снижалась до 0.1 тыс. экз/га и 0.1 кг/га соответственно. Таким образом, по степени обилия молоди тресковых видов исследуемый период следует характеризовать как год их низкой численности. Сходные данные были получены нами в 2011, 2013, 2014 и 2019 гг. (Кудрявцева, 2018, 2022). В эти периоды прибрежные сообщества рыб отличались низкой плотностью, наиболее высоким видовым богатством (11–13 видов) и относительно высокой численностью фоновых видов, в частности, европейского керчака, арктического шлемоносного бычка, европейской многопозвонковой песчанки, атлантического маслока и морской камбалы (рисунки 4, 5).

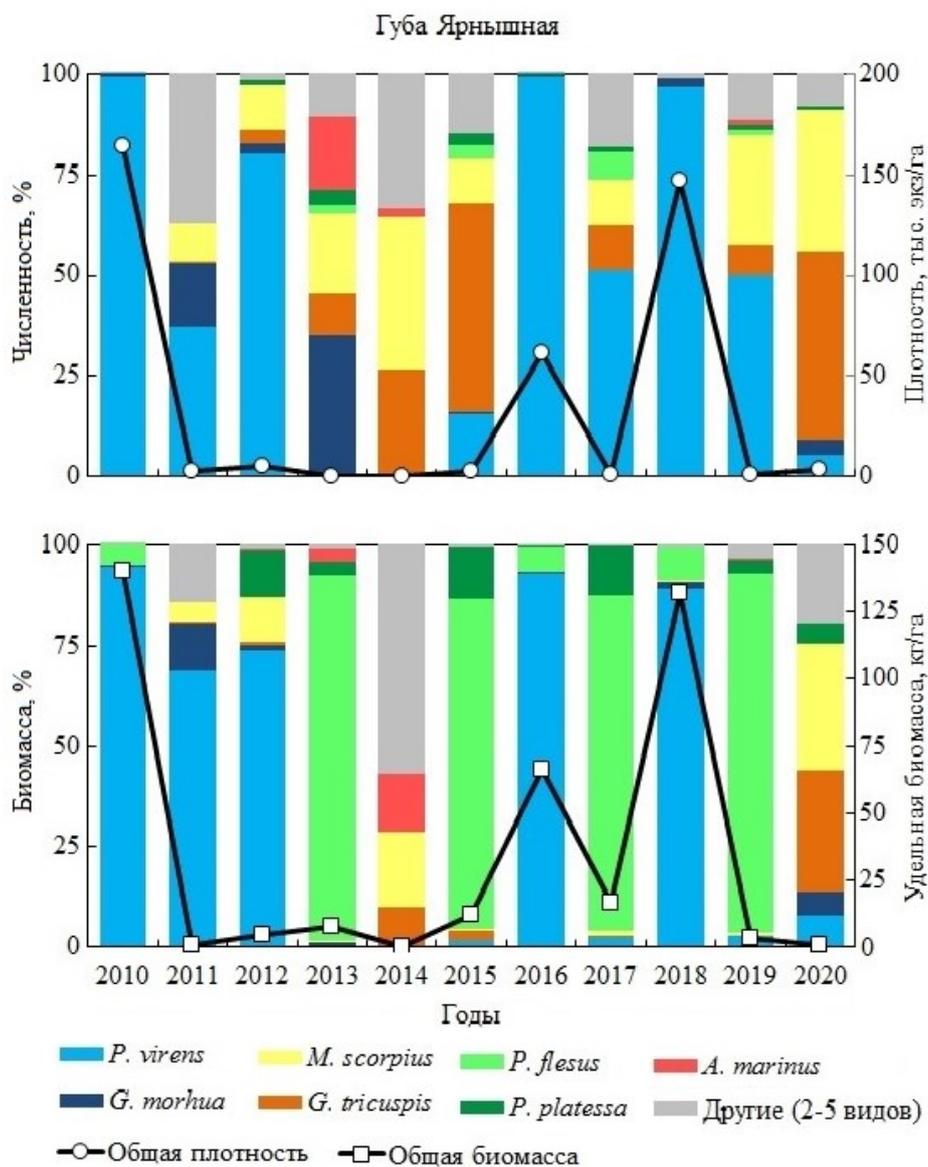


Рис. 4. Многолетняя динамика количественных показателей распределения рыб в летний период в прибрежной зоне губы Ярнышная
Fig. 4. Dynamics of quantitative characteristics of ichthyofauna distribution in coastal zone of Yarnyshnaya Bay in summer period

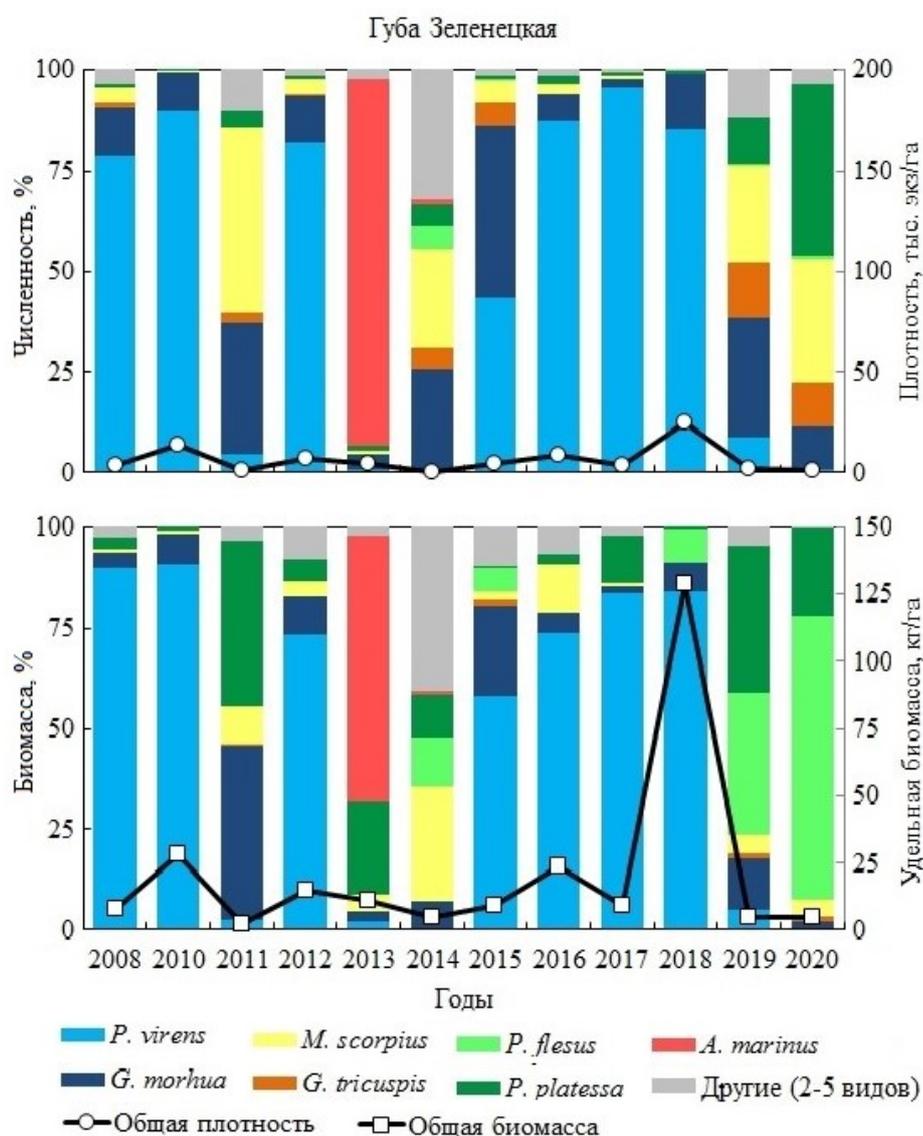


Рис. 5. Многолетняя динамика количественных показателей распределения рыб в летний период в прибрежной зоне губы Зеленецкая

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

Биоразнообразие сообществ. В июле 2020 г. на литорали губы Ярнышная рыбные сообщества характеризовались относительно высокими индексами видового богатства и биоразнообразия ($D_{Mn} = 0.52$, $H' = 1.92$), обусловленными низкой степенью доминирования молоди арктического шлемоносного бычка ($d = 0.46$) (рис. 6). В августе прибрежная ихтиофауна губы Зеленецкая вследствие уменьшения численности доминантного вида (морской камбалы) отличалась большим биоразнообразием ($D_{Mn} = 0.97$, $H' = 2.12$).

Сходные высокие индексы биоразнообразия прибрежной ихтиофауны наблюдались при низкой степени доминирования преобладающего вида ($d \leq 0.52$) и при высокой выровненности сообществ, обусловленной наличием нескольких доминантных и/или субдоминантных видов (рис. 6). Такими характерными чертами обладали прибрежные сообщества рыб в годы отсутствия или невысокой численности сеголеток сайды (Кудрявцева, 2018, 2019, 2022).

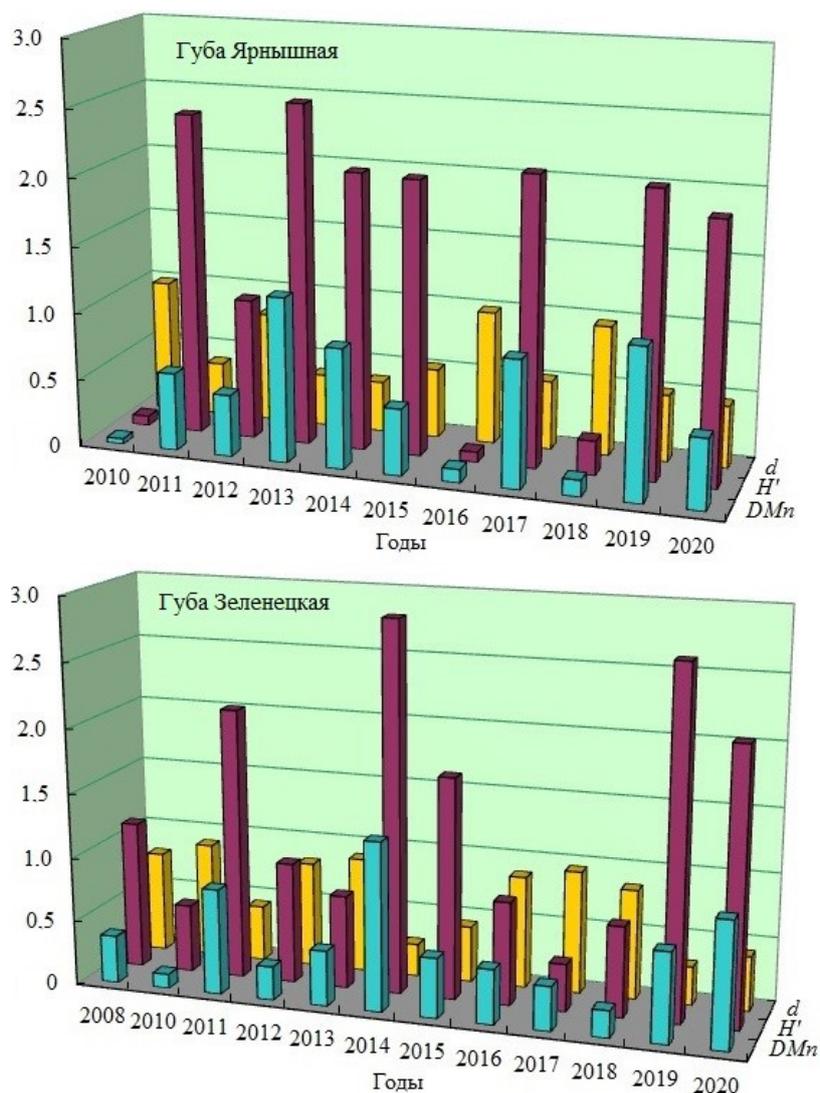


Рис. 6. Динамика показателей видового разнообразия прибрежных сообществ рыб в губах Ярнышная (июль) и Зеленецкая (август)

Fig. 6. Dynamics of indices of diversity of coastal fish communities in Yarnyshnaya (July) and Zelenetskaya (August) bays

Заключение

Ихтиофауна литоральных сообществ губ Ярнышная и Зеленецкая в 2020 г. характеризовалась низкими показателями обилия, высоким видовым богатством и наличием нескольких доминантных и субдоминантных видов с относительно высокой численностью. Наиболее многочисленными в ихтиофауне литорали исследованных губ были бычковые (европейский керчак и арктический шлемоносный бычок) и морская камбала, по биомассе преобладала речная камбала.

В структуре литоральных сообществ рыб в 2020 г. отмечались внутрисезонные изменения. Для обоих районов отмечено уменьшение общей численности и увеличение биомассы рыб, что связано с появлением в литоральной зоне в августе половозрелых особей речной камбалы. В губе Ярнышная, несмотря на снижение численности большинства видов, структура рыбных сообществ оставалась стабильной. В ихтиофауне литорали наиболее обильными по численности были европейский керчак и арктический шлемоносный бычок. По биомассе эти виды преобладали только в первой половине июля, а в августе доминировала речная камбала. Ядро сообществ губы Зеленецкая в начале периода наблюдений формировали молодь морской камбалы и европейского керчака.

Однако в августе численность этих видов заметно сократилась, но увеличилась плотность атлантической трески, которая наряду с европейским керчаком к концу сезона занимала лидирующее положение в рыбных сообществах. По биомассе в этом районе в июле доминировала морская камбала, в августе – речная камбала.

Анализ результатов многолетних исследований прибрежной ихтиофауны губ Восточного Мурмана свидетельствует, что в 2020 г. литоральные сообщества рыб отличались низкой плотностью, низкими показателями обилия тресковых видов, сравнительно богатым видовым составом и высокими индексами биоразнообразия. Такие характеристики, как правило, являлись отличительными особенностями литоральных сообществ рыб в годы отсутствия или невысокой численности сеголеток сайды – 2011, 2013, 2014 и 2019.

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 и другим за всестороннюю помощь в сборе материала.

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

Список литературы

1. Андрияшев А. П., Чернова Н. В. Аннотированный список рыбообразных и рыб морей Арктики и сопредельных вод // Вопросы ихтиологии. 1994. Т. 34, № 4. С. 435–456.
2. 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.
3. Карамушко О. В. Видовой состав и структура ихтиофауны Баренцева моря // Вопросы ихтиологии. 2008. Т. 48, № 3. С. 293–308.
4. 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.
5. Кудрявцева О. Ю. Новые поимки северного пятиусого налима *Ciliata septentrionalis* (Lotidae) в Баренцевом море // Вопросы ихтиологии. 2017. Т. 57, № 4. С. 472–474.
6. Кудрявцева О. Ю. Структура прибрежных сообществ рыб в губах Ярнышная и Зеленецкая (Восточный Мурман) // Вопросы ихтиологии. 2018. Т. 58, № 4. С. 428–438.
7. 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.
8. Кудрявцева О. Ю. Характеристика прибрежных сообществ рыб в губах Восточного Мурмана в летне-осенний период 2019 года // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2022. Т. 4 (13). Сер. Океанология. Вып. 10. С. 42–54.
9. Мэзгаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение: Пер. с англ. М.: Мир, 1992. 184 с.
10. 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.
11. 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.
12. Чумаевская-Световидова Е. В. Видовой состав рыб в районе Мурманской биологической станции // Тр. Мурман. биол. станции АН СССР. 1955. Т. 2. С. 5–11.
13. Catalog of fishes: genera, species, references / R. Fricke, W. N. Eschmeyer, R. van der Laan (Eds). Electronic version accessed 07 March 2023. URL: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>

References

1. Andriyashev A. P., Chernova N. V. Annotirovannyj spisok ryboobraznyh i ryb morej Arktiki i sopredel'nyh vod [Annotated list of fishlike vertebrates and fishes of the Arctic seas and adjacent waters]. *Voprosy ihtologii* [Journal of Ichthyology], 1994, Vol. 34, No. 4, pp. 435–456. (In Russ.)

2. Kim K. I., Bondarev O. V., Kudryavceva O. Yu., Malavenda S. S. Ihtiofauna pribrezhnoj zony gub Vostochnogo Murmana (Yarnyshnaya, Zelenetskaya) v letnij period 2013 g. [Ichthyofauna of coastal zone of the inlets of Eastern Murman (Yarnyshnaya, Zelenetskaya) in summer 2013]. *Problemy Arkticheskogo regiona: Materialy XIV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov i aspirantov T. II* [Proceedings XIV International Scientific Conference “The Problems of Arctic Region” Vol. II]. Murmansk, Publ. MMBI KSC RAS, 2014, pp. 84–85. (In Russ.)
3. Karamushko O. V. Vidovoj sostav i struktura ihtiofauny Barenceva morya [Species composition and structure of the ichthyofauna of the Barents Sea]. *Voprosy ihtologii* [Journal of Ichthyology], 2008, Vol. 48, No. 3, pp. 293–308. (In Russ.)
4. Kudryavceva O. Yu. Struktura pribrezhnyh soobshchestv molodi ryb v gubah Dal'nezelenetskaya i Yarnyshnaya Barenceva morya [The structure of coastal communities of fish juveniles in the Dal'nezelenetskaya and Yarnyshnaya inlets (Barents Sea)]. *Arkticheskoe morskoe prirodopol'zovanie v XXI veke – sovremennyy balans nauchnyh tradicij i innovacij (k 80-letiyu MMBI KNC RAN): Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* [International Scientific Conference “Arctic Marine Nature Management in 21st Century: Modern Balance of Scientific Traditions and Innovations”]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2015, pp. 119–121. (In Russ.)
5. Kudryavceva O. Yu. Novye poimki severnogo pyatusogo nalima *Ciliata septentrionalis* (Lotidae) v Barencevom more [New Findings of the Northern Rockling *Ciliata septentrionalis* (Lotidae) in the Barents Sea]. *Voprosy ihtologii* [Journal of Ichthyology], 2017, Vol. 57, No. 4, pp. 472–474. (In Russ.)
6. Kudryavceva O. Yu. Struktura pribrezhnyh soobshchestv ryb v gubah Yarnyshnaya i Zelenetskaya (Vostochnyj Murman) [Structure of Coastal Fish Communities in Yarnyshnaya and Zelenetskaya Bays (Eastern Murman)]. *Voprosy ihtologii* [Journal of Ichthyology], 2018, Vol. 58, No. 4, pp. 428–438. (In Russ.)
7. Kudryavceva O. Yu. Harakteristika pribrezhnyh soobshchestv ryb v gubah Vostochnogo Murmana v letne-osennij period 2018 g. [Characteristics of coastal fish communities in Eastern Murman bays durind summer and autumn 2018]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Seria Okeanologiya, vypusk 6* [Transactions of the Kola Science Centre RAS], 2019, Vol. 3(10), Series Oceanology, Issue 6, pp. 22–35. (In Russ.)
8. Kudryavceva O. Yu. Harakteristika pribrezhnyh soobshchestv ryb v gubah Vostochnogo Murmana v letne-osennij period 2019 goda [Characteristics of coastal fish communities in Eastern Murman bays durind summer and autumn 2019]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. Seria Okeanologiya, vypusk 10* [Transactions of the Kola Science Centre RAS], 2022, Vol. 4(13), Series Oceanology, Issue 10, pp. 42–54. (In Russ.)
9. Megarran E. *Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie* [Ecological Diversity and Its Measurement]. Moscow, Mir, 1992, 184 p. (In Russ.)
10. Bondarev O. V., Kim K. I., Malavenda S. S., Kudryavceva O. Yu. Predstaviteli ihtiofauny v pribrezhnyh zonah gub Yarnyshnaya i Zelenetskaya v letnij period v 2013 i 2014 gg. [Representatives of the fish fauna in the coastal zones of Yarnyshnaya and Zelenetskaya Bays in the summers of 2013 and 2014]. *Problemy Arkticheskogo regiona: Tezisy dokladov XV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov i aspirantov (g. Murmansk, 14 maya 2015 g.)* [Challenges for the Arctic Region: Abstracts of the XVth International Scientific Conference for Students and Post-Graduates (Murmansk, 14 May 2015)]. Rostov-on-Don, Publ. SSC RAS, 2015, pp. 70–71. (In Russ.)
11. Rusyaev S. M., Dolgov A. V., Karamushko O. V. Sluchai poimok zmeevidnoj igly-ryby Entelurus aequoreus (Syngnathiformes, Syngnathidae) v Barencevom i Grenlandskom moryah [Captures of snake pipefish Entelurus aequoreus in the Barents and Greenland seas]. *Voprosy ihtologii* [Journal of Ichthyology], 2007, Vol. 47, No. 4, pp. 574–576. (In Russ.)
12. Chumaevskaya-Svetovidova E. V. Vidovoj sostav ryb v rajone Murmanskoj biologicheskoj stancii [Species composition of fishes in the area of Murmansk biological station]. *Trudy Murmanskoj biologicheskoj stancii AN SSSR* [Transactions of the Murmansk Biological Station of the USSR Academy of Sciences], 1955, Vol. 2, pp. 5–11. (In Russ.)
13. Catalog of fishes: genera, species, references. Electronic version accessed 07 March 2023. Available at: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>

Информация об авторе

Оксана Юрьевна Кудрявцева – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0001-7716-1134>

Information about the author

Oksana Yu. Kudryavtseva – PhD (Biology), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7716-1134>

Статья поступила в редакцию 07.04.2023; одобрена после рецензирования 11.04.2023; принята к публикации 11.04.2023.
The article was submitted 07.04.2023; approved after reviewing 11.04.2023; accepted for publication 11.04.2023.

Научная статья
УДК 551.468
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.006

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГУБЫ ЗЕЛЕНЕЦКАЯ ЛЕТОМ 2021 ГОДА

Татьяна Михайловна Максимовская

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия

maximovskaya@mmbi.info

Аннотация

Анализируются термохалинная характеристика вод и особенности гидрологического режима губы Зеленецкая в летний период. Расположение губы, ее доступность для научных исследований и рекреационного использования обуславливают ее значимость в качестве модельного водоема в прибрежье Мурмана (Кольский полуостров). Полученные материалы позволяют составить представление о современных нюансах гидрологического режима прибрежных вод, которому последние два десятилетия уделялось значительно меньше внимания, чем открытой части Баренцева моря. Представлены данные океанографических наблюдений, выполненных в июле 2021 г. в ходе экспедиции ММБИ РАН на НИС “Дальние Зеленцы”. Показано, что в исследуемом районе и в прибрежье Мурмана в целом важную роль в формировании термохалинного состояния вод играют приливоотливные течения и материковый сток, оказывающий опресняющее воздействие локально в губах полуострова. Получена дополнительная информация об особенностях распространения опресненной водной массы, формирующейся в губе Зеленецкая и локализованной вдоль внутренней линии островов.

Ключевые слова:

термохалинные характеристики, прибрежная зона, водная масса, Восточный Мурман, губа Зеленецкая

Original article

HYDROLOGICAL STUDIES OF ZELENETSKAYA BAY IN THE SUMMER OF 2021

Tatyana M. Maksimovskaya

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

maximovskaya@mmbi.info

Abstract

The thermohaline characteristics of the waters and the specificities of the hydrological regime of the Zelenetskaya Bay in the summer are analyzed. The location of the Bay, its relevance for scientific research and recreational use determine its importance as a model reservoir in the coast of East Murman (Kola Peninsula). The materials allow us to get an idea of the modern nuances of the hydrological regime of coastal waters. Over the past two decades, much less attention has been paid to such studies than to studies of the open part of the Barents Sea. The presented data of oceanographic observations were obtained in July 2021 during the expedition of the MMBI RAS to the R/V “Dalniye Zelentsy”. It is shown that in the studied area and in the Murmansk coast, in general, tidal currents play an important role in the formation of the thermohaline state of waters. Also important is the continental runoff, which has a desalinating effect locally in the lips of the peninsula. Additional information was obtained on the features of the distribution of desalinated water mass formed in the Zelenetskaya Bay and localized along the inner line of the islands.

Keywords:

thermohaline characteristics, coastal zone, water mass, Eastern Murman, Zelenetskaya Bay

Введение

Гидрологический режим прибрежных районов Кольского полуострова во многом определяется Прибрежной ветвью Мурманского течения. Эта ветвь несет воды, которые образованы смешением теплых вод атлантического происхождения с водами речного стока и подвержены значительным сезонным колебаниям. Существенное влияние на формирование режима в прибрежье, особенно в губах и заливах, оказывают мощные приливоотливные течения и местный речной сток. Последний имеет выраженное влияние в Кольском заливе, губах Печенга, Ура и Териберская. Приливы в Баренцевом море вызываются главным образом атлантической приливной волной (Жизнь ..., 1985).

Высота приливной волны увеличивается с запада на восток, при этом в Варангер-фьорде она составляет 2.2 м, а в Святоносском заливе – 3.7 м. Из-за преобладающего перемещения барических систем с запада на восток на протяжении всей прибрежной зоны полуострова выражены сгонно-нагонные колебания уровня моря. При этом из-за конфигурации береговой черты, характеризующейся приглубыми берегами, величина сгонно-нагонных колебаний на порядок меньше приливных (Гидрометеорология ..., 1990).

На режим солености в прибрежных районах значительное влияние оказывает местный речной сток. В прибрежье Кольского полуострова реки сбрасывают 26 км³ воды, в то время как в Баренцево море – 163 км³. Около 80 % стока приходится на юго-восточную область моря (Печорское море). Распространение речных вод в прибрежной полосе прослеживается на удалении 20–30 миль от берега (Жизнь ..., 1985).

Относительно подробно прибрежье Баренцева моря исследовалось в 1950–1960-х гг. Изучались гидрологические, гидрохимические и биологические характеристики прибрежных вод (Гидрологические ..., 1961). В 1970-е годы интенсивность изучения прибрежных акваторий Кольского полуострова значительно снизилась. В 1976–1977 годах проводились наблюдения за сезонной изменчивостью гидрологических параметров прибрежных вод Восточного Мурмана (Ильин и др., 1978). Работы в губах Печенга и Ура выполнялись в 2013–2015 гг., они позволили провести оценку состояния водных биоресурсов при активном развитии промышленной марикультуры (Океанологические ..., 2015; Гидролого-гидрохимическая ..., 2017).

В данной работе рассмотрены результаты океанографических исследований, выполненных в июле 2021 г. в открытой части прибрежья (на удалении до 12 морских миль от берега), а также в губах и заливах Кольского полуострова. В частности, подробно рассмотрена губа Зеленецкая, поскольку данная губа наиболее изучена, регулярные исследовательские работы здесь были организованы с 1936 г., одновременно со строительством биостанции (Ушаков, 1948).

Губа Зеленецкая – это мелководная бухта в восточной части Кольского полуострова площадью 2.23 км². Она вдается в берег между мысами Дернистый и Зеленецкий. Устье губы ориентировано на северо-северо-восток. На входе расположены пять островов, защищающих губу от морской волны. Проливы между этими островами не пригодны для судоходства и во время сизигийных отливов некоторые из островов соединяются перешейками. На юго-западном берегу расположен населенный пункт Дальние Зеленцы, где имеется плавучий причал для маломерных и малотоннажных судов. Рельеф дна здесь сложный. В наиболее глубокой западной части глубины не превышают 11 м при отливе, большая часть губы при этом имеет глубины менее 7 м, в западной и восточной частях находятся впадины до 15–18 м. Со стороны открытого моря в районе губы Зеленецкая расположен желоб с глубинами более 200 м. Вдоль желоба проходит ветвь Мурманского прибрежного течения, с которой атлантические воды поступают в прибрежье Мурмана и в губу Зеленецкая. Водообмен с морем происходит через западный и восточный проливы, глубина которых составляет 7–10 м. При этом западный пролив более глубокий и широкий, его ширина превышает 400 м. Именно по нему и проходят небольшие суда к причалу. В юго-западной части губы, в бухту Оскара, и в восточной – на литоральную отмель “Дальний пляж”, впадают два ручья. Через них в основном осуществляется пресноводный сток с водосборной территории. Приливный режим в губе полусуточный. В сизигии разница между высотами полной и малой воды достигает 4–4.2 м, а в квадратуре – 2 м (Гидрологический ..., 2016).

В настоящее время ММБИ РАН проводит эпизодические океанографические съемки в губе Зеленецкая и систематический гидрометеорологический мониторинг в губах Зеленецкая и Ярнышная.

Материал и методы

В июле 2021 г. была проведена гидрологическая съемка в губе Зеленецкая, в ходе которой выполнено 18 океанографических станций на четырех разрезах, пересекающих основные морфологические участки губы (рис. 1). Измерения температуры и электропроводности морской воды проведены в режиме непрерывного зондирования от поверхности до дна. Для этого использовался гидрологический СТД-зонд SeaSun Marine Tech CTD 90 M Series II.

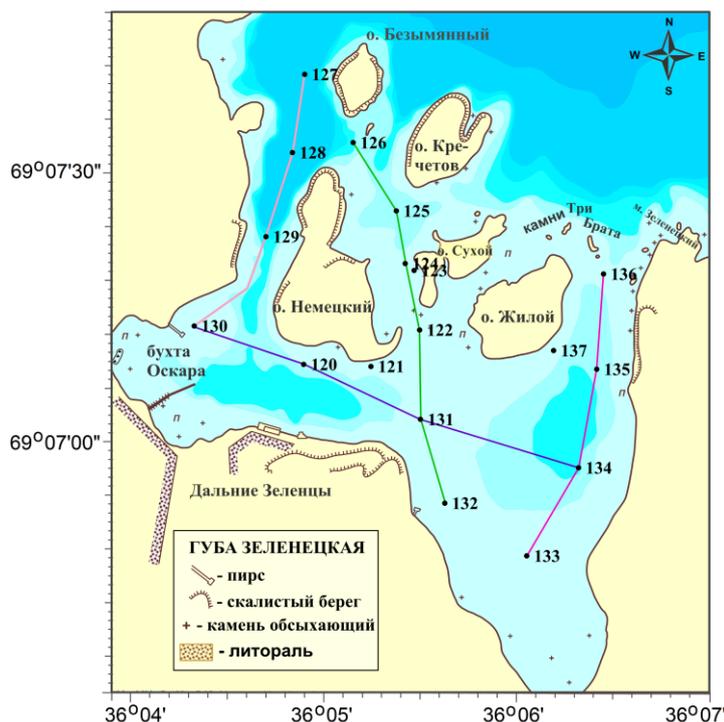


Рис. 1. Схема расположения гидрологических станций и разрезов на акватории губы Зеленецкая
Fig. 1. Location of hydrological stations and sections in the Zelenetskaya Bay

Результаты и обсуждение

Температура воздуха во время работ составляла 10–12 °С, шел слабый дождь, имел место северо-западный ветер со скоростью 9.9 м/с. Измерения выполнялись с 13 ч после окончания приливной фазы и продолжались до 16 ч 38 мин.

Течения в губе Зеленецкая не имеют четкой структуры и формируются под влиянием приливоотливных колебаний и сильно зависят от рельефа дна и конфигурации берегов. Наблюдается ряд локальных круговоротов, причем в западной части губы формируется антициклонический круговорот, в то время как в восточной – циклонический. Также небольшие вихри образуются с внутренней части губы вдоль линии островов, защищающих губу. В поверхностном слое образуются ветви и вихри стокового течения. Благодаря защитному влиянию островов, а также небольшим глубинам и размерам губы, ветровое волнение с моря не достигает значительных масштабов даже при сильных ветрах. Термохалинный режим вод в губе Зеленецкая в основном определяется водами Мурманского прибрежного течения, влияния атмосферного прогрева и выхолаживания, а также незначительного стока пресных вод с берега (Громов и др., 2010; Гидрологический ..., 2016).

Распределение температуры и солёности поверхностных вод в губе представлено на рис. 2. Наиболее прогрета была юго-восточная часть губы в районе Дальнего пляжа, температура воды на поверхности равнялась 11.1–11.7 °С. При этом солёность на этом же участке акватории находилась в диапазоне от 32.2 до 32.6 епс. На севере губы с внутренней части островов наблюдалась полоса пониженной солёности. Минимальная солёность отмечена в северо-восточной части губы – между северной оконечностью о. Жилой и восточным берегом, и составляла 31.3 епс, что обусловлено опресняющим воздействием вод ручьев и грунтовых вод.

Четыре разреза расположены по периметру и между островами в центральной части губы (рис. 1). Один из разрезов проходит вдоль южного берега губы, ориентирован с запада от бухты Оскара к восточному берегу, его протяженность составила 1.4 км. Максимальные значения температуры и солёности здесь были 11.7 °С и 33.7 епс соответственно. При этом в аналогичных исследованиях, выполненных 8 июля

2009 г., максимальная величина температуры на поверхности не превышала 8 °С, а солености – 33.5 епс (Громов и др., 2010).

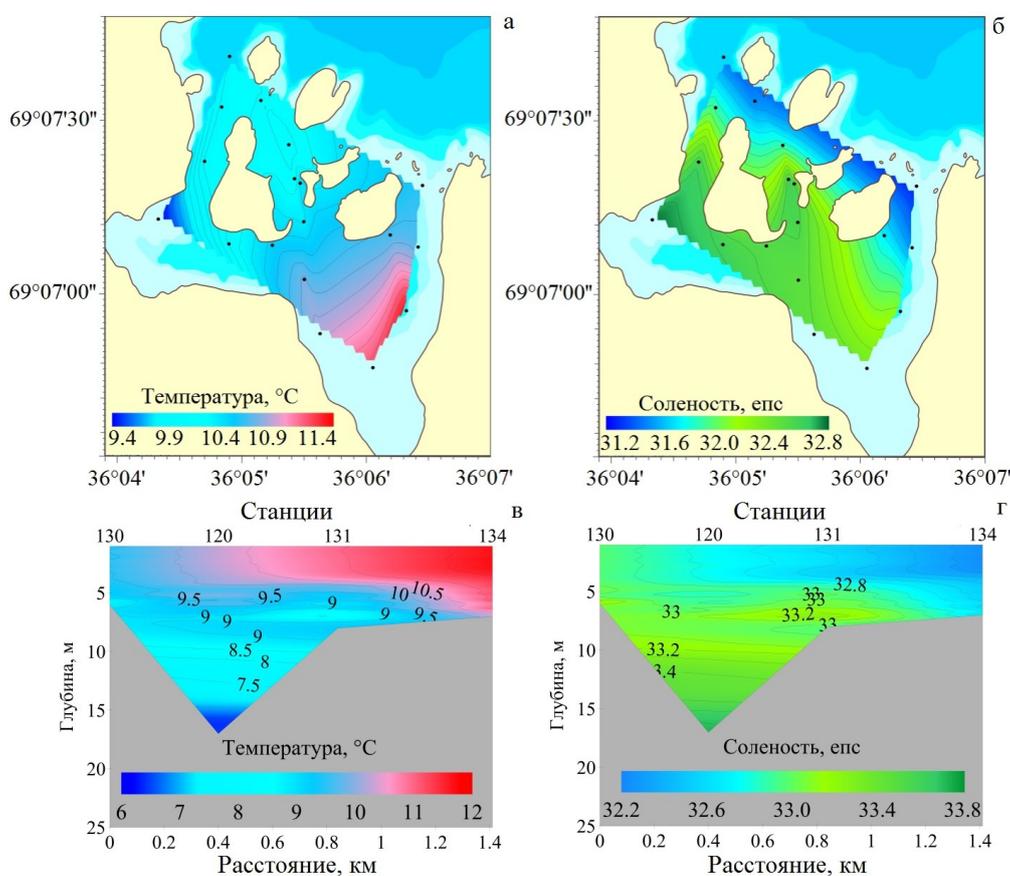


Рис. 2. Распределение температуры (а, в) и солености (б, г) воды на поверхности губы Зеленецкая (а, б) и на вертикальном профиле вдоль разреза от ст. 130 до ст. 134 (в, г)

Fig. 2. Distribution of water temperature (a, v) and salinity (б, г) on the surface of the Zelenetskaya Bay (а, б) and along the main vertical transect (в, г)

По самой глубоководной части губы Зеленецкая – вдоль судоходного фарватера от о. Безымянный – проходит второй разрез с максимальной глубиной у входа в губу – 34.3 м. Воды у западного берега губы в бухте Оскара в поверхностном слое характеризовалась температурой 9.3 °С и соленостью 33.0 епс.

