

ISSN 2949-1185



Российская Академия Наук
ТРУДЫ
Кольского научного центра РАН

3/2024(3)

**СЕРИЯ: ЕСТЕСТВЕННЫЕ
И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

0+

Российская Академия Наук
ТРУДЫ

3/2024(3)

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. ф.-м. н. О. 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. Шамакова,
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. г. н. Д. В. Моисеев,
к. г.-м. н. С. В. Мудрук,
к. ф.-м. н. Я. А. Сахаров,
к. ф.-м. н. К. Г. Орлов,
к. и. н. Е. А. Пивнева,
к. ф.-м. н. Ю. В. Федоренко

Ответственный редактор номера
к. г. н. Д. В. Моисеев

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 19.09.2024.
Дата выхода в свет 23.09.2024.
Формат бумаги 60×84 1/8.
Усл. печ. л. 18,14. Заказ № 28. Тираж 300 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.	Питание атлантической трески <i>Gadus morhua</i> L., 1758 в верхней сублиторали Кольского залива в 2018 году.....	5
Булавина А. С.	Влияние колебаний стока реки Лены на площадь льда в море Лаптевых.....	15
Венгер М. П., Широколобова Т. И., Максимовская Т. М., Болтенкова М. А., Ващенко А. В.	Компоненты микробной пищевой сети в пелагиали фьордов о. Западный Шпицберген в современных климатических условиях.....	23
Гудимов А. В.	Изменения литоральных популяций рачков-балянусов <i>Semibalanus balanoides</i> (L.) Кольского залива и Восточного Мурмана в период потепления климата в Арктике.....	38
Даурцева А. В., Горшенина Е. В., Облучинская Е. Д.	Сравнительное исследование элементов и биохимических компонентов стерильных и фертильных бурых водорослей <i>Ascophyllum nodosum</i>	47
Дружкова Е. И.	Пространственная и временная изменчивость нанофитопланктона в фьордах Западного Шпицбергена в летний период.....	61
Иванова Н. С., Ильин Г. В.	Радиозокологические исследования в районе архипелага Земля Франца-Иосифа в августе и сентябре 2023 года.....	78
Краснов Ю. В., Шкляревич Г. А., Ежов А. В., Гаврило М. В.	Особенности трофических связей обыкновенной гаги <i>Somateria mollissima</i> в условиях высокоширотных архипелагов Шпицберген и Земля Франца-Иосифа.....	82
Кудрявцева О. Ю.	Характеристика прибрежной ихтиофауны губ Восточного Мурмана в летний период 2021 года.....	94
Куклин В. В., Куклина М. М.	Распределение очагов инвазии литоральных моллюсков партенитами и личинками трематод в губах и заливах Мурманского побережья в мае–июне 2021 года.....	104
Митяев М. В., Герасимова М. В.	Материковый сток в Кандалакшский залив Белого моря с Карельского берега в теплый сезон года (с конца весеннего паводка до осеннего половодья).....	118
Москвин К. К.	Мегабентос западного побережья архипелага Новая Земля в приловах донного трала.....	125
Нерезенко А. М., Тупицына С. А., Малавенда С. В., Рыжик И. В.	Эпифиты <i>Ascophyllum nodosum</i> (Phaeophyceae) и их влияние на биохимический состав хозяина в губе Териберская Баренцева моря.....	134
Носкович А. Э.	Половая структура поселений двустворчатого моллюска <i>Macoma calcareea</i> (Gmelin, 1791) в районах с разным гидрологическим режимом.....	144
Чаус С. А.	Распределение рыб семейства Cottidae в юго-восточной части Баренцева моря (к западу от о. Долгий).....	152

3/2024(3)

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

Russian Academy of Sciences
TRANSACTIONS

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),
O. 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 (History),
N. E. Koroleva, PhD (Biology),
D. V. Moiseev, PhD (Geography),
S. V. Mudruk, PhD (Geology & Mineralogy),
Ya. A. Sakharov, PhD (Physics & Mathematics),
K. G. Orlov, PhD (Physics & Mathematics),
E. A. Pivneva, PhD (History),
Yu. V. Fedorenko, PhD (Physics & Mathematics)

Executive Editor

D. V. Moiseev, 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.: 8 (81555) 7-93-80. Fax: 8 (81555) 7-64-25
E-mail: ksc@ksc.ru. www.ksc.ru

CONTENTS

Bondarev O. V.	Feeding of atlantic cod <i>Gadus morhua</i> L., 1758 in the upper sublittoral of Kola Bay in 2018.....	5
Bulavina A. S.	The effect of fluctuations of the Lena River runoff on the area of the Laptev Sea ice cover.....	15
Venger M. P., Shirokolobova T. I., Maksimovskaya T. M., Boltenkova M. A., Vashchenko A. V.	The components of the microbial food web in the fjord pelagic zone of the Island of Western Spitsbergen in modern climatic conditions.....	23
Gudimov A. V.	Changes in littoral populations of <i>Semibalanus balanoides</i> (L.) in Kola Bay and Eastern Murman during climate warming in the Arctic.....	38
Daurtseva A. V., Gorshenina E. V., Obluchinskaya E. D.	Comparative study of elements and biochemical components of sterile and fertile brown algae <i>Ascophyllum nodosum</i>	47
Druzhkova E. I.	Spatial and temporal variability of nanophytoplankton in the fjords of West Spitsbergen in summer.....	61
Ivanova N. S., Ilyin G. V.	Radioecological research in the region of Franz Josef Land archipelago, in August and September 2023	78
Krasnov Yu. V., Shklyarevich G. A., Ezhov A. V., Gavrilo M. V.	Features of trophic relationships of the common eider <i>Somateria mollissima</i> at high-latitude archipelagoes of Spitsbergen and Franz Josef Land	82
Kudryavtseva O. Yu.	Characteristics of coastal fish in the bays of Eastern Murman during summer 2021.....	94
Kuklin V. V., Kuklina M. M.	Distribution of trematode parthenite and larvae throughout of intertidal snails in the inlets and bays along the Murmansk coast according to data of parasitological study in 2021.....	104
Mityaev M. V., Gerasimova M. V.	Continent runoff from the Karelian coast in warm season of the year (from the end of the spring flood to the autumn flood).....	118
Moskvin K. K.	Megabenthos of the Novaya Zemlya archipelago west coast in trawl bycatch	125
Nerezenko A. M., Tupitsyna S. A., Malavenda S. V., Ryzhik I. V.	Epiphytes of <i>Ascophyllum nodosum</i> (Phaeophyceae) and their influence on the biochemical composition of the host in the Teriberskaya Bay of the Barents Sea.....	134
Noskovich A. E.	Sexual structure of settlements of the bivalve mollusks <i>Macoma calcarea</i> (Gmelin, 1791) in areas with different hydrological regimes.....	144
Chaus S. A.	Distribution of Cottidae fishes in the southeastern Barents Sea (west of the Dolgiy Island).....	152

Научная статья
УДК 597.56 (268.45)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.001

ПИТАНИЕ АТЛАНТИЧЕСКОЙ ТРЕСКИ *GADUS MORHUA* L., 1758 В ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА В 2018 ГОДУ

Олег Викторович Бондарев

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
bondarev-o@mail.ru

Аннотация

Представлены данные о питании атлантической трески, обитающей в Кольском заливе (Баренцево море), в 2018 г. Исследования показали, что весной спектр питания трески в основном представлен амфиподами, а летом и осенью в желудках часто встречаются копеподы – 56 и 38 % соответственно. Массовая доля зоопланктона в пищевых комках не превышает 37 %. С возрастом спектр питания трески меняется, увеличивается доля рыбной пищи. Рассчитаны индексы избирательности пищевых объектов.

Ключевые слова:

треска, питание, избирательность, Кольский залив

Original article

FEEDING OF ATLANTIC COD *GADUS MORHUA* L., 1758 IN THE UPPER SUBLITORAL OF KOLA BAY IN 2018

Oleg V. Bondarev

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
bondarev-o@mail.ru

Abstract

Presented data about nutrition of the Atlantic cod in the Kola Bay (Barents Sea) during 2018. Studies have shown that in the spring the food spectrum of cod is mainly represented by amphipods, and in the summer and autumn, copepods are often found in the stomachs (56 and 38 % respectively). The mass fraction of zooplankton in food bolus does not exceed 37 %. With age, the diet of cod changes, and the proportion of fish food increases. The selectivity indices of food objects were calculated.

Keyword:

Atlantic cod, feeding, selectivity, Kola Bay

Введение

Питание трески в открытых частях Баренцева моря изучено достаточно хорошо (Пономаренко, 1973а,б; Вилер, 1982; Беренбойм и др., 1987; Некоторые ..., 1990; Орлова и др., 2001; Dalpadado, Bogstad, 2004; Золотарев, Баймамбетов, 2015), имеется информация и о питании в прибрежной зоне Норвегии (Nor et al., 1992, 1993; Fjøsne, Gjørseter, 1996; Katrin, 2016; Enoksen, Reiss, 2017). Данные по питанию рыб в прибрежных районах Баренцева моря ограничены, в литературе содержатся сведения для губ Восточного (Камшилов, Миронова, 1950; Миронова, 1951, 1956; Бондарев, 2017; Кудрявцева, Кудрявцева, 2017) и Западного Мурмана (Особенности ..., 2023), информация по питанию трески в Кольском заливе практически отсутствует (Bondarev, Tyukina, 2022).

Цель работы – изучить сезонные изменения в составе пищи атлантической трески, обитающей в сублиторальной зоне.

Материал и методы

Сбор ихтиологического материала осуществлялся в мае, июле и октябре 2018 г. в районе губы Белокаменная Кольского залива (рис. 1). Лов проводили в период отлива в сублиторальной зоне с помощью 15-метровой мальковой волокуши (высота – 2.8 м, ячей дели в крыльях – 6 мм, в горловине – 5 мм, в куту – 4 мм) и сетей (длина – 10 м, высота – 1.8 м). 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).

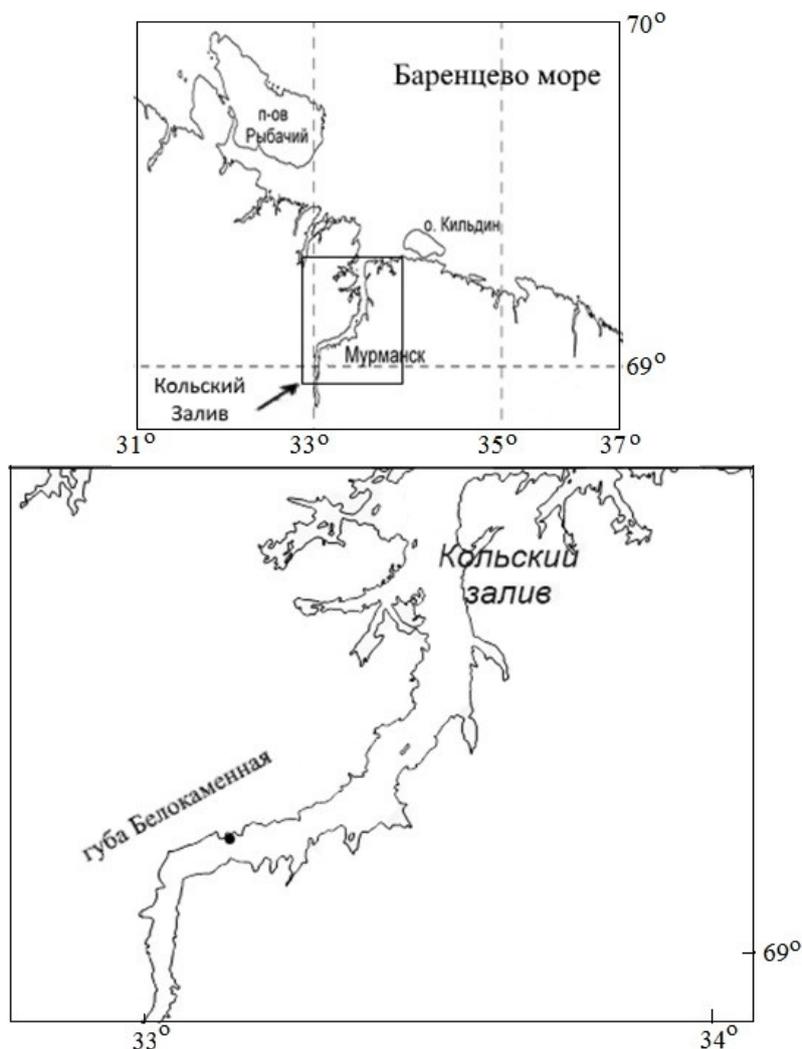


Рис. 1. Карта-схема района отбора ихтиологических проб
Fig. 1. Schematic map of the area where ichthyological samples were taken

Проанализировано питание 66 особей атлантической трески. Обработка желудочно-кишечных трактов проводилась без предварительной фиксации. Наполненность определяли визуально по схеме Лебедева (Методическое ..., 1974). Содержимое желудков взвешивали, определяли массу и частоту встречаемости каждого пищевого компонента.

Для оценки избирательности питания рыб использовали индекс элективности E , который выражается как отношение разности долей организмов в пище и окружающей среде к их сумме:

$$E = \frac{r_i - p_i}{r_i + p_i},$$

где r_i и p_i – относительное значение компонента соответственно в потребленной пище и окружающей среде (в процентах) (Ивлев, 1955).