В центральной части губы Зеленецкая выполнен третий разрез, проходящий большей частью между островами от южной оконечности о. Безымянный в южном направлении. Глубины здесь не превышали 10 м. Минимальная и максимальная величины температуры составляли 8.4 и 11.1 °С соответственно. Соленость повышалась в направлении к коренному берегу. Минимальная величина солености, равная 31.5 епс, была зафиксирована в поверхностном слое между островами Безымянный, Немецкий и Кречетов, максимальная – в придонном слое.

Четвертый разрез был расположен вдоль восточного берега губы Зеленецкая. Минимальная температура в 7.1 °С наблюдалась во впадине на самой глубокой станции, максимальная – 11.7 °С. Соленость повышалась с севера на юг, при этом граничные значения составляли, соответственно, 31.2 и 33.6 епс.

При сравнении полученных данных на рассматриваемой акватории с исследованиями, выполненными в июле 2010 г. (Громов и др., 2011) на аналогичных разрезах, можно отметить, что в целом по четырем разрезам в июле 2021 г. температура придонного слоя была ниже на 1–2 °С, чем

зарегистрированная в 2010 г. На первом разрезе различия минимальных температур между двумя гидрологическими съемками с разницей в 11 лет составили 1.4 °С, на втором – 2.2 °С, на третьем – –0.5 °С, а на четвертом – отсутствовали. Минимальная соленость имела меньший разрыв в значениях при сравнении двух периодов измерений. Лишь на четвертом разрезе разница оказалась велика (1.3 епс).

Заключение

В исследуемом районе основную роль в формировании термохалинного состояния вод играет материковый сток, который оказывает локальное опресняющее воздействие в губах и заливах Кольского полуострова и узкой прибрежной полосе. Халинный фронт был выражен на расстоянии 5–6 км от берега, при этом в поле температур прибрежный фронт не наблюдался из-за летнего прогрева воды, приповерхностный слой имел температуру выше 11 °С. Получена дополнительная информация об особенностях распространения опресненной водной массы, локализованной в губе Зеленецкая вдоль внутренней линии островов.

Автор благодарен за комфортную и плодотворную совместную работу в данной экспедиции научной группе и экипажу НИС “Дальние Зеленцы”. Отдельно отмечает помощь в выполнении гидрологических исследований в губе Зеленецкая, осуществляемых с надувной лодки при довольно сложных погодных условиях, И. А. Пастухова, Е. А. Гарбуля и А. А. Дерябина.

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.

Список литературы

1. Гидрологические, гидрохимические и биологические особенности прибрежных вод Мурмана в 1956 г. и причины изменений в распределении промысловых рыб / М. М. Камшилов, Н. В. Миронова, Н. В. Черновская, Э. А. Зеликман, В. В. Герасимов, О. Ф. Кондрацова, Ю. Ф. Поздняков, М. И. Роухийянен, Ю. А. Свиридов, Р. Я. Цееб, А. Д. Чинарина // Гидрологические и биологические особенности прибрежных вод Мурмана. Мурманск: Кн. изд-во, 1961. С. 3–39.
2. Гидрологический режим губы Зеленецкая, Восточный Мурман / Г. В. Ильин, Д. В. Моисеев, Д. В. Широколов, А. А. Дерябин, Л. Г. Павлова // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2016. Т. 19, № 1/2. С. 268–277.
3. Гидролого-гидрохимическая характеристика среды обитания водных биоресурсов в губе Печенга / В. В. Сапожников, Н. В. Аржанова, А. К. Грузевич, Н. М. Зозуля, С. И. Столярский, Н. И. Торгунова, А. М. Храмова // Тр. ВНИРО. 2017. Т. 165. С. 83–100.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.
5. Громов М. С., Моисеев Д. В., Широколов Д. В. Гидрометеорологические условия в губах Ярнышная и Зеленецкая Баренцева моря летом 2009 г. // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 27–30 октября 2010 г.). Вып. 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 72–79.
6. Громов М. С., Моисеев Д. В., Широколов Д. В. Гидрометеорологические условия в губе Зеленецкая Баренцева моря летом 2010 г. // Глобальные климатические процессы и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов: Тез. докл. Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 9–11 ноября 2011 г.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011. С. 25–26.
7. Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря / Отв. ред. В. С. Петров. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1985. 220 с.
8. Ильин Г. В., Налбандов Ю. Р., Савинова Т. Н. Гидрологическая характеристика водных масс прибрежной зоны Восточного Мурмана // Закономерности биопродукционных процессов в Баренцевом море. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1978. С. 3–13.
9. Лоция Баренцева моря / Под ред. В. И. Кириллова. СПб.: Изд-во ГУНиО, 1995. Ч. 2. 462 с.
10. Океанологические исследования в губе Ура Баренцева моря в июле 2015 г. / Н. В. Аржанова, А. К. Грузевич, В. Л. Зубаревич, О. В. Котова, Н. И. Торгунова, А. М. Храмова // Тр. ВНИРО. 2015. Т. 155. С. 169–172.
11. 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.

References

1. Kamshilov M. M., Mironova N. V., Chernovskaya N. V., Zelikman E. A., Gerasimov V. V., Kondracova O. F., Pozdnyakov Yu. F., Rouhiyainen M. I., Sviridov Yu. A., Ceeb R. Ya., Chinarina A. D. *Gidrologicheskie, gidrohimicheskie i biologicheskie osobennosti pribrezhnyh vod Murmana v 1956 g. i prichiny izmenenij v raspredelenii promyslovyh ryb* [Hydrological, hydrochemical and biological features of Murman coastal waters in 1956 and causes of changes in commercial fish distribution]. *Gidrologicheskie i biologicheskie osobennosti pribrezhnyh vod Murmana* [Hydrological and biological peculiarities of Murman coastal waters]. Murmansk, Publ. House, 1961, pp. 3–39. (In Russ.).
2. Ilin G. V., Moiseev D. V., Shirokolobov D. V., Deryabin A. A., Pavlova L. G. *Gidrologicheskij rezhim guby Zeleneckaya, Vostochnyj Murman* [Hydrological regime of Zelenetskaya bay, East Murman]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta* [Messenger Murmansk State Technical University], 2016, Vol. 19, No. 1/2, pp. 268–277. (In Russ.).
3. Sapozhnikov V. V., Arzhanova N. V., Gruzevich A. K., Zozulya N. M., Stolyarskij S. I., Torgunova N. I., Hramcova A. M. *Gidrologo-gidrohimicheskaya karakteristika sredy obitaniya vodnyh bioresursov v gube Pechenga* [Hydrological and hydrochemical characteristics of the habitat of aquatic bioresources in Pechenga Bay]. *Trudy Vserossijskogo nauchnogo issledovatel'skogo institute morskogo rybnogo hozyajstva i okeanografii* [Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography], 2017, Vol. 165, pp. 83–100. (In Russ.).
4. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morej SSSR. Tom 1. Barencevo more. Vypusk 1. Gidrometeorologicheskie usloviya* [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Vol. 1. Barents Sea. Issue 1. Hydrometeorological conditions]. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1990, 280 p. (In Russ.).
5. Gromov M. S., Moiseyev D. V., Shirokolobov D. V. *Gidrometeorologicheskie usloviya v gubah Yarnyshnaya i Zeleneckaya Barenceva morya letom 2009 g.* [Hydrometeorological conditions in the Yarnyshnaya and Zelenetskaya bays of the Barents Sea in summer 2009]. *Priroda shelfa i arhipelagov evropejskoj Arktiki. Kompleksnye issledovaniya prirody Shpicbergena: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Murmansk, 27–30 oktyabrya 2010 g.). Vypusk 10* [Nature of the shelf and archipelagos of the European Arctic. Complex research of Spitsbergen nature: Materials International scientific conference (Murmansk, 27–30 October 2010). Issue 10]. Moscow, GEOS, 2010, pp. 72–79. (In Russ.).
6. Gromov M. S., Moiseev D. V., Shirokolobov D. V. *Gidrometeorologicheskie usloviya v gube Zeleneckaya Barenceva morya letom 2010 g.* [Hydrometeorological conditions in Zelenetskaya Bay of the Barents Sea in summer 2010]. *Globalnye klimaticheskie processy i ih vliyanie na ekosistemy arkticheskikh i subarkticheskikh regionov: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Murmansk, 9–11 noyabrya 2011 g.)* [Global climate processes and their impact on ecosystems of Arctic and subarctic regions: Proceedings of the International Scientific Conference (Murmansk, 9–11 November 2011)]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2011, pp. 25–26. (In Russ.).
7. *Zhizn i usloviya ee sushestvovaniya v pelagiali Barenceva morya* [Life and conditions of its existence in the pelagic of the Barents Sea]. Apatity, Publ. of the Kola Branch of the USSR Academy of Sciences, 1985. 220 p. (In Russ.).
8. Ilin G. V., Nalbandov Yu. R., Savinova T. N. *Gidrologicheskaya karakteristika vodnyh mass pribrezhnoj zony Vostochnogo Murmana* [Hydrological characteristics of water masses of the coastal zone of East Murman]. *Zakonomernosti bioprodukcionnyh processov v Barencevom more* [Regularities of biological processes in the Barents Sea]. Apatity, Publ. of the Kola Branch of the USSR Academy of Sciences, 1978, pp. 3–13 (In Russ.).
9. *Lociya Barenceva morya* [Logic of the Barents Sea]. Saint-Petersburg, Publ. GUNiO, 1995. Part 2, 462 p. (In Russ.).
10. Arzhanova N. V., Gruzevich A. K., Zubarevich V. L., Kotova O. V., Torgunova N. I., Hramcova A. M. *Okeanologicheskie issledovaniya v gube Ura Barenceva morya v iyule 2015 g.* [Oceanological research in Ura Bay of the Barents Sea in July 2015]. *Trudy Vserossijskogo nauchnogo issledovatel'skogo institute morskogo rybnogo hozyajstva i okeanografii* [Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography], 2015, Vol. 155, pp. 169–172. (In Russ.).
11. Ushakov P. V. *Murmanskaya biologicheskaya stanciya Akademii nauk SSSR v gube Dalne-Zeleneckoj i ee pervye nauchnye raboty* [Murmansk biological station of the Academy of Sciences of the USSR in Dalne-Zelenetskaya Bay and its first scientific works]. *Trudy Murmanskoy biologicheskoy stancii AN SSSR* [Transactions Murmansk Biological Station of the USSR Academy of Sciences], 1948, Vol. 1, pp. 10–32. (In Russ.).

Информация об авторе

Татьяна Михайловна Максимовская – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-9136-6670>

Information about the author

Tatyana M. Maksimovskaya – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-9136-6670>

Статья поступила в редакцию 20.04.2023; одобрена после рецензирования 21.04.2023; принята к публикации 25.04.2023.
The article was submitted 20.04.2023; approved after reviewing 21.04.2023; accepted for publication 25.04.2023.

Научная статья
УДК 551.577
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.007

ТВЕРДЫЕ АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ В Г. МУРМАНСКЕ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ

**Максим Валентинович Митяев^{1✉}, Марина Васильевна Герасимова²,
Елена Ивановна Дружкова³, Татьяна Геннадьевна Ишкулова⁴, Мария Юрьевна Меньшакова⁵**
^{1–4}Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия,
⁵Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск, Россия
¹mityaev@mmbi.info, ²gerasimova@mmbi.info, ³druzhkova@mmbi.info,
⁴ishkulova@mmbi.info, ⁵menshakova.maria@masu.edu.ru

Аннотация

Комплексные исследования твердых атмосферных осадков в г. Мурманске и его окрестностях были проведены 2 января 2018 г.–30 декабря 2022 г. Получены данные о концентрации в свежеснеге твердых нерастворимых частиц (9.19 ± 0.51 мг/л), их компонентов (тяжелых металлов: цинка – 60.1 ± 9.8 нг/г, меди – 11.0 ± 2.6 нг/г, свинца – 3.28 ± 0.18 нг/г, кадмия – 0.859 ± 0.096 нг/г; биогенных элементов: нитратов – 79 ± 11 мкг-ат/л, нитритов – 1.02 ± 0.14 мкг-ат/л, фосфатов – 4.64 ± 0.67 мкг-ат/л и силикатов – 25 ± 5 мкг-ат/л), органическом веществе (21.2 ± 2.2 мг/л), а также количестве полимерных частиц (фрагментов – 7766 ± 1401 частиц/л, микроволокон – 638 ± 134 нити/л, макроволокон – 29 ± 4 нити/л). Выявлена связь количества нерастворимых частиц с направлением поступления воздушных масс. Воздушные массы со стороны Баренцева моря приносили твердые атмосферные осадки с меньшим количеством нерастворимых аэрозолей (в том числе тяжелых металлов, полимерных частиц и органического вещества), чем воздушные массы, поступавшие с континента. Количество биогенных элементов в твердых атмосферных осадках не зависит от направления поступления воздушных масс.

Ключевые слова:

твердые атмосферные осадки, аэрозоли, тяжелые металлы, биогенные элементы, органическое вещество, микропластик, г. Мурманск

Original article

SOLID ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN MURMANSK AND ITS ENVIRONS

**Maksim V. Mityaev^{1✉}, Marina V. Gerasimova²,
Elena I. Druzhkova³, Tatyana G. Ishkulova⁴, Maria Yu. Menshakova⁵**
^{1–4}Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
⁵Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia
¹mityaev@mmbi.info, ²gerasimova@mmbi.info, ³druzhkova@mmbi.info,
⁴ishkulova@mmbi.info, ⁵menshakova.maria@masu.edu.ru

Abstract

In the period from January 2, 2018 to December 30, 2022, a comprehensive study of solid atmospheric precipitation was carried out in Murmansk and its environs. Data were obtained on the concentration in freshly fallen snow of solid insoluble particles (9.19 ± 0.51 mg/l) and their components: heavy metals (zinc – 60.1 ± 9.8 ng/g, copper – 11.0 ± 2.6 ng/g, lead – 3.28 ± 0.18 ng/g, cadmium – 0.859 ± 0.096 ng/g), nutrients (nitrates – 79 ± 11 µg-at/l, nitrites – 1.02 ± 0.14 µg-at/l, phosphates – 4.64 ± 0.67 µg-at/l, silicates – 25 ± 5 µg-at/l) and organic matter (21.2 ± 2.2 mg/l), as well as the amount of polymer particles (fragments – 7766 ± 1401 particles per liter, micro-fibers – 638 ± 134 threads per liter, macro-fibers – 29 ± 4 threads per liter). The relationship between the number of insoluble particles and the direction of air masses inflow was revealed. Air masses coming from the Barents Sea brought solid precipitation with less insoluble aerosols (including heavy metals, polymer particles and organic matter) than air masses coming from the continent. The amount of biogenic elements in solid atmospheric precipitation does not depend on the direction of inflow of air masses.

Keywords:

solid precipitation, aerosols, heavy metals, biogenic elements, organic matter, microplastic, Murmansk

Введение

Снег вымывает из атмосферы твердые и растворенные вещества (Шевченко, 2006; Аэрозоли ..., 2006; Распределение ..., 2007; Исследования ..., 2015), характеризующие атмосферу конкретного

региона зимой (Химический ..., 1991; Евсеев, Красовская, 1996; Snow ..., 1998). Высокоширотное положение г. Мурманска обуславливает выпадение твердых атмосферных осадков в течение 180–200 сут. в году (Митяев, 2014), но близость незамерзающего моря делает погоду крайне неустойчивой и ветреной. Сильные ветры способны переносить на дальнее расстояние не только мелкие, но и крупные частицы вещества, которые затем накапливаются в снежном покрове. Этот материал, хотя и переносится через атмосферу, нельзя считать аэрозольным веществом, так как время его жизни в атмосфере мало, а слой воздуха, в котором переносится эоловый материал, редко превышает первые десятки метров. Незамерзающее море является первопричиной большого количества теплых (с положительной температурой воздуха) зимних дней (может достигать до 10 сут. в месяц), в течение которых часть накопленного вещества вымывается талой водой из снежной толщ. На севере Кольского полуострова оба эти фактора создают условия, при которых отбор проб из толщ снега в конце зимнего периода не целесообразен, так как снег не содержит достоверной информации об аэрозольном веществе, позволяющей оценить роль атмосферы в его поставке.

В связи с этим в ММБИ РАН геологической группой при активном содействии биологов и гидрохимиков была разработана и апробирована методика работ со свежеснеженным снегом, которая позволяет достоверно определять качественный (вещественный) состав аэрозолей и их количественную характеристику.

Известно, что на природный уровень концентрации вещества в атмосфере накладываются выбросы горно-металлургических комбинатов и городских инфраструктур (Оценка ..., 1994; Аэрозоли ..., 1993; Viklander, 1999; Шевченко, 2006). В научной литературе приведены данные о значительном загрязнении снежного покрова Кольского полуострова, в котором накапливаются и перераспределяются различные химические соединения и элементы (Химический ..., 1991; Нерастворимые ..., 2019). Мурманское побережье не является исключением, здесь в свежеснеженном снеге выявлены значительные концентрации нерастворимых частиц, микропластика, биогенных элементов и тяжелых металлов. Одним из центров загрязнения является г. Мурманск, поэтому цель работы – оценить качественный состав вещества, заключенного в свежеснеженном снеге и его количественные показатели, характеризующие атмосферу над г. Мурманском и его окрестностями.

Материал и методы

Пробы свежеснеженного снега отбирали со 2 января 2018 г. по 30 декабря 2022 г. на трех станциях в Первомайском районе г. Мурманска (доминирующая высота с координатами 68°56.549' с. ш., 33°03.357' в. д.; в 1 км от гаражных кооперативов; в 3 км от ТЭЦ) и его окрестностях: в среднем течении ручья Кильдинский (68°53.185' с. ш., 33°17.668' в. д.) на верховых болотах в 1 км от автодороги “Кола–Серебрянские ГЭС”, в устье р. Тулома (68°48.036' с. ш., 32°34.239' в. д.) и в русле реки (со льда) в 800 м от автодороги “Лотта”.

Отбор проб снега проводили на следующий день после снегопада чистым пробоотборником из пищевой нержавеющей стали в плотные полиэтиленовые пакеты объемом 10 л и стеклянные емкости объемом 1–2 л с притертыми крышками. Чтобы исключить любое ветровое загрязнение снежного покрова отбор проб осуществляли против ветра в тихую погоду (скорость ветра < 5 м/с). Для исключения попадания уплотненного снега отбирался только свежеснеженный верхний слой толщиной 1–3 мм. После доставки проб в лабораторию их помещали в холодильник и хранили при температуре –5 °С до обработки. Плотность свежеснеженного снега определяли методом взвешивания. Проба снега вырезалась пластиковым кольцом диаметром 10 см, которое погружали в снежный покров на 0.5–1 см (если мощность свежеснеженного снега была менее 0.5 см, то плотность снега не определялась). На каждой станции измерение плотности снега проводили в начале и конце площадки, с которой отбиралась проба.

В лаборатории пробы снега растапливали при комнатной температуре в закрытых емкостях (чтобы исключить испарение талой воды). В зависимости от объема талой снеговой воды ее делили на несколько частей. Первую часть объемом не менее 1 л фильтровали через предварительно взвешенные ядерные лавсановые фильтры с диаметром рабочей поверхности 47 мм и диаметром пор 0.45 мкм. Фильтры с веществом высушивали в термостате при температуре 50–60 °С до полного

высыхания и повторно взвешивали на электронных весах с точностью до 0.00005 г. После взвешивания для каждой пробы вычисляли среднюю массовую концентрацию нерастворимых частиц как отношение сухой массы аэрозольных частиц на фильтре к объему профильтрованной воды. Вторую часть талой воды объемом не менее 100 мл отбирали в чистую пластиковую емкость для определения концентраций ионов Zn, Pb, Cu и Cd на вольт-амперметрическом анализаторе TA-Lab (с ртутным электродом; номер в Госреестре 44076-10), точность определения ± 20 %. Полученные показатели концентрации пересчитывали на единицу массы сухого вещества. Часть талой воды объемом не менее 200 мл использовали для химического анализа на содержание биогенных элементов (азота нитратного, азота нитритного, фосфора фосфатного, минерального кремния) с применением традиционных фотоколориметрических методов на спектрофотометре ЭКРОС ПЭ-5300ви (абсолютная погрешность прибора ± 0.5 %). Минеральные формы азота (азот нитритный NO_2^- и азот нитратный NO_3^-) определяли методом Бендшнайдера-Робинсона (при длине волны 540 нм, в кюветах длиной 10–20 мм; чувствительность метода 0.01 мкмоль/л), минеральный фосфор (фосфор фосфатный PO_4^{3-}) – методом Морфи-Райли (при длине волны 870 нм, в кювете длиной 50 мм; ошибка метода 2–6 %), минеральный кремний (SiO_3^{2-}) – методом Королева (при длине волны 870 нм, в кювете длиной 50 мм; ошибка метода 2–6 %) (Современные ..., 1992; Руководство ..., 1993, 2003).

Пробы снега, отобранные в стеклянные емкости, фильтровали под вакуумом (при разрежении не более 0.2 атм) в стеклянных фильтрационных насадках через специально подготовленные черные ядерные фильтры с диаметром пор 0.45 мкм. Подготовка фильтров заключалась в протравливании их в 3 %-м растворе соляной кислоты в течение 3 сут. с последующей промывкой дистиллированной водой, затем фильтры сушились в термостате при температуре 60 °С в эксикаторе (Распределении ..., 2007). Непосредственно после фильтрации проб фильтры окрашивали раствором Нильского красного в *n*-гексане в течение 30 мин. (Arctic ..., 2018) и вновь помещали в эксикатор. В чистой аналитической лаборатории фильтры просматривались под бинокулярным микроскопом МБС-10 (ув. 10–40) для учета количества нерастворимых частиц (минеральных, биогенных и полимерных макроволокон). Далее препараты анализировали под эпифлуоресцентным микроскопом Carl Zeiss AxioImager D1 при ув. 50–100. При работе в лаборатории постоянно осуществлялся контроль чистоты используемой посуды, перед окончанием работ проводился осмотр неиспользованных пустых фильтров под бинокулярным микроскопом МБС-10. За весь период исследований никаких загрязнений лабораторной посуды, пустых фильтров выявлено не было. Необходимо отметить, что частицы, которые нельзя с уверенностью отнести к полимерам (менее 10 микрон и не изменившие цвет при окрашивании) при подсчете не учитывались. Граничным значением для разделения микро- и макропластика нами принято 1000 мкм, аналогично значению, обоснованному в работе Н. Хартмана с соавторами (Microplastic ..., 2015).

Водородный показатель талой снеговой воды определяли стационарным рН-метром (точность 0.01 рН). Всего отобрано и проанализировано 93 пробы свежеснежавшего снега, характеризующих 51 снегопад.

Результаты и обсуждение

Плотность свежеснежавшего снега. Количество нерастворимых частиц в снеге традиционно представляют в относительных единицах в пересчете на объем талой воды (мг/л, нг/г, ppm и др.) (Шевченко, 2006). На наш взгляд, это не всегда оправдано, так как из одинаковых объемов снега с различной плотностью будет получен разный объем талой воды. Из этого следует, что сравнение результатов из разных территорий без знания плотности снежного покрова некорректно и может приводить к ошибочным суждениям.

Плотность свежеснежавшего снега зависит от кристаллической структуры снежинок и влажности снега, температуры и влажности приземного слоя воздуха (Чернов, 2016). В городе Мурманске и его окрестностях плотность свежеснежавшего снега в период наблюдений изменялась от 0.117 до 0.213 г/см³, в среднем составляя 0.151 ± 0.004 г/см³ ($n = 186$). Таким образом, из 1 дм³ свежеснежавшего снега могло быть получено 117–213 мл пресной воды, т. е. объемы талой

воды отличались почти в 2 раза. Следовательно, при одинаковых содержаниях твердых частиц концентрация аэрозолей будет существенно отличаться.

В зимние периоды 2018–2022 гг. в г. Мурманске и его окрестностях плотный мокрый свежеснежный снег ($> 0.2 \text{ г/см}^3$) наблюдался редко – в 5 % случаев, в то время как сухой пушистый снег ($< 0.13 \text{ г/см}^3$) – почти каждый четвертый снегопад (в 24 % случаев). В Мурманске средняя плотность свежеснежного снега составляла $0.159 \pm 0.003 \text{ г/см}^3$ ($n = 92$), в 10 км от города – $0.148 \pm 0.005 \text{ г/см}^3$ ($n = 66$), в 20 км от города – $0.137 \pm 0.004 \text{ г/см}^3$ ($n = 28$). При приближении к городу плотность свежеснежного снега увеличивается, это, с большой долей вероятности, связано с воздействием на атмосферу городской инфраструктуры.

Водородный показатель свежеснежного снега. Механизмы поступления химических веществ, в том числе тяжелых металлов, от техногенных источников в компоненты экосистем различны. Один из главных – аэротехногенные выбросы в атмосферу химических веществ с последующим их выпадением на поверхность земли с атмосферными осадками. При исследовании атмосферных осадков важнейшей проблемой является выявление степени их кислотности. Повышение кислотности способствует мобилизации тяжелых металлов и их проникновению в различные среды (Аэрозоли ..., 2000).

В зимний период в 2018–2022 гг. pH талой снеговой воды в г. Мурманске и его окрестностях изменялся от 5.31 до 7.63 при среднем значении – 6.62 ± 0.12 ($n = 186$) и модальном значении – 6.75. Среднее значение pH снеговой воды близко к нейтральному. Достоверных различий в значениях pH талой снеговой воды в Мурманске (6.62 ± 0.12 , $n = 92$) от pH в его окрестностях (в 10 км от города – 6.49 ± 0.27 , $n = 66$; в 20 км от города – 6.73 ± 0.19 , $n = 28$) не наблюдалось.

Исследования реакции талой снеговой воды свидетельствуют о преобладании в атмосферных осадках, выпавших в г. Мурманске и его окрестностях, кислотных компонентов над щелочными. Аналогичные значения pH талой снеговой воды наблюдались на севере Мурманской области в городах Печенга, Североморск-3 и поселках Тулома, Лопарская – в среднем составляя 6.77 ± 0.22 ($n = 11$).

Концентрация твердых нерастворимых частиц в свежеснежном снеге в 2018–2022 гг. в г. Мурманске и его окрестностях изменялась от 2.87 до 186 мг/л, в среднем составляя $9.19 \pm 0.51 \text{ мг/л}$ ($n = 93$). Это выше, чем фоновое содержание аэрозолей в снежном покрове Арктики и Кольского полуострова (Виноградова, Полисар, 1995; Аэрозоли ..., 2000; Куценогий, Куценогий, 2000; Распределение ..., 2007), но ниже чем концентрация нерастворимых частиц в крупных импактных районах (Химический ..., 1991; Оценка ..., 1994; Viklander, 1999). Среднемноголетняя концентрация нерастворимых частиц в свежеснежном снеге в Мурманске в 2018–2022 гг. составила $13.03 \pm 1.85 \text{ мг/л}$ ($n = 48$), в 10 км от города – $5.50 \pm 0.45 \text{ мг/л}$ ($n = 28$), в 20 км от города – $4.64 \pm 0.37 \text{ мг/л}$ ($n = 17$). Если в Мурманске концентрация нерастворимых частиц достигала 186 мг/л, то в 10 км от города она не превышала 12 мг/л, а в 20 км от города – 8 мг/л (при этом концентрации менее 2 мг/л никогда не наблюдались). Фоновый диапазон концентраций нерастворимых аэрозолей в свежеснежном снеге в г. Мурманске и его окрестностях в исследуемый период составлял 3–15 мг/л. Концентрации нерастворимых частиц имеют трехмодальное распределение: первая мода – 4.9 мг/л, вторая – 28.6 мг/л, третья – 44.9 мг/л.

С 2018 по 2020 годы среднегодовые концентрации нерастворимых частиц в свежеснежном снеге постепенно увеличивались (рис. 1а) и в 2020 г. достигли $8.7 \pm 0.46 \text{ мг/л}$ ($n = 24$), в дальнейшем они стали резко снижаться и в 2022 г. составили $4.68 \pm 0.29 \text{ мг/л}$ ($n = 10$). Наиболее высокие концентрации нерастворимых частиц в свежеснежном снеге (без ураганно высоких) наблюдались в декабрьские (в среднем – $8.69 \pm 0.97 \text{ мг/л}$, $n = 13$) и февральские (в среднем – $8.45 \pm 0.69 \text{ мг/л}$, $n = 14$) снегопады, наиболее низкие – в октябрьские (в среднем – $5.77 \pm 0.81 \text{ мг/л}$, $n = 9$) и майские ($5.21 \pm 0.79 \text{ мг/л}$, $n = 5$) снегопады (рис. 1б).

При удалении от города концентрация нерастворимых частиц в свежеснежном снеге снижается, и в 20 км от города она сопоставима с количеством аэрозолей в снеге фоновых районов северного побережья Кольского полуострова (Нерастворимые ..., 2019).

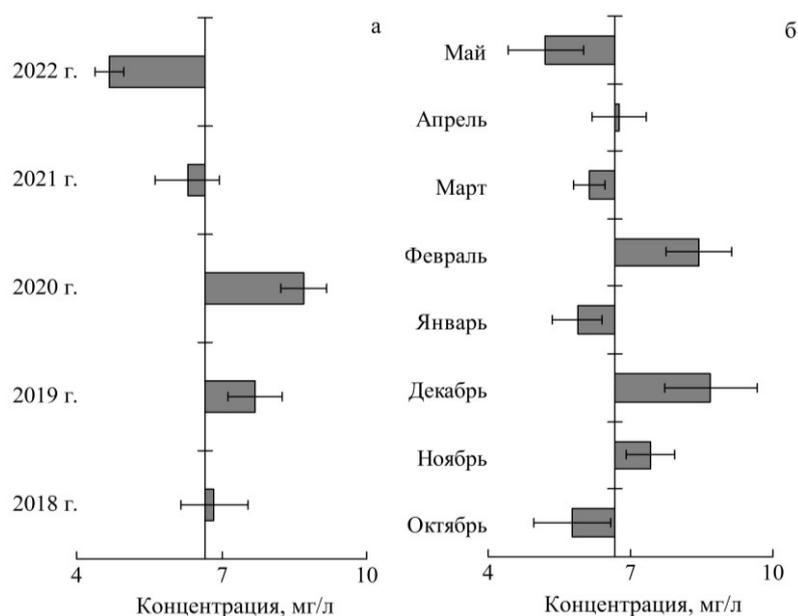


Рис. 1. Среднегодовые (а) и среднемесячные (б) концентрации нерастворимых частиц в снеге
Fig. 1. Average annual (a) and average monthly (б) concentrations of insoluble particles in snow

Концентрация тяжелых металлов в талой снеговой воде. Из литературных источников известно, что в Арктике в 1 м³ воздуха в среднем содержится 18.5 нг цинка, 3.32 нг свинца, 0.341 нг меди и 0.172 нг кадмия. Эти тяжелые металлы, адсорбируясь снежными кристаллами, выпадают из атмосферы на земную поверхность (Шевченко, 2006). В снежном покрове Кольского полуострова концентрации Zn, Pb, Cu, значительно превышают концентрации этих элементов в фоновых районах Арктики (в центральных и северных районах Гренландского, Баренцева, Карского морей и моря Лаптевых, центральной части Северного Ледовитого океана) (Виноградова, Полисар, 1995; Аэрозоли ..., 2000; Куценогий, Куценогий, 2000; Шевченко, 2006), но при этом они ниже, чем в крупных северных промышленных центрах – городах Норильск и Архангельск (Химический ..., 1991; Оценка ..., 1994; Viklander, 1999; Шевченко, 2006; табл. 1).

Таблица 1

Среднее содержание тяжелых металлов в талой снеговой воде, нг/г

Table 1

Average content of heavy metals in snowmelt water, ng/g

Район	Zn	Cu	Pb	Cd
Фоновые районы Арктики	7.01	0.771	0.397	0.240
Города Норильск и Архангельск	47.2	42.0	4.64	0.708
Кольский полуостров	16.9	24.1	0.981	0.116
Север Кольского полуострова, 2018 г.	34.5±8.03	6.75±2.82	1.63±0.63	0.992±0.325

ПРИМЕЧАНИЕ. Здесь и далее: ± – доверительный интервал.

Цинк. В свежевыпавшем снеге в г. Мурманске и его окрестностях концентрация Zn изменялась от 7.94 до 118.4 нг/г, аналогичные диапазоны изменения характерны для северных промышленных центров (Химический ..., 1991; Оценка ..., 1994; Viklander, 1999; Шевченко, 2006). Среднеголетняя концентрация Zn в районе исследований составила 60.1±9.8 нг/г, при этом в г. Мурманске – 48.5±14.5 нг/г, в 10 км от города – 72.6±9.2 нг/г, в 20 км от города – 102.7±16.1 нг/г. Вероятно, высокая концентрации Zn связана с работой горнодобывающего предприятия на северо-западе Мурманской области. Наиболее высокие концентрации Zn в свежевыпавшем снеге наблюдались в апрельские и мартовские

снегопады 2021 г., а его низкие концентрации постоянно наблюдались в февральские снегопады. В целом, начиная с 2019 г., среднегодовые концентрации Zn постоянно увеличивались (рис. 2).

Медь. Концентрация Cu в свежеснегоснеге в г. Мурманске и его окрестностях изменялась от 2.46 до 32.2 нг/г. Среднеголетняя концентрация Cu в г. Мурманске и его окрестностях составила 11.0 ± 2.6 нг/г, в г. Мурманске – 11.5 ± 3.7 нг/г, в 10 км от города – 8.9 ± 1.2 нг/г, в 20 км от города – 5.2 ± 0.9 нг/г. Количество Cu в снеге значительно ниже, чем в крупных северных промышленных центрах, а также ниже, чем в снежном покрове Кольского полуострова в целом (Химический ..., 1991; Оценка ..., 1994; Viklander, 1999; Шевченко, 2006). Только в единичные снегопады концентрация Cu в свежеснегоснеге в районе г. Мурманска и его окрестностях может превышать среднюю концентрацию этого металла в снежном покрове Кольского полуострова (Нерастворимые ..., 2019).