По А. А. Шорыгину (1952), индекс избирательности (*ИИ*) равен отношению доли организмов в пище рыб (*r*, %) к его доле в кормовой базе (*b*, %):

$$ИИ = \frac{r}{b}.$$

Результаты и обсуждение

Анализ биологических данных трески из уловов показал, что возраст особей варьирует от 0+ до 4+ лет, длина питавшихся рыб – от 4.2 до 32.2 см, а масса – от 0.22 до 330 г.

В желудках атлантической трески было обнаружено 17 видов объектов питания (13 видов – беспозвоночные, 4 вида – рыбы). Эти объекты относились к следующим группам: бокоплавы (*Amphipoda*), *Naupacticoidea g. sp.* (*Copepoda*), равноногие раки (*Isopoda*), личинки насекомых (*Diptera*), кольчатые черви (*Polychaeta*) и прочие, которые встречались единично (переваренные остатки рыб и других организмов, слизь).

Несмотря на достаточно большое разнообразие беспозвоночных в Кольском заливе (более 300 видов), их доля как объектов питания для рыб крайне мала – около 4 %. Для сравнения, в губах Восточного Мурмана в 1950-х гг. количество пищевых объектов трески в возрасте от 0+ до 3+ лет варьировало от 20 до 70 видов (Миронова, 1956). В более поздних исследованиях, проведенных в 2012–2018 гг., состав пищи трески характеризовался небольшим видовым разнообразием – 25 видов беспозвоночных (Бондарев, 2017; Кудрявцева, Кудрявцева, 2017), что составляет 18 % от общего списка зообентоса. На западе Мурмана количество объектов питания достигает 35 видов (Особенности ..., 2023).

Спектр питания трески в прибрежной зоне зависит от гидрологических особенностей района исследований, доступности кормовых объектов, возраста рыб и других факторов.

Интенсивность питания рыб весной в Кольском заливе была низкой – 1.7 балла, а доля питавшихся рыб не превышала 81 %. Основу питания, как по частоте встречаемости, так и по массе, составляли представители амфипод – 89.0 % и молодь тресковых (*Gadidae*) видов рыб – 11.0 % (рисунки 2, 3).

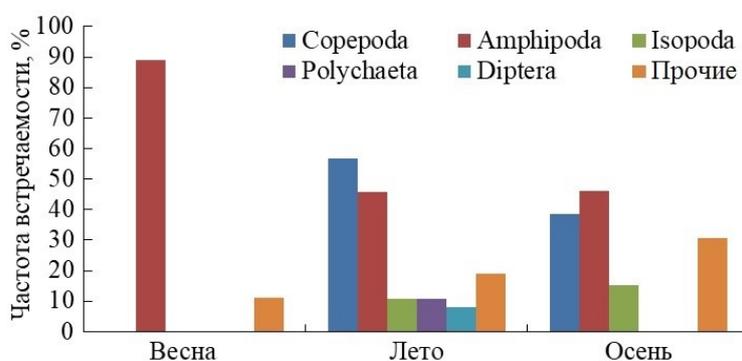


Рис. 2. Частота встречаемости кормовых групп в пище атлантической трески в Кольском заливе в 2018 г.
Fig. 2. Frequency of occurrence of food groups in the diet of Atlantic cod in the Kola Bay in 2018

Количество питавшихся рыб летом увеличилось до 88.0 %, а средний балл наполнения желудка достиг 2.1. Пищевой спектр рыб в этот период был шире, по частоте встречаемости и массовой доли в желудках преобладали копеподы и амфиподы. Единично отмечались личинки комаров, изоподы и полихеты, суммарно по массе не превышая 10.0 % (рис. 2).

Количество рыб с пустыми желудками осенью снизилось до 3.2 %, а средний балл их наполнения составил 2.2. В пище часто отмечались представители амфипод (46.0 %) и копепод (38.4 %), так же в желудках присутствовала молодь атлантической сельди *Clupea harengus* Linnaeus, 1758 и тресковых видов рыб (доля по массе – 27.0 %).

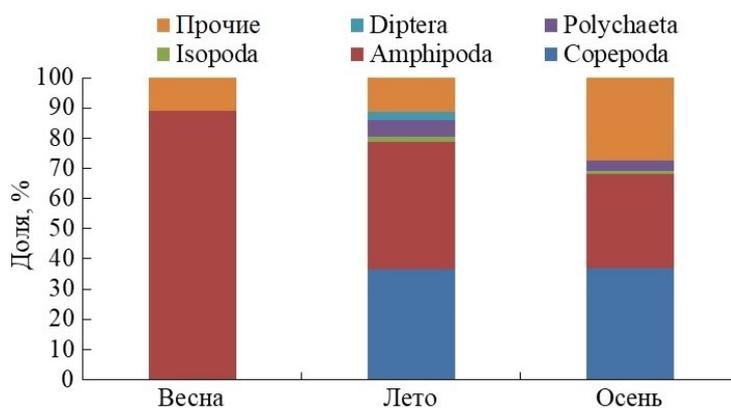


Рис. 3. Массовая доля кормовых групп в пище атлантической трески в Кольском заливе в 2018 г.
Fig. 3. Mass share of food groups in the diet of Atlantic cod in the Kola Bay in 2018

Полученные данные свидетельствуют о том, что в целом потребление кормовых объектов треской с весны по осень постепенно возрастает. С увеличением численности зоопланктона в летний период частота встречаемости и массовая доля его в желудках молоди трески также растет. К осени также увеличивается частота потребления представителей зообентоса и рыб. Аналогичные данные были получены ранее Н. В. Мироновой (1951, 1956) в губах Восточного Мурмана. В августе в питании трески появляются бентосные организмы (57 % от общего рациона), что, предположительно, связано с изменением численности копепод.

В пищевых комках в желудках сеголеток атлантической трески чаще всего отмечались копеподы – 91.0 % (рис. 4), которые также составляли основу по массе – 68.0 % (рис. 5). Второй по важности кормовой группой служили амфиподы – 35.0 и 27.0 % соответственно, в рационе также присутствовали изоподы и личинки комаров (одни из компонентов питания молоди в эстуарных зонах).

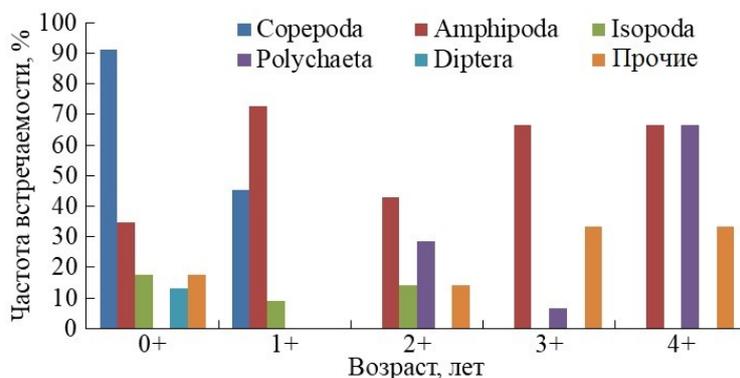


Рис. 4. Частота встречаемости кормовых групп в пище атлантической трески разного возраста в Кольском заливе в 2018 г.
Fig. 4. Frequency of occurrence of food groups in the diet of Atlantic cod of different ages in the Kola Bay in 2018

Спектр питания двухлеток менее разнообразен, в основном он состоял из копепод и амфипод, изредка отмечались изоподы, доля по массе которых не превышала 1 % (рис. 5).