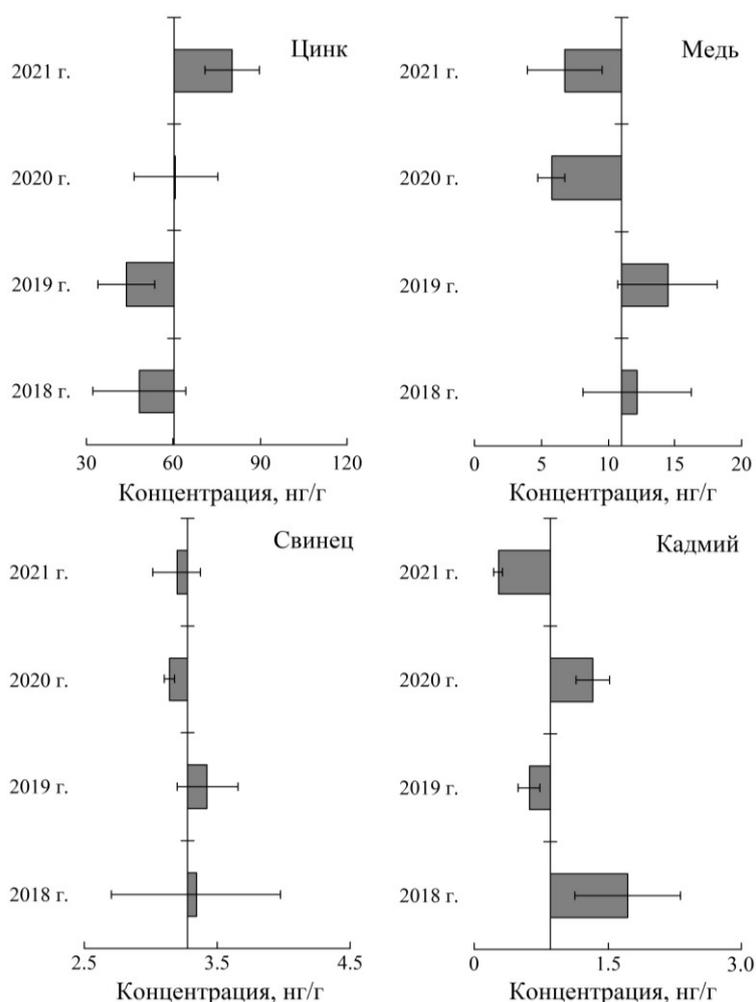


Рис. 2. Концентрации тяжелых металлов
Fig. 2. Change in the concentration of heavy metals

Наиболее высокие концентрации Cu в свежеснегоснеге наблюдались в февральские снегопады 2019 г., низкие – в апрельские и мартовские снегопады постоянно. В целом в 2018–2019 гг. среднегодовые концентрации Cu были высокими, в 2020–2021 гг. они резко снизились – более чем в 2 раза (рис. 2).

Свинец. В районе исследований концентрация Pb в свежеснегоснеге изменялась от 0.05 до 332 нг/г, при этом среднеголетняя концентрация составила 3.28 ± 0.18 нг/г (в г. Мурманске –

7.22±2.7 нг/г, в 10 км от города – 1.44±0.61 нг/г, в 20 км от города – 0.20±0.04 нг/г). Высокая концентрация Pb отмечена в г. Мурманске, она в 1.5 раза превышает аналогичные значения в крупных северных промышленных центрах – Норильске и Архангельске (табл. 1). Уже в 10 км от Мурманска концентрация Pb снижается и становится сопоставима со средним количеством Pb в снежном покрове Кольского полуострова (Химический ..., 1991; Оценка ..., 1994; Viklander, 1999; Шевченко, 2006; Нерастворимые ..., 2019). В 20 км от г. Мурманска количество Pb в снеге в среднем ниже, чем в фоновых районах Арктики (Виноградова, Полисар, 1995; Куценогий, Куценогий, 2000; Шевченко, 2006; Нерастворимые ..., 2019).

Наиболее высокая концентрация Pb в свежеснеговом снеге наблюдалась в февральские снегопады 2019 и 2020 гг., низкая – в апрельские и мартовские снегопады. В целом в 2018–2019 гг. среднегодовые концентрации Pb были высокими, с большим стандартным отклонением, а в 2020–2021 гг. они значительно снизились (рис. 2).

Кадмий. В свежеснеговом снеге в г. Мурманске и его окрестностях концентрация Cd изменялась от 0.010 до 20.68 нг/г, среднемноголетняя концентрация Cd в исследуемом районе составила 0.859±0.096 нг/г, при этом в г. Мурманске – 1.293±0.595 нг/г, в 10 км от города – 0.423±0.110 нг/г, в 20 км от города – 0.436±0.193 нг/г. Среднее количество Cd в снеге в Мурманске почти в 2 раза выше, чем в крупных северных промышленных центрах – Норильске и Архангельске (табл. 1). Уже в 10 км от города концентрация Cd снижается в 3 раза, но все равно остается высокой, почти в 4 раза превышая его средние показатели в снежном покрове Кольского полуострова (табл. 1).

Наиболее высокая концентрация Cd в свежеснеговом снеге наблюдалась в февральские снегопады 2019 и 2020 гг. (в 2019 г. была выявлена ураганно высокая концентрация – более 20 нг/г), низкая – наблюдалась постоянно в мартовские снегопады. В целом в 2018–2021 гг. отмечено снижение количества Cd, но при этом намечается трехлетняя квазициклическая тенденция – снижение концентрации с последующим ее увеличением (2018–2020 гг.), либо ее увеличение с последующим снижением (2019–2021 гг.) (рис. 2).

В 2018–2021 годах в свежеснеговом снеге в г. Мурманске и его окрестностях наблюдался рост концентрации цинка и снижение меди, свинца и кадмия. При этом концентрация цинка, свинца и кадмия значительно превышает средние значения этих элементов в снежном покрове Кольского полуострова. Необходимо отметить, что при удалении от города содержание меди, свинца и кадмия в снеге уменьшается, а цинка увеличивается. В целом в г. Мурманске и его окрестностях в атмосфере содержится повышенное количество тяжелых металлов (Нерастворимые ..., 2019).

Концентрация биогенных элементов в свежеснеговом снеге. Суммарное количество биогенных элементов в талой снеговой воде в районе исследований изменялось от 4.7 до 348 мкг-ат/л (в среднем – 90.7±11.4 мкг-ат/л, n = 92). Фоновый диапазон концентраций биогенных элементов в талой снеговой воде – 20–110 мкг-ат/л.

В течение четырех лет наблюдалась стабильная суммарная концентрация биогенных элементов в талой снеговой воде, только в 2020 г. она значительно снизилась (табл. 2, рис. 3а). Аномально высокие концентрации биогенных элементов (более 150 мкг-ат/л) постоянно наблюдались в февральские и апрельские снегопады (рис. 3б).

Концентрация биогенных элементов имеет одномодальное распределение (мода – 84 мкг-ат/л). Непосредственно в г. Мурманске она изменялась от 4.7 до 348 мкг-ат/л, в среднем составляя 85±14 мкг-ат/л (n = 54), в 10 км от города – от 9.0 до 272 мкг-ат/л (в среднем – 104±23 мкг-ат/л, n = 26), в 20 км от города – от 13 до 220 мкг-ат/л (в среднем – 89±9 мкг-ат/л, n = 12).

В составе биогенных элементов преобладали нитраты, доля которых не опускалась ниже 25 % (в среднем – 82±3 %). Наиболее высокая доля нитратов среди биогенных элементов отмечена в 20 км от города, где она всегда более 75 % (в среднем – 92±3 %).

Установлено, что в февральские и апрельские снегопады в свежеснеговом снеге концентрация биогенных элементов не опускается ниже 130 мкг-ат/л, а в мартовские и майские снегопады не превышает 75 мкг-ат/л (табл. 3).

Таблица 2

Средняя концентрация биогенных элементов, мкг-ат/л

Table 2

Average concentration of biogenic elements in freshly fallen snow, µg-at/l

Район	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Г. Мурманск	85±15 (n = 2)	102±10 (n = 18)	74±14 (n = 14)	73±8 (n = 18)
10 км от города	120±13 (n = 6)	104±23 (n = 6)	99±24 (n = 6)	152±49 (n = 8)
20 км от города	89±9 (n = 3)	220±34 (n = 3)	81±18 (n = 6)	92±6 (n = 3)

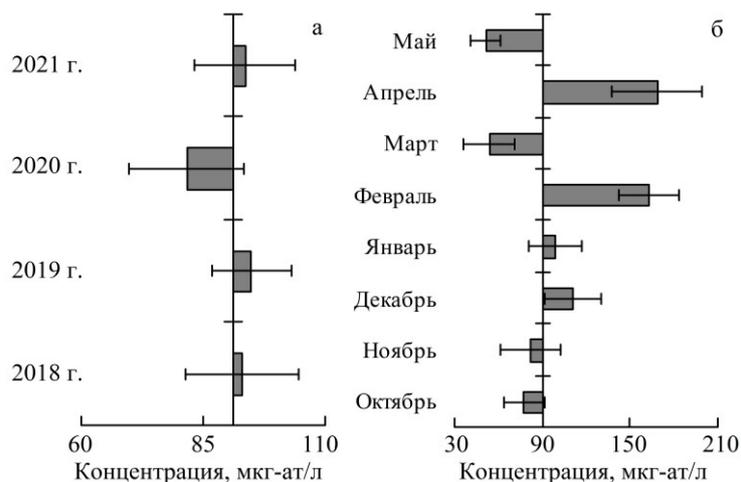


Рис. 3. Среднегодовые (а) и среднемесячные (б) концентрации биогенных элементов
Fig. 3. Average annual (a) and average monthly (б) concentration of biogenic elements

Таблица 3

Среднемесячная концентрация биогенных элементов, мкг-ат/л

Table 3

Average monthly concentration of biogenic elements, µg-at/l

Месяц	Биогенные элементы	Нитраты	Нитриты	Фосфаты	Минеральный кремний
Октябрь (n = 8)	77±17	52±6	0.63±0.06	5.3±1.3	19.9±7.0
Ноябрь (n = 10)	82±20	51±16	1.37±0.31	2.3±1.1	26.8±3.5
Декабрь (n = 10)	111±19	104±18	1.29±0.29	3.8±0.3	2.2±0.5
Январь (n = 18)	99±19	86±15	0.71±0.21	4.6±1.0	7.8±2.3
Февраль (n = 18)	162±21	101±16	0.89±0.18	6.7±0.7	53.9±4.5
Март (n = 14)	54±18	36±12	0.96±0.21	6.1±0.6	11.0±4.2
Апрель (n = 10)	168±31	95±17	0.63±0.17	4.7±1.2	68.4±12.6
Май (n = 4)	52±10	41±6	1.16±0.17	3.1±0.3	6.2±0.7

Количество нитратов в талой снеговой воде изменялось от 4 до 270 мкг-ат/л, в среднем составляя 79±11 мкг-ат/л (n = 92). Максимальная концентрация нитратов наблюдалась в 20 км от города – в среднем составляя 102±2 мкг-ат/л (n = 12), а минимальная в Мурманске – 72±10 мкг-ат/л (n = 54). Концентрация нитратов в талой снеговой воде в 2018 и 2020 гг. была низкая (менее 70 мкг-ат/л), а в 2019 и 2021 гг. – высокая (более 85 мкг-ат/л). В составе биогенных элементов доля нитратов в среднем составляет 82±8 %. Минимальная доля нитратов в составе биогенных элементов наблюдалась в 10 км от г. Мурманска в октябрьские снегопады 2019 г. (менее 25 %). Высокая концентрация нитратов (более 85 мкг-ат/л) характерна для декабрьских, январских, февральских и

апрельских снегопадов (табл. 3, рис. 4). В целом осенью (октябрь–ноябрь) и весной (март–май) количество нитратов в свежеснегоснеге значительно ниже, чем зимой. В 2019–2021 годах среднегодовые концентрации нитратов в свежеснегоснеге постепенно увеличивались, но их отличия не достоверны (рис. 5).

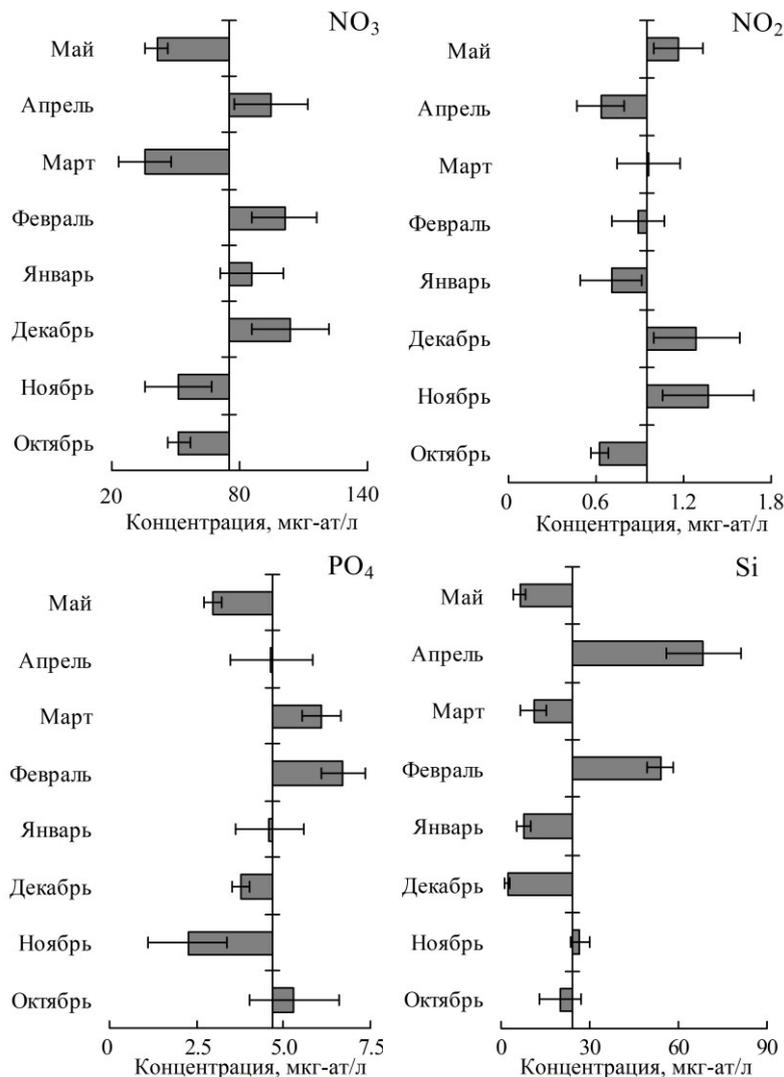


Рис. 4. Среднемесячные концентрации биогенных элементов в талой снеговой воде
Fig. 4. Mean monthly concentrations of biogenic elements in melted snow water

Концентрация нитритов в талой снеговой воде колебалась от 0.05 до 4.9 мкг-ат/л, в среднем – 1.02 ± 0.14 мкг-ат/л ($n = 92$). Максимальная концентрация нитритов отмечена в 20 км от города – в среднем составляя 2.06 ± 0.02 мкг-ат/л ($n = 12$), а минимальная в 10 км от города – 0.66 ± 0.12 мкг-ат/л ($n = 24$). Содержание нитритов в талой снеговой воде в 2019 г. было аномально высоким на всей исследованной территории (в среднем – 1.50 ± 0.19 мкг-ат/л, $n = 28$). Во все другие периоды наблюдений концентрация нитритов была менее 1 мкг-ат/л (рис. 3). В составе биогенных элементов доля нитритов в среднем составляет 2.0 ± 0.4 %, минимальная доля нитритов (< 0.1 %) наблюдалась в октябрьские снегопады 2019 г. по всей площади исследования. В течение холодного периода года высокие концентрации нитритов в талой снеговой воде постоянно отмечались в ноябрьские и декабрьские снегопады (табл. 3). В целом можно выделить два квазицикла – с октября по январь и с

января по апрель (в обоих циклах вначале наблюдается рост концентрации нитритов с последующим их снижением; рис. 4). В целом отмечено постепенное увеличение среднегодовых концентраций нитритов, в 2019 г. они были аномально высокими (рис. 5).

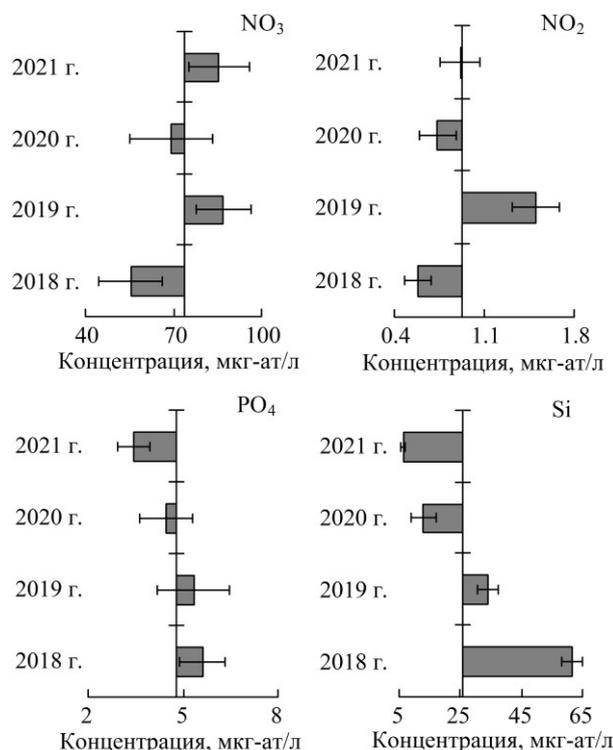


Рис. 5. Среднегодовые концентрации биогенных элементов в талой снеговой воде
Fig. 5. Average annual concentrations of nutrients in melted snow water

В талой снеговой воде содержание фосфатов изменялось от 0.4 до 18.3 мкг-ат/л (в среднем – 4.64 ± 0.67 мкг-ат/л, $n = 92$). Максимальные концентрации фосфатов наблюдались в г. Мурманске – в среднем составляя 5.37 ± 0.90 мкг-ат/л ($n = 54$), а минимальные в 20 км от города – 1.74 ± 0.73 мкг-ат/л ($n = 12$). Количество фосфатов в талой снеговой воде уменьшалось с 2018 г. (5.62 ± 1.31 мкг-ат/л) по 2021 г. (3.45 ± 0.51 мкг-ат/л). В составе биогенных элементов доля фосфатов в среднем составляла 9.3 ± 2.1 %, но в отдельные снегопады достигала 63 %. Минимальная доля фосфатов (< 1 %) наблюдалась в ноябрьские снегопады 2019 г., максимальная – в ноябрьские 2018 г. и январские 2019 г. (> 60 %). В течение холодного периода года концентрация фосфатов характеризуется одним циклом – с ноября по февраль она увеличивается, а с февраля по май снижается (табл. 3, рис. 4). В целом наблюдается постепенное снижение среднегодовых концентраций фосфатов (рис. 5).

Количество минерального кремния изменялось от 1 до 335 мкг-ат/л (в среднем – 25 ± 5 мкг-ат/л, $n = 92$). Максимальные концентрации силикатов наблюдались в г. Мурманске – в среднем составляя 28 ± 2 мкг-ат/л ($n = 54$), а минимальные – в 20 км от города – 10 ± 1 мкг-ат/л ($n = 27$). Содержание силикатов в снеге постоянно снижалось с 2018 по 2021 гг. В составе биогенных элементов доля силикатов в среднем составляет 27 ± 5 %, максимальная доля отмечена в январские и февральские снегопады 2019 г. в г. Мурманске (> 80 %). Постоянно высокие концентрации минерального кремния (более 50 мкг-ат/л, $n = 14$) наблюдались в февральские и апрельские снегопады, низкие – в декабрьские, январские и майские снегопады (менее 10 мкг-ат/л, $n = 12$; рис. 4, табл. 3). В целом наблюдается постепенное снижение среднегодовых концентраций силикатов (рис. 5).

Таким образом, в составе свежеснегования присутствуют биогенные элементы, по концентрации сопоставимые с количеством этих элементов в прибрежных баренцевоморских

водах в период предшествующий активной вегетации (Контроль ..., 1988). В составе биогенных элементов преобладают минеральные формы азота (особенно нитраты) и лишь в отдельные снегопады содержание минеральных форм кремния и фосфора больше, чем суммарное содержание соединений азота.

Следует отметить, что в г. Мурманске и его окрестностях в твердых атмосферных осадках концентрация биогенных элементов слабо изменяется во времени, коэффициент вариации не превышает 5 %. При этом, начиная с 2018 г., концентрация минеральных форм азота увеличивается, а фосфора и кремния уменьшается.

Концентрация органического вещества в свежеснегавыпавшем снеге. Количество органического вещества (ОВ) в талой снеговой воде в г. Мурманске и его окрестностях изменялось от 0.75 до 64.8 мг/л (в среднем – 21.2 ± 2.2 мг/л, мода – 14.2 мг/л, медиана – 17.7 мг/л, $n = 92$) при одномодальном распределении. Фоновый диапазон концентраций ОВ в талой снеговой воде составлял 13–28 мг/л.

В течение четырех лет в талой снеговой воде среднегодовые концентрации ОВ не имели достоверных отличий (табл. 4), но в 2020 г. они несколько превышали среднееголетний показатель (рис. 6а). Аномально высокие концентрации ОВ (более 25 мг/л) постоянно наблюдались в февральские и апрельские снегопады, а аномально низкие (менее 15 мг/л) – в ноябрьские и майские снегопады (рис. 6б).

Таблица 4
 Среднегодовая концентрация органического вещества в свежеснегавыпавшем снеге, мг/л
 Table 4
 Average annual concentration of organic matter in freshly fallen snow, mg/l

Район	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Г. Мурманск	23.0 ± 1.0 ($n = 2$)	23.6 ± 2.9 ($n = 18$)	27.2 ± 4.2 ($n = 14$)	18.6 ± 1.7 ($n = 18$)
10 км от города	26.0 ± 1.6 ($n = 6$)	11.8 ± 1.8 ($n = 6$)	17.8 ± 2.1 ($n = 6$)	32.6 ± 2.4 ($n = 8$)
20 км от города	12.2 ± 2.8 ($n = 3$)	24.3 ± 1.6 ($n = 3$)	13.0 ± 2.3 ($n = 6$)	14.0 ± 1.5 ($n = 3$)

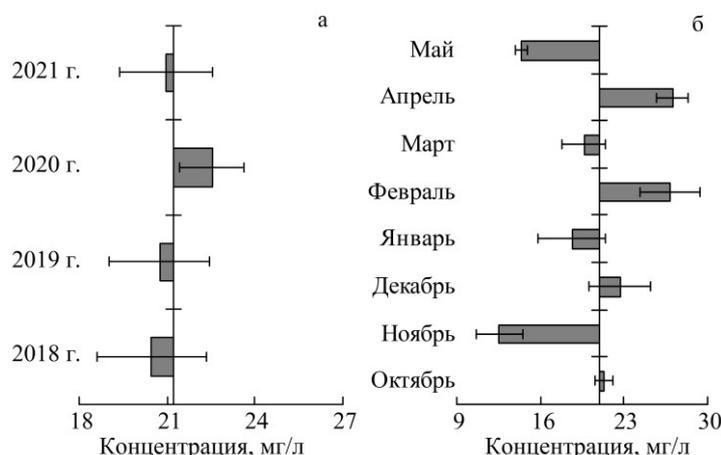


Рис. 6. Среднегодовые (а) и среднемесячные (б) концентрации органического вещества в свежеснегавыпавшем снеге
Fig. 6. Average annual (a) and average monthly (b) concentration of organic matter in freshly fallen snow

Непосредственно в г. Мурманске концентрация ОВ изменялась от 0.75 до 64.8 мг/л, в среднем составляя 22.2 ± 3.2 мг/л ($n = 54$). В течение трех лет количество ОВ в снеге в г. Мурманске увеличивалось, но в 2021 г. резко снизилось (табл. 4). В 10 км от города концентрация ОВ изменялась от 2.5 до 48.5 мг/л (в среднем – 21.4 ± 3.4 мг/л, $n = 26$). После резкого снижения в 2019 г. (по сравнению с 2018 г.) она стала увеличиваться, и в 2021 г. превысила среднееголетнее значение в 1.5 раза (табл. 4). В 20 км от города количество ОВ изменялось от 1.5 до 36.8 мг/л (в среднем –

15.6±6 мг/л, n = 12). В целом в 20 км от города концентрация ОВ достаточно стабильна и только в 2019 г. ее значения были аномально высокими (в 1.5 раза больше среднеголетних; табл. 4).

Установлено, что в течение холодного периода года высокие концентрации ОВ в свежеснеге постоянно наблюдаются в октябрьские (21.2±0.8 мг/л, n = 7), декабрьские (22.6±2.6 мг/л, n = 10), февральские (26.8±2.5 мг/л, n = 20) и апрельские (27.0±1.3 мг/л, n = 10) снегопады. Низкие – в ноябрьские (12.6±1.9 мг/л, n = 12) и майские (14.4±1.0 мг/л, n = 4) снегопады (рис. 6б). Среднее количество ОВ в январские снегопады – 18.6±2.8 мг/л (n = 18), в мартовские – 19.6±1.8 мг/л (n = 12).

Таким образом, в составе свежеснега присутствует ОВ, концентрация которого превышает летне-осеннее содержание растворенного $C_{орг}$ в водах, льдах и снеге Баренцева моря (Агатова и др., 2007), но оно сопоставимо с количеством растворенного ОВ в Белом море (Комплексные ..., 2004; Система ..., 2012).

Следует отметить, что в г. Мурманске и его окрестностях концентрация ОВ в твердых атмосферных осадках имеет сильную отрицательную связь с концентрацией биогенных элементов (–0.958 – коэффициент ранговой корреляции).

Концентрация полимерных частиц в свежеснеге. В твердых атмосферных осадках постоянно присутствовали волокна и фрагменты различных полимеров. В связи с особенностями методической работы мы разделили полимерные волокна на 2 группы – макро- (длина более 1 мм) и микроволокна (длина менее 1 мм). Макроволокна встречались всех цветов (в том числе бесцветные и прозрачные), их длина достигала 7 см (в среднем – 3±0.3 см, n = 1350). Средняя длина микроволокон составляла 757±34 мкм (медиана – 738, мода – 779, n = 3400), в связи с окрашиванием фильтров изначальный цвет микроволокон определить невозможно. Толщина всех волокон изменялась от 5 до 20 мкм (в среднем – 16±0.3 мкм, n = 4750).

Среднее количество макроволокон в талой снеговой воде в г. Мурманске и его окрестностях составляло 29±4 нити/л (n = 48), среднее количество микроволокон – 638±134 нити/л (n = 48). При удалении от Мурманска количество всех полимерных волокон в свежеснеге уменьшается (табл. 5), при этом количество макроволокон в 1 л талой снеговой воды почти в 20 раз меньше, чем количество микроволокон (таблицы 5, 6). Аномально большое количество полимерных волокон в твердых атмосферных осадках наблюдалось в мартовские снегопады 2021 г., в декабрьские и январские снегопады оно значительно ниже средних показателей (табл. 6). В целом в течение холодного периода года количество полимерных волокон в твердых атмосферных осадках увеличивалось и только в апреле их количество резко снижалось (табл. 6). Необходимо отметить, что количество полимерных волокон в г. Мурманске и его окрестностях меньше, чем среднее их количество на севере Кольского полуострова (Митяев и др., 2022), это может свидетельствовать о том, что городская инфраструктура не является их поставщиком в атмосферу.

Таблица 5

Содержание полимерных частиц в свежеснеге в 2020–2021 гг.

Table 5

Number of polymer particles in freshly fallen snow in 2020–2021

Район	Количество волокон, нитей/л		Количество фрагментов, частиц/л
	длина > 1 мм	длина < 1 мм	
Г. Мурманск	33±4	710±56	9436±1963
10 км от города	23±2	592±23	8507±891
20 км от города	26±2	517±72	5878±672

Максимальный размер изометричных полимерных фрагментов 700 мкм, средний диаметр – 62±2 мкм (медиана – 59 мкм, мода – 64 мкм, n = 31000). Количество полимерных фрагментов в 1 л талой снеговой воды в среднем составляло 7766±1401 частиц, что на порядок больше чем количество полимерных волокон. Максимальное количество полимерных фрагментов в твердых атмосферных осадках наблюдалось в февральские и апрельские снегопады (табл. 6). При удалении от г. Мурманска количество полимерных фрагментов в свежеснеге уменьшается (табл. 5). При этом в 10 км

от города эти различия незначительны и недостоверны, в 20 км от города они достоверны, а их среднее значение не отличается от среднего количества полимерных фрагментов в свежеснеге на севере Кольского полуострова (Митяев и др., 2022). Вероятно, в городской инфраструктуре есть источник поступления полимерных фрагментов в атмосферу.

Таблица 6

Содержание полимерных частиц в свежеснеге в 2020–2021 гг.

Table 6

Number of polymer particles in freshly fallen snow in 2020–2021

Время наблюдений	Количество волокон, нитей/л		Количество фрагментов, частиц/л
	длина > 1 мм	длина < 1 мм	
Декабрь 2020 г.	50±2	291±27	2634±760
Январь 2021 г.	42±3	371±24	7567±851
Февраль 2021 г.	25±4	708±119	10043±796
Март 2021 г.	23±8	947±54	6281±371
Апрель 2021 г.	18±5	491±57	10913±678

Заключение

В ходе исследований мы дополнительно получили три важных (с точки зрения авторов) результата. Остановимся на них.

В Мурманске и его окрестностях вещественный состав твердых нерастворимых частиц представлен тремя компонентами. Во-первых, резко преобладают (всегда более 50 %) частицы техногенного происхождения (сферы сгорания, зола, угольная пыль, микропластик). Во-вторых, в большом количестве встречаются мелкие неопределимые частицы (менее 1 мкм) различного цвета (желтых, зеленых, розовых тонов, белой или светло-серой окраски, а также прозрачные и бесцветные частицы). В-третьих, отмечены частицы природного происхождения (волокна и обрывки органического вещества; обломки минералов, в основном чешуйки слюд, изредка кварц и полевые шпаты).

Установлено, что концентрация нерастворимых частиц возрастает при увеличении плотности свежеснега ($r = 0.739$, $n = 54$), но эта зависимость сохраняется только в сухом пушистом снеге (плотность < 0.20 г/см³). В мокром плотном снеге (плотность > 0.20 г/см³) концентрация нерастворимых частиц уменьшается при увеличении плотности снега ($r = -0.898$, $n = 42$). Возможно несколько механизмов уменьшения концентрации аэрозольных частиц в мокром снеге:

- 1) кристаллы плотного (мокрого) снега обладают меньшей (по сравнению с пушистым снегом) способностью захватывать твердые аэрозольные частицы из атмосферы;
- 2) вымывание твердых частиц из мокрого снега в ходе прохождения его кристаллов через высокие слои атмосферы;
- 3) фильтрация твердых частиц из свежеснега в почвы после выпадения его на земную поверхность.

В зимний период резко преобладают два направления поступления воздушных масс на Мурманское побережье – с морской стороны (с севера и северо-запада) и со стороны континента (с юга и юго-запада). В первом случае воздушные массы пересекают Баренцево и Норвежское моря, во втором – Кольский полуостров, центральную и северную Финляндию. Воздушные массы с континента приносили твердые атмосферные осадки, содержавшие в себе повышенные концентрации нерастворимых частиц тяжелых металлов (Нерастворимые ..., 2019; рис. 7), микропластика (Митяев и др., 2022) и органического вещества, по сравнению с воздушными массами, поступающими со стороны Баренцева моря. Только концентрация биогенных элементов не имеет четкой связи с переносом воздушных масс, что, вероятно, связано с близостью незамерзающего моря.

Итак, подводя итог, отметим главное. В зимней атмосфере над г. Мурманском и его окрестностях находится повышенное количество твердых нерастворимых частиц, включая тяжелые металлы, микропластик и черный углерод (угольная пыль, сферы сгорания, сажа). С большой долей вероятности городская инфраструктура является поставщиком части этих веществ, так как при

удалении от города концентрация большинства этих элементов снижается. При этом важную роль в повышенных концентрациях нерастворимых аэрозолей над городом играют ветры южных румбов.

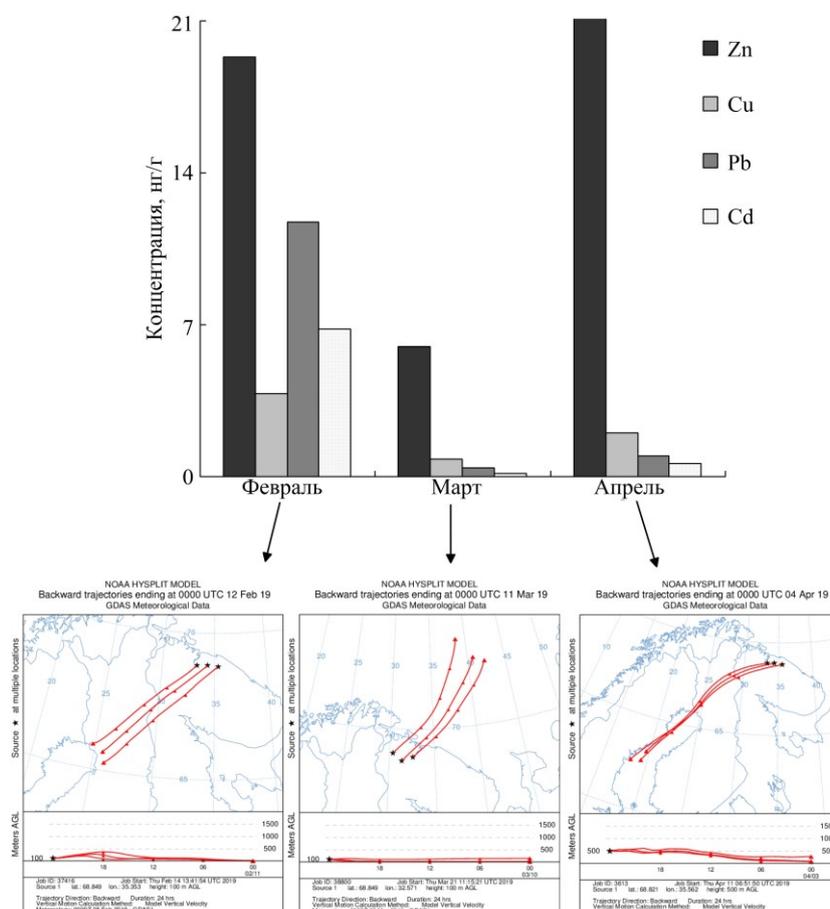


Рис. 7. Изменение концентрации тяжелых металлов в свежеснеге в зависимости от траектории переноса воздушных масс в 2019 г. В нижней части – обратные траектории переноса воздушных масс по модели NOAA HYSPLIT на высоте 500 м над уровнем моря

Fig. 7. Changes in the concentration of heavy metals in freshly fallen snow depending on the trajectory of air mass transfer 2019. In the lower part, reverse trajectories of air mass transfer according to the NOAA HYSPLIT model at an altitude of 500 m above sea level

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.

Список литературы

1. Агатова А. И., Латина Н. М., Торгунова Н. И. Органическое вещество Баренцева моря // Арктика и Антарктика. 2007. Вып. 5(39). С. 156–174.
2. Аэрозоли в природных планшетах Сибири / А. П. Бояркина, В. В. Байковский, Н. В. Васильев, Г. Г. Глухов, М. А. Медведев, Л. Ф. Писарева, В. И. Резчиков, С. И. Шелудько. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та, 1993. 157 с.
3. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований / В. П. Шевченко, А. П. Лисицын, А. А. Виноградова, В. В. Смирнов, В. В. Серова, Р. Штайн // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т. 13, № 6/7. С. 551–576.
4. Аэрозоли Арктики и их влияние на окружающую среду / В. П. Шевченко, А. П. Лисицын, А. А. Виноградова, К. П. Куценогий, В. В. Смирнов, Р. Штайн // Аэрозоли Сибири. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд. РАН, 2006. С. 148–184.

5. *Виноградова А. А., Полиссар А. В.* Элементный состав аэрозоля в атмосфере центральной части российской Арктики // Изв. РАН. Сер. “Физика атмосферы и океана”. 1995. Т. 32. С. 264–274.
6. *Евсеев А. В., Красовская Т. М.* Эколого-географические особенности природной среды районов Крайнего Севера России. Смоленск: Изд-во СГУ, 1996. 232 с.
7. Исследования нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби / В. П. Шевченко, С. Н. Воробьев, С. Н. Кирпотин, И. В. Крицков, Р. М. Монасыпов, О. С. Покровский, Н. В. Политова // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 499–504.
8. Комплексные океанографические исследования в Белом море в апреле 2003 г. / К. Н. Кособокова, А. Н. Пантюлин, А. Рахор, Т. Н. Ратькова, В. П. Шевченко, А. И. Агатова, Н. М. Лапина, А. А. Белов // Океанология. 2004. Т. 44, № 2. С. 313–314.
9. Контроль экологической ситуации в районе опытно-промышленной плантации водорослей в губе Дальнезеленецкой (оперативно-информационный материал) / Отв. ред. В. С. Петров. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1988. 52 с.
10. *Куценогий К. П., Куценогий П. К.* Аэрозоли Сибири. Итоги семилетних исследований // Сиб. экол. журн. 2000. № 1. С. 11–20.
11. *Митяев М. В.* Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2014. 226 с.
12. *Митяев М. В., Дружкова Е. И., Герасимова М. В.* Частицы синтетических полимеров в свежес выпавшем снеге на северо-западе Кольского полуострова в 2020–2021 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2022. Т. 68, № 3. С. 308–323. URL: <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-3-308-323>
13. Нерастворимые фракции аэрозолей и тяжелых металлов в свежес выпавшем снеге на северо-западе Кольского полуострова в 2018 г. / М. В. Митяев, М. В. Герасимова, И. В. Рыжик, Т. Г. Ишкулова // Лед и снег. 2019. Т. 59, № 3. С. 307–318. DOI: 10.15356/2076-6734-2019-3-386
14. Оценка современного состояния природной среды: Норильский промышленный район / В. М. Игамбердиев, О. М. Терешенков, Х. А. Кутыев, Е. Н. Попова // Народное хозяйство Республики Коми. 1994. № 1. С. 54–61.
15. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики / В. П. Шевченко, А. П. Лисицын, Р. Штайн, Н. В. Горюнова, А. А. Клювиткин, М. Д. Кравчишина, М. Кривс, А. Н. Новигацкий, В. Т. Соколов, А. С. Филиппов, Х. Хаас // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 1(75). С. 106–118.
16. Руководство по химическому анализу морских вод. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
17. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Под ред. В. В. Сапожникова. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
18. Система Белого моря. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. Т. 2. 784 с.
19. Современные методы гидрохимических исследований океана / Ред. О. К. Бордовский, А. М. Чернякова. М.: Ин-т океанологии РАН, 1992. 199 с.
20. Химический состав снежного покрова как показатель загрязнения на Кольском полуострове / Е. Л. Болтенко, А. В. Евсеев, А. В. Корзун, Т. Г. Сухова // Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. 5. География. 1991. № 5. С. 60–64.
21. *Чернов Р. А.* Метаморфизм и термические свойства свежес выпавшего снега (по исследованиям в Подмоскowie) // Лед и снег. 2016. Т. 56, № 2. С. 199–206.
22. *Шевченко В. П.* Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 226 с.
23. Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic / I. Peeken, S. Primpke, B. Beyer, J. Gutermann, C. Katlein, T. Krumpfen, M. Bergmann, L. Hehemann, G. Gerdtts // Nature Communications. 2018. Vol. 9. 1505 p.
24. Microplastic contamination in an urban area: a case study in greater Paris / R. Dris, J. Gasperi, V. Rocher, M. Saad, N. Renault, B. Tassin // Env. Chemistry. 2015. Vol. 12. 592 p. URL: <https://doi.org/10.1071/en14167>
25. Snow composition in eight catchments in the Central Barents Euro-Arctic region / P. Caritat, M. Dyrds, H. Niskavaara, V. Chekushin, I. Bogatyrev, C. Reimann // Atmospheric Env. 1998. Vol. 32, № 14/15. P. 2609–2626.
26. *Viklander M.* Substances in urban snow. A comparison of the contamination of snow in different parts of the city of Lulee, Sweden // Water, Air and Soil Pollution. 1999. Vol. 114. P. 377–394.

References

1. Agatova A. I., Lapina N. M., Torgunova N. I. Organicheskoe veshchestvo Barenceva morya [Organic matter of the Barents Sea]. *Arktika i Antarktika* [Arctic and Antarctic], 2007, Issue 5(39), pp. 156–174. (In Russ.)

2. Boyarkina A. P., Bajkovskij V. V., Vasil'ev N. V., Gluhov G. G., Medvedev M. A., Pisareva L. F., Rezchikov V. I., Shelud'ko S. I. *Aerozoli v prirodnyh planshetah Sibiri* [Aerosols in natural tablets of Siberia]. Tomsk: Publ. Tomsk State University, 1993, 157 p. (In Russ.).
3. Shevchenko V. P., Lisicyan A. P., Vinogradova A. A., Smirnov V. V., Serova V. V., Shtajn R. Aerozoli Arktiki – rezultaty desyatiletnih issledovanij [Arctic aerosols – the results of ten years of research]. *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and ocean], 2000, Vol. 13, No. 6/7, pp. 551–576. (In Russ.)
4. Shevchenko V. P., Lisicyan A. P., Vinogradova A. A., Kucenogij K. P., Smirnov V. V., Shtajn R. Aerozoli Arktiki i ih vliyanie na okruzhayushchuyu sredu [Arctic aerosols and their impact on the environment]. *Aerozoli Sibiri* [Aerosols of Siberia], Novosibirsk, Publ. Siberian Branch RAS, 2006, pp. 148–184. (In Russ.).
5. Vinogradova A. A., Polissar A. V. Elementnyj sostav aerolya v atmosfere central'noj chasti rossijskoj Arktiki [Elemental composition of aerosol in the atmosphere of the central part of the Russian Arctic]. *Izvestiya RAN. Seriya "Fizika atmosfery i okeana"* [News of the Russian Academy of Sciences. Series "Physics of the atmosphere and Ocean"], 1995, Vol. 32, pp. 264–274. (In Russ.).
6. Evseev A. V., Krasovskaya T. M. *Ekologo-geograficheskie osobennosti prirodnoj sredy rajonov Krajnego Severa Rossii* [Ecological and geographical features of the natural environment of the regions of the Far North of Russia]. Smolensk, Publ. Smolensk State University, 1996, 232 p. (In Russ.).
7. Shevchenko V. P., Vorob'ev S. N., Kirpotin S. N., Krickov I. V., Monasypov R. M., Pokrovskij O. S., Politova N. V. Issledovaniya nerastvorimyh chastic v snezhnom pokrove Zapadnoj Sibiri na profile ot Tomska do estuariya Obi [Studies of insoluble particles in the snow cover of Western Siberia on the profile from Tomsk to the Ob estuary]. *Optika atmosfery i okeana* [Optics of the atmosphere and ocean], 2015, Vol. 28, No. 6, pp. 499–504. (In Russ.).
8. Kosobokova K. N., Pantyulin A. N., Rahor A., Rat'kova T. N., Shevchenko V. P., Agatova A. I., Lapina N. M., Belov A. A. Kompleksnye okeanograficheskie issledovaniya v Belom more v aprele 2003 g [Comprehensive oceanographic research in the White Sea in April 2003]. *Okeanologiya* [Oceanology], 2004, Vol. 44, No. 2, pp. 313–314. (In Russ.).
9. Averintsev V. G., Baytaz V. A., Baytaz O. N., Bardan S. I., Kondakov A. V., Kuznetsov L. L., Moskvina M. I., Pesegov V. G., Sikorsky A. A., Fomin O. K., Chirkova Z. N., Shirokolobov V. N. *Kontrol' ekologicheskoy situacii v rajone opytно-promyshlennoj plantacii vodoroslej v gube Dal'nezelenekoj (operativno-informacionnyj material)* [Control of the ecological situation in the area of the experimental-industrial algae plantation in the bay of Dalnezelenetskaya (operational information material)]. Apatity, Publ. of the Kola Branch of the USSR Academy of Sciences, 1988, 52 p. (In Russ.).
10. Kucenogij K. P., Kucenogij P. K. Aerozoli Sibiri. Itogi semiletnih issledovanij [Aerosols of Siberia. Results of seven years of research]. *Sibirskiy ekologicheskij zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2000, No. 1, pp. 11–20. (In Russ.).
11. Mityaev M. V. *Murmanskoe poberezh'e (geologo-geomorfologicheskie i klimaticheskie osobennosti, sovremennye geologicheskie processy)* [Murmansk coast (geological, geomorphological and climatic features, modern geological processes)]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2014, 226 p. (In Russ.).
12. Mityaev M. V., Druzhkova E. I., Gerasimova M. V. Chasticy sinteticheskikh polimerov v svezhevypavshem snege na severo-zapade Kol'skogo poluostrova v 2020–2021 gg. [Particles of synthetic polymers in freshly fallen snow in the north-west of the Kola Peninsula in 2020–2021]. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Problems of the Arctic and Antarctic], 2022, Vol. 68, No. 3, pp. 308–323. Available at: <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-3-308-323> (In Russ.).
13. Mityaev M. V., Gerasimova M. V., Ryzhik I. V., Ishkulova T. G. Nerastvorimye frakcii aerolya i tyazhelyh metallov v svezhevypavshem snege na severo-zapade Kol'skogo poluostrova v 2018 g [Insoluble fractions of aerosols and heavy metals in freshly fallen snow in the north-west of the Kola Peninsula in 2018]. *Led i sneg* [Ice and snow], 2019, Vol. 59, No. 3, pp. 307–318. DOI: 10.15356/2076-6734-2019-3-386 (In Russ.).
14. Igamberdiev V. M., Tereshenkov O. M., Kutjev H. A., Popova E. N. Ocenka sovremennogo sostoyaniya prirodnoj sredy: Noril'skij promyshlennyj rajon [Assessment of the current state of the natural environment: Norilsk Industrial district]. *Narodnoe hozjajstvo Respubliki Komi* [The national economy of the Komi Republic], 1994, No. 1, pp. 54–61. (In Russ.).
15. Shevchenko V. P., Lisicyan A. P., Shtajn R., Goryunova N. V., Klyuvitkin A. A., Kravchishina M. D., Krivs M., Novigackij A. N., Sokolov V. T., Filippov A. S., Haas H. Raspredelenie i sostav nerastvorimyh chastic v snege Arktiki [Distribution and composition of insoluble particles in Arctic snow]. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Problems of the Arctic and Antarctic], 2007, No. 1(75), pp. 106–118. (In Russ.).
16. *Rukovodstvo po himicheskomu analizu morskikh vod* [Guidelines for chemical analysis of marine waters]. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1993, 264 p. (In Russ.).

17. *Rukovodstvo po himicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ekologicheskom monitoringe rybohozyajstvennykh vodoemov i perspektivnykh dlya promysla rajonov Mirovogo okeana* [Guidelines for chemical analysis of marine and fresh waters in environmental monitoring of fishery reservoirs and areas of the World Ocean that are promising for fishing], Moscow, Publ. VNIRO, 2003, 202 p. (In Russ.).
18. *Sistema Belogo morya. Vodnaya tolshcha i vzaimodejstviyushchie s nej atmosfera, kriosfera, rechnoj stok i biosfera* [The White Sea system. The water column and the atmosphere interacting with it, the cryosphere, river runoff and the biosphere]. Moscow, Scientific World Publishing House, 2012, Vol. 2, 784 p. (In Russ.).
19. *Sovremennye metody gidrohimicheskikh issledovanij okeana* [Modern methods of hydrochemical ocean research]. Moscow, Institut Oceanology RAS, 1992, 199 p. (In Russ.).
20. Boltenko E. L., Evseev A. V., Korzun A. V., Suhova T. G. Himicheskij sostav snezhnogo pokrova kak pokazatel' zagryazneniya na Kol'skom poluostrove [Chemical composition of snow cover as an indicator of pollution on the Kola Peninsula]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 5. Geografiya* [Bulletin of the Moscow State University. Geography Series], 1991, No. 5, pp. 60–64. (In Russ.).
21. Chernov R. A. Metamorfizm i termicheskie svojstva svezhevypavshogo snega (po issledovaniyam v Podmoskov'e) [Metamorphism and thermal properties of freshly fallen snow (according to research in the Moscow region)]. *Led i sneg* [Ice and snow], 2016, Vol. 56, No. 2, pp. 199–206. (In Russ.).
22. Shevchenko V. P. *Vliyanie aerorozlej na sredu i morskoe osadkonakoplenie v Arktike* [The effect of aerosols on the environment and marine sedimentation in the Arctic]. Moscow, Science, 2006, 226 p. (In Russ.).
23. Peeken I., Primpke S., Beyer B., Gutermann J., Katlein C., Krumpfen T., Bergmann M., Hehemann L., Gerdt G. Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic. *Nature Communications*, 2018. Vol. 9, 1505 p.
24. Dris R., Gasperi J., Rocher V., Saad M., Renault N., Tassin B. Microplastic contamination in an urban area: a case study in greater Paris. *Environmental chemistry*, 2015, Vol. 12, 592 p. Available at: <https://doi.org/10.1071/en14167>
25. Caritat P., Dyrds M., Niskavaara H., Chekushin V., Bogatyrev I., Reimann C. Snow composition in eight catchments in the Central Barents Euro-Arctic region. *Atmospheric Environment*, 1998, Vol. 32, No. 14/15, pp. 2609–2626.
26. Viklander M. Substances in urban snow. A comparison of the contamination of snow in different parts of the city of Lulee, Sweden. *Water, Air and Soil Pollution*, 1999, Vol. 114, pp. 377–394.

Информация об авторе

Максим Валентинович Митяев – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
<https://orcid.org/0000-0003-3059-6469>

Марина Васильевна Герасимова – кандидат географических наук, старший научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0002-2273-617X>

Елена Ивановна Дружкова – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0002-7891-0800>

Татьяна Геннадьевна Ишкулова – научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-6777-6693>

Мария Юрьевна Меньшакова – кандидат биологических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-0441-668X>

Information about the author

Maksim V. Mityaev – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-3059-6469>

Marina V. Gerasimova – PhD (Geography), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2273-617X>

Elena I. Druzhkova – PhD (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-7891-0800>

Tatyana G. Ishkulova – Research Associate, <https://orcid.org/0000-0002-6777-6693>

Maria Yu. Menshakova – PhD (Biology), Assistant Professor, <https://orcid.org/0000-0003-0441-668X>

Статья поступила в редакцию 04.04.2023; одобрена после рецензирования 13.04.2023; принята к публикации 17.04.2023.
The article was submitted 04.04.2023; approved after reviewing 13.04.2023; accepted for publication 17.04.2023.

Научная статья
УДК 574.34
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.008

О РОЛИ ПОЛИХЕТ РОДА *PHOLOE* В ДОННЫХ СООБЩЕСТВАХ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА

Константин Константинович Москвин

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
moskvin@mmbi.info

Аннотация

Для полихет рода *Pholoe* Кольского залива (1995 и 2017 гг.) проведен анализ динамики численности в разные климатические фазы и оценена их роль в биоценозах. С 1995 года в южной и центральной частях залива численность не изменилась, а в северной – увеличилась на два порядка. Наиболее сильно роль *Pholoe* в биоценозах (доля в общей биомассе) возросла в северной части залива.

Ключевые слова:

полихеты, *Pholoe*, экология, распространение, Кольский залив

Original article

ON THE ROLE OF POLYCHAETES OF THE GENUS *PHOLOE* IN BENTHIC COMMUNITIES OF THE KOLA INLET

Konstantin K. Moskvin

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
moskvin@mmbi.info

Abstract

The dynamics of polychaete abundance in different climatic phases and their role in biocenoses were analyzed in polychaetes of the Kola Inlet (1995 and 2017). Since 1995, the abundance in the southern and central parts of the bay has not changed, but it increased in the northern part by 2 orders of magnitude. The role of *Pholoe* in biocenoses increased most strongly in the northern part of the inlet.

Keywords:

polychaeta, *Pholoe*, ecology, distribution, the Kola Inlet

Введение

Полихеты рода *Pholoe* являются неотъемлемой частью придонных сообществ Баренцева моря. В Кольском заливе это проявляется в высоких показателях их частоты встречаемости и плотности поселения. Здесь объект исследования принято считать фоновым видом, не вносящим внушительного вклада в биомассу сообществ. Данный род живых организмов известен своим потенциалом к распространению в широком диапазоне изменения абиотических факторов, таких как флуктуации температуры и солености, увеличение и уменьшение давления с глубиной. Данная работа включает в себя один из этапов исследования экологии и биологии полихет Кольского залива, в котором сравнивается место полихет рода *Pholoe* в биоценозах придонных организмов Кольского залива во временном промежутке с 1995 по 2017 гг. (22 года). Исследования 1995 г. относятся к началу последнего периода потепления Арктики, в то время как 2017 г. ознаменовывает разгар данного периода.

Кольский залив – самый крупный фьорд на побережье Мурмана, он вдаётся в материк почти на 60 км. Акваторию залива условно делят на северное, среднее и южное колена, так как его очертания имеют два коленчатых изгиба. В направлении на север глубина залива постепенно возрастает (Зуев, 2009). В северном колене обычны крутые скалистые подводные обрывы. Все дно Кольского залива завалено обломочным материалом, сверху прикрытым песком, илом, глинистыми частицами или ракушей. В южном колене залива дно вблизи Кольской узкости из-за сильного течения покрыто речным гравием. Оставшаяся часть южного колена почти до границы со средним коленом завалена илом, ближе к берегу переходящим в илистый песок с камнями. Вблизи берегов илистый песок местами сменяется песком с примесью ракуши или камнями. В северном колене залива вся его

центральная часть также заполнена илом или илистым песком, прикрывающем камни. Для северного колена характерно присутствие крутых, почти отвесных скалистых обрывов (Дерюгин, 1915).

Отмечено, что южная часть Кольского залива более холодноводная и распресненная по сравнению с остальными. С апреля по июль температура воды повышается. В южном и среднем коленах в придонном слое температура воды возрастает от 2.9 до 3.1 °С, а соленость – от 34 до 34.3 ‰, в то время как в северном колене зафиксировано слабое варьирование температуры около 5 °С. Из-за речного стока соленость воды в южном колене меняется от 16.3 ‰ на поверхности до 33.8 ‰ у дна. В среднем и северном коленах соленость в поверхностном слое в сентябре увеличена до 23–33 ‰ (Моисеев, 2006). В настоящее время на дне Кольского залива имеют место обломки затопленных судов, а также скопления строительного и бытового мусора. В целом, в заливе наивысшая степень загрязнения морской среды зафиксирована в акватории южного колена, а также в районах расположения ремонтных баз Северного флота в среднем колене (Доклад ..., 2016).

Материал и методы

Пробы бентоса получены в рамках комплексных экспедиций на судах “ГС-440” и “Дальние Зеленцы” в рамках акватории Кольского залива в 1995 и 2017 гг. соответственно. Материал был отобран дночерпателем ван-Вина с площадью захвата 0.1 м² в трехкратной повторности, размер ячеек нижнего сита при промывке грунта – 0.75 мм. После промывки материал был зафиксирован в 4 %-м растворе формалина, нейтрализованного тетраборатом натрия (Руководство ..., 1983).

Были проанализированы составы биоценозов на 11 станциях, пробы на которых были отобраны в 1995 г., а также на 15 станциях 2017 г. Составы биоценозов сравнивались между собой посредством расчета вклада того или иного вида в биоценотическое сообщество по степени интенсивности метаболизма популяций (R) на станциях, расположенных на тех же координатах (табл. 1).

Таблица 1

Станции, совпадающие по координатам в исследованиях 1995 и 2017 гг.

Table 1

Coordinates of coinciding stations in 1995 and 2017

Номер станции	Координаты		Кольский залив
	с. ш.	в. д.	
1	68°5618'	33°0112'	Южное колено
2	68°5835'	33°0230'	Южное колено
3	69°0336'	33°0406'	Южное колено
4	69°0354'	33°1236'	Среднее колено
5	69°1444'	33°3135'	Северное колено
6	69°1455'	33°3359'	Северное колено

Степень интенсивности метаболизма популяций рассчитывалась по формуле

$$R = cN^{0.25}B^{0.75},$$

где N – численность, экз/м²; B – биомасса организмов, кДж/м²; c – специфический коэффициент удельной интенсивности метаболизма (Дж/ч) для конкретной таксономической группы (Экосистемы ..., 1990).

Для анализа использовались данные о плотности поселения (экз/м²) и биомассе (г/м²). Также была рассчитана частота встречаемости в пробах полихет рода *Pholoe*. Выполнен корреляционный анализ влияния на плотность поселения особей исследуемого вида глубины и температуры воды, а также биотических факторов.

Результаты и обсуждение

В районе исследований полихеты рода *Pholoe* характеризуются максимальной частотой встречаемости (100 %) как в 1995 г., так и в 2017 г. (наряду с полихетами рода *Chone* – 100 %

и вида *Praxillella praetermissa* – 100 %). Показатели распределения многощетинковых червей рода *Pholoe* в северном, среднем и южном коленах Кольского залива представлены на рис. 1.

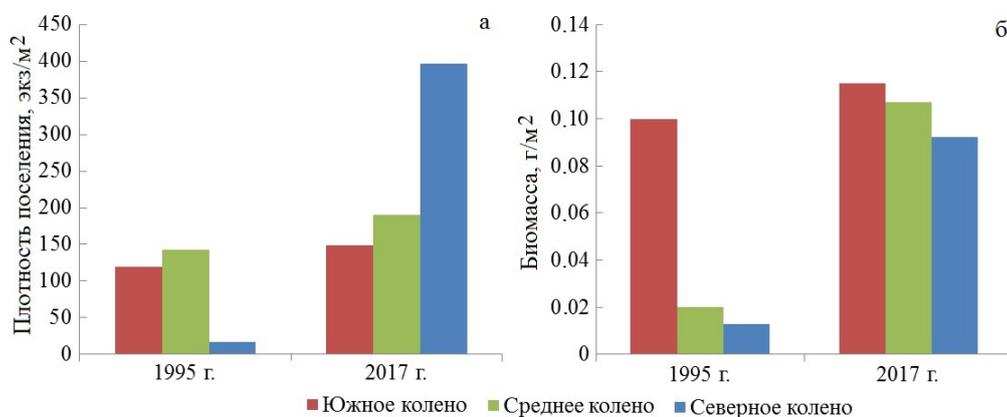


Рис. 1. Плотность поселения (а) и биомасса (б) полихет рода *Pholoe* в Кольском заливе
Fig. 1. Population density (a) and biomass (б) of *Pholoe* in the Kola Inlet

В 2017 году показатели плотности поселения полихет рода *Pholoe* не претерпели существенных изменений по сравнению с 1995 г. в южном и среднем коленах Кольского залива, в то время как их биомасса возросла. В южном колене в 1995 г. данные показатели составляли, соответственно, 119 экз/м² и 0.10 г/м², а в 2017 г. – 149 экз/м² и 0.12 г/м², в среднем – 142 экз/м² и 0.02 г/м² (1995 г.) и 190 экз/м² и 0.11 г/м² (2017 г.), в северном колене в 1995 г. – 16 экз/м² и 0.01 г/м², а в 2017 г. – 397 экз/м² и 0.09 г/м². Примечателен разительный скачок в развитии поселений полихет рода *Pholo* на севере залива, где их численность и биомасса увеличились на два порядка. Представители данного рода отличаются сравнительно высокой устойчивостью к изменению факторов окружающей среды (Москвин, 2021), потому причины специфической динамики их распределения требуют дальнейшего изучения. Достоверного влияния на их распространение таких абиотических факторов как глубина ($R^2 = 0.0217$), температура ($R^2 = 0.051$) и соленость ($R^2 = 0.0248$) в 2017 г. в Кольском заливе не зафиксировано. Данная информация свидетельствует о том, что источник изменений в исследуемых показателях следует искать среди биотических факторов среды.

Несмотря на малые размеры (длина до 10 мм, ширина до 2 мм) (Москвин, 2021) и сравнительно незначительные показатели биомассы, а также смену доминирующих видов в биоценозах, полихеты рода *Pholoe* продолжают играть ведущую роль в составе придонных сообществ Кольского залива. Здесь они зачастую занимают место в пределах первых пятнадцати видов по вкладу энергии в сообщество (табл. 2). В 2017 году объект исследований менее представлен в южной части Кольского залива, где его показатели удельного метаболизма, по сравнению с 1995 г., уменьшились в 20 раз. Данный район залива подвержен интенсивному воздействию хозяйственно-промышленного комплекса, где антропогенные нагрузки достигают наивысших значений, что может оказывать угнетающее воздействие как на полихет рода *Pholoe*, так и на потенциальные объекты их питания.

В 1995 году максимального показателя метаболизма полихеты рода *Pholoe* достигали в южном колене Кольского залива (21.7 кДж/м²), а минимального – в северном (0.3 кДж/м²). В 2017 году наблюдается обратная зависимость, где с продвижением на север был зафиксирован максимальный показатель удельного метаболизма многощетинковых червей данного рода – 8.2 кДж/м². Вклад в общий метаболизм исследуемых биоценозов в 1995 г. снижается с продвижением на север. В 2017 году наблюдается обратная зависимость (рис. 2). Со сменой биоценоза и увеличением преобладания в биоценозах двустворчатых моллюсков, удельный метаболизм полихет рода *Pholoe* также увеличивается, что свидетельствует о том, что они могут питаться молодью этих моллюсков, так как являются хищниками (Pleijel, 1983).

Таблица 2

Представители зообентоса, лидирующие на станциях по удельному метаболизму

Table 2

Metabolism dominant zoobenthic organisms at the studied stations

Станция	1995 г.		2017 г.	
	Таксон	R	Таксон	R
1	<i>Phyllodoce maculata</i>	470.2	<i>Alitta virens</i>	210.4
	<i>Macoma calcarea</i>	299.1	<i>Galathowenia oculata</i>	85.7
	Thyasiridae	275.5	<i>Scoloplos armiger</i>	51.0
	<i>Lanassa venusta venusta</i>	268.7	<i>Laonice cirrata</i>	49.7
	<i>Ampharete lindstroemi</i>	197.0	<i>Bipalponephthys neotena</i>	31.3
	Lumbrineridae g. sp.	73.1	<i>Glycera capitata</i>	28.6
	<i>Laonice cirrata</i>	54.5	<i>Chaetozone setosa</i>	25.2
	<i>Eteone agg. flava</i>	43.1	<i>Scoletoma fragilis</i>	19.4
	<i>Cistenides hyperborea</i>	26.8	<i>Arctica islandica</i>	18.4
	<i>Dipolydora quadrilobata</i>	25.9	<i>Macoma calcarea</i>	11.9
	Pholoe sp.	21.9	<i>Eteone agg. flava</i>	11.3
	<i>Galathowenia oculata</i>	20.2	<i>Mya truncata</i>	8.8
	<i>Capitella capitata</i>	12.1	<i>Terebellides stroemi</i>	8.4
	<i>Oligochaeta g. sp.</i>	11.8	<i>Cossura longocirrata</i>	7.8
	<i>Micronephthys neotena</i>	9.0	<i>Prionospio cirrifera</i>	4.9
	2	Nemertini	106.3	<i>Arctica islandica</i>
Thyasiridae		89.8	<i>Chaetozone setosa</i>	114.1
<i>Ophiura robusta</i>		35.4	<i>Galathowenia oculata</i>	103.9
Lumbrineridae g. sp.		30.5	<i>Eteone agg. flava</i>	65.6
<i>Eteone agg. flava</i>		24.9	<i>Scoletoma fragilis</i>	61.4
<i>Micronephthys neotena</i>		22.9	<i>Alitta virens</i>	52.9
<i>Macoma calcarea</i>		16.9	<i>Laonice cirrata</i>	51.6
<i>Capitella capitata</i>		14.0	<i>Cistenides hyperborea</i>	48.7
Amphipoda		13.1	<i>Scoloplos armiger</i>	43.7
Pholoe sp.		12.1	<i>Echiurus echiurus</i>	34.0
<i>Goniada maculata</i>		10.5	<i>Cossura longocirrata</i>	30.2
Chone sp.		10.0	<i>Notomastus latericeus</i>	26.0
<i>Glycera capitata</i>		9.3	<i>Ciliatocardium ciliatum</i>	22.8
<i>Cistenides hyperborea</i>		9.3	<i>Prionospio cirrifera</i>	21.2
Cirratulidae		8.6	<i>Goniada maculata</i>	20.0
3		<i>Nephtys ciliata</i>	89.8	<i>Nephtys ciliata</i>
	Nemertini	63.8	<i>Galathowenia oculata</i>	22.2
	Lumbrineridae g. sp.	42.9	<i>Bipalponephthys neotena</i>	18.6
	Amphipoda	24.8	<i>Yoldiella lenticula</i>	16.9
	<i>Alitta virens syn: Nereis virens</i>	23.2	<i>Terebellides stroemi</i>	9.1
	<i>Cistenides hyperborea</i>	21.3	<i>Prionospio cirrifera</i>	8.8
	<i>Micronephthys neotena</i>	19.4	Nemertini g. sp.	8.3
	Cirratulidae	12.7	<i>Notomastus latericeus</i>	6.0
	Thyasiridae	10.4	Pholoe sp.	4.3
	<i>Eteone agg. flava</i>	9.5	<i>Eudorella emarginata</i>	3.6

Окончание табл. 2

Станция	1995 г.		2017 г.		
	Таксон	R	Таксон	R	
3	<i>Laonice cirrata</i>	5.3	<i>Scoletoma fragilis</i>	3.3	
	<i>Terebellides stroemi</i>	5.1	<i>Chaetozone setosa</i>	3.0	
	Cumacea	3.0	<i>Laonice cirrata</i>	2.4	
	<i>Praxillella praetermissa</i>	2.8	<i>Crenella decussata</i>	1.9	
	<i>Prionospio cirrifera</i>	2.1	<i>Leucon nasica</i>	1.7	
4	Lumbrineridae g. sp.	66.8	<i>Polycirrus arcticus</i>	62.8	
	<i>Laonice cirrata</i>	33.7	<i>Notomastus latericeus</i>	38.6	
	<i>Praxillella praetermissa</i>	26.1	<i>Prionospio cirrifera</i>	23.0	
	<i>Nephtys ciliata</i>	24.1	<i>Nephtys ciliata</i>	18.6	
	<i>Terebellides stroemi</i>	15.4	<i>Scoletoma fragilis</i>	17.2	
	Amphipoda	13.7	<i>Glycera capitata</i>	14.0	
	<i>Phyllodoce groenlandica</i>	12.0	Nemertini g. sp.	11.4	
	<i>Prionospio cirrifera</i>	11.2	<i>Yoldiella lenticula</i>	9.7	
	<i>Eunoe oerstedii</i>	10.0	<i>Micronephthys minuta</i>	9.4	
	<i>Glycera capitata</i>	6.8	Pholoe sp.	7.4	
	Cirratulidae	6.7	<i>Terebellides stroemi</i>	6.8	
	Chone sp.	6.5	<i>Bipalponephthys neotena</i>	5.9	
	Pholoe sp.	4.0	Cirratulidae g. sp.	5.6	
	<i>Eteone agg. flava</i>	3.9	<i>Parathyasira equalis</i>	5.0	
	<i>Micronephthys neotena</i>	3.8	<i>Chaetoderma nitidulum</i>	3.0	
	5	<i>Nephtys ciliata</i>	95.2	<i>Crenella decussata</i>	95.3
		Lumbrineridae g. sp.	48.3	<i>Arctica islandica</i>	68.6
Amphipoda		19.1	<i>Spisula elliptica</i>	60.5	
<i>Aglaophamus malmgreni</i>		16.9	<i>Thracia myopsis</i>	55.2	
<i>Maldane sarsi</i>		15.5	<i>Macoma calcarea</i>	23.4	
<i>Praxillella gracilis</i>		14.7	<i>Astarte montagui</i>	21.4	
<i>Ophiopholis aculeata</i>		13.4	<i>Scoloplos armiger</i>	15.3	
Cirratulidae		13.1	<i>Galathowenia oculata</i>	12.9	
Bylgides sp.		10.5	<i>Palliolum tigerinum</i>	9.9	
<i>Mendicula ferruginosa</i>		9.0	<i>Praxillella praetermissa</i>	9.0	
Thyasiridae		8.8	<i>Glycera lapidum</i>	7.6	
<i>Prionospio cirrifera</i>		5.4	<i>Ophelia limacina</i>	7.5	
Nemertini		5.0	<i>Exogone naidina</i>	5.8	
<i>Levinsenia gracilis</i>		5.0	Pholoe sp.	5.2	
<i>Praxillella praetermissa</i>		4.7	<i>Cirrophorus lyra</i>	4.2	
6		<i>Nephtys ciliata</i>	63.6	<i>Nephtys ciliata</i>	219.8
		<i>Laonice cirrata</i>	35.6	<i>Scoletoma fragilis</i>	39.8
	<i>Micronephthys minuta</i>	16.0	<i>Polycirrus arcticus</i>	20.3	
	Lumbrineridae g. sp.	13.7	<i>Phyllodoce groenlandica</i>	13.1	
	Thyasiridae	10.0	<i>Parathyasira equalis</i>	11.7	
	<i>Astarte elliptica</i>	8.5	<i>Yoldiella lenticula</i>	11.7	
	Cirratulidae	7.5	<i>Maldane sarsi</i>	8.3	
	<i>Praxillella gracilis</i>	6.6	Pholoe sp.	8.2	
	<i>Nuculana pernula</i>	6.4	<i>Enipo torelli</i>	6.7	
	<i>Prionospio cirrifera</i>	5.0	<i>Prionospio cirrifera</i>	5.1	
	<i>Praxillella praetermissa</i>	4.6	<i>Micronephthys minuta</i>	5.1	
	<i>Eteone agg. flava</i>	4.3	<i>Ennucula tenuis</i>	5.0	
	<i>Astarte borealis</i>	3.8	<i>Terebellides stroemi</i>	3.6	
	<i>Terebellides stroemi</i>	3.5	<i>Eudorella emarginata</i>	3.5	
	<i>Laphania boeckii</i>	3.1	<i>Eteone agg. flava</i>	3.4	

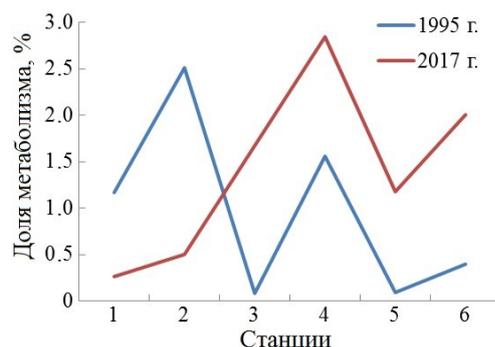


Рис. 2. Изменение доли удельного метаболизма полихет рода *Pholoe* в Кольском заливе в 1995 и 2017 гг.
Fig. 2. Changes in the proportion of metabolism of polychaetes of the genus *Pholoe* in the Kola Inlet in 1995 and 2017

Заключение

При сравнении показателей поселений полихет рода *Pholoe* в 1995 и 2017 гг. было установлено, что их плотность и биомасса в южном, среднем и северном коленах увеличилась. Несмотря на зарегистрированные изменения в видовом составе биоценозов придонных сообществ, в среднем колене Кольского залива положение полихет рода *Pholoe* осталось без изменений. Однако их вклад в биомассу сообществ северного колена залива значительно увеличился. Здесь в 1995 г. полихеты рода *Pholoe* не были отмечены как особо многочисленный (или преобладающий по биомассе) объект (по сравнению с 2017 г.). В целом в 2017 г. наблюдается увеличение плотности поселения и биомассы полихет рода *Pholoe* с юга на север, что представляет собой обратную зависимость по сравнению с таковой в 1995 г.