Начиная с трехлетних особей, из рациона питания рыб исчезают копеподы. В желудках чаще встречаются изоподы, однако их массовая доля не превышает 0.1 %. По частоте встречаемости и по массе преобладают амфиподы, в рационе появляются представители полихет. Атлантическая треска в возрасте 2+ лет также потребляла мойву *Mallotus villosus* (Müller, 1776) и молодь атлантической сельди.

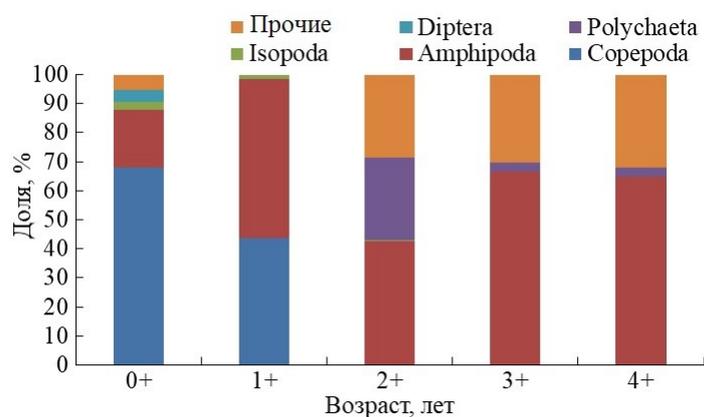


Рис. 5. Массовая доля кормовых групп в пище атлантической трески разного возраста в Кольском заливе в 2018 г.
Fig. 5. Mass share of food groups in the diet of Atlantic cod of different ages in the Kola Bay in 2018

Четырехлетние (3+) и пятилетние (4+) особи атлантической трески питались преимущественно амфиподами, изредка поедая полихет (по массе – 3.0 %) и рыб (по массе – до 30.0 %).

Судя по имеющимся данным о составе пищи, сеголетки и двухлетки в литорально-сублиторальной зоне Кольского залива питаются главным образом амфиподами и копеподами. Для трехлеток характерно присутствие в пище полихет и амфипод. Наиболее старшие группы рыб (3+ и 4+) потребляют амфипод и рыб. В открытых районах Баренцева моря, где обитает основная масса молоди трески, картина питания несколько иная, чем в прибрежье. Для этих районов в желудках характерна более высокая доля по массе рыб: сеголетки – 24.6 %, 1+ – 58.8 %, 2+ – 71.6 %, 3+ – 76.6 % (Пономаренко, 1961, 1964, 1968).

Избирательность кормовых объектов рыбами определяется доступностью жертв, которая обусловлена пространственно-временным распределением, а также размерами жертв, характером движения и т. д. Анализ элективности питания показал, что в весенний период треска выбирает амфипод ($E = 0.8$, $III = 8.1$) (рис. 6). Заметим, что в этот период в уловах отмечалась треска только в возрасте от 1+ до 3+ лет.

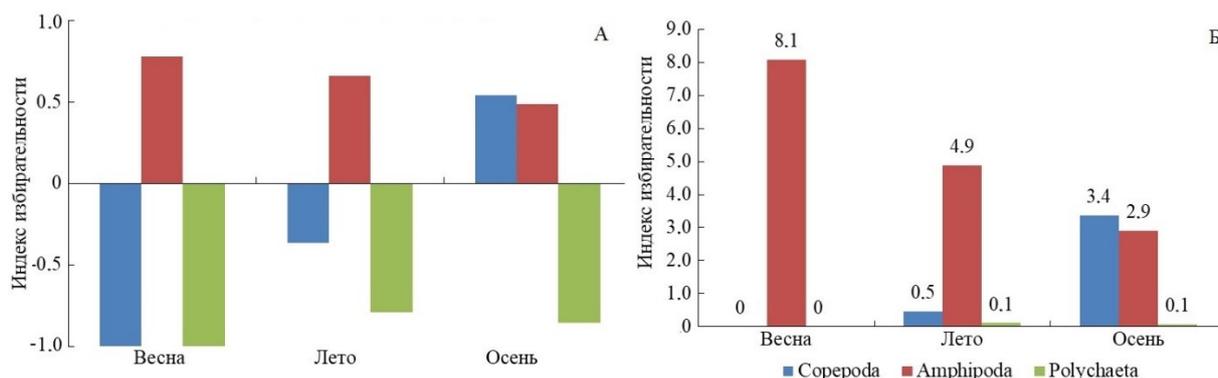


Рис. 6. Избирательность основных пищевых компонентов атлантической трески в 2018 г. по В. С. Ивлеву (А) и А. А. Шорыгину (Б)

Fig. 6. Selectivity of the main nutritional components of Atlantic cod in 2018 according to V. S. Ivlev (A) and A. A. Shorygin (B)

Летом на акватории Кольского залива появляются сеголетки трески, о чем свидетельствует их наличие в наших уловах. В то же время, по данным ловов сетью Джели, в мае и июле биомасса зоопланктона увеличивается с 0.1 до 1.1 г/м³. Рассчитанные индексы избирательности копепод

($E = -0.3$, $ИИ = 0.5$) указывают на то, что рыба их поедает по причине их доступности. Это утверждение справедливо и для сеголеток, где индекс по В. С. Ивлеву близок к 0, а по А. А. Шарыгину к 1, что свидетельствует об отсутствии избирательности. В то же время в июле наблюдается снижение доли амфипод с 11 до 9 %, а по биомассе на акватории преобладают полихеты – 68 % и моллюски – 23 %. Как уже было отмечено ранее, в желудках трески всех возрастных групп в летний период были обнаружены амфиподы, что указывает на их целенаправленное поедание. Индексы избирательности также подтверждают этот факт – $E = 0.7$, $ИИ = 4.9$.

В осенний период, когда биомасса зоопланктона снижается до 0.15 г/м^3 и, как следствие, уменьшается их доступность как объектов питания, индексы избирательности копепод увеличиваются – $E = 0.5$, $ИИ = 3.4$.

Массовая доля амфипод в пробах, собранных дночерпателем, возрастает до 11 %, а индексы избирательности в питании трески этой группой снижаются – $E = 0.5$, $ИИ = 2.9$.

Несмотря на доминирование в разные месяцы по биомассе таких групп как полихеты (45–48 %), двустворчатые и брюхоногие моллюски (суммарно 23–27 %), а также наличие иглокожих (5–7 %) и других беспозвоночных (до 9 %), треска чаще выбирала представителей амфипод, несмотря на их небольшую биомассу, что подтверждают индексы по В. С. Ивлеву и А. А. Шарыгину.