Определение достоверного фактора, влияющего на распределение и размножение полихет рода *Pholoe*, позволит использовать этих животных при мониторинге изменений условий окружающей среды. Представители данного рода отличаются сравнительно высокой устойчивостью к изменению факторов окружающей их среды, однако причины специфической динамики их распределения требуют дальнейшего изучения.

Работа выполнена по теме “Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях” (№ государственной регистрации 075-01431-23-00) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Дерюгин К. М. Фауна Кольского залива и условия ее существования. Петроград: Тип. Имп. Акад. Наук, 1915. 819 с.
2. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2015 г. Мурманск: Изд. Мин. природ. ресурсов и экологии Мурманской области, 2016. 166 с. URL: <http://mpr.gov-murman.ru/upload/iblock/601/doklad-sos.pdf> (дата обращения 24.04.2017).
3. Зуев Ю. А. Подводные ландшафты верхней сублиторали // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / Отв. ред. Г. Г. Матишов. М.: Наука, 2009. С. 130–142.
4. Мусеев Д. В. Океанографическая характеристика Кольского залива в разные сезоны 2001 г. // Материалы XXIV конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института (май 2006 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2006. С. 81–91.
5. Москвин К. К. Полихеты рода *Pholoe* (Polychaeta: Pholoidae) северо-восточной части Баренцева моря (по материалам экспедиции ММБИ РАН в октябре–ноябре 2019 г.) // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2021. Т. 3(12). Сер. Океанология. Вып. 9. С. 88–97.
6. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. В. А. Абакумова. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.
7. Экосистемы Новосибирского мелководья и некоторые закономерности их распределения и функционирования / А. Н. Голиков, О. А. Скарлато, В. Г. Аверинцев, Т. В. Меншуткина, О. К. Новиков, А. М. Шереметевский // Экосистемы Новосибирского мелководья и фауна моря Лаптевых и сопредельных вод Арктического океана. Л.: Наука, 1990. С. 4–79 (Исследования фауны морей. Т. 37(45)).
8. Pleijel F. On feeding of *Pholoe minuta* (Fabricus, 1780) (Polychaeta: Sigalioinidae) // Sarsia. 1983. Vol. 68. P. 21–23.

References

1. Deryugin K. M. *Fauna Kolskogo zaliva i usloviya ee sushchestvovaniya* [The fauna of Kola Bay and its environmental conditions]. Petrograd, Printing House of the Imperial Academy of Sciences, 1915. 819 p. (In Russ.).
2. *Doklad o sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Murmanskoy oblasti v 2015 g.* [Report on the state and protection of the environment in the Murmansk region in 2015]. Murmansk: Publ. of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Murmansk Region, 2016. 166 p. Available at: <http://mpr.gov-murman.ru/upload/iblock/601/doklad-sos.pdf> (assessed 24.04.2017). (In Russ.).
3. Zuev Y. A. Podvodnye landshafty verhnjej sublitorali [Underwater landscapes of the upper sublittoral area]. *Kolskij zaliv: osvoenie i racional'noe prirodopol'zovanie* [Kola Bay: development and environmental management]. Moscow, Nauka, 2009. pp. 130–142. (In Russ.).
4. Moiseev D. V. Okeanograficheskaya harakteristika Kol'skogo zaliva v raznye sezony 2001 g. [Oceanographic characteristics of Kola Bay in various seasons of 2001]. *Materialy XXIV konferencii molodyh uchenyh Murmanskogo morskogo biologicheskogo instituta (maj 2006 g.)* [Proceedings of XXIV conference of young scientists of Murmansk Marine Biological Institute (May 2006)]. Murmansk: Publ. MMBI KSC RAS, 2006, pp. 81–91. (In Russ.).
5. Moskvин K. K. Polihety roda *Pholoe* (Polychaeta: Pholoidae) severo-vostochnoj chasti Barenceva morya (po materialam ekspedicii MMBI RAN v oktyabre–noyabre 2019 g.) [Polychaetes of the genus *Pholoe* (Polychaeta: Pholoidae) of the north-eastern part of the Barents Sea (based on materials of the expedition of MMBI RAS October–November 2019)]. *Trudy Kolskogo nauchnoga centra RAN* [Transactions Kola Science Centre RAS], 2021. Vol. 3(12), Series Oceanology, Issue 9. pp. 88–97. (In Russ.).
6. *Rukovodstvo po metodam gidrobiologicheskogo analiza poverhnostnyh vod i donnyh otlozhenij* [Manual on methods for hydrobiological analysis of surface water and bottom sediments]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1983, 240 p. (In Russ.).
7. Golikov A. N., Skarlato O. A., Averincev V. G., Menshutkina T. V., Novikov O. K., Sheremetevskij A. M. Ekosistemy Novosibirskogo melkovod'ya i nekotorye zakonomernosti ih raspredeleniya i funkcionirovaniya [Novosibirsk shallow water ecosystems and some patterns of their distribution and functioning] *Ekosistemy Novosibirskogo melkovod'ya i fauna morya Laptevyyh i sopredel'nyh vod Arkticheskogo okeana* [Ecosystems of the Novosibirsk shallow water and fauna of the Laptev Sea and adjacent waters of the Arctic Ocean]. Leningrad, Nauka, 1990. pp. 4–79. (In Russ.).
8. Pleijel F. On feeding of *Pholoe minuta* (Fabricus, 1780) (Polychaeta: Sigalioinidae). *Sarsia*. 1983. Vol. 68. P. 21–23.

Информация об авторе

Константин Константинович Москвич – стажер-исследователь, <https://orcid.org/0000-0002-3511-2366>

Information about the author

Konstantin K. Moskvин – Trainee Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-3511-2366>

Статья поступила в редакцию 29.03.2023; одобрена после рецензирования 24.04.2023; принята к публикации 25.04.2023.
The article was submitted 29.03.2023; approved after reviewing 24.04.2023; accepted for publication 25.04.2023.

Научная статья
УДК 591.1:591.16
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.009

ПОПУЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *MACOMA CALCAREA* (GMELIN, 1791) ВО ФЬОРДАХ ШПИЦБЕРГЕНА С РАЗНЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ

Алёна Эдуардовна Носкович

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
noskovich@mmbi.info

Аннотация

Установлены особенности распределения и биологии двустворчатого моллюска *Macoma calcaria* во фьордах Западного Шпицбергена с разным гидрологическим режимом в 2019 г. Выделены две группы поселений, различающиеся по показателям обилия, размерно-возрастной структуре и скорости роста. Наиболее благоприятные условия для формирования поселений с большими показателями обилия, разнообразной размерно-возрастной структурой и высокой продолжительностью жизни *M. calcaria* отмечены в атлантических и трансформированных атлантических водных массах с температурой более 2 °С в заливе Грэн-фьорд и бухте Колес. Наименее благоприятные условия с отрицательными температурами воды и повышенной соленостью в слое зимних водных масс отмечены в Стур-фьорде, где образовалось нестабильное поселение моллюсков с низкими показателями обилия и высокой скоростью роста.

Ключевые слова:

двустворчатый моллюск, *Macoma calcaria*, Западный Шпицберген, Грэн-фьорд, Стур-фьорд, размерно-возрастная структура, водные массы

POPULATION CHARACTERISTICS OF THE BIVALVE MOLLUSK *MACOMA CALCAREA* (GMELIN, 1791) IN FJORDS WITH DIFFERENT HYDROLOGICAL REGIME (SVALBARD)

Alena E. Noskovich

Murmansk Marine Biological Institute of Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
noskovich@mmbi.info

Abstract

The features of the distribution and biology of the bivalve mollusk *Macoma calcaria* in the fjords of Western Svalbard with different hydrological regimes in 2019 have been established. Two groups of settlements are distinguished, differing in terms of abundance, size and age structure, and growth rate. The most favorable conditions for the formation of colonies with high abundance, diverse size and age structure, and high lifespan of *M. calcaria* were noted in the Atlantic and transformed Atlantic water masses with a temperature of more than 2 °C in Grenfjord Inlet and Koles Bay, due to the influence of the warm Atlantic currents. The least favorable conditions are typical for fjords with negative water temperatures and high salinity in the layer of winter water masses (Sturfjord), where an unstable settlement with low abundance, high growth rate and shorter life expectancy has formed.

Keywords:

bivalve, *Macoma calcaria*, Western Svalbard, Grenfjord, Sturfjord, size-age structure, water masses

Введение

За последние десятилетия в Арктике отмечена тенденция к повышению температуры воды. Вследствие этого протяженность морского льда в арктических морях быстро сократилась, а более раннее таяние льда и отступление ледяного покрова на север оказали сильное влияние на морскую среду и биоту, что привело к ее бореализации (Borealization ..., 2020). Было обнаружено, что многие таксоны животных расширили свои ареалы, а некоторые бореальные виды были зарегистрированы в более северных регионах из-за потепления океана (Borealization ..., 2020; Physical ..., 2021).

В связи с вышесказанным, актуален вопрос изучения влияния изменяющихся экологических условий на разные аспекты биологии донных беспозвоночных и на основные количественные показатели распределения. В качестве модельного объекта был взят один из массовых видов двустворчатых моллюсков сем. Tellinidae – *Macoma calcaria* (Gmelin, 1791), который широко распространен во всех северных морях России (Наумов, 2006). Он нередко доминирует по биомассе

и численности и играет важную роль в морских экосистемах. Мы исследовали реакцию поселений *M. calcaea* на различные гидрологические условия в прибрежье архипелага Шпицберген.

Архипелаг Шпицберген расположен в шельфовой зоне в районе смешения атлантических и арктических вод. Воды западной и восточной части заливов о. Западный Шпицберген значительно различаются между собой по гидрологическому режиму. Океанографические условия в западных фьордах Шпицбергена обусловлены водными массами, окружающими архипелаг, а также усилением ледникового стока и, соответственно, изменением термохалинной структуры прибрежных акваторий (Результаты ..., 2007).

Залив Грён-фьорд расположен в южной части Ис-фьорда, у его выхода в Гренландское море. Порог в горловине Грён-фьорда отсутствует, что обеспечивает возможность свободного обмена с водными массами Ис-фьорда (Блошкина, Фильчук, 2018). Анализ многолетней изменчивости характеристик ледового режима в этом районе позволяет утверждать об устойчивой тенденции смягчения ледовой обстановки в течение последних десятков лет (Иванов, Священников, 2014). Для Грён-фьорда характерна значительная межгодовая изменчивость объема различных водных масс, присутствующих во фьорде. В августе 2016 г. на глубине от 40 до 130 м располагались промежуточные водные массы, а ниже 130 м – атлантические водные массы. В августе 2017 г. на глубине от 25 до 80 м находились промежуточные водные массы, от 80 до 110 м – трансформированные атлантические водные массы, а от 120 м до дна – атлантические водные массы (Блошкина, Фильчук, 2018).

Пролив Стур-фьорд расположен на юго-востоке архипелага Шпицберген, большая часть его западного побережья занята ледниками. Данный район круглогодично подвержен ледовой инвазии и находится в зоне ледовой седиментации (Мещеряков, 2020). Северная часть пролива относится к области ледовой седиментации за счет формирования припая (Тарасов и др., 1998). В летнее время в результате абляции в бассейн седиментации выносятся большое количество мелкодисперсных частиц, которые являются составляющими размыва ледниковых отложений. Для пролива также характерно наличие придонных течений (Танцюра, 1959). В придонных слоях Стур-фьорда преобладают зимние водные массы с отрицательной температурой воды и повышенной соленостью, межгодовые изменения температуры не значительны и у берега могут достигать до 1.8 °С (Система ..., 2021).

Особенности структуры водных масс фьордов Западного Шпицбергена определяют интерес к исследованию закономерностей распределения и биологии обитающих здесь донных организмов. Цель данной работы – изучить влияние условий различного гидрологического режима водных масс на биологические показатели и распределение двусторчатого моллюска *M. calcaea*.

Материал и методы

Материал собран сотрудниками Мурманского морского биологического института РАН на 23 станциях в разных фьордах о. Западный Шпицберген в июне–июле 2019 г. (рис. 1, табл. 1). Пробы отобраны с помощью дночерпателя ван-Вина (площадь захвата 0.1 м²) в трехкратной повторности. Грунт промывали через сито с размером ячеек 0.5 мм, пробы фиксировали 4 %-м раствором формалина. После сортировки переводили в 75 %-й раствор этилового спирта. Моллюски *M. calcaea* были отмечены на 8 станциях на глубине от 86 до 269 м. Биологический анализ выполнен для 191 моллюска (табл. 2).

Для выделения водных масс фьордов Западного Шпицбергена применялась классификация, которая была разработана группой ученых для системы Конгс-фьорд–Кросс-фьорд (The physical ..., 2002), а затем применялась для системы Ис-фьорда. Анализ абиотических характеристик станций включал результаты океанографического зондирования (измерение в придонном слое воды температуры, солености) и определение типа грунта (табл. 1).

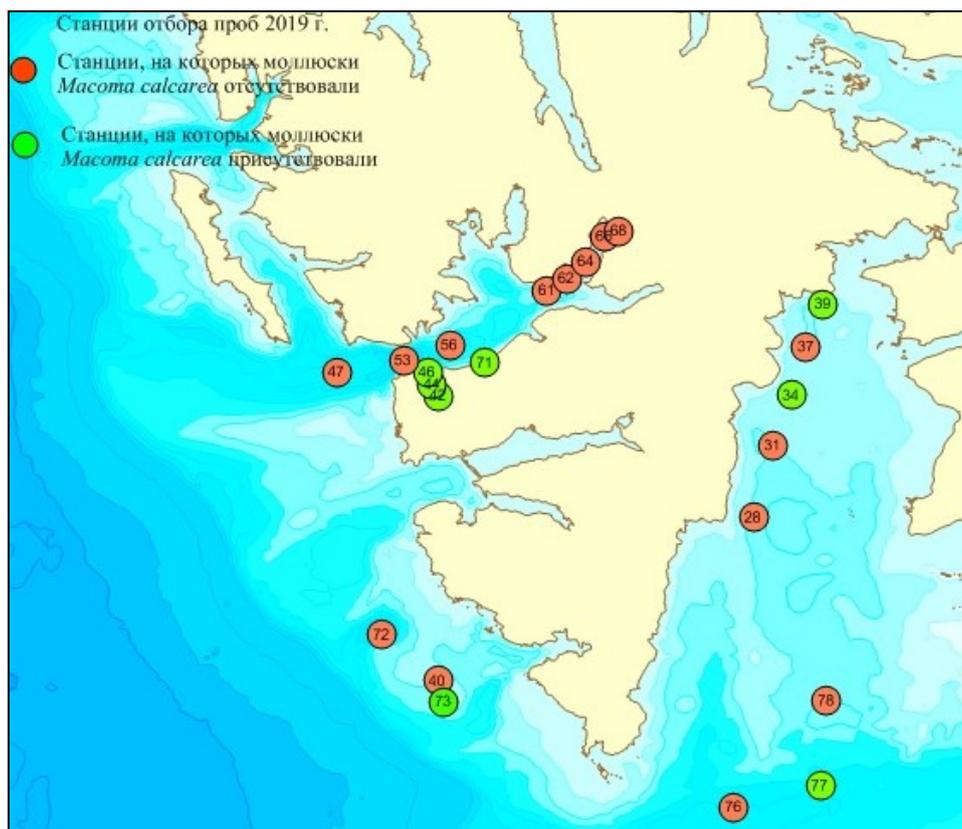


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб
Fig. 1. The map of the sampling sites

Таблица 1

Характеристика района отбора проб

Table 1

Characteristics of the sampling area

Номер станции	<i>H</i> , м	<i>T</i> , °С	<i>S</i> , ‰	Грунт
Восточная сторона о. Западный Шпицберген				
Стур-фьорд				
34	97.0	-1.7	35.3	Светло-коричневый ил, камни
39	89.0	-1.7	35.2	Светло-коричневый песчанистый ил, черно-серая глина, гравий, галька
77	269.0	-1.3	35.1	Коричневый ил с песком, серая мягкая глина
Западная сторона о. Западный Шпицберген				
Грэн-фьорд				
42	71.0	3.4	34.9	Светло-коричневый ил, камни
44	141.0	2.6	34.9	Светло-коричневый ил, темно-серая и черная глина, камни
46	137.0	2.7	34.9	Светло-коричневый ил, песок, камни, галька, ракуша
Бухта Колес				
71	90.0	2.7	34.9	Светло-коричневый ил, серо-черная мягкая глина, редкие камни
Залив Хорнсунн				
73	86.0	2.4	34.7	Илистый песок, темно-серая глина

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

Таблица 2

Объем проанализированного материала и характеристика поселений *M. calcarea*

Table 2

Volume of the analyzed material and characteristics of *M. calcarea* settlements

Водные массы	Номер станции	п, экз.	$N \pm m$, экз/м ²	$B \pm m$, г/м ²
Восточная сторона о. Западный Шпицберген				
Стур-фьорд				
Зимние	34	8	26.6±1.2	2.8±0.2
	39	7	23.3±1.3	22.4±1.7
	77	11	36.6±3.6	8.1±0.8
Западная сторона о. Западный Шпицберген				
Грён-фьорд				
Атлантические	42	92	306.6±1.8	134.2±1.5
Трансформированные атлантические	44	2	6.6±0.3	0.6±0.05
	46	29	96.6±1.4	225.6±5.7
Бухта Колес				
Трансформированные атлантические	71	40	133.3±5.1	429.2±18.7
Залив Хорнсунн				
Промежуточные	73	2	6.6±0.6	0.2±0.02

ПРИМЕЧАНИЕ. n – количество моллюсков, B – средняя биомасса, N – плотность поселения, m – ошибка среднего.

У каждой особи измеряли длину раковины штангенциркулем 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). При оценке скорости роста учитывались также и раковины немногочисленных мертвых особей.

Для сравнения выборок по размерно-возрастному составу моллюсков использовали непараметрический критерий Манна-Уитни (уровень значимости $p \leq 0.05$) (Закс, 1976).

Для определения общих черт поселений станции группировали по результатам кластерного анализа методом парного присоединения на основе коэффициентов сходства Брэя-Кертиса в программе Past.

Результаты и обсуждение

В водах Западного Шпицбергена биомасса и плотность поселения *M. calcarea* были распределены неравномерно (табл. 2), а сами моллюски встречались не на всех станциях, причем гидрологические условия на тех станциях Стур-фьорда, где отсутствовали моллюски *M. calcarea*, были схожими. Также моллюски не были обнаружены в заливе Ис-фьорд на глубине от 215 до 430 м, в Билле-фьорде в слое зимних водных масс на глубине от 82 до 172 м и в более глубоководных районах побережья Шпицбергена – от 149 до 381 м (рис. 1). Максимальную плотность поселения моллюски формировали в атлантических водных массах в Грён-фьорде ($T = 3.4$ °C, $S = 34.9$ ‰) на глубине 71 м, а минимальную – в заливе Хорнсунн в слое промежуточных водных масс ($T = 2.4$ °C, $S = 34.7$ ‰) на глубине 86 м (таблицы 1, 2). Максимальное значение биомассы отмечено в трансформированных атлантических водных массах бухты Колес ($T = 2.76$ °C, $S = 34.9$ ‰) на глубине 90 м, а минимальное – в заливе Хорнсунн.

Такая высокая численность и биомасса моллюсков в Грён-фьорде и бухте Колес свидетельствуют о поступлении большого количества органики терригенного происхождения на дно. Отложения во фьордах в основном контролируются речными талыми водами. Увеличению запаса морского органического вещества способствует приток атлантических вод (Winkelmann, Knies, 2005).

В результате кластеризации данных на уровне сходства 0.5 выявлены две группы поселений, объединивших станции со схожей численностью, биомассой, средним размерам раковины и возрастом: I кластер – станции 34, 39, 77; II кластер – станции 42, 46 и 71 (рис. 2).

Кластер I включает станции из Стур-фьорда. Здесь в зимних водных массах с температурой ниже 0 °С и соленостью выше 35 ‰ формируются поселения с низкой биомассой и численностью на станциях с небольшими глубинами и на более глубоководных (таблицы 1, 2). В поселении моллюсков отмечено много молодежи, размерно-возрастные ряды здесь неполные, а продолжительность жизни относительно небольшая (до 11 лет).

Кластер II включает станции из Грён-фьорда и бухты Колес. Поселения моллюсков здесь встречены в атлантических и трансформированных атлантических водных массах при температуре от 2.7 °С и солености ниже, чем в Стур-фьорде, и представлены особями с высокими показателями биомассы и плотности, а средние размеры и возраст гораздо выше, чем в поселении в Стур-фьорде.

Две станции – 44 (глубоководная часть Грён-фьорда) и 73 (залив Хорнсунн) – будут исключены из дальнейшего анализа, так как они имеют слишком маленький объем выборки и не вошли ни в одну группу.

Мы сравнили основные характеристики поселений в выделенных кластерах. Поселение из Грён-фьорда и бухты Колес достоверно отличалось от поселения из Стур-фьорда по размерно-возрастному составу (критерий Манна-Уитни: оценка размерного состава – $U_{эмп} = 378.5$, $U_{кр} = 518$; $U_{эмп} < U_{кр}$; $p \leq 0.05$; оценка возрастного состава – $U_{эмп} = 27$, $U_{кр} = 85$; $U_{эмп} < U_{кр}$; $p \leq 0.05$). На станциях кластера I поселение *M. calcarea* в Грён-фьорде и бухте Колес отличается менее разнообразной размерно-возрастной структурой по сравнению с моллюсками из второго кластера. В поселениях Стур-фьорда выше доля молодежи, пополнение которой неравномерно в разные годы (рис. 3).

Такая разнообразная и наиболее полная размерно-возрастная структура поселений западного района Шпицбергена свидетельствует о более стабильных условиях существования по сравнению с водами Стур-фьорда, где *M. calcarea*, наоборот, образовывали нестабильные поселения с большим количеством молодежи, неравномерным пополнением и малой долей других размерных классов. В заливе Грён-фьорд и бухте Колес наблюдаются более мягкие условия обитания, годовая изменчивость придонной температуры и солености воды незначительна. В зимний период температура воды у дна на этих же станциях варьирует от 3.4 до 4.7 °С (Носкович, 2022). В летний период из-за обильного таяния ледников образуется большое количество минеральной взвеси, что часто неблагоприятно для дальнейшего развития поселений молодежи.

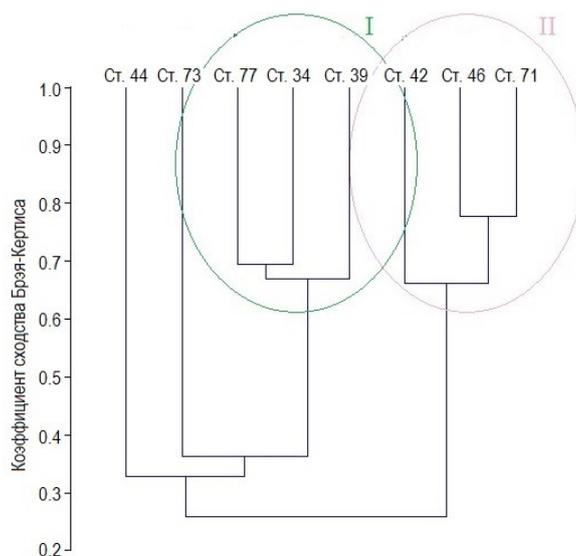


Рис. 2. Дендрограмма сходства станций по обилию и размерно-возрастной структуре *M. calcarea*
Fig. 2. Dendrogram of similarity of stations in abundance and size-age structure *M. calcarea*

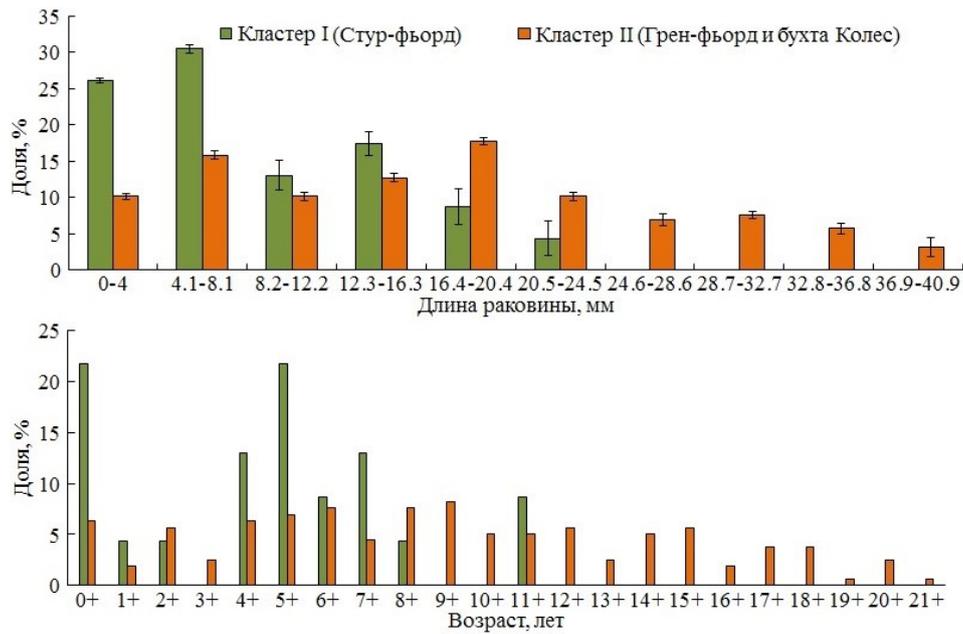


Рис. 3. Размерно-возрастной состав поселений *M. calcaria*
Fig. 3. Size and age composition of the *M. calcaria* settlements

Средняя скорость роста у моллюсков из Стур-фьорда составляла 1.8 мм/год и была выше, чем у особей из Грэн-фьорда и бухты Колес – 1.6 мм/год. Это обусловлено тем, что у моллюсков из Стур-фьорда в отдельные годы наблюдался скачкообразный рост – предположительно, в 2003, 2010 и 2016 годах. В Стур-фьорде, по данным генерализованной карты состояния ледяного покрова в арктических и замерзающих морях России и Гренландского моря (http://old.aari.ru/odata/_d0004.php), период чистой воды в эти годы продолжался с июня по декабрь, по сравнению с 2019 г., когда этот период был короче – с июля по сентябрь, что, скорее всего, свидетельствует об увеличении температуры воды и улучшении питания моллюсков из-за удлинения периода вегетации фитопланктона. В Стур-фьорде в последние годы наблюдают сокращение годовой продолжительности краевой ледовой зоны из-за глобального потепления (Winkelmann, Knies, 2005).

В целом в первые годы жизни скорость роста моллюсков из западной и восточной частей о. Западный Шпицберген практически не отличалась (около 2 мм/год) (рис. 4). В заливе Грэн-фьорд и бухте Колес моллюски растут равномерно, максимальный прирост приходится на 1–2-й год жизни – 2.1 мм/год.

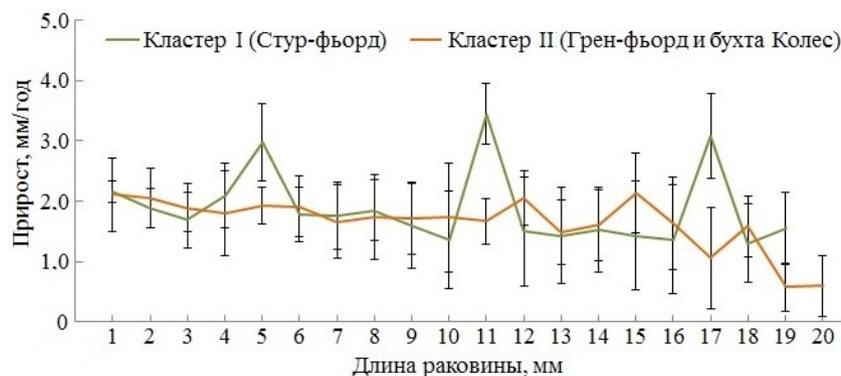


Рис. 4. Ежегодный прирост длины раковины у разновозрастных моллюсков *M. calcaria*
Fig. 4. Age-related variations in annual increase in shell length of clam

Заключение

Таким образом, на западном и восточном берегах о. Западный Шпицберген формируются два типа поселений моллюсков *M. calcarea*, различающиеся размерно-возрастным составом моллюсков, скоростью роста и продолжительностью жизни. В более тепловодных условиях западной части Шпицбергена (Грэн-фьорд и бухта Колес) поселения *M. calcarea* имеют большие показатели обилия, разнообразную размерно-возрастную структуру, а максимальная продолжительность жизни – примерно 21 год. В более холодноводных условиях Стур-фьорда наблюдаются наименее благоприятные условия для развития поселений *M. calcarea*, поэтому обилие ниже, отмечено большое количество молодежи и небольшое количество особей других возрастных групп. В Стур-фьорде нами отмечена более сильная изменчивость условий питания в разные годы, что сказывается на увеличении среднегодовой скорости роста моллюсков. Наши данные на примере бореально-арктического вида *M. calcarea* показывают, что в условиях потепления Арктики и продолжающейся бореализации фауны Баренцева моря можно ожидать увеличения численности бентосных организмов вследствие лучшей выживаемости молодежи, увеличения скорости роста и в целом общей продуктивности поселений беспозвоночных.

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

Работа выполнена по теме 9-19-01 “Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях” (№ госрегистрации 122020900044-2) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Блошкина Е. В., Фильчук К. В. Современное состояние вод фьордов Западного Шпицбергена // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64, № 2. С. 125–140.
2. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 600 с.
3. Иванов Б. В., Священников П. Н. Климатическая система архипелага Шпицберген // Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: Сб. тез. Всерос. конф. с междунар. участием / Сост. С. В. Рябченко. Архангельск: ИД САФУ, 2014. С. 28–29.
4. Методы изучения двустворчатых моллюсков / Под ред. Г. Л. Шкорбатова, Я. И. Старобогатова // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1990. Т. 219. 208 с.
5. Мещеряков Н. И. Осадконакопление в проливе Стур-фьорд (архипелаг Шпицберген) в условиях изменения климата // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2020. Т. 5(11). Сер. Океанология. Вып. 8. С. 102–109.
6. Наумов А. Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. СПб.: Изд. Зоол. ин-та РАН, 2006. 367 с.
7. Носкович А. Э. Особенности биологии двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) из фьордов Западного Шпицбергена // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2022. Т. 4(13). Сер. Океанология. Вып. 4. С. 67–77.
8. Танцюра А. И. О течениях Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1959. Вып. 11. С. 35–54.
9. Тарасов Г. А., Хасанкаев В. Б., Матишов Г. Г. Осадочное вещество ледового транспорта на Баренцевоморском шельфе // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. С. 33–39.
10. 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.
11. Система Баренцева моря / Под ред. акад. А. П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. 672 с.
12. Borealization of the Arctic Ocean in response to anomalous advection from sub-arctic seas / I. V. Polyakov, M. B. Alkire, B. A. Bluhm, K. A. Brown, E. C. Carmack, M. Chierici, S. L. Danielson, I. Ellingsen, E. A. Ershova, K. Gårdfeldt et al. // Front. Mar. Sci. 2020. Vol. 7. Article 491. DOI: 10.3389/fmars.2020.00491
13. Physical manifestations and ecological implications of Arctic Atlantification / R. B. Ingvaldsen, K. M. Assmann, R. Primicerio, M. Fossheim, I. V. Polyakov, A. V. Dolgov // Nat. Rev. Earth Env. 2021. Vol. 2. P. 874–889.
14. 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.
15. Winkelmann D., Knies J. Recent distribution and accumulation of organic carbon on the continental margin west off Spitsbergen // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2005. Vol. 6, № 9. Article Q09012. DOI: 10.1029/2005GC000916

References

1. Bloshkina E. V., Fil'chuk K. V. Sovremennoe sostojanie vod f'ordov Zapadnogo Shpicbergena [The current state of the waters of the fjords of Western Svalbard]. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Problems of the Arctic and Antarctic], 2018. Vol. 64, No. 2, pp. 125–140. (In Russ.).
2. Zaks L. *Statisticheskoe ocenivanie* [Statistical estimation]. Moscow, Statistika, 1976, 600 p. (In Russ.).
3. Ivanov B. V., Svjashhennikov P. N. Klimaticheskaja sistema arhipelaga Shpicbergen [The climate system of the Svalbard archipelago]. *Sbornik tezisev Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Sostojanie arkticheskikh morej i territorij v uslovijah izmenenija klimata" (g. Arhangel'sk, 18–19 sentjabrja 2014 g.)* [Collection of abstracts of the All-Russian conference with international participation "The state of the Arctic seas and territories in the context of climate change"]. Arkhangelsk, Publ. ID SAFU, 2014, pp. 28–29. (In Russ.).
4. *Metody izuchenija dvustvorchatyh molljuskov* [Methods for studying bivalves]. Trudy Zoologicheskogo instituta AN SSSR [Proceedings of the Zoological Institute of the USSR Academy of Sciences], 1990, Vol. 219, 208 p. (In Russ.).
5. Meshherjakov N. I. Osadkonakoplenie v prolive Stur-ford (arhipelag Shpicbergen) v uslovijah izmenenija klimata [Sedimentation in the Storfjord Strait (Spitsbergen Archipelago) under the Conditions of Climate Change]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of the Kola Science Centre RAS], 2020, Vol. 5(11), Series Oceanology, Issue 8, pp. 102–109. (In Russ.).
6. Naumov A. D. *Dvustvorchatye molljuski Belogo morja. Opyt jekologo-faunisticheskogo analiza* [Bivalves of the White Sea. Experience of eco-faunistic analysis]. Saint-Petersburg, Publ. Zoological Institute RAS, 2006, 367 p. (In Russ.).
7. Noskovich A. E. Osobennosti biologii dvustvorchatogo molljuska *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) iz f'ordov Zapadnogo Shpicbergena [Features of the biology of the bivalve mollusk *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) from the fjords of Western Svalbard]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN* [Transactions of the Kola Science Centre RAS], 2022, Vol. 4(13), Series Oceanology, Issue 4, pp. 67–77. (In Russ.).
8. Tancjura A. I. O techenijah Barenceva morjaju [On the Currents of the Barents Sea]. *Trudy PINRO* [Transactions PINRO], 1959, Issue 11, pp. 35–54. (in Russ.).
9. Tarasov G. A., Hasankaev V. B., Matishov G. G. Osadochnoe veshhestvo ledovogo transporta na Barencevomorskom shel'fe [Sedimentary matter of ice transport on the Barents Sea shelf]. *Biologija i okeanografija Karskogo i Barenceva morej (po trasse Sevmorputi)* [Biology and Oceanography of the Kara and Barents seas (along the Northern Sea Route)]. Apatity, Publ. KSC RAS, 1998, pp. 33–39. (In Russ.).
10. Tret'jakov M. V., Golovanov O. F., Pavlov A. K., Prjamikov S. M., Ivanov B. V. Rezul'taty kompleksnyh okeanograficheskikh issledovanij zaliva Grjon-ford (Zapadnyj Shpicbergen) letom 2006 g [Results of complex oceanographic studies of the Grönfjord Bay (Western Spitsbergen) in the summer of 2006]. *Kompleksnye issledovanija prirody Shpicbergena* [Comprehensive studies of the nature of Svalbard], 2007, Issue 7, Apatity, Publ. KSC RAS, pp. 164–177. (In Russ.).
11. *Sistema Barenceva morja* [Barents Sea system]. Moscow, GEOS, 2021, 672 p. (In Russ.).
12. Polyakov I. V., Alkire M. B., Bluhm B. A., Brown K. A., Carmack E. C., Chierici M., Danielson S. L., Ellingsen I., Ershova E. A., Gårdfeldt K. et al. Borealization of the Arctic Ocean in response to anomalous advection from sub-arctic seas. *Frontiers in Marine Science*, 2020, Vol. 7, Article 491. DOI: 10.3389/fmars.2020.00491
13. Ingvaldsen R. B., Assmann K. M., Primicerio R., Fossheim M., Polyakov I. V., Dolgov A. V. Physical manifestations and ecological implications of Arctic Atlantification. *Nature Reviews Earth and Environment*, 2021, Vol. 2, pp. 874–889.
14. Svendsen H., Beszczynska-Moller A., Hagen J. O., Lefauconnier B., Tverberg V., Gerland S., Orbaek J. B., Bischof K., Papucci C., Zajaczkowski M., Azzolini R., Bruland O., Wiencke C., Winther J.-G., Dallmann W. The physical environment of Kongsfjorden–Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard. *Polar Research*, 2002, Vol. 21, pp. 133–166.
15. Winkelmann D., Knies J. Recent distribution and accumulation of organic carbon on the continental margin west off Spitsbergen. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2005, Vol. 6, No. 9, Article Q09012. DOI: 10.1029/2005GC000916

Информация об авторе

Алёна Эдуардовна Носкович – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-3896-1064>

Information about the author

Alena E. Noskovich – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-3896-1064>

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 06.04.2023; принята к публикации 07.04.2023.
The article was submitted 28.03.2023; approved after reviewing 06.04.2023; accepted for publication 07.04.2023.

Научная статья
УДК 574.55: 551.464.32 (268.53)
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.010

ОЦЕНКА СОСТАВА ВОДНЫХ МАСС ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ О ПАРАМЕТРАХ $\delta^{18}\text{O}$ И $\delta^2\text{H}$

Иван Александрович Пастухов¹, Алексей Анатольевич Намятов²

^{1,2}Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
¹pastuhovi@mmbi.info, ²alexey.namyatov.a@gmail.com

Аннотация

Представлены результаты изучения стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в водах Баренцева моря, которые были проведены в марте–апреле 2021 г. На основе этих данных получено соотношения содержания базовых вод – атлантических (f_a), речных (f_r) и талых вод (f_i), а также объемов вод, изъятых на ледообразование на исследуемой акватории. Сравнительная оценка содержания вод рассчитана по значениям “ $\delta^{18}\text{O}$ –соленость” и “ $\delta^2\text{H}$ –соленость”, и результаты не выходят за границы среднего значения $\pm\text{СКО}$. Однако средние величины содержания атлантических и ледовых вод, полученные при использовании параметра $\delta^2\text{H}$ выше, чем с помощью $\delta^{18}\text{O}$, а содержание речных вод ниже. Использование параметров $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в океанографических исследованиях при расчете балансовых характеристик предпочтительнее, чем температура и соленость, так как они обладают свойствами большей консервативности.

Ключевые слова:

стабильные изотопы, арктические моря, базовые воды, ледообразование, ледотаяние, атлантические воды, речные воды

Original article

ASSESSMENT OF THE COPOSITION OF WATER MASSES IN THE EASTER PART OF THE BARENTS SEA USING MODERN DATA OF $\delta^{18}\text{O}$ AND $\delta^2\text{H}$ PARAMETERS

Ivan A. Pastukhov¹, Alexey A. Namyatov²

^{1,2}Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
¹pastuhovi@mmbi.info, ²alexey.namyatov.a@gmail.com

Abstract

This paper presents the results of measurements of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ stable isotope values in the waters of the Barents Sea, which were carried out in March–April 2021. Based on the data presented, the ratio of base water content – atlantic (f_a), river (f_r) and melt water (f_i), as well as the volume of water withdrawn for ice formation in the studied water area was assessed. The comparative estimation of base water content, calculated on values “ $\delta^{18}\text{O}$ –salinity” and “ $\delta^2\text{H}$ –salinity” is presented and obtained values do not exceed limits of mean value $\pm\text{sd}$. However, average values of Atlantic and ice water content calculated using $\delta^2\text{H}$ parameter are higher than those using $\delta^{18}\text{O}$, and river water content is lower. The use of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ parameters in oceanographic studies in the calculation of balance characteristics is preferable to temperature and salinity because of their greater conservativity.

Keywords:

Stable isotopes, Arctic seas, basic waters, ice formation, ice melting, Atlantic water, river water

Введение

Средний изотопный состав вод океана остается постоянным на протяжении длительного геологического времени, поэтому изучение распределения изотопных соотношений водорода и кислорода океанической воды существенно дополняет данные по распределению ее солености, и создает более надежную основу для изучения динамики вод океана в глобальном масштабе.

До настоящего времени водные массы выделялись в основном по двум параметрам – температуре и солености, однако применение изотопных параметров $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в океанографических исследованиях при проведении балансовых расчетов имеет большое преимущество в виду того, что эти параметры обладают большими консервативными свойствами. В последнее время большей популярностью пользуется параметр $\delta^{18}\text{O}$. Существует открытая база данных NASA, содержащая показатели температуры, солености и $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ для вод Мирового океана (Schmidt et al., 1999),

также эти данные доступны на сайте NODC (World ..., 2019). Для Баренцева моря последние общедоступные данные по этим параметрам датируются 2014 г. (Dissolved ..., 2019). В целом для Баренцева моря исследования, подобные нашим, проводились с 1972 по 2014 гг. (примерно 350 станций, для анализа доступны 2200 проб) (рис. 1). Большинство станций выполнено или в районе архипелага Шпицберген, или в юго-восточной части моря, так называемом Печорском море. Центральная часть моря исследованиями практически не охвачена или таких данных нет в открытом доступе. Более того, практически все работы выполнены в летний период, кроме исследований в водах архипелага Шпицберген. Величины изотопных параметров в арктических морях в зимнее время в настоящее время фактически не представлены.

Применение величины солёности и изотопного параметра, в частности $\delta^{18}\text{O}$, позволяет построить трехкомпонентную систему уравнений, результатом решения которой является оценка содержания базовых вод – атлантических, речных и талых вод, а также относительных объемов воды, затраченных на ледообразование (Isotope ..., 2017; World ..., 2019; Dissolved ..., 2019; Namyatov, 2021).

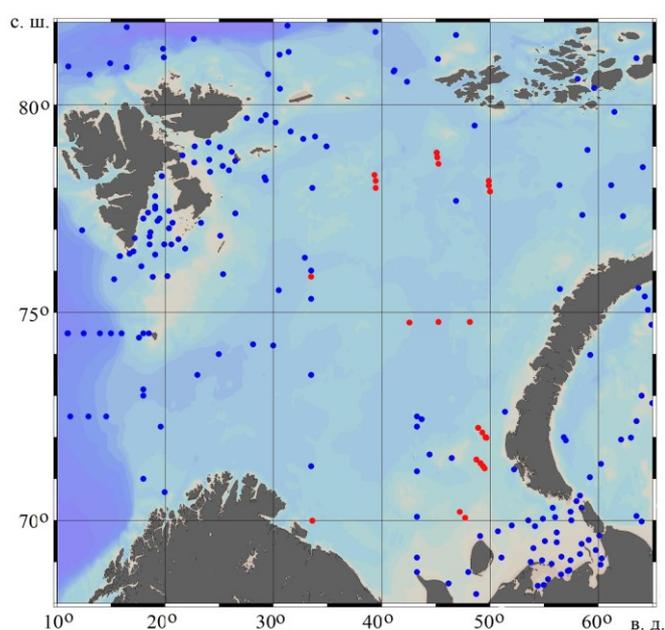


Рис. 1. Схема расположения станций измерения изотопных параметров $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в 1972–2014 гг. (синие точки) и в ходе экспедиции НИС “Дальние Зеленцы” в марте–апреле 2021 г. (красные точки)

Fig. 1. Scheme of stations of measuring $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ isotopic parameters in 1972–2014 (blue dots) and performed during the expedition of the R/V “Dalnie Zelentsy” in March–April 2021 (red dots)

Цель работы – оценка состава водных масс восточной части Баренцева моря в период окончания гидрологической зимы с использованием значений “солёность– $\delta^{18}\text{O}$ ” и “солёность– $\delta^2\text{H}$ ”, в также сравнение полученных соотношений с литературными данными.

Материал и методы

Отбор проб для определения изотопных параметров $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ был проведен в марте–апреле 2021 г. на НИС “Дальние Зеленцы” ММБИ РАН (Научный ..., 2022). Всего отобрано и проанализировано 107 проб воды на 27 станциях (рис. 1). Также было отобрано 6 пар проб (лед и подледный слой воды) для оценки величин фракционирования стабильных изотопов в процессе ледообразования.

Температуру и солёность (ошибка ± 0.01 епс) воды определяли с помощью СТД-зонда SEACAT SBE 19 plus V2 (Sea-Bird Scientific, США), содержание стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ – лазерного анализатора Picarro L2130-i (выпуск 2021 г.) в ресурсном центре “Рентгенодифракционные

методы исследования” научного парка СПбГУ. Использованы стандарты USGS50 ($\delta^{18}\text{O} = +4.95 \text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = +32.8 \text{ ‰}$), USGS45 ($\delta^{18}\text{O} = -2.238 \text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -10.3 \text{ ‰}$), USGS46 ($\delta^{18}\text{O} = -29.80 \text{ ‰}$ и $\delta^2\text{H} = -235.8 \text{ ‰}$). Ошибка измерений составляла $\pm 0.07 \text{ ‰}$ для $\delta^{18}\text{O}$ и $\pm 0.2 \text{ ‰}$ для $\delta^2\text{H}$.

Для оценки величин относительных объемов атлантических, речных и ледовых вод (под этим термином понимается объем талых вод или объем вод, изъятых на ледообразование) использовалась трехкомпонентная система уравнений смешения:

$$\begin{aligned} f_a \times S_a + f_r \times S_r + f_i \times S_i &= S_{\text{meas}} \\ f_a \times I_a + f_r \times I_r + f_i \times I_i &= I_{\text{meas}} \\ f_a + f_r + f_i &= 1, \end{aligned} \quad (1)$$

где S_r (епс) и I_r (‰) – соленость и величина изотопного параметра для “чисто” речных вод ($S_r = 0$); S_i и I_i – для ледовых вод, ‰; S_a и I_a – для “чисто” атлантических вод; f_a , f_r и f_i – содержание атлантических, речных и ледовых вод, ‰; S_{meas} и I_{meas} – результирующая (измеренная) соленость и величина изотопного параметра $\delta^{18}\text{O}$ или δ^2 , полученные по результатам представляемых исследований. Данную систему уравнений можно использовать только в условиях преобладания процесса ледотаяния ($f_i > 0$). Если преобладают воды, изъятые на ледообразование ($f_i < 0$), то система уравнений (1) дополняется еще двумя (Namyatov, 2021):

$$f_a^w = f_a - \frac{kx|f_i|}{1+k} \quad (2)$$

$$f_r^w = f_r - |f_i| + \frac{kx|f_i|}{1+k} \quad (3)$$

$$\frac{f_a}{f_r} = k.$$

В этом случае f_a^w и f_r^w – содержание атлантических и речных вод в подледном слое воды (Namyatov, 2021); f_a и f_r – величины содержания атлантических и речных вод, рассчитанные по системе уравнений (1). Значения S_a , I_a , S_i , I_i и I_r представлены в работе (Namyatov, 2021).

Результаты и обсуждение

По материалам исследований 2021 г., соотношение “ $\delta^{18}\text{O}$ –соленость” имеет коэффициент детерминации равный 0.31, однако по результатам других исследований [полный список представлен в работе А. А. Намятова (Namyatov, 2021)] этот коэффициент для Баренцева моря значительно выше и составляет 0.92 при количестве определений равным ~ 2200 и диапазоне солености от ~ 0 до 35.3 епс. Такой низкий коэффициент детерминации объясняется в первую очередь небольшим диапазоном изменения солености воды (33.8–34.9 епс). Это согласуется с аналогичными исследованиями, проведенными в Карском море в 2014 г. (Изотопные ..., 2017). Если для всего ряда наблюдений при диапазоне изменения солености от 0 до 34.8 епс коэффициент детерминации соотношения “ $\delta^{18}\text{O}$ –соленость” был равен 0.962, то для солености 33.0–34.8 епс он составил 0.316. По результатам всех известных наблюдений для Баренцева моря (~ 2300 проб), включая настоящее исследование 2021 г., коэффициент детерминации соотношения “ $\delta^{18}\text{O}$ –соленость” для Баренцева моря равен 0.927. Что касается соотношения “ $\delta^2\text{H}$ –соленость”, то коэффициент детерминации по результатам 2021 г. составляет 0.425. Другие данные по Баренцеву морю в открытом доступе отсутствуют. Коэффициент детерминации такого соотношения по результатам вышеупомянутых исследований в Карском море для солености 33.0–34.8 епс составил 0.328. Что касается соотношения “ $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ ”, то коэффициент детерминации составляет 0.839, что вполне соответствует коэффициенту 0.884, полученному в рамках других исследований для подобного диапазона значений солености (Изотопный ..., 2017). Однако, если рассматривать весь диапазон изменения солености, то коэффициент детерминации этого соотношения очень высок и равен 0.997 (Изотопный ..., 2017).

Так как величины соотношения “ $\delta^{18}\text{O}$ –соленость” и “ $\delta^2\text{H}$ –соленость” имеют некоторый разброс, а угловой коэффициент соотношения “ $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ ” также указывает на смешение, то представляет интерес исследовать возможные различия расчетных параметров, вычисленных по формулам (1)–(3) с использованием значений солености и изотопных параметров $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$. Полученные результаты сравнения величин содержания базовых вод не выходят за границы среднего значения $\pm\text{СКО}$. Тем не менее, средние величины содержания атлантических и ледовых вод, рассчитанные с использованием изотопного параметра $\delta^2\text{H}$, несколько выше, чем рассчитанные по $\delta^{18}\text{O}$, а содержание речных вод несколько ниже.

В литературных источниках расчетные величины содержания базовых вод получены с использованием параметра $\delta^{18}\text{O}$ [формулы (1)–(3)], поэтому и в настоящем исследовании также будут представлены подобные оценки с использованием этого изотопного соотношения. Результаты позволяют оценить изменение содержания базовых вод с юга на север от 70° до 79° с. ш. в восточной части Баренцева моря (рис. 2). Южные станции выполнены фактически на границе юго-восточной части моря, воды которой находятся под влиянием стока р. Печора. Здесь, в слое 0–50 м, наблюдались самые низкие значения солености (до 33.8 епс) при температуре воды (до -1.81°C) близкой к температуре замерзания.

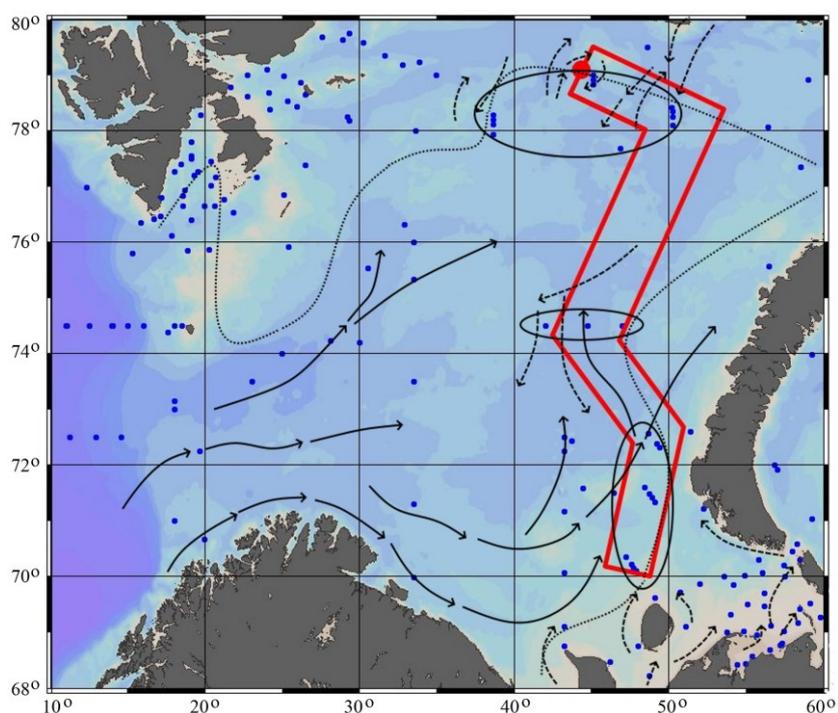


Рис. 2. Схема расположения станций, выполненных в марте–апреле 2021 г. (НИС “Дальние Зеленцы”), используемых для построения вертикальных профилей

Fig. 2. Scheme of stations of the expedition in March–April 2021 (R/V “Dalnie Zelentsy”), used for the construction of vertical profiles

На северной границе моря, где наблюдается заток холодных вод с севера и северо-востока, в слое 0–150 м также отмечены низкие значения температуры воды (до -1.82°C) при солености около 34.7 епс (рис. 3). Между этими очагами холодных вод наблюдались более теплые трансформированные атлантические воды Новоземельского течения с температурой до 1.4°C и соленостью до 34.9 епс. Кроме того, восточные станции, приближенные к архипелагу Новая Земля, а также северные станции (северная граница моря), находятся в непосредственной близости от кромки льда. На рисунке 4 представлено распределение содержания атлантических, речных и ледовых вод на генерализованном разрезе, показанном на рис. 2. В его центральной части, в трансформированных

атлантических водах Новоземельского течения, фракция атлантических вод составляла 99.0–99.3 %. При этом наблюдались наименьшие значения содержания речных вод – 0.3–1.0 %. Доля талых вод в ядре этой водной массы (на горизонте 100 м) достигала 0.6–0.7 %.

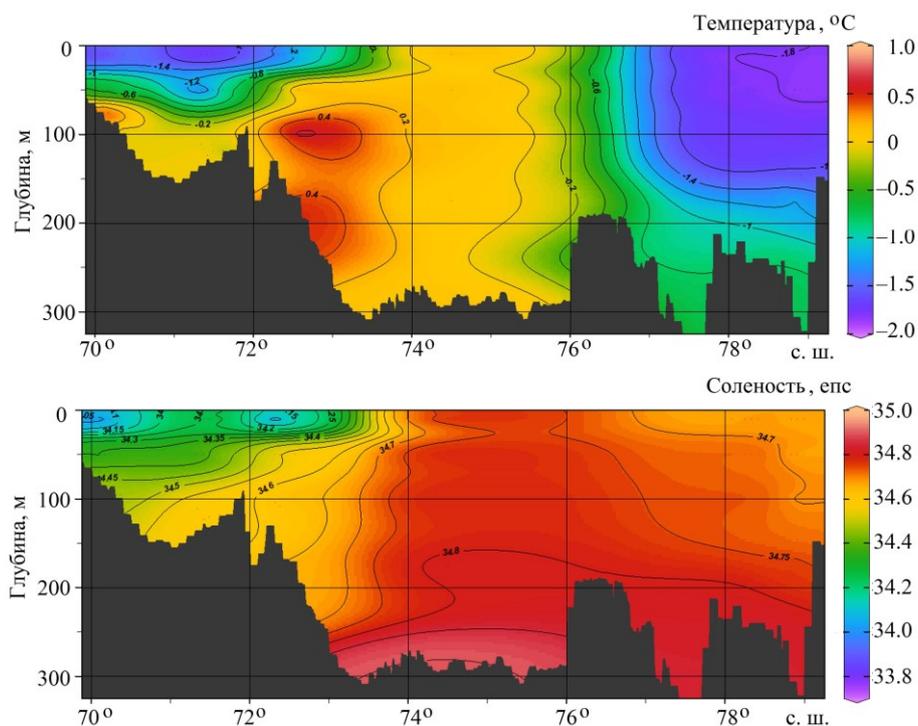


Рис. 3. Распределение температуры и солености
Fig. 3. Temperature and salinity distributions

В водах, которые примыкают к юго-восточной части моря и находятся под некоторым воздействием стока р. Печора, фракция атлантических вод составляла около 96.7 %. В этом районе наблюдались максимальные значения содержания фракции речных вод – до 3.5–4.0 % (слой 0–25 м), а также фракции талых вод – до 1.0 %. С увеличением температуры воды в придонном слое фракция талых вод увеличивалась до 1.3 %, что, очевидно, связано с поступлением атлантических вод, имеющих более высокие значения этого параметра. Между этими районами (с преобладанием талых вод) наблюдались воды, в которых процессы ледообразования преобладали над процессами ледотаяния ($f_i < 0$). В придонном слое этого района величина изъятия вод на процесс ледообразования достигала – 1.2 % при расчетах по $\delta^{18}\text{O}$ и –0.33 % – по $\delta^2\text{H}$.

В поверхностном слое северной части моря при температурах воды близких к точке замерзания доля атлантических вод, по сравнению с водами Новоземельского течения, была меньше примерно на 1 % и составляла 98.0–98.2 %. При этом доля речных возросла до 2.6 %. В этой части моря воды, преобразованные процессами ледообразования, наблюдались от поверхности до дна. В поверхностном слое величина изъятия проб на ледообразование составляла 1.6 % (по $\delta^{18}\text{O}$) и 0.85 % (по $\delta^2\text{H}$), в придонном слое – 0.96 и 0.54 % соответственно.

Как уже отмечалось (Namyatov, 2021), отрицательные величины f_i являются уникальной характеристикой “памяти”, описывающей процессы ледообразования/ледотаяния. В районе с отрицательными значениями f_i – к югу от “ядра” Новоземельского течения, среднее взвешенное значение этого параметра от поверхности до дна составляло –1.11 %, что при глубине моря в 120 м соответствует толщине образовавшегося льда – 1.33 м. На самых северных станциях (глубина 106–146 м) средняя взвешенная величина f_i по всему слою воды от поверхности до дна составила –1.2...–1.4 %. Такая трансформация морской воды обусловлена образованием льда толщиной

1.20–1.40 м. Полученные величины вполне согласуются с таковыми средней толщины льда, наблюдаемого в этих районах. Так отмечено, что средняя толщина однолетнего льда в Баренцевом море составляет 100 см, а толстого однолетнего льда – 135 см (Гидрометеорология ..., 1990).

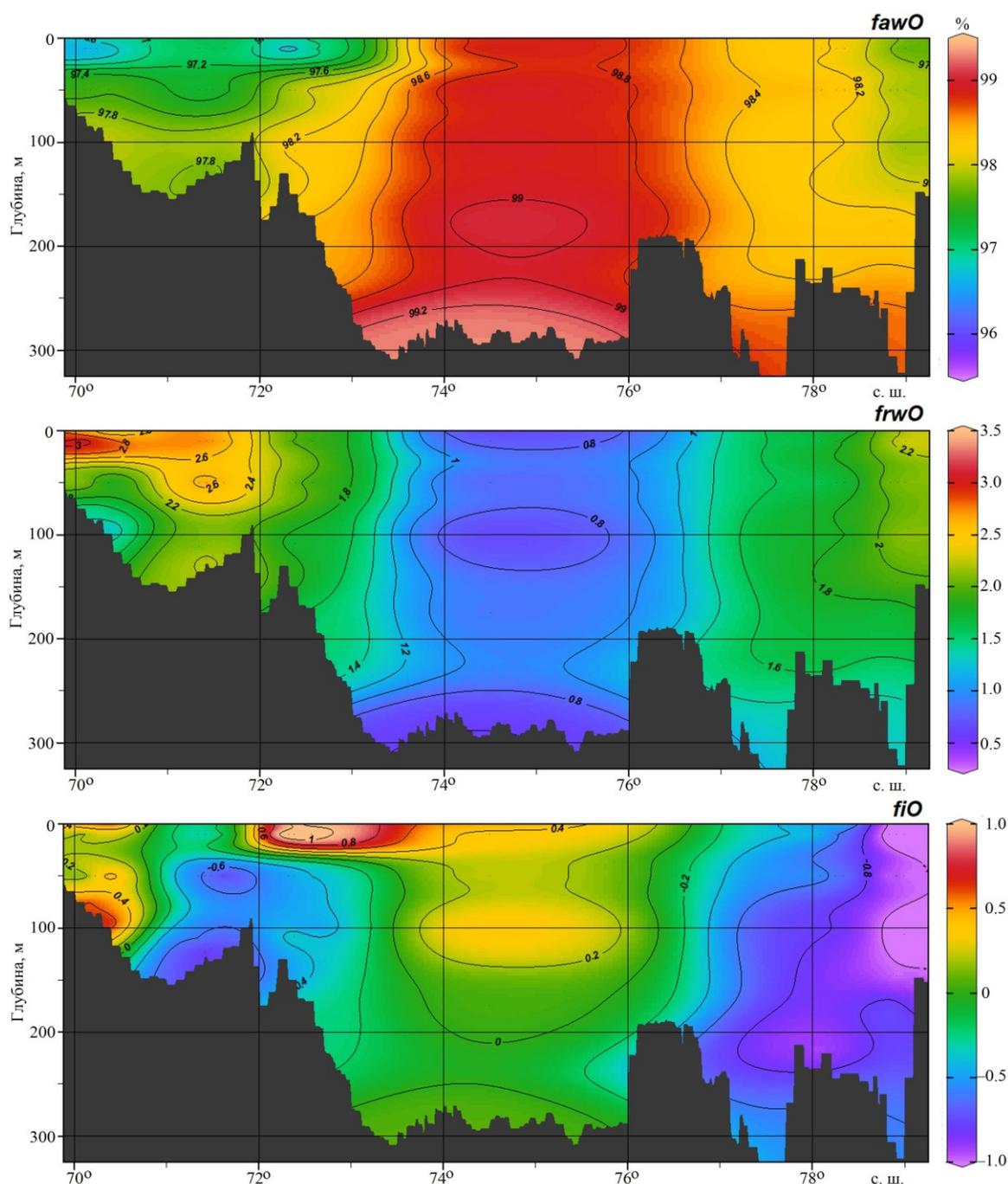


Рис. 4. Доля атлантических (f_{awO}), речных (f_{rwO}) и ледовых (f_{io}) вод, рассчитанная по $\delta^{18}O$ и их распределение
Fig. 4. Fraction of Atlantic (f_{awO}), river (f_{rwO}) and ice (f_{io}) waters content calculated of $\delta^{18}O$ and their distribution

Аналогичный анализ для районов с положительными значениями f_i позволяет получить данные о толщине льда, растаявшего в этом районе или толщине слоя талой воды, которая далее была перемешана с морской водой. Надо отметить, что в связи с тем, что поступающие атлантические воды имеют

положительную температуру, то таяние происходит в течение всего года. Максимальные средние взвешенные значения f_i от поверхности до дна в южной части разреза (при глубинах около 100 м) составляют 0.93–1.20 %. Это означает, что слой талой воды равен 93–120 см. В водах Новоземельского течения слой талой воды, перемешанный с атлантическими водами, соответствует 56–94 см.

Выводы

Исследования, проведенные в марте–апреле 2021 г. на НИС “Дальние Зеленцы”, дополнили общую базу данных значений стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в морских водах Баренцева моря. Сравнительная оценка содержания базовых вод, рассчитанная по соотношениям “ $\delta^{18}\text{O}$ –соленость” и “ $\delta^2\text{H}$ –соленость”, показывает, что полученные значения не выходят за границы среднего значения \pm СКО. Тем не менее, средние величины содержания атлантических и ледовых вод, рассчитанные с использованием изотопного параметра $\delta^2\text{H}$ несколько выше, чем рассчитанные по $\delta^{18}\text{O}$, а содержание речных вод несколько ниже.

Использование стабильных изотопов может стать эффективным способом проведения мониторинга изменения состава водных масс, а также процессов ледообразования/ледотаяния, в том числе и в рамках исследования климатической изменчивости гидрологических процессов благодаря своеобразным характеристикам “памяти”.

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.

Список литературы

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Ред. Ф. М. Терзиев. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.
2. Изотопные (δD , $\delta^{18}\text{O}$) параметры и источники опресненных вод Карского моря / Е. О. Дубинина, С. А. Коссова, А. Ю. Мирошников, Р. В. Фяйзуллина // *Океанология*. 2017. Т. 57, № 1. С. 38–48.
3. Научный отчет комплексной экспедиции на НИС “Дальние Зеленцы” в Баренцево море с 10 марта по 14 апреля 2021 г. / А. А. Дерябин, Т. М. Максимовская, И. А. Пастухов, А. Н. Гурба, О. П. Калинка, О. В. Човган / Отв. ред. Д. В. Моисеев. Мурманск: Изд. ММБИ РАН, 2022. 110 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49370684>
4. Dissolved neodymium (Nd) isotope compositions and rare earth element (REE) concentrations along with stable oxygen isotope compositions measured on water bottle samples collected during PU2014 to the Barents Sea in 2014 / G. Laukert, M. Makhotin, M. V. Petrova, A. Vesman, M. Frank, E. C. Hathorne, D. Bauch, P. Böning, H. Kassens, V. Ivanov // *Chemical Geology*. 20 April 2019. Vol. 511. P. 416–430. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.10.002>
5. *Namyatov A. A.* $\delta^{18}\text{O}$ as a tracer of the main regularities of water mass mixing and transformation in the Barents, Kara and Laptev seas // *J. Hydrology*. 2021. Vol. 593. Article 125813. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125813>
6. *Schmidt G. A., Bigg G. R., Rohling E. J.* Global Seawater Oxygen-18. Database-v1.22. 1999. URL: <https://data.giss.nasa.gov/o18data>
7. World Ocean Database 2018 / Т. Р. Boyer, О. К. Baranova, С. Coleman, Н. Е. Garcia, А. Grodsky, R. A. Locarnini, А. V. Mishonov, С. R. Paver, J. R. Reagan, D. Seidov, I. V. Smolyar, K. Weathers, M. M. Zweng / A.V. Mishonov (Tech. Ed.) // NOAA Atlas NESDIS. 2019. 87 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.34758.01602

References

1. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morej SSSR. Tom 1. Barencevo more. Vypusk 1. Gidrometeorologicheskie usloviya* [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR. Vol. 1. Barents Sea. Issue 1. Hydrometeorological conditions]. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1990, 280 p. (In Russ.).
2. Dubinina E. O., Kossova S. A., Miroshnikov A. Yu., Fyaizullina R. V. Izotopnye (δD , $\delta^{18}\text{O}$) parametry i istochniki opresnennyh vod Karskogo morya [Isotope (δD , $\delta^{18}\text{O}$) Composition and the Freshwater Input to the Kara Sea]. *Okeanologiya* [Oceanology], 2017, Vol. 1, No. 57. pp. 38–48. (In Russ.).
3. Deryabin A.A., Maksimovskaya T.M., Pastukhov I.A., Gurba A.N., Kalinka O.P., Chovgan O.V. *Nauchnyj otchet kompleksnoj ekspedicii na NIS “Dal’nie Zelency” v Barencevo more s 10 marta po 14 aprelya 2021 g.* [Scientific

- report of the complex expedition on the R/V "Dalnie Zelentsy" to the Barents Sea from 10 March to 14 April 2021]. Murmansk, Publ. MMBI RAS, 2022. 110 p. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49370684>
4. Laukert G., Makhotin M., Petrova M. V., Vesman A., Frank M., Hathorne E. C., Bauch D., Böning P., Kassens H., Ivanov V. Dissolved neodymium (Nd) isotope compositions and rare earth element (REE) concentrations along with stable oxygen isotope compositions measured on water bottle samples collected during PU2014 to the Barents Sea in 2014. *Chemical Geology*. 20 April 2019. Vol. 511. pp. 416–430. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.10.002>
 5. Namyatov A. A. $\delta^{18}\text{O}$ as a tracer of the main regularities of water mass mixing and transformation in the Barents, Kara and Laptev seas. *J. Hydrology*. 2021. Vol. 593. Article 125813. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125813>
 6. Schmidt G. A., Bigg G. R., Rohling E. J. Global Seawater Oxygen-18. Database-v1.22. 1999. Available at: <https://data.giss.nasa.gov/o18data>
 7. Boyer T. P., Baranova O. K., Coleman C., Garcia H. E., Grodsky A., Locarnini R. A., Mishonov A. V., Paver C. R., Reagan J. R., Seidov D., Smolyar I. V., Weathers K., Zweng M. M. World Ocean Database 2018. NOAA Atlas NESDIS. 2019. 87 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.34758.01602

Информация об авторе

Иван Александрович Пастухов – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-2090-0287>

Алексей Анатольевич Намятов – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-9276-3632>

Information about the author

Ivan A. Pastukhov – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-2090-0287>

Alexey A. Namyatov – PhD (Geography), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-9276-3632>

Статья поступила в редакцию 04.04.2023; одобрена после рецензирования 12.04.2023; принята к публикации 17.04.2023.
The article was submitted 04.04.2023; approved after reviewing 12.04.2023; accepted for publication 17.04.2023.

Научная статья
УДК 594 (268.45)
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.011

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАКОВИННЫХ БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ С ДЛИТЕЛЬНОЙ И КОРОТКОЙ ПЕЛАГИЧЕСКОЙ СТАДИЯМИ В ОТКРЫТЫХ РАЙОНАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Зинаида Юрьевна Румянцева^{1✉}, Иван Олегович Нехаев²

¹Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

¹rumyantseva@mmbi.info[✉], ²inekhaev@gmail.com

Аннотация

Продолжительность пелагической стадии у разных видов брюхоногих моллюсков влияет на их способность расселяться при помощи морских течений. Мы определили количество видов с длительной (планктотрофная личинка) и короткой или отсутствующей (лецитотрофная личинка) пелагическими стадиями в развитии у раковинных брюхоногих моллюсков из восьми районов открытой части Баренцева моря. Всего в исследуемых районах было выявлено 66 видов, из которых 25 являются микромоллюсками, а 41 – более крупными представителями макрофауны или ювенильными особями мегафауны. Лецитотрофный тип развития характерен для 57 видов, частично пелагический планктотрофный – 9 видам. По нашим данным, соотношение видов с лецитотрофным и планктотрофным типами развития примерно одинаково во всех исследованных районах Баренцева моря. Однако в южной части Баренцева моря доля видов с длинной пелагической стадией несколько выше, чем в северной части.