Выводы

1. По результатам проведенного анализа в питании трески в Кольском заливе в 2018 г. обнаружено 17 видов пищевых компонентов.

2. Интенсивность питания трески с мая по октябрь увеличивалась, а доля питавшихся особей во все сезоны была не ниже 80 %.

3. Характер питания трески избирательный по отношению к представителям отряда Amphipoda, о чем свидетельствуют индексы по В. С. Ивлеву и А. А. Шарыгину.

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам ММБИ РАН за помощь при сборе материала.

Работа выполнена по теме «Экология рыб и биоразнообразие рыбной части сообществ арктических морей» (№ госрегистрации 124013000725-9) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Беренбойм Б. И., Ярагина Н. А., Пономаренко И. Я. Связь типа хищник-жертва между треской и северной креветкой в Баренцевом море // Рыбное хозяйство Дальнего Востока. 1987. № 3. С. 24.
2. Бондарев О. В. Питание и межвидовые отношения сеголеток трески и сайды в летний период 2012 года в губе Зеленецкая // Исследования экосистем морей Арктики: Матер. XXXV конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной Году экологии в России. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2017. С. 19–24.
3. Вилер А. Определитель рыб морских и пресных вод Северо-Европейского бассейна. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 432 с.
4. Золотарев П. Н., Баймамбетов Р. А. Питание рыб Баренцева моря крупными двустворчатыми моллюсками // Вопр. ихтиологии. 2015. Т. 55, № 6. С. 677–681.
5. Ивлев В. С. Экспериментальная экология питания рыб. М.: Пищепромиздат, 1955. 242 с.
6. 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.
7. Интенсивность питания и темпы переваривания пищи баренцевоморскими рыбами / Э. Л. Орлова, Л. И. Карамушко, Е. Г. Берестовский, А. А. Петров // Экология и биологическая продуктивность Баренцева моря: Тез. докл. Всесоюз. конф. Мурманск, 1986. С. 215–217.
8. Камшилов М. М., Миронова Н. В. Питание мальков тресковых рыб пресноводными ракообразными // Докл. АН СССР. 1950. Т. LXXIII, № 5. С. 1097–1099.

9. Кудрявцева Е. О., Кудрявцева О. Ю. Особенности питания сеголеток трески *Gadus morhua* и сайды *Pollachius virens* (Gadidae) в губах Восточного Мурмана в летний период 2015 г. // Флора и фауна урбанизированных территорий в высоких широтах: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. Мурманск: Изд-во МАГУ, 2017. С. 51–59.
10. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях / Под ред. Е. В. Боруцкого. М.: Наука, 1974. 254 с.
11. Миронова Н. В. Веслоногие раки подотряда Harpacticoida как пища молоди тресковых рыб // Докл. АН СССР. 1951. Т. 79, № 5. С. 891–894.
12. Миронова Н. В. Питание и рост молоди тресковых рыб в прибрежной зоне Восточного Мурмана. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 100 с.
13. Некоторые особенности откорма баренцевоморской трески в 80-е годы / Э. Л. Орлова, Е. Г. Берестовский, С. Г. Антонов, Н. А. Ярагина // Вопр. ихтиологии. 1990. Т. 30, № 4. С. 634–643.
14. Орлова Э. Л., Нестерова В. Н., Долгов А. В. Эвфаузииды и их роль в откорме аркто-норвежской трески (80–90-е годы) // Вопр. рыболовства. 2001. Т. 2, № 1(15). С. 86–103.
15. Особенности биологии атлантической трески *Gadus morhua* L., 1758 (Gadiformes: Gadidae) Мурманского побережья: расовый состав и промысел / А. Н. Строганов, Н. А. Ярагина, Е. А. Филина, Е. В. Пономарева // Биол. моря. 2023. Т. 49, № 5. С. 319–332.
16. Пономаренко И. Я. О возможности влияния питания молоди трески на ее численность // Тр. совещ. Ихтиологической комиссии АН СССР. 1961. Вып. 13. С. 301–306.
17. Пономаренко И. Я. Влияние гидрологического режима и условий питания на формирование численности поколений трески в период жизни ее сеголеток в придонных слоях Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1964. Вып. 16. С. 235–249.
18. Пономаренко И. Я. Питание, биологические показатели и выживаемость «донной» молоди трески // Тр. ПИНРО. 1968. Вып. 23. С. 279–292.
19. Пономаренко И. Я. Суточный ритм питания и пищевой рацион сеголеток трески в Баренцевом море // Тр. ПИНРО. 1973а. Вып. 33. С. 104–118.
20. Пономаренко И. Я. Влияние кормовых и температурных условий на выживаемость «донной» молоди трески Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1973б. Вып. 34. С. 210–222.
21. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
22. Шорыгин А. А. Питание и пищевые взаимоотношения рыб Каспийского моря. М.: Пищепромиздат, 1952. 286 с.
23. Bondarev O. V., Tyukina O. S. Biological parameters of juveniles of *Gadus morhua* Linnaeus, 1758 and *Pollachius virens* (Linnaeus, 1758) in the fjords affected by anthropogenic load, by the example of the Kola Bay, the Barents Sea // BIO Web of Conferences «Agriculture and Food Security: Technology, innovation, markets, human resources» (Kazan, Russia, May, 26–28, 2022). 2022. Vol. 52. URL: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225200070>
24. Dalpadado P., Bogstad B. Diet of juvenile cod (age 0–2) in the Barents Sea in relation to food availability and cod growth // Polar Biol. 2004. Т. 27, № 3. P. 140–154.
25. Enoksen S. E., Reiss H. Diet of Norwegian coastal cod (*Gadus morhua*) studied by using citizen science // J. Mar. Systems. 2017. Vol. 180. P. 246–254.
26. Fjøsne K., Gjøsæter J. Dietary composition and the potential of food competition between 0-group cod (*Gadus morhua* L.) and some other fish species in the littoral zone // ICES J. Mar. Sci. 1996. Vol. 53. P. 757–770.
27. Hop H., Gjosaeter J., Danielssen D. S. Seasonal feeding ecology of cod (*Gadus morhua* L.) on the Norwegian Skagerrak coast // ICES J. Mar. Sci. 1992. Vol. 49. P. 453–461.
28. Hop H., Danielssen D. S., Gjosaeter J. Winter feeding ecology of cod (*Gadus morhua*) in a fjord of southern Norway // J. Fish Biol. 1993. Vol. 43. P. 1–18.
29. Katrin A. N. Trophic vulnerability of 0-group Atlantic cod (*Gadus morhua*) and saithe (*Pollachius virens*): A case study investigating the juveniles' feeding pattern and identifying valuable nursery habitats in the Icelandic Westfjords diss. Iceland: University of Akureyri, 2016. 75 p.