Ключевые слова

малакофауна, Баренцево море, типы развития, течения

Original article

DISTRIBUTION OF SHELL-BEARING GASTROPODS WITH LONG AND SHORT PELAGIC STAGES IN THE AREAS OF THE BARENTS SEA

Zinaida Yu. Rumyantseva^{1✉}, Ivan O. Nekhaev²

¹Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

¹rumyantseva@mmbi.info[✉], ²inekhaev@gmail.com

Abstract

The duration of the pelagic stage in different species of gastropod molluscs affects their ability to disperse by marine currents. We counted the number of species with long (planktotrophic larva) and short or absent (lecithotrophic larva) pelagic stages in development in shell gastropods from 8 areas of the open part of the Barents Sea. A total of 66 species were identified in the study area, of which 25 were true micromolluscs, and 41 species were represented mainly by juvenile individuals of larger molluscs by larger macrofaunal species. The predominant type of development is lecithotrophic (57 species) and partially pelagic planktotrophic (9 species). According to our data, the shares proportions of species with lecithotrophic and planktotrophic types of development are approximately the same in all investigated areas of the Barents Sea. But in the southern part of the Barents Sea the share of species with a long pelagic stage are slightly higher than in more numerous than in its northern part.

Keywords:

malacofauna, Barents Sea, types of development, currents

Введение

Развитие многих видов донных беспозвоночных происходит с планктонной личинкой, которая позволяет малоподвижным организмам расселяться на сравнительно большие расстояния. Продолжительность пелагической стадии у разных видов может варьировать от нескольких часов до нескольких недель. Короткоживущие пелагические личинки не могут преодолевать большие расстояния и, соответственно, ограничивают возможность расселения моллюсков с помощью течений. Напротив, длительная пелагическая стадия способствует расселению на большие расстояния вместе с движением водных масс. Можно предположить, что длительная пелагическая стадия

способствует расширению ареала в соответствии с направлением морских течений. Этот эффект должен проявляться как на глобальном, так и на локальном уровне.

Баренцево море обладает самым большим фаунистическим разнообразием среди морей Арктики. Течения обеспечивают обилие и неоднородность донного населения Баренцева моря. Наиболее значимым из них является теплое Северо-Атлантическое течение. В отдельных районах формируются локальные течения, к которым относятся, например, прибрежные течения вдоль Мурманского побережья и Новой Земли.

Анализ распространения микрогастропод в Арктике показал, что доля видов, имеющих длительную пелагическую стадию максимальна в юго-западной части Баренцева моря и сравнительно низка в других шельфовых регионах (Nekhaev, Krol, 2020). В цитируемом исследовании, однако, Баренцево море подробно не рассматривалось и остается непонятным, насколько указанная тенденция будет соблюдаться при более детальном изучении региона и рассмотрении всей фауны донных брюхоногих моллюсков, входящих в состав макробентоса.

Цель настоящей работы – выявление доли видов брюхоногих моллюсков с различным типом расселения в разных районах открытой части Баренцева моря. Отдельно будут проанализированы пропорции моллюсков с долгой и короткой пелагической стадией среди мелких (менее 5 мм) и крупных моллюсков, входящих в состав макрофауны.

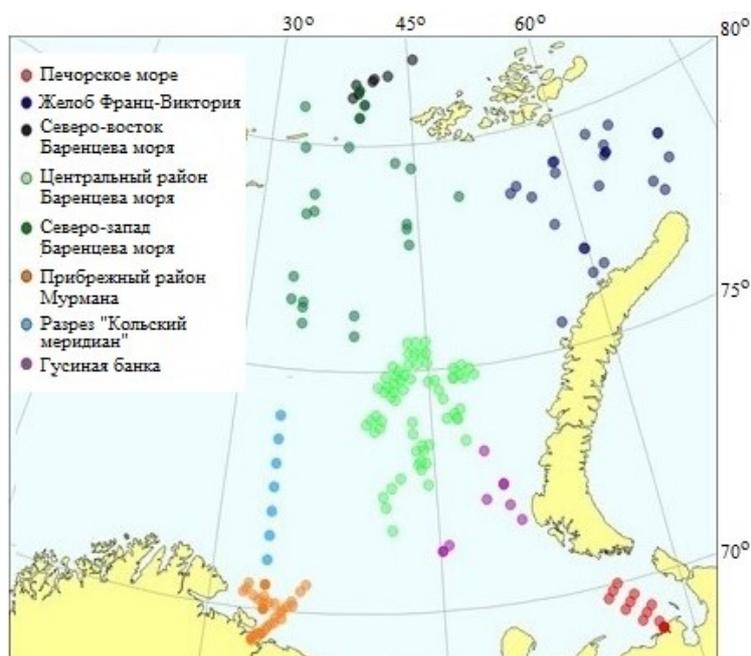
Материал и методы

Работа основана на материалах, собранных преимущественно в восточной части Баренцева моря с 2003 по 2008 гг. в шести рейсах Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (ПИНРО) на судах “Р. Муклевич”, “Ф. Нансен” и “Смоленск”, в трех рейсах на НИС “G.O. Sars” и в трех экспедициях Мурманского морского биологического института на НИС “Дальние Зеленцы” в 2006–2019 гг. Авторами проведена первичная сортировка части проб и таксономическая обработка материала. Всего обработано 958 проб с 269 станций.

Количественные пробы зообентоса в указанных экспедициях были отобраны дночерпателем ван-Вина с площадью захвата 0.1 м² в трех- или пятикратной повторности, промывались через капроновое сито с ячейей 0.5 или 0.75 мм и зафиксированы 4 %-м раствором формальдегида, нейтрализованным тетраборатом натрия. В условиях береговой лаборатории проводилась первичная сортировка проб, заключающаяся в отделении организмов от грунта, сортировке их по таксономическим группам и переводе в 75°-й раствор этилового спирта для дальнейшей идентификации.

Для получения гистограмм использован пакет анализа данных электронных таблиц Microsoft Excel 2010. Построение карт выполнено в программе Golden Software Map Viewer 8.

Продолжительность пелагической стадии была определена на основании морфологии эмбриональной раковины моллюсков. У видов с питающейся планктонной личинкой (т. е. длительной пелагической стадией) формируется протоконх II – особая часть эмбриональной раковины, отличающейся по строению от протоконха I, формирующегося в кладке (Bouchet, Strong, 2010). У видов с короткой пелагической стадией или вовсе без нее протоконх II отсутствует. Эмбриональная раковина, состоящая из протоконха I и протоконха II, называется планктотрофной, а состоящая только из протоконха I – лецитотрофной. Ввиду специфического строения эмбриональной раковины у подкласса Heterobranchia, которое не всегда позволяет определить наличие протоконхов I и II, его представители были отмечены как имеющие планктотрофный протоконх. Для видов, размер взрослых особей которых составляет 5 мм или меньше, был предложен термин “микромоллюск” (Chimienti et al., 2016). В данной работе для представителей макробентоса и молоди мегабентоса мы применили термин “немикромоллюски”. Основываясь на ограниченном материале и скудности станций, было выделено 8 районов исследований, которые имели значительное различие в видовом составе раковинных гастропод: Печорское море, желоб Франц-Виктория, северо-восток Баренцева моря, центральный район Баренцева моря, северо-запад Баренцева моря, прибрежный район Мурманска, разрез “Кольский меридиан”, Гусиная банка (рисунок).



Карта-схема районов исследований
 Map of the study areas

Результаты и обсуждение

Всего в исследуемом районе было отмечено 66 видов, из которых 25 являются микромоллюсками, а 41 – более крупными видами макрофауны или ювенильными особями видов мегафауны (таблица).

Число видов моллюсков с разным типом развития в районах исследований
Number of mollusk species with different types of development in the studied areas

Район	Немикромоллюски		Микромоллюски	
	I	II	I	II
Печорское море	1	14	–	3
Северо-восток Баренцева моря	1	9	2	5
Желоб Франц-Виктория	–	2	1	3
Центральный район Баренцева моря	–	16	2	4
Северо-запад Баренцева моря	–	8	2	4
Прибрежный район Мурмана	3	17	3	9
Разрез “Кольский меридиан”	4	13	1	6
Гусиная банка	1	13	–	4

ПРИМЕЧАНИЕ. Тип развития: I – планктотрофный, II – лецитотрофный.

Среди отмеченных 66 видов 9 имеют планктотрофный тип развития, 57 – лецитотрофный (встречаются практически повсеместно). Большинству немикромоллюсков характерен лецитотрофный протоконх, только у 4 видов предположительно имеется планктотрофная личинка. У 20 видов микромоллюсков отмечен лецитотрофный протоконх и только у 5 видов – планктотрофный протоконх.

Виды, имеющие планктотрофный тип развития (микромоллюски – *Diaphana hiemalis*, *Menestho truncatula*) были обнаружены в большинстве исследуемых районов Баренцева моря на больших глубинах. Немикромоллюски, имеющие планктотрофный протоконх, отмечены только в южной части Баренцева моря – в прибрежных районах Мурмана, разреза “Кольский меридиан”, Гусиной банки и Печорского моря.

В целом полученные результаты свидетельствуют о сравнительно редкой встречаемости длительного пелагического развития у баренцевомосрских брюхоногих моллюсков. Внутри Баренцева

моря различия в пропорциях видов с разным типом развития оказались сравнительно невысокими. Небольшое повышение доли видов с пелагической личинкой в южной части моря может быть вызвано двумя причинами. Во-первых, в этом регионе доля бореальных видов значительно выше, чем на севере. Ранее было показано, что доля видов с прямым типом развития выше среди типично арктических видов, по сравнению с более южными районами Баренцева моря (Clarke, 1992). Во-вторых, многие моллюски могли заселиться в регион непосредственно с Северо-Атлантическим течением, которое выступает в роли поставщика бореальной фауны в Баренцево море.

Можно предположить, что непосредственно транспортная функция течений в формировании фауны северной части Баренцева моря ниже по сравнению с южной. Однако, моллюски без продолжительной пелагической стадии могут расселяться при помощи течений на стадии кладки или во взрослом состоянии вместе с субстратом. Такое объяснение было предложено для находки бореального вида *Onoba aculeus* (Gould, 1841) в нижней части континентального шельфа Северного Ледовитого океана (северо-восток Баренцева моря) (Nekhaev, Rummyantseva, 2023).

Работа выполнена по теме “Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях” (№ госрегистрации 075-01431-23-00) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Bouchet P., Strong E. E. Historical name-bearing types in marine molluscs: an impediment to biodiversity studies? // *Systema Naturae 250: the Linnaean ark* / A. Polaszek (Ed.). London: CRC Press, 2010. P. 63–74.
2. Chimienti G., Mastrototaro F., Panetta P. Secrets in the sands: micromolluscs of Isole Tremiti MPA // *Biol. Mar. Mediterranea*. 2016. Vol. 23. P. 218–221.
3. Clarke A. Reproduction in the cold: Thorson revisited // *Invertebrate Reproduction and Development*. 1992. Vol. 22, № 1–3. P. 175–184.
4. Nekhaev I. O., Krol E. N. Hidden under ice and mud: diversity of shell-bearing microgastropods in the eastern Arctic seas // *Systematics and Biodiversity*. 2020. Vol. 18, № 8. P. 794–809. DOI: 10.1080/14772000.2020.1785577
5. Nekhaev I. O., Rummyantseva Z. Y. Escape from troubled shores: finding of a shallow-water boreal gastropod *Onoba aculeus* on the high Arctic shelf // *J. Mar. Biol. Ass. UK*. 2023. Vol. 103. Article e4. URL: <https://doi.org/10.1017/S0025315422001102>

References

1. Bouchet P., Strong E. E. Historical name-bearing types in marine molluscs: an impediment to biodiversity studies? *Systema Naturae 250: the Linnaean ark*. London, CRC Press, 2010, pp. 63–74.
2. Chimienti G., Mastrototaro F., Panetta P. Secrets in the sands: micromolluscs of Isole Tremiti MPA. *Biology Marine Mediterranean*, 2016, Vol. 23. pp. 218–221.
3. Clarke A. Reproduction in the cold: Thorson revisited. *Invertebrate Reproduction and Development*, 1992, Vol. 22, No. 1–3. pp. 175–184.
4. Nekhaev I. O., Krol E. N. Hidden under ice and mud: diversity of shell-bearing microgastropods in the eastern Arctic seas. *Systematics and Biodiversity*, 2020, Vol. 18, No. 8, pp. 794–809. DOI: 10.1080/14772000.2020.1785577
5. Nekhaev I. O., Rummyantseva Z. Y. Escape from troubled shores: finding of a shallow-water boreal gastropod *Onoba aculeus* on the high Arctic shelf. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2023, Vol. 103. Article e4. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0025315422001102>

Информация об авторе

Зинаида Юрьевна Румянцева – стажер-исследователь

Иван Олегович Нехаев – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0002-9464-715X>

Information about the author

Zinaida Yu. Rummyantseva – Trainee Researcher

Ivan O. Nekhaev – PhD (Biology), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-9464-715X>

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 29.03.2023; принята к публикации 14.04.2023.
The article was submitted 28.03.2023; approved after reviewing 29.03.2023; accepted for publication 14.04.2023.

Научная статья
УДК 551.352
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.012

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ХРОНОЛОГИИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ВПАДИНЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Ирина Сергеевна Усягина^{1✉}, Никита Игоревич Мещеряков², Наталья Сергеевна Иванова³
^{1–3}Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
¹usjagina@mmbi.info[✉], ²mescheriakov@mmbi.info, ³ivanova_ns@mmbi.info

Аннотация

Представлены результаты исследований ядра донных отложений из Центральной впадины Баренцева моря, отобранного в экспедиции на НИС “Дальние Зеленцы” в 2022 г. Вскрытая осадочная толща сложена алеврито-пелитовым материалом с примесью в отдельных слоях разномерного песка и хорошо окатанного гравия. По изменению удельной активности избыточного ²¹⁰Pb определена хронология накопления осадков. Полученные данные верифицированы с помощью ¹³⁷Cs. Темпы осадконакопления в исследуемом районе за последние 120 лет изменяются в пределах 0.05–0.1 см/год.

Ключевые слова:

Баренцево море, седиментация, хронология осадконакопления, ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs

Original article

PRELIMINARY RESULTS OF THE STUDY OF SEDIMENTATION IN THE CENTRAL DEPRESSION OF THE BARENTS SEA

Irina S. Usyagina^{1✉}, Nikita I. Mescheriakov², Natalia S. Ivanova³
^{1–3}Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
¹usjagina@mmbi.info[✉], ²mescheriakov@mmbi.info, ³ivanova_ns@mmbi.info

Abstract

The article represents the results of the study of bottom sediment cores taken from the R/V “Dalnie Zelentsy” in the Central Depression of the Barents Sea during the 2022 expedition. The exposed stratum of bottom sediments is composed of silty-pelitic material, in some layers there is an admixture of uneven-grained sand and grains of well-rounded gravel. The chronology of sedimentation was determined by changing the specific activity of excess ²¹⁰Pb, the obtained data were verified by ¹³⁷Cs. The rate of sedimentation in the study area over the past 120 years has varied within 0.05–0.1 cm/year.

Keywords:

Barents Sea, sedimentation, sedimentation chronology, ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs

Введение

Донные отложения Баренцева моря относятся к типу гляциально-морских, т. е. состоят из зерен самой разнообразной величины преимущественно минерального происхождения (Кленова, 1937). Их накопление в той или иной части бассейна напрямую зависит от климатических условий и океанологических процессов в регионе (Кленова, 1960; Zaborskaya et al., 2006; Лисицын, 2010; Chronology ..., 2021). Поэтому осадочная толща Баренцева моря содержит важную историческую информацию об условиях седиментации в бассейне. Размерный состав зерен, слагающих осадочную толщу, и скорость их накопления служат индикаторами условий седиментации в тот или иной хронологический период. Наиболее показательными для исследования седиментации в морских бассейнах являются отрицательные формы рельефа дна – впадины и котловины, не испытывающие размывающего воздействия придонных течений, перемешивания и перераспределения осадочного вещества. Эти формы рельефа дна являются седиментационными ловушками (Митяев и др., 2007) и, как следствие, наиболее информативны для характеристики условий осадконакопления в бассейне. Значимый научный интерес для исследования хронологии осадконакопления Баренцева моря представляет Центральная впадина. Она охватывает наибольшие глубины в восточной части моря и является его самой большой по площади и глубине (> 300 м) депрессией донного рельефа.

Цель настоящей работы – анализ хронологических и литологических данных об осадочной толще и выявление особенностей современной седиментации в Центральной впадине.

Центральная впадина Баренцева моря оконтурена изобатой 300 м и имеет максимальную глубину 386 м. Она простирается к западу от Западно-Новоземельского желоба, на юге граничит с Мурманской, Северо-Канинской и Гусиной банками, на западе ограничена Центральным плато и Центральной возвышенностью. Над впадиной расположена зона смешения теплых и холодных вод (Матишов и др., 2010).

В голоцене в Центральной впадине отмечено накопление осадков в основном пелитовой и алевроитовой размерности с примесью более грубых фракций. Мощность голоценовых отложений составляет приблизительно 2.5 м (Facies ..., 2006; Murdmaa, Ivanova, 2017).

Материал и методы

Пробы отбирали в Баренцевом море в экспедиции на НИС “Дальние Зеленцы” в феврале–марте 2022 г. Отбор проводили с помощью трубки ГОИН 1.5 в точках, где предположительно не происходит размыва поверхностного слоя донных отложений, чтобы соблюдалось условие постоянного потока взвешенного вещества, требуемое при проведении датирования по избыточному ^{210}Pb . Точки отбора проб показаны на рис. 1. В настоящей работе представлены предварительные результаты исследования донных отложений Центральной впадины Баренцева моря. В основу легли данные анализа грунтовой колонки из самой глубокой точки ст. 43, наиболее полно отражающие динамику седиментационных процессов в данной депрессивной форме рельефа. Для анализа были взяты две колонки ненарушенных донных отложений мощностью 30 см, отобранных с глубины 385 м. Колонки были разделены на тонкие слои, достаточные для обеспечения приемлемого временного разрешения интервалов датирования и для определения типов донных отложений.

Первичную обработку проб проводили на борту НИС “Дальние Зеленцы”. Для определения удельной активности общего ^{210}Pb и ^{137}Cs , необходимых при расчете возраста вскрытой осадочной толщи, верхнюю часть керна от 0 до 15 см разделяли на слои с дискретностью 1 см, с 15 по 30 см – с дискретностью 2 см. Керна, предназначенный для гранулометрического анализа, разделяли на слои по 2 см. Подготовленные к дальнейшему анализу пробы запечатывали в герметичную тару, замораживали при температуре $-18\text{ }^\circ\text{C}$, а затем доставляли в лабораторию ММБИ РАН.

В лаборатории перед проведением гамма-спектрометрического анализа все исследуемые образцы осадков сушили при комнатной температуре, измельчали и выдерживали не менее 30 сут. в герметично закрытых сосудах для обеспечения равновесия между ^{226}Ra и ^{222}Rn . Радиометрический анализ проб проводили в этих же сосудах после достижения равновесия. Время измерения – 85000 с, что обеспечивает погрешность измерений от 5 до 15 % в верхних слоях кернов.

Удельную активность ^{210}Pb и ^{137}Cs определяли на многоканальном гамма-спектрометре “Canberra” (США) для измерения рентгеновского и гамма-излучения со свинцовой экран-защитой детектора. В качестве регистрирующей части использовался широкополосный детектор из особо чистого германия планарного типа BE5030 с входным окном из “carbon epoxy” толщиной 0.6 мм и диаметром кристалла 80 мм, позволяющим регистрировать гамма-кванты с энергией от 3 КэВ до 3 МэВ. Сбор спектральной информации осуществляли на анализаторе импульсов DSA-1000 (США) с разрешением 16К каналов, соответствующем современной технологии цифровой обработки сигналов. Обработку спектров и идентификацию радионуклидов проводили с помощью программного обеспечения Genie-2000 (версия 3.3). Активность $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ была скорректирована на дату сбора керна, а результаты указываются в пересчете на сухую массу с поправкой на самопоглощение и геометрию образца.

Датирование донных отложений проводили по неравновесному (избыточному) ^{210}Pb . Природный радионуклид ^{210}Pb , период полураспада ($T_{1/2}$) 22.3 г. – член цепи распада ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1600$ лет), который образуется при последовательном распаде материнского изотопа ^{238}U . В донных отложениях ^{210}Pb состоит из равновесного ^{210}Pb , который непрерывно образуется и предположительно находится в вековом равновесии со своим исходным радионуклидом ^{226}Ra , и неравновесного ^{210}Pb , поступающего на поверхность водных объектов и окружающую их водосборную площадь и, как

следствие, в донные отложения, в результате атмосферного осаднения. Неравновесный ^{210}Pb определяют путем вычитания из общей активности ^{210}Pb равновесной активности (активности ^{226}Ra) и используют для определения возраста осадков и скорости осадконакопления в бассейне седиментации.

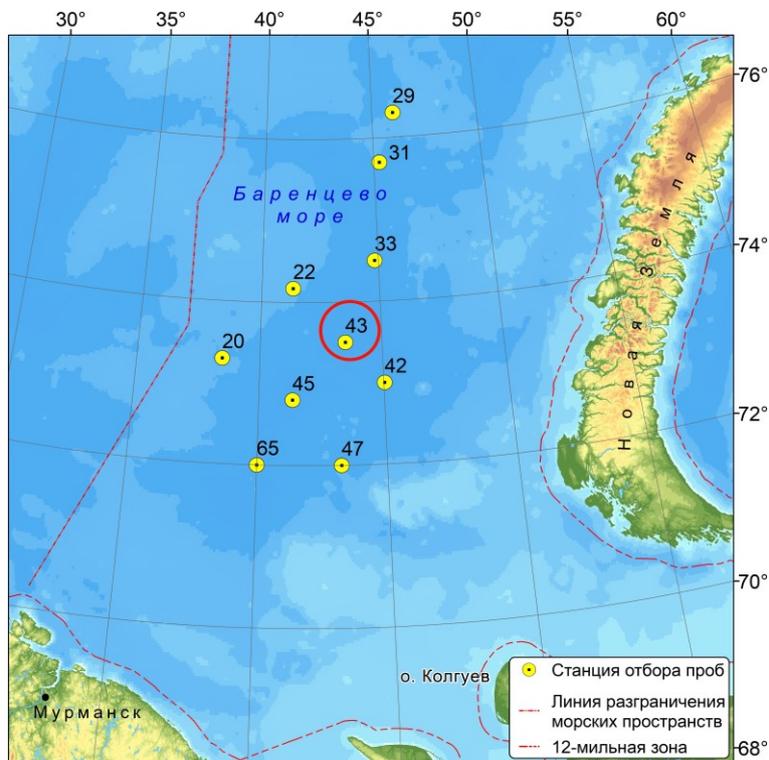


Рис. 1. Карта-схема отбора проб в районе работ
Fig. 1. Map-scheme of sampling sites

Рассчитанный возраст осадочных горизонтов уточняли по удельной активности техногенного радионуклида ^{137}Cs , который накапливался в донных отложениях с потоком взвеси. Хроностратиграфический маркер ^{137}Cs применяется для датирования кернов донных отложений в Арктике, так как выпадение радиоактивных осадков в результате атмосферных испытаний ядерного оружия имело место в глобальном масштабе, а наличие пиков концентрации в большинстве случаев позволяет сопоставить дату загрязнения с известной датой события.

Гранулометрический анализ выполняли по методу, разработанному Всероссийским научно-исследовательским институтом геологии и минеральных ресурсов Мирового океана (ВНИИОкеангеологии) без химического воздействия на донные отложения (Андреева, Лапина, 1998). Пробы высушивали при температуре $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы. Высушенные образцы заливали дистиллированной водой и кипятили в течение 30 мин. Полученную суспензию растирали резиновым пестиком, после чего вновь заливали дистиллированной водой ($T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) и охлаждали до комнатной температуры. Разделение размерных фракций в пробах проводили согласно этапам, указанным в методике. Удаление фракции пелита (< 0.01) контролировали под микроскопом. Тип донных отложений определяли по классификации, разработанной ВНИИОкеангеология. Потерю при прокаливании (ППП) определяли как разницу между массой пробы до и после прокалывания в муфельной печи при температуре $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы. Изменение массы образца косвенно показывает количество удаленного из пробы органического вещества.

Результаты и обсуждение

Хронология осадконакопления. Результаты измерений удельной активности общего ^{210}Pb в слоях керна от 0 до 11 см показало снижение значений от 290 до 59.7 Бк/кг, которое описывается экспоненциальной кривой (рис. 2). Во всех последующих горизонтах мы наблюдали незначительные колебания этого показателя, средняя удельная активность для разделенных горизонтов с 11 до 30 см вскрытой осадочной толщи составляла 56.9 ± 5.0 Бк/кг. Согласно методическим рекомендациям расчета возраста в морских осадках (Sanchez-Cabeza, Ruis-Fernandes, 2012), отсутствие дальнейшего снижения общего ^{210}Pb в нижних слоях колонки свидетельствует о том, что в этих слоях ^{210}Pb находится в равновесии со своим исходным радионуклидом ^{226}Ra . Исходя из этого, среднюю удельную активность равновесного ^{210}Pb принимают равной ^{226}Ra , и в дальнейшем рассчитывают удельную активность неравновесного ^{210}Pb , вычитая это значение (в нашем случае оно составляет 56.9 ± 5.0 Бк/кг) из общей активности ^{210}Pb в каждом слое колонки.

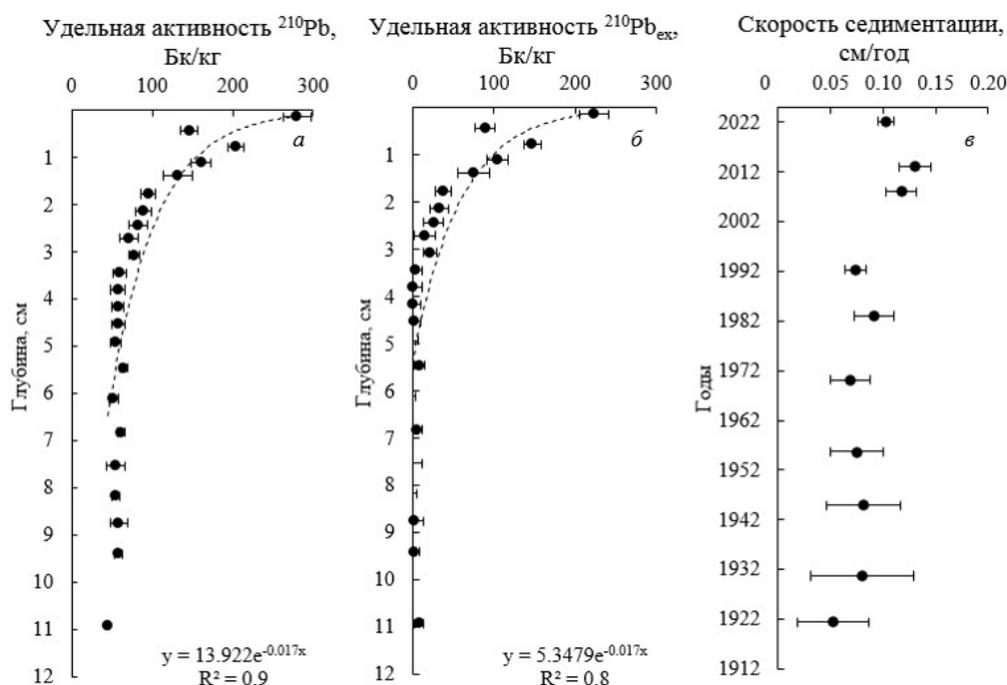


Рис. 2. Удельная активность ^{210}Pb (общего) (а), $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (избыточного) (б) в осадочных горизонтах керна и скорость седиментации (в)

Fig. 2. Specific activities of ^{210}Pb (total) (а), $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ (excess) (б) in the sedimentary horizons of the core and sedimentation rate (в)

Расчет возраста донного осадка производится по экспоненциальному уравнению, описывающему уменьшение общей удельной активности ^{210}Pb с глубиной только при условии, что поток неравновесного ^{210}Pb на поверхность осадка постоянен и нет процессов, приводящих к его смешиванию или перераспределению (Sanchez-Cabeza, Ruis-Fernandes, 2012). Для полученных в настоящей работе результатов наиболее применима модель расчетов возраста осадочных горизонтов Constant Flux (CF), так как в исследуемой точке Центральной впадины наблюдается постоянный вертикальный поток частиц на дно, слои не подвергаются перемешиванию, следовательно, соблюдаются все условия моделирования по неравновесному ^{210}Pb .

Радиометрический анализ слоев вскрытой осадочной толщи керна показал, что в слое 10–11 см содержание общего ^{210}Pb снизилось до уровня равновесия с исходным радионуклидом ^{226}Ra , что позволило определить нижнюю границу возраста осадочных слоев как 1839 г. Однако модель CF дает высокую погрешность определения даты образования этого слоя (1839 ± 115 лет). Исходя из этого,

за нижнюю границу уверенного определения возраста мы приняли слой 8–9 см, сформированный в 1921 г. (1921 ± 14.3 лет), т. е. возраст нижнего слоя составляет не более 100 лет. Полученные возрасты осадочных слоев керна Центральной котловины хорошо верифицируются по техногенному радионуклиду ^{137}Cs .

Самый нижний слой керна, где обнаружен ^{137}Cs (5–6 см), ориентировочно сформировался в 1950–1960-е гг. В этот период США и Советским Союзом проводились испытания мощных ядерных и термоядерных зарядов в разных районах мира. Так на архипелаге Новая Земля было проведено 75 атмосферных ядерных взрывов, включая взрыв самого мощного термоядерного заряда (“Царь-бомба”). Уже к середине 1950-х гг. уровень концентрации ^{137}Cs в атмосфере Северного полушария повысился достаточно высоко, чтобы создать измеримый сигнал в почвах и донных отложениях водоемов (Техногенные ..., 2005). Таким образом, возраст слоя 5–6 см следует отнести к периоду испытаний ядерного оружия, что сопоставимо с хронологическими данными, полученными по ^{210}Pb . По данным модели CF, осадочный слой исследуемого керна сформировался в период 1956–1970 гг.

В верхних слоях керна (1–5 см) удельная активность ^{137}Cs варьировала в пределах от 1.8 до 4.9 Бк/кг, максимум наблюдался в слое 3–4 см. Такое распределение соответствует по датам трансокеаническому переносу в Баренцево море радиоактивных сбросов завода по переработке ядерного топлива Селлафилд (Великобритания). Пик содержания ^{137}Cs в морской воде Баренцева моря приходится на 1982–1983 гг. (Kautsky, 1988), следовательно, вполне вероятно, что слой керна 3–4 см, где наблюдается резкое увеличение удельной активности радионуклида, сформировался (по модели CF) с 1983 по 1992 гг.

В поверхностном слое керна (0–1 см) удельная активность ^{137}Cs ниже минимально детектируемой активности (< МДА). Этот слой сформировался с 2013 по 2022 гг., в период отсутствия чрезвычайных ситуаций, связанных с выбросами радиоактивных веществ в море и атмосферу.

Скорость седиментации с 1921 по 2022 гг. изменялась от 0.05 до 0.13 см/год, при среднем значении 0.09 см/год (по ^{210}Pb) и 0.1 см/год (по ^{137}Cs). В XX веке темпы седиментации варьировали в пределах 0.07–0.08 см/год. К настоящему времени (2000–2022 гг.) темпы седиментации увеличились в 2 раза, среднее значение составляет 0.14 см/год. Причина изменения скорости осадконакопления – существенное потепление в конце XX–начале XXI века, что соответствует литературным данным (Key ..., 2019).

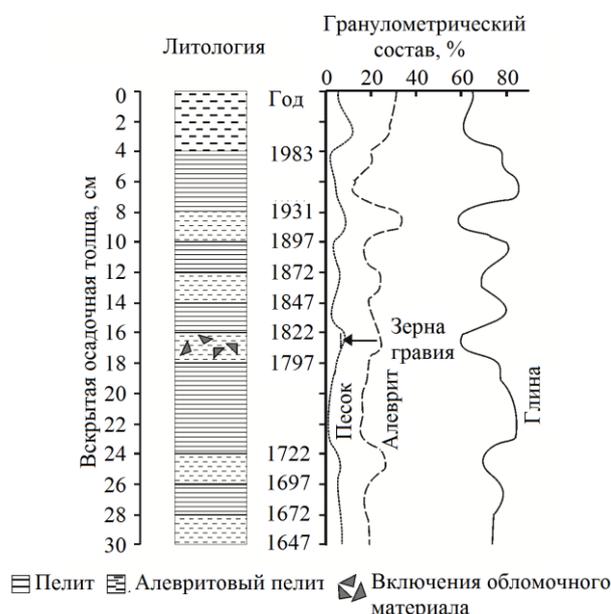


Рис. 3. Хронология формирования типов донных отложений в Центральной впадине Баренцева моря
Fig. 3. Chronology of the formation of bottom sediment types in the Central Depression of the Barents Sea

Таким образом, нами сделана попытка реконструкции возраста осадочной толщи Центральной впадины Баренцева моря на более ранний период. Учитывая то, что скорость осадконакопления в XX веке до потепления была относительно постоянной (рис. 2), значение 0.08 см/год может быть принято для вычисления возраста нижних слоев. Расчеты показали, что слой 30 см может быть датирован возрастом в 375 лет.

Вскрытая осадочная толща (30 см) сложена зернами пелита и алевролита с примесью разномерного песка, а в редких случаях – гравия. По классификации М. В. Кленовой (1937), в профиле керна вся осадочная толща представлена глинистым илом, а по классификации ВНИИОкеангеологии (Андреева, Лапина, 1998), – алевроитовым пелитом и пелитом (рис. 3).

Присутствие гравийно-галечного материала в слое 16–18 см, который сформировался приблизительно в 1797–1822 гг., свидетельствует об усиленном влиянии ледового разноса в этот период времени. Из литературы известно, что этот временной отрезок приурочен к аномально холодным (за последние 1000 лет) годам малого ледникового периода в Северном полушарии (High-resolution ..., 1998; Mann et al., 1999), что могло повлиять на ледовитость Баренцева моря. Таким образом, гравийно-галечная фракция (материал ледового разноса) позволяет сопоставить рассчитанные нами изотопным методом скорости осадконакопления и возраст осадочных слоев (рис. 3).

Выводы

В Центральной впадине Баренцева моря в последнее 375 лет формируются два периодически сменяющих друг друга типа донных отложений – пелит и алевроитовый пелит. Ледовитость оказывает существенное влияние на формирование донных отложений. В аномально холодные периоды в осадочной толще отмечается увеличение доли зерен крупнозернистого песка и гравия (слой 16–18 см), попавших сюда за счет ледового переноса. Темпы седиментации в настоящее время (2000–2022 гг.) увеличились в 2 раза по сравнению с XX веком.

Работа выполнена по теме Российского научного фонда 22-17-00243 “Радиационная океанология и геоэкология прибрежного шельфа Баренцева и Белого морей. Биокосные взаимодействия в системе: донные отложения–вода–макроводоросли–микроорганизмы, их роль в ремедиации морской прибрежной экосистемы при радиационном и химическом загрязнении в условиях Арктики” (№ госрегистрации 122120700104-2).

Список литературы

1. Андреева И. А., Лапина Н. Н. Методика гранулометрического анализа донных осадков Мирового океана и геологическая интерпретация результатов лабораторного изучения вещественного состава осадков / Науч. ред. В. Л. Иванов. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. 45 с.
2. Кленова М. В. Осадки Баренцева моря // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та морского рыбного хозяйства и океанографии. 1937. Т. IV, № 1. С. 61–70.
3. Кленова М. В. Геология Баренцева моря. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 365 с.
4. Лисицын А. П. Новый тип седиментогенеза в Арктике – ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51, № 1. С. 18–60.
5. Матишов Г. Г., Жичкин А. П., Моисеев Д. В. Схема циркуляции вод и положение климатических фронтальных зон в Баренцевом море. Мурманск: Изд. ММБИ РАН, 2010. 1 с.
6. Митяев М. В., Хасанкаев В. Е., Голубев В. А. Желоба Баренцева моря – современные каналы транспортировки или ловушки осадочного вещества? // Арктика и Антарктика. 2007. № 5(39). С. 72–79.
7. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию: радиоэкологические последствия удаления радиоактивных отходов в арктические и дальневосточные моря (Белая книга-2000) / Ю. В. Сивинцев, С. М. Вакуловский, А. П. Васильев и др. М.: ИздАТ, 2005. 624 с.
8. Chronology of sedimentation in Colesbukta, Spitsbergen (Svalbard Archipelago): the results of the 2018 expedition / N. I. Meshcheryakov, I. S. Usyagina, V. V. Sharin, V. A. Dauvalter, G. N. Dukhno // IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci. 2021. № 937. DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042081
9. Facies system of the Eastern Barents Sea since the last glaciation to present / I. Murdmaa, E. Ivanova, J.-C. Duplessy, M. Levitan, T. Khusid, M. Bourtnan, G. Alekhina, T. Alekseeva, M. Belousov, V. Serova // Marine Geology. 2006. Vol. 230, № 3. P. 275–303.

10. High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with general circulation model control-run temperatures / P. D. Jones, K. R. Briffa, T. P. Barnett, S. F. B. Tett // *The Holocene*. 1998. Vol. 8, № 4. P. 455–471.
11. *Kautsky H.* Determination of distribution processes, transport routes and transport times in the North Sea and the northern Atlantic using artificial radionuclides as tracers // *Radionuclides: a tool for oceanography B* / J. C. Guary, P. Guegueniat, R. J. Pentreath (Eds.). London: Elsevier, 1988. P. 271–280.
12. Key indicators of Arctic climate change: 1971–2017 / J. E. Box, W. T. Colgan, T. R. Christensen et al. // *Environ. Res. Lett.* 2019. Vol. 14, № 4. DOI: 10.1088/1748-9326/aafc1b
13. *Mann M. E., Bradley R. S., Hughes M. K.* Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations // *Geophys. Res. Lett.* 1999. Vol. 26, № 6. P. 759–762.
14. *Murdmaa I., Ivanova E.* Deglaciation of the late weichselian Barents Sea ice sheet // *Deglaciation processes, causes and consequences*. 2017. P. 141–171.
15. *Sanchez-Cabeza J. A., Ruiz-Fernández A. C.* ²¹⁰Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2012. № 82. P. 183–200. DOI: 10.1016/j.gca.2010.12.024
16. *Zaborska A., Pempkowiak J., Papucci C.* Some sediment characteristics and sedimentation rates in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard) // *Archives Environ. Prot.* 2006. № 8. P. 79–96.

References

1. *Andreeva I. A., Lapina N. N.* *Metodika granulometricheskogo analiza donnykh osadkov Mirovogo okeana i geologicheskaya interpretatsiya rezul'tatov laboratornogo izucheniya veshchestvennogo sostava osadkov* [Methods for the granulometric analysis of bottom sediments in the World Ocean and geological interpretation of results of laboratory study of the sediment composition]. Saint-Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 1998, 45 p. (In Russ.).
2. *Klenova M.V.* Osadki Barenceva morya [Bottom sediments of the Barents Sea]. *Trudy Vsesoyuznogo nauchno issledovatel'skogo instituta morskogo rybnogo hozyajstva i okeanografii* [Proceedings of the All-Union Scientific Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography], 1937, Vol. 51, No. 1, pp. 18–60. (In Russ.).
3. *Klenova M. V.* *Geologiya Barenceva morya* [Geology of the Barents Sea]. Moscow, Publ. of the USSR Academy of Sciences, 1960, 381 p. (In Russ.).
4. *Lisitzin A. P.* Novyj tip sedimentogeneza v Arktike – ledovyj morskoy, novye podhody k issledovaniyu processov [Marine ice-rafting as a new type of sedimentogenesis in the Arctic and novel approaches to studying sedimentary processes]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2010, Vol. 51, No. 1, pp. 18–60. (In Russ.).
5. *Matishov G. G., Zhichkin A. P., Moiseev D. V.* *Skhema cirkulyacii vod i polozhenie klimaticheskikh frontal'nyh zon v Barencevom more* [Scheme of water circulation and position of climatic frontal zones in the Barents Sea]. Murmansk, Publ. MMBI RAS, 2010, 1 p. (In Russ.).
6. *Mityaev M. V., Khasankaev V. B., Golubev V. A.* Zheloba Barenceva morya – sovremennye kanaly transportirovki ili lovushki osadochnogo veshchestva? [Barents Sea trenches – modern canals of transportation or traps of the sedimental material?]. *Arktika i Antarktika* [Arctic and Antarctica], 2007, Vol. 5, No. 39, pp. 72–79. (In Russ.).
7. *Sivintsev Yu. V., Vakulovsky S. M., Vasiliev A. P., Vysotsky V. L., Gubin A. T., Danilyan V. A., Kobzev V. I., Kryshev I. I., Lavkovsky S. A., Mazokin V. A., Nikitin A. I., Petrov O. I., Pologikh B. G., Skorik Yu. I.* *Tekhnogennye radionuklidy v moryah, omyvayushchih Rossiyu: radioekologicheskie posledstviya udaleniya radioaktivnyh othodov v arkticheskie i dal'nevostochnye morya (Belaya kniga-2000)* [Technogenic radionuclides in the seas washing Russia. Radioecological consequences of the disposal of radioactive waste in the Arctic. Ecology of the Arctic and Far Eastern seas (White Book-2000)]. Moscow, IzdAT, 2005, 624 p. (In Russ.).
8. *Meshcheryakov N. I., Usyagina I. S., Sharin V. V., Dauvalter V. A., Dukhno N. G.* Chronology of sedimentation in Colesbukta, Spitsbergen (Svalbard Archipelago): the results of the 2018. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, No. 937. DOI: 10.1088/1755-1315/937/4/042081
9. *Murdmaa I., Ivanova E., Duplessy J.-C., Levitan M., Khusid T., Bourtman M., Alekhina G., Alekseeva T., Belousov M., Serova V.* Facies system of the Eastern Barents Sea since the last glaciation to present. *Marine Geology*, 2006, Vol. 230, No. 3, pp. 275–303.
10. *Jones P. D., Briffa K. R., Barnett T. P., Tett S. F. B.* High-resolution palaeoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with general circulation model control-run temperatures. *The Holocene*, 1998, Vol. 8, No. 4, pp. 455–471.
11. *Kautsky H.* Determination of distribution processes, transport routes and transport times in the North Sea and the northern Atlantic using artificial radionuclides as tracers. *Radionuclides: a tool for oceanography B*. London, Elsevier, 1988, pp. 271–280.

12. Box J. E., Colgan W. T., Christensen T. R., Schmidt N. M., Lund M., Parmentier F.-J. W., Brown R., Bhatt U. S., Euskirchen E. S., Romanovsky V. E., Walsh J. E., Overland J. E., Wang M., Corell R. W., Meier W. N., Wouters B., Mernild S., Mard J., Pawlak J., Olsen M. S. Key indicators of Arctic climate change: 1971–2017. *Environmental Research Letters*, 2019, Vol. 14, No. 4. DOI: 10.1088/1748-9326/aafc1b
13. Mann M. E., Bradley R. S., Hughes M. K. Northern hemisphere temperatures during the past millennium: Inferences, uncertainties, and limitations. *Geophysical Research Letters*, 1999, Vol. 26, No. 6, pp. 759–762.
14. Murdmaa I., Ivanova E. Deglaciation of the late weichselian Barents Sea ice sheet. *Deglaciation processes, causes and consequences*, 2017, pp. 141–171.
15. Sanchez-Cabeza J. A., Ruiz-Fernández A. C. ^{210}Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2012, No. 82, pp. 183–200. DOI: 10.1016/j.gca.2010.12.024
16. Zaborska A., Pempkowiak J., Papucci C. Some sediment characteristics and sedimentation rates in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard). *Archives of Environmental Protection*, 2006, No. 8, pp. 79–96.

Информация об авторе

Ирина Сергеевна Усягина – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0002-5984-6479>

Никита Игоревич Мещеряков – кандидат географических наук, старший научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0002-8955-8611>

Наталья Сергеевна Иванова – стажер-исследователь

Information about the author

Irina S. Usyagina – PhD (Geography), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5984-6479>

Nikita I. Mescheriakov – PhD (Geography), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-8955-8611>

Natalia S. Ivanova – Trainee Researcher

Статья поступила в редакцию 23.03.2023; одобрена после рецензирования 31.03.2023; принята к публикации 03.04.2023.
The article was submitted 23.03.2023; approved after reviewing 31.03.2023; accepted for publication 03.04.2023.

Научная статья
УДК 597.2/5 (268.52)
doi:10.37614/2949-1185.2023.2.3.013

СВЕДЕНИЯ О РОСТЕ И ВОЗРАСТЕ АРКТИЧЕСКОГО ШЛЕМОНОСНОГО БЫЧКА *GYMNOCANTHUS TRICUSPIS* (REINHARDT, 1830) В КАРСКОМ МОРЕ

Сергей Андреевич Чаус

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
chaus@mmbi.info

Аннотация

В работе представлены сведения о размерно-возрастной структуре и темпах роста арктического шлемоносного бычка *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830) в Карском море. В уловах отмечены особи длиной 4.5–19.5 см, массой 0.8–111.0 г и в возрасте 1+...7+. Установлено, что самцы и самки бычка в течение первых трех лет жизни имеют сопоставимые размеры, а с четвертого года самки растут быстрее, в связи с чем линейно-весовые показатели одновозрастных рыб могут значительно различаться. Наиболее многочисленной размерной группой являются особи длиной 9.0–11.0 см, модальная возрастная группа представлена пятилетками.

Ключевые слова:

арктический шлемоносный бычок *Gymnocanthus tricuspis*; размеры, возраст, темп роста, Арктика

Original article

SOME DATA ABOUT GROWTH AND AGE OF ARCTIC STAGHORN SCULPIN *GYMNOCANTHUS TRICUSPIS* (REINHARDT, 1830) IN THE KARA SEA

Sergei A. Chaus

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
chaus@mmbi.info

Abstract

This article provides data on size-age composition and growth rate of arctic staghorn sculpin *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830) in the Kara Sea. Sculpins aged from 1+ to 7+ years, total length (TL) 4.5–19.5 cm long, and weighing 0.8–111.0 g were registered in catches. It is known that during the first three years of life, body sizes of males and females of this species are comparable, but from the fourth year onwards, females grow much faster; that's the reason why length and weight of fish with the same age may be significantly different. Individuals of *G. tricuspis* with a TL 9.0–11.0 cm and age 4+ dominated.

Keywords:

arctic staghorn sculpin *Gymnocanthus tricuspis*, size, age, growth rate, Arctic region

Введение

Арктический шлемоносный бычок *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830) – типичный представитель донной ихтиофауны арктических морей, регулярно встречающийся, а порой даже преобладающий в уловах (Андрияшев, 1954; Allen, Smith, 1988; Андрияшев, Чернова, 1994; Шейко, Федоров, 2000; List ..., 2013; Marine ..., 2018; Парин и др., 2014; Некоторые ..., 2020).

По результатам многолетних исследований, распределение и биология *G. tricuspis* наиболее полно изучены в морях Баренцевом, Чукотском и Бофорта (Tokranov et al., 2022), в то время как данные для сибирских морей (Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского) отрывочны. В связи с этим возникает потребность во всестороннем изучении различных биологических характеристик рассматриваемого вида в акваториях, доступ в которые затруднен из-за неблагоприятных факторов. Цель работы заключается в актуализации информации о размерно-возрастной структуре арктического шлемоносного бычка в Карском море.

Материал и методы

Материал для настоящей работы был собран в экспедициях Мурманского морского биологического института РАН в Карском море в 2012, 2015 и 2016 гг. на НИС “Дальние Зеленцы”.

Измерения длины и массы рыб проведены на судне при помощи металлической линейки и медицинских весов (с точностью до 0.1 г). Биологический анализ выполнен у 140 экз. *G. tricuspis*. Для определения возраста у особей изымали отолиты, которые в лабораторных условиях просветляли в глицерине, при необходимости подпиливали и просматривали в падающем свете при помощи бинокля.

Результаты и обсуждение

У проанализированных рыб максимальная длина арктического шлемоносного бычка была 19.5 см, масса – 111.0 г. Материал представлен особями длиной от 4.5 до 19.5 см и массой от 0.8 до 111.0 г. В целом рыбы длиной до 10.0 см (55 %) и массой до 10.0 г (44 %) преобладали в уловах (таблица).

Длина и масса особей *G. tricuspis* разного возраста в Карском море
Length and weight of *G. tricuspis* of different ages in the Kara Sea

Возраст, лет	Количество, экз.	Длина, см	Масса, г
1+	17	<u>4.5–5.5</u>	<u>0.8–2.6</u>
		5.1±0.3	1.7±0.6
2+	18	<u>5.5–7.2</u>	<u>1.4–5.8</u>
		6.5±0.5	3.2±1.2
3+	24	<u>7.2–9.5</u>	<u>3.8–11.3</u>
		8.3±0.9	6.7±2.3
4+	51	<u>8.4–13.0</u>	<u>7.4–27.2</u>
		10.6±1.0	15.3±4.6
5+	27	<u>11.5–15.8</u>	<u>17.0–72.0</u>
		13.1±1.1	31.8±14.2
6+	11	<u>14.3–16.2</u>	<u>33.0–74.0</u>
		15.0±0.7	52.9±14.9
7+	9	<u>16.1–19.5</u>	<u>68.0–111.0</u>
		18.2±1.1	83.0±13.4

ПРИМЕЧАНИЕ. Над чертой – минимальное–максимальное значение, под чертой – среднее±ошибка среднего.

Первые три года жизни у особей арктического шлемоносного бычка характеризуются схожими размерами, затем самки растут быстрее, что отражается на длине одновозрастных особей. Самцы меньше самок, раньше созревают и отличаются от самок меньшей продолжительностью жизни. Это ведет, во-первых, к увеличению доли самцов в нерестовой части популяции, и, во-вторых, к постепенному уменьшению доли самцов среди наиболее крупных особей (Токранов, 2016; Tokranov et al., 2022). Среди проанализированных самцов отмечены особи длиной 4.5–18.5 см и массой 0.8–89.0 г. Возраст самцов от 1+ до 7+ лет. Самки имели длину 5.0–19.5 см, массу 0.9–111.0 г, возраст 1+...7+ лет (рис. 1).

В границах ареала вида в Арктике отмечаются поимки особей арктического шлемоносного бычка длиной от 2.0 до 17.0 см с наиболее часто встречающейся размерной группой 4.0–6.0 см (Fish ..., 1984; Atkinson, Percy, 1991, 1992; Russian-american ..., 2007; Influences ..., 2016; Food ..., 2017; Forster et al., 2020). Однако в западной части ареала отмечены особи более крупного размера. Так, у о. Ньюфаундленд в водах архипелага Шпицберген и в Баренцевом море зарегистрированы особи длиной до 26.8 см с модальными группами более 10.0 см (Ennis, 1968; Atlas ..., 2011; Brand, Fischer, 2016). Рыбы из Карского моря в среднем меньше, чем экземпляры из западной части ареала, однако превосходят в размерах рыб этого вида из восточных морей – Чукотского, Бофорта, морей Канадской Арктики (Spatial ..., 2009; Food ..., 2017). Подобная географическая изменчивость может быть связана с различающимися условиями окружающей среды в разных частях местообитания вида, а также селективной способностью используемого в исследованиях оборудования.

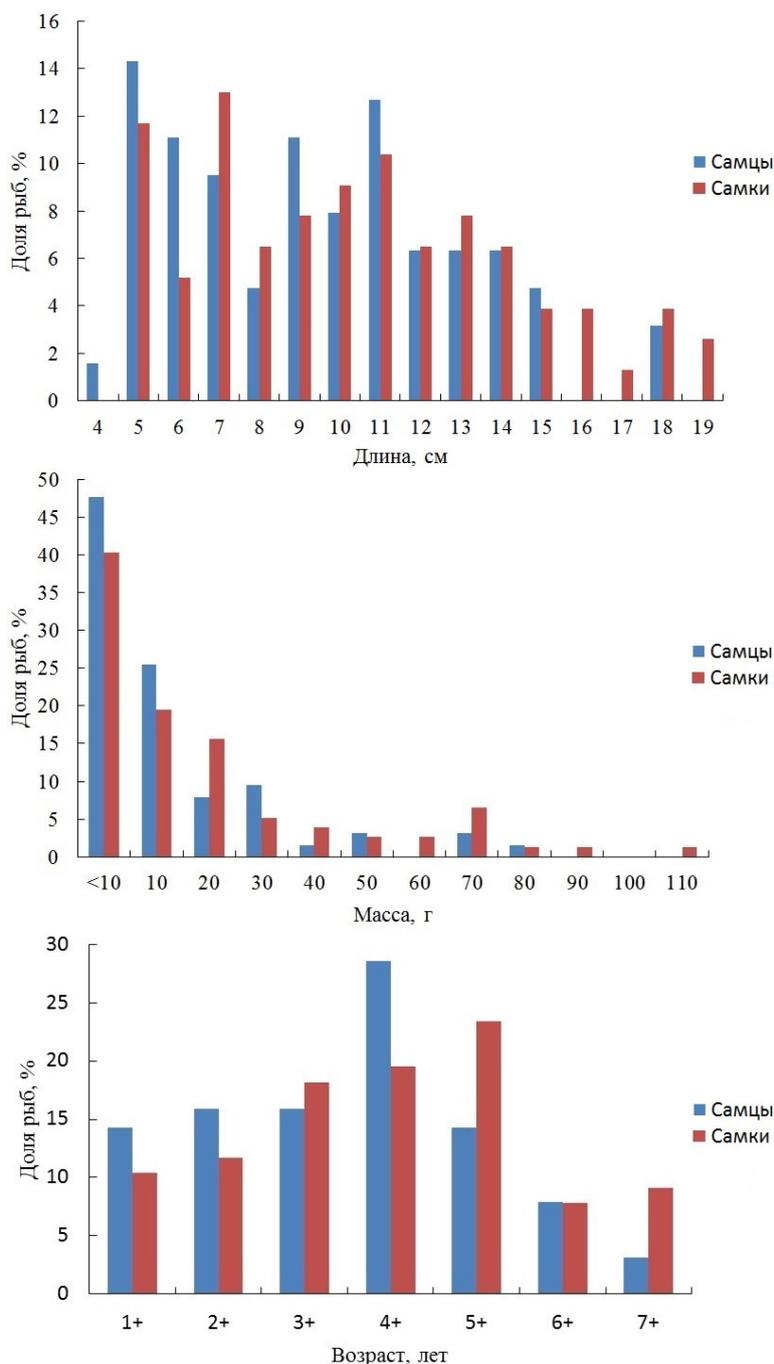


Рис. 1. Показатели самцов и самок *G. tricuspis* в Карском море
Fig. 1. Length, weight and age composition of male and female *G. tricuspis* in the Kara Sea

Сравнение соотношения длина:масса особей арктического шлемоносного бычка из восточной части Чукотского моря и западной части моря Бофорта (Forster et al., 2020) с полученными нами данными (рис. 2) показало сопоставимые характеристики роста особей.

Продолжительность жизни у самок бычка в Карском море составляет 9 лет, у самцов – 8 лет (Атлас-определитель ..., 2018), в море Бофорта – 7 лет (Forster et al., 2020), в Чукотском море – 6 лет (Forster et al., 2020). Предельный возраст проанализированных нами особей составил 7+ лет, что соответствует литературным сведениям (Есипов, 1952; Андрияшев, 1954; Атлас-определитель ...,

2018). До достижения возраста 5 лет особи рассматриваемого вида из Карского моря растут значительно медленнее таковых рыб из морей Чукотского и Бофорта (Gleason, 2012; Forster et al., 2020). До наступления 5-летнего возраста размерно-возрастные показатели рыб из морей Карского, Бофорта и Чукотского достаточно схожи. Бычки старших возрастных групп (6–7 лет) из Карского моря изрядно крупнее, чем особи аналогичного возраста из восточной части ареала.

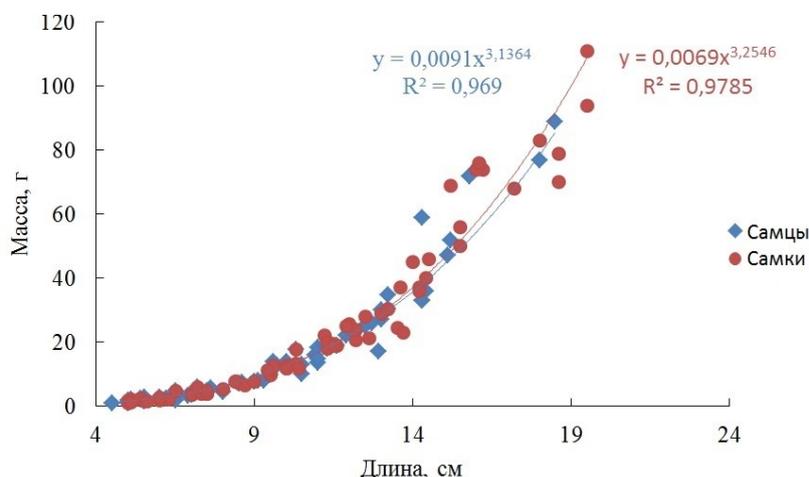


Рис. 2. Соотношение между длиной и массой у самцов и самок *G. tricuspis* в Карском море
Fig. 2. Relationship between the total length and weight of male and female *G. tricuspis* in the Kara Sea

Выводы

Улов представлен особями длиной от 4.5 до 19.5 см и массой от 0.8 до 111.0 г. Возраст исследованных нами экземпляров арктического шлемоносного бычка в Карском море составил от 1+ до 7+ лет. Наиболее многочисленной размерной группой являются рыбы длиной 9.0–11.0 см, модальная возрастная группа представлена пятилетками. Прослеживается постепенное уменьшение средних размеров рыб в пределах ареала по мере продвижения с запада на восток.

Автор глубоко признателен сотрудникам ММБИ РАН, принимавшим участие в сборе ихтиологического материала в экспедициях на НИС “Дальние Зеленцы” в Карское море в 2012, 2015 и 2016 гг.

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

Список литературы

1. Андрияшев А. П. Рыбы северных морей СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 566 с.
2. Андрияшев А. П., Чернова Н. В. Аннотированный список рыбообразных и рыб морей Арктики и сопредельных вод // Вопросы ихтиологии. 1994. Т. 34, № 4. С. 435–456.
3. Атлас-определитель рыб Карского моря / А. В. Долгов, А. П. Новоселов, Т. А. Прохорова, Г. В. Фукс, Д. В. Прозоркевич, Д. В. Чернова, В. С. Шерстков, А. Л. Левицкий. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2018. 271 с.
4. Есинов В. К. Рыбы Карского моря. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 146 с.
5. Некоторые предварительные результаты биологических исследований в Карском море на НИС “Профессор Леванидов” в сентябре 2019 г. / А. М. Орлов, А. Н. Бензик, М. О. Рыбаков, М. А. Носов // Тр. ВНИРО. 2020. Т. 182. С. 201–215.
6. Парин Н. В., Евсеенко С. А., Васильева Е. Д. Рыбы морей России: аннотированный каталог. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 733 с.
7. Токранов А. М. О половом диморфизме у рогатковых рыб (Cottidae, Pisces) прикамчатских вод // XXX Любимцевские чтения – 2016. Современные проблемы эволюции и экологии: Сб. матер. Междунар. конф. (Ульяновск, 5–7 апреля 2016 г.). Ульяновск: Изд. УлГПУ, 2016. С. 124–131.
8. Шейко Б. А., Федоров В. В. Класс Cephalaspidomorpha – Миноги. Класс Chondrichthyes – Хрящевые рыбы. Класс Holocerphali – Цельноголовые. Класс Osteichthyes – Костные рыбы // Каталог позвоночных животных Камчатки и сопредельных морских акваторий. Петропавловск-Камчатский: Камч. печат. двор, 2000. С. 7–69.

9. Allen M. J., Smith G. B. Atlas and zoogeography of common fishes in the Bering Sea and Northeastern Pacific, US Dept. Commer. // NOAA Tech. Rept. NMF. 1988. Vol. 66. 151 p.
10. Atkinson E. G., Percy J. A. Stomach content analysis of marine benthic fish from Arctic Canada // Can. Data Rept. Fish. Aquat. Sci. 1991. Vol. 840. P. 1–34.
11. Atkinson E. G., Percy J. A. Diet comparison among demersal marine fish from the Canadian Arctic // Polar Biol. 1992. Vol. 11. P. 567–573.
12. Atlas of the Barents Sea fishes / R. Wienerroither, E. Johannesen, A. V. Dolgov, I. Byrkjedal, O. Bjelland, K. Drevetnyak, K. B. Eriksen, Å. Høines, G. Langhelle, H. Langøy, T. Prokhorova, D. Prozorkevich, T. Wenneck // IMR/PINRO J. Rep. Ser. 2011. Vol. 1. 272 p.
13. Brand M., Fischer P. Species composition and abundance of the shallow water fish community of Kongsfjorden, Svalbard // Polar Biol. 2016. Vol. 39. P. 2155–2167.
14. Ennis G. P. Occurrences of the staghorn sculpin (*Gymnocanthus tricuspis*) in Newfoundland waters // J. Fish. Res. Bd. Can. 1968. Vol. 25. P. 2729–2731.
15. Fish Distribution and use of nearshore waters in the north–eastern Chukchi Sea, environmental assessment of the Alaskan continental shelf, US Dept. Commer. / R. G. Fechhelm, P. C. Craig, J. S. Baker, B. J. Gallaway // NOAA OCSEAP Final Report. 1984. Vol. 32. P. 121–297.
16. Food habits of Arctic staghorn sculpin (*Gymnocanthus tricuspis*) and shorthorn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*) in the northeastern Chukchi and western Beaufort seas / B. P. Gray, B. L. Norcross, A. H. Beaudreau, A. L. Blanchard, A. C. Seitz // Deep Sea Res. II. 2017. Vol. 135. P. 111–123.
17. Forster C. E., Norcross B. L., Spies I. Documenting growth parameters and age in Arctic fish species in the Chukchi and Beaufort seas // Deep Sea Res. II. 2020. Vol. 177. Article 104779.
18. Gleason C. M. Physical environmental and biological correlates of otolith chemistry of Arctic marine fishes in the Chukchi Sea. Thesis (M.S.), Fairbanks: University of Alaska, 2012. URL: <http://hdl.handle.net/11122/8311>
19. Influences of depth and pelagic subsidies on the size–based trophic structure of Beaufort Sea fish communities / A. D. Stasko, H. Swanson, A. Majewski, S. Atchison, J. Reist, M. Power // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2016. Vol. 549. P. 153–166.
20. List of marine fishes of the Arctic region annotated with common names and zoogeographic characterizations / C. W. Mecklenburg, I. Byrkjedal, J. S. Christiansen, O. V. Karamushko, A. Lynghammar, P. R. Mølleet // Conservation of Arctic Flora and Fauna. Akureyri, Iceland, 2013. 37 p.
21. Marine fishes of the Arctic Region / 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 // Conservation of Arctic Flora and Fauna. Akureyri, Iceland, 2018. Vol. I. 454 p.
22. Russian-american long-term census of the arctic: benthic fishes trawled in the Chukchi Sea and Bering Strait, August 2004 / C. W. Mecklenburg, D. L. Stein, B. A. Sheiko, N. V. Chernova, T. A. Mecklenburg, B. A. Holladay // Northwestern Naturalist. 2007. Vol. 88. P. 168–187.
23. Spatial distributions of groundfish in the northern Bering Sea in relation to environmental variation / X. Cui, J. M. Grebmeier, L. W. Cooper, J. R. Lovvorn, C. A. North, W. L. Seaver, J. M. Kolts // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2009. Vol. 393. P. 147–160.
24. Tokranov A. M., Emelin P. O., Orlov A. M. Small but Abundant: Distribution and biology of arctic staghorn sculpin *Gymnocanthus tricuspis* (Cottidae) in the Kara Sea // J. Ichthyology. 2022. Vol. 62, № 5. P. 594–610.

References

1. Andriyashev A. P. *Ryby severnyh morej SSSR* [Fishes of the Northern seas of the USSR]. Moscow, Leningrad, Publ. of the USSR Academy of Sciences, 1954, 566 p. (In Russ.)
2. Andriyashev A. P., Chernova N. V. Annotirovannyj spisok ryboobraznyh i ryb morej Arktiki i sopredel'nyh vod [Annotated list of fishlike vertebrates and fishes of the Arctic seas and adjacent waters]. *Voprosy ihtiologii* [Journal of Ichthyology], 1994, Vol. 34, No. 4, pp. 435–456. (In Russ.)
3. Dolgov A. V., Novoselov A. P., Prokhorova T. A., Fuchs G. V., Prozorkevich D. V., Chernova D. V., Sherstkov V. S., Levitsky A. L. *Atlas-opredelitel' ryb Karskogo morya* [Atlas-determinant of the fishes of the Kara Sea]. Murmansk, PINRO, 2018, 271 p. (In Russ.)
4. Esipov V. K. *Ryby Karskogo moray* [Fishes of the Kara Sea.]. Moscow, Publ. of the USSR Academy of Sciences, 1952. 146 p. (In Russ.)
5. Orlov A. M., Benzik A. N., Rybakov M. O., Nosov M. A. Nekotorye predvaritel'nye rezultaty biologicheskikh issledovaniy v Karskom more na NIS “Professor Levanidov” v sentyabre 2019 g. [Some preliminary results of biological research in the Kara Sea at the NIS “Professor Levanidov” in September 2019]. *Trudy VNIRO* [Proceedings of the All-Russian Scientific Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography], 2020, Vol. 182, pp. 201–215. (In Russ.)

6. Parin N. V., Evseenko S. A., Vasilyeva E. D. *Ryby morej Rossii: annotirovannyj katalog* [Fishes of the seas of Russia: annotated catalog]. Moscow, Comrade scientific ed. KMK, 2014, 733 p. (In Russ.)
7. Tokranov A. M. O polovom dimorfizme u rogakovyh ryb (Cottidae, Pisces) prikamchatskih vod [On sexual dimorphism in slingshot fish (Cottidae, Pisces) of the Kamchatka waters]. *XXX Lyubishchevskie chteniya – 2016. Sovremennye problemy evolyucii i ekologii: Sbornik materialov Mezhdunarodnoj konferencii (Ulyanovsk, 5–7 aprelya 2016 g.)* [XXX Lyubishchevskie readings – 2016. Modern problems of evolution and ecology: Collection of materials of the International Conference (Ulyanovsk, April 5–7, 2016)]. Ulyanovsk, Publ. UISPU, 2016. pp. 124–131. (In Russ.)
8. Sheiko B. A., Fedorov V. V. Klass Cephalaspidomorphi – Minogi. Klass Chondrichthyes – Hryashchevye ryby. Klass Holocephali – Cel'nogolovye. Klass Osteichthyes – Kostnye ryby [Class of Cephalaspidomorphi – Lampreys. The Chondrichthyes class is cartilaginous fish. Holocephali class – Whole-headed. Osteichthyes class – Bony fish]. *Katalog pozvonochnyh zhivotnyh Kamchatki i sopredel'nyh morskikh akvatorij* [Catalog of vertebrate animals of Kamchatka and adjacent marine areas], Petropavlovsk-Kamchatsky, Kamchatka Printing Yard, 2000. pp. 7–69. (In Russ.)
9. Allen M. J., Smith G. B. Atlas and zoogeography of common fishes in the Bering Sea and Northeastern Pacific, United States Department of Commerce. NOAA Technical Reports NMF, 1988, Vol. 66, 151 p.
10. Atkinson E. G., Percy J. A. Stomach content analysis of marine benthic fish from Arctic Canada. Canadian Data Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 1991, Vol. 840, pp. 1–34.
11. Atkinson E. G., Percy J. A. Diet comparison among demersal marine fish from the Canadian Arctic. Polar Biology, 1992, Vol. 11, pp. 567–573.
12. Wienerroither R., Johannesen E., Dolgov A. V., Byrkjedal I., Bjelland O., Drevetnyak K., Eriksen K. B., Høines Å., Langhelle G., Langøy H., Prokhorova T., Prozorkevich D., Wenneck T. Atlas of the Barents Sea fishes. IMR/PINRO Joint Report Series, 2011, Vol. 1, 272 p.
13. Brand M., Fischer P. Species composition and abundance of the shallow water fish community of Kongsfjorden, Svalbard. Polar Biology, 2016, Vol. 39, pp. 2155–2167.
14. Ennis G. P. Occurrences of the staghorn sculpin (*Gymnocanthus tricuspis*) in Newfoundland waters. Journal of the Fisheries Research Board of Canada, 1968, Vol. 25, pp. 2729–2731.
15. Fechhelm R. G., Craig P. C., Baker J. S., Gallaway B. J. Fish Distribution and use of nearshore waters in the north-eastern Chukchi Sea, environmental assessment of the Alaskan continental shelf, United States Department of Commerce. NOAA OCSEAP Final Reports, 1984, Vol. 32, pp. 121–297.
16. Gray B. P., Norcross B. L., Beaudreau A. H., Blanchard A. L., Seitz A. C. Food habits of Arctic staghorn sculpin (*Gymnocanthus tricuspis*) and shorthorn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*) in the northeastern Chukchi and western Beaufort seas. Deep Sea Research II, 2017, Vol. 135, pp. 111–123.
17. Forster C. E., Norcross B. L., Spies I. Documenting growth parameters and age in Arctic fish species in the Chukchi and Beaufort seas. Deep Sea Research II, 2020, Vol. 177, Article 104779.
18. Gleason C. M. Physical environmental and biological correlates of otolith chemistry of Arctic marine fishes in the Chukchi Sea. Thesis (M.S.). Fairbanks, University of Alaska, 2012, Available at: <http://hdl.handle.net/11122/8311>
19. Stasko A. D., Swanson H., Majewski A., Atchison S., Reist J., Power M. Influences of depth and pelagic subsidies on the size-based trophic structure of Beaufort Sea fish communities. Marine Ecology Progress Series, 2016, Vol. 549, pp. 153–166.
20. Mecklenburg C. W., Byrkjedal I., Christiansen J. S., Karamushko O. V., Lynghammar A., Mølleet P. R. List of marine fishes of the Arctic region annotated with common names and zoogeographic characterizations. Conservation of Arctic Flora and Fauna. Akureyri, Iceland, 2013, 37 p.
21. Mecklenburg C. W., Lynghammar A., Johannesen E., Byrkjedal I., Christiansen J. S., Dolgov A. V., Karamushko O. V., Mecklenburg T. A., Møller P. R., Steinke D., Wienerroither R. M. Marine fishes of the Arctic Region. Conservation of Arctic Flora and Fauna. Akureyri, Iceland, 2018, Vol. I, 454 p.

Информация об авторе

Сергей Андреевич Чаус – стажер-исследователь, <https://orcid.org/0000-0003-2580-9511>

Information about the author

Sergei A. Chaus – Trainee Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-2580-9511>

Статья поступила в редакцию 29.03.2023; одобрена после рецензирования 30.03.2023; принята к публикации 03.04.2023.
The article was submitted 29.03.2023; approved after reviewing 30.03.2023; accepted for publication 03.04.2023.