References

1. Berenboym B. I., Yaragina N. A., Ponomarenko I. Ya. Svyaz' tipa hishchnik-zhertva mezhdu treskoy i severnoy krevetkoy v Barentsevom more [Predator-prey relationship between cod and northern shrimp in the Barents Sea]. *Rybnoe khozyaystvo Dal'nego Vostoka* [Fisheries of the Far East], 1987, No. 3, p. 24 (In Russ.).
2. Bondarev O. V. Pitaniye i mezhvidovyye otnosheniya segoletok treski i saydy v letniy period 2012 goda v gube Zelenetskaya [Nutrition and interspecific relationships of underyearlings of cod and pollock in the summer of 2012 in Zelenetskaya Bay]. *Issledovaniya ekosistem morey Arktiki: Materialy XXXV konferentsii molodykh uchenykh MMBI KNC RAN, posvyashchennoy Godu ekologii v Rossii* [Research of ecosystems of the Arctic seas: Materials XXXV conference young scientists of MMBI KSC RAS, dedicated to the Year of Ecology in Russia]. Murmansk, Publ. MMBI KSC RAS, 2017, pp. 19–24 (In Russ.).
3. Viler A. *Opredelitel' ryb morskikh i presnykh vod Severo-Evropeyskogo basseyna* [Key to fish in marine and fresh waters of the North European basin]. Moscow, Leght and food industry, 1982, 432 p. (In Russ.).
4. Zolotarev P. N., Baymambetov R. A. Pitaniye ryb Barentseva morya krupnymi dvustvorchatymi mollyuskami [Feeding of fish of the Barents Sea with large bivalve mollusks]. *Voprosy ikhtiologii* [Questions of ichthyology], 2015, Vol. 55, No. 6, pp. 677–681 (In Russ.).
5. Ivlev V. S. *Ekspierimental'naya ekologiya pitaniya ryb* [Experimental ecology of fish feeding]. Moscow, Food publishing, 1955, 242 p. (In Russ.).
6. *Instruktsii i metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke biologicheskoy informatsii v moryakh evropeyskogo Severa i Severnoy Atlantiki* [Instructions and methodological recommendations for collecting and processing biological information in the seas of the European North and the North Atlantic. 2nd ed]. Moscow, Publ. of the VNIRO, 2004, 300 p. (In Russ.).
7. Orlova E. L., Karamushko L. I., Berestovskiy E. G., Petrov A. A. Intensivnost' pitaniya i tempy perevarivaniya pishchi barentsevomorskimi rybami [Feeding intensity and rate of food digestion by Barents Sea fish]. *Ekologiya i biologicheskaya produktivnost' Barentseva morya: Tezisy dokladov Vsesoyuznoy konferentsii* [Ecology and biological productivity of the Barents Sea: Abstracts All-Union conference]. Murmansk, 1986, pp. 215–217 (In Russ.).
8. Kamshilov M. M., Mironova N. V. Pitaniye mal'kov treskovykh ryb presnovodnymi rakoobraznymi [Feeding of cod fish fry with freshwater crustaceans]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 1950, Vol. LXXIII, No. 5, pp. 1097–1099 (In Russ.).
9. Kudryavtseva E. O., Kudryavtseva O. Yu. Osobennosti pitaniya segoletok treski *Gadus morhua* i saydy *Pollachius virens* (Gadidae) v gubakh Vostochnogo Murmana v letniy period 2015 goda [Feeding features of underyearlings of cod *Gadus morhua* and pollock *Pollachius virens* (Gadidae) in the bays of Eastern Murman in the summer of 2015]. *Flora i fauna urbanizirovannykh territoriy v vysokikh shirotakh: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Materials of the International Scientific and Practical conference]. Murmansk, Publ. MAGU, 2017, pp. 51–59 (In Russ.).
10. *Metodicheskoe posobie po izucheniyu pitaniya i pishchevykh otnosheniy ryb v estestvennykh usloviyakh* [Methodological manual for studying nutrition and food relationships of fish in natural conditions; E. V. Borutskiy (Ed.)]. Moscow, Nauka, 1974, 254 p. (In Russ.).
11. Mironova N. V. Veslonogie raki podotryada Harpacticoida kak pishcha molodi treskovykh ryb [Copepods of the suborder Harpacticoida as food for juvenile cod fish]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 1951, Vol. 79, No. 5, pp. 891–894 (In Russ.).
12. Mironova N. V. *Pitaniye i rost molodi treskovykh ryb v pribrezhnoy zone Vostochnogo Murmana* [Nutrition and growth of juvenile cod fish in the coastal zone of Eastern Murman]. Moscow, Leningrad, 1951, 100 p. (In Russ.).

13. Orlova E. L., Berestovskiy E. G., Antonov S. G., Yaragina N. A. Nekotorye osobennosti otkorma barentsevomorskoy treski v 80-e gody [Some features of fattening Barents Sea cod in the 80s]. *Voprosy ikhtiologii* [Questions of ichthyology], 1990, Vol. 30, No. 4, pp. 634–643 (In Russ.).
14. Orlova E. L., Nesterova V. N., Dolgov A. B. Evfauziidy i ikh rol' v otkorme arкто-norvezhskoy treski (80–90-e gody) [Euphausiids and their role in fattening Arctic-Norwegian cod (80–90s)]. *Voprosy rybolovstva* [Questions of fishing], 2001, Vol. 2, No. 1(15), pp. 86–103 (In Russ.).
15. Stroganov A. N., Yaragina N. A., Filina E. A., Ponomareva E. V. Osobennosti biologii atlanticheskoy treski *Gadus morhua* L., 1758 (Gadiformes: Gadidae) Murmanskogo pribrezh'ya: rasovyy sostav i promysel [Peculiarities of biology of the Atlantic cod *Gadus morhua* L., 1758 (Gadiformes: Gadidae) of the Murmansk coast: racial composition and fishing]. *Biologiya morya* [Russian J. Mar. Biol.], 2023, Vol. 49, No. 5, pp. 319–332 (In Russ.).
16. Ponomarenko I. Ya. O vozmozhnosti vliyaniya pitaniya molodi treski na eye chislennost' [On the possibility of the influence of the nutrition of juvenile cod on its numbers]. *Trudy soveshchaniya Ikhtiologicheskoy komissii AN SSSR* [Transactions of the Meeting of the ichthyological commission of the USSR Academy of Sciences], 1964, Vol. 13, pp. 301–306 (In Russ.).
17. Ponomarenko I. Ya. Vliyanie gidrologicheskogo rezhima i usloviy pitaniya na formirovanie chislennosti pokoleniy treski v period zhizni eye segoletok v pridonnykh sloyakh Barentseva morya [Influence of the hydrological regime and nutritional conditions on the formation of the number of generations of cod during the life of its under yearlings in the bottom layers of the Barents Sea]. *Trudy PINRO* [Transactions of the PINRO], 1964, Vol. 16, pp. 235–249 (In Russ.).
18. Ponomarenko I. Ya. Pitanie, biologicheskie pokazateli i vyzhivaemost' «donnoy» molodi treski [Nutrition, biological indicators and survival rate of «bottom» juvenile cod]. *Trudy PINRO* [Transactions of the PINRO], 1968, Vol. 23, pp. 279–292 (In Russ.).
19. Ponomarenko I. Ya. Sutochnyy ritm pitaniya i pishchevoy ratsion segoletok treski v Barentsevom more [Diurnal feeding rhythm and diet of cod fingerlings and the Barents Sea]. *Trudy PINRO* [Transactions of the PINRO], 1973a, Vol. 33, pp. 104–118 (In Russ.).
20. Ponomarenko I. Ya. Vliyanie kormovykh i temperaturnykh usloviy na vyzhivaemost' «donnoy» molodi treski Barentseva morya [Influence of feeding and temperature conditions on the survival rate of «bottom» juvenile cod of the Barents Sea]. *Trudy PINRO* [Transactions of the PINRO], 1973b, Vol. 34, pp. 210–222 (In Russ.).
21. Pravdin I. F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* [Guide to the study of fish]. Moscow, Food industry, 1966, 376 p. (In Russ.).
22. Shorygin A. A. *Pitanie i pishchevye vzaimootnosheniya ryb Kaspiyskogo morya* [Nutrition and food relationships of fish in the Caspian Sea]. Moscow, Food publishing, 1952, 286 p. (In Russ.).
23. Bondarev O. V., Tyukina O. S. Biological parameters of juveniles of *Gadus morhua* Linnaeus, 1758 and *Pollachius virens* (Linnaeus, 1758) in the fjords affected by anthropogenic load, by the example of the Kola Bay, the Barents Sea. BIO Web of Conferences «Agriculture and Food Security: Technology, innovation, markets, human resources» (Kazan, Russia, May, 26–28, 2022). 2022. Vol. 52. Available at: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225200070>
24. Dalpadado P., Bogstad B. Diet of juvenile cod (age 0–2) in the Barents Sea in relation to food availability and cod growth. *Polar Biol.*, 2004, Vol. 27, No. 3, pp. 140–154.
25. Enoksen S. E., Reiss H. Diet of Norwegian coastal cod (*Gadus morhua*) studied by using citizen science. *J. Mar. Systems*, 2017, Vol. 180, pp. 246–254.
26. Fjøsne K., Gjøsaeter J. Dietary composition and the potential of food competition between 0-group cod (*Gadus morhua* L.) and some other fish species in the littoral zone. *ICES J. Mar. Sci.*, 1996, Vol. 53, pp. 757–770.
27. Hop H., Gjøsaeter J., Danielssen D. S. Seasonal feeding ecology of cod (*Gadus morhua* L.) on the Norwegian Skagerrak coast. *ICES J. Mar. Sci.*, 1992, Vol. 49, pp. 453–461.

28. Ноп Н., Danielssen D. S., Gjosaeter J. Winter feeding ecology of cod (*Gadus morhua*) in a fjord of southern Norway. *J. Fish Biol.*, 1993, Vol. 43, pp. 1–18.
29. Katrin A. N. Trophic vulnerability of 0-group Atlantic cod (*Gadus morhua*) and saithe (*Pollachius virens*): A case study investigating the juveniles' feeding pattern and identifying valuable nursery habitats in the Icelandic Westfjords diss. Iceland, University of Akureyri, 2016, 75 p.

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 16.04.2024; одобрена после рецензирования 24.04.2024; принята к публикации 27.04.2024.
The article was submitted 16.04.2024; approved after reviewing 24.04.2024; accepted for publication 27.04.2024.

Научная статья
УДК 551.467 (268.53)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.002

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ СТОКА РЕКИ ЛЕНЫ НА ПЛОЩАДЬ ЛЬДА В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ

Александра Сергеевна Булавина

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

Аннотация

Ледовый режим моря Лаптевых претерпел значительные изменения в последние два десятилетия, влияние речного стока на процессы формирования и разрушения морского льда возросло. С 2004 по 2022 годы колебания стока Лены прямо коррелировали со средней годовой площадью льда в море Лаптевых. Высокая водность Лены способствовала ускорению процессов ледообразования осенью и сдвигу на более поздние сроки начала таяния льда весной.

Ключевые слова:

море Лаптевых, река Лена, морской лед, речной сток

Original article

THE EFFECT OF FLUCTUATIONS OF THE LENA RIVER RUNOFF ON THE AREA OF THE LAPTEV SEA ICE COVER

Alexandra S. Bulavina

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

Abstract

The ice regime of the Laptev Sea has significant changes during the last twenty years. After the changes in the ice regime of the Laptev Sea, the influence of river runoff on the processes of seasonal formation and destruction of sea ice have increased. During the period from 2004 to 2022, the average annual ice area in the Laptev Sea has a positive correlation with a fluctuations of Lena runoff. The high-water content years of Lena has stimulated to the speedup of the ice cover formation process in autumn and the shift of the beginning of ice melting in spring to a later date.

Keywords:

Laptev Sea, Lena River, marine ice cover, river runoff

Введение

В Северный Ледовитый океан поступают теплые соленые воды из Северной Атлантики. Они циклонически перемещаются по Арктическому бассейну и проникают в моря Северного Ледовитого океана (Rudels, 2013). Одновременно с этим моря получают аномально большое количество пресной воды на единицу площади по сравнению с морями других океанов (Analysis ..., 2010; Rudels, 2013) и аномально малое количество тепловой энергии Солнца. Благодаря этому на поверхности арктических морей формируется холодный опресненный слой воды, в то время как под ним распространяются теплые и соленые атлантические воды. Возникающая в результате этих процессов устойчивая стратификация играет важную роль в процессах формирования морского льда, поскольку галоклин защищает холодный поверхностный слой от тепла, накапливаемого в слое под ним (Steele, Boyd, 1998). Пресная вода, поступающая за счет стока континентальных рек, играет большую роль в поддержании этой стратификации. Колебания стока крупнейших рек, вероятно, могут оказывать заметное влияние на процессы ледообразования.

При объеме воды в море Лаптевых около 353000 км³, реки ежегодно приносят в него 730 км³ пресной воды. Крупнейшая река, впадающая в море Лаптевых, – Лена. Сток Лены формирует область опреснения площадью 300000–500000 км² (Осадчиев, 2021). Таким образом, сток Лены в значительной степени влияет на гидрологическую структуру вод и может оказать существенное влияние на ледовые процессы в море Лаптевых.

Для установления роли различных факторов в процессе ледообразования используют моделирование процессов, происходящих непосредственно в море (Consequences ..., 2016). Влияние речного стока в таких моделях рассматривается исходя из степени опреснения поверхности воды и редко обособленно от других факторов опреснения. Это затрудняет установление индивидуальной роли стока в процессах ледообразования. Кроме того, рассмотрение роли речного стока в процессах ледообразования связывают прежде всего с его долгосрочными изменениями, в то время как и ежегодная изменчивость способна оказывать влияние. Изучение влияния многолетних изменений и межгодовых колебаний стока р. Лены на формирование ледяного покрова в море Лаптевых является основной целью данного исследования.

Материал и методы

Сведения о колебаниях площади льда в море Лаптевых были получены из открытой базы данных, регулярно пополняемой Национальным центром данных по снегу и льду (National Snow and Ice Data Center) (Sea ..., 2017). Архив содержит ежедневные и ежемесячные данные о площади льда в арктических морях с октября 1978 г. по настоящее время, полученные с помощью микроволновых радиометров. 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 р. Лены взята из открытой электронной базы данных (Arctic ..., 2023). Были отобраны ежедневные данные о расходах воды в районе гидрологического поста «Кюсюр» 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 полностью период накопления и расходования влаги в речном бассейне и учитывать характеристики льда только внутри одного цикла образования и разрушения льда.

Результаты и обсуждение

С начала регулярных спутниковых наблюдений за состоянием ледяного покрова Арктики в 1978 г. площадь льда в морях Северного Ледовитого океана имела тенденцию к сокращению. В море Лаптевых средняя годовая площадь льда с 1978 по 2022 гг. сокращалась со скоростью 3866 км²/год. Крупные регулярные отрицательные аномалии площади льда стали отмечаться на акватории моря с 2004 г. (рис. 1).

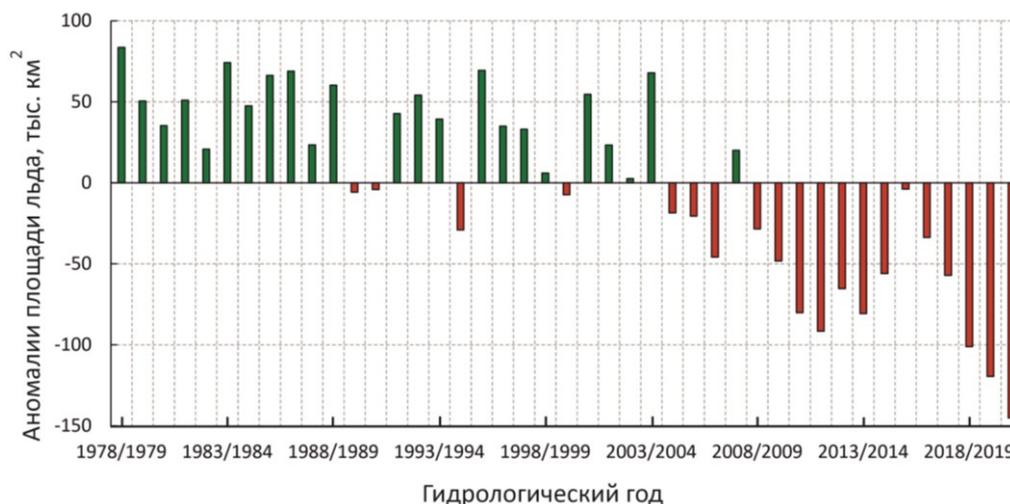


Рис. 1. Аномалии средней годовой площади льда в море Лаптевых
Fig. 1. Anomalies of the annual ice area in the Laptev Sea

Обусловлены эти аномалии сокращением площади льда в теплый период года. Площадь льда с июня по октябрь значительно сократилась (рис. 2). Минимальная площадь льда в море Лаптевых наблюдается в сентябре. Средняя площадь льда в сентябре в 2004–2022 гг. составляла всего 85100 км², что на 225000 км² меньше, чем в этом же месяце в 1979–2003 гг. Зимой море Лаптевых продолжало ежегодно полностью покрываться льдом, однако в теплый период участилось почти полное очищение акватории моря от льда. Минимальное покрытие льдом акватории моря было зафиксировано в сентябре 2014 г., когда площадь льда сократилась до 3629 км².

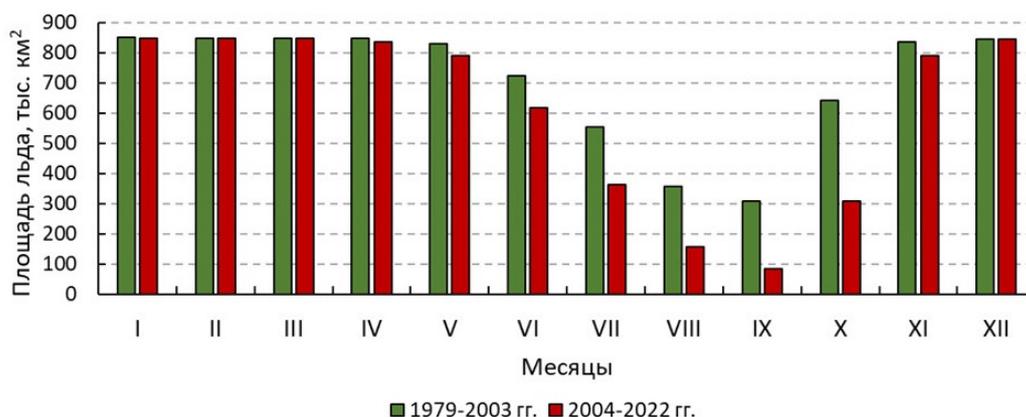


Рис. 2. Средняя месячная площадь льда в море Лаптевых
Fig. 2. Monthly average ice area in the Laptev Sea

В конце 1970-х годов началось повышение температуры воздуха в Арктике (Малинин, Вайновский, 2018). Между площадью морского льда в Арктике и приповерхностной температурой воздуха существует сильная обратная зависимость (Изменения ..., 2015). Приповерхностная температура воздуха оказывает влияние на образование и таяние льда непосредственно в момент воздействия. Однако на длительных промежутках времени эффект от воздействия возрастающих температур может накапливаться и оказывать отсроченное влияние на ледовые процессы в арктических морях. Результаты экспериментов SHEBA и данные скаттерометра QuikSCAT показали (Seasonal ..., 2007), что среднее количество поглощенной солнечной радиации системой лед–океан сильно зависит от времени начала таяния морского льда. 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. Таким образом, при регулярном раннем начале таяния льда под действием возросшей средней весенней температуры процесс таяния льда может ускоряться год от года. В конечном итоге накопление тепла в системе лед–океан–атмосфера приведет к довольно резкой перестройке ледового режима.

Изменчивость площади морского льда в Арктике также содержит в себе составляющую, определяемую колебаниями притока теплой и соленой атлантической воды и смещениями границы ее распространения (Изменения ..., 2015). Благодаря значительному притоку речных вод на поверхности моря Лаптевых формируется опресненный слой. Нижележащие слои заняты трансформированными водами Северной Атлантики, прошедшими через Арктический бассейн, Баренцево и Карское моря (Seasol ..., 2006; Toward ..., 2008; Impact ..., 2010). Они намного плотнее поверхностного слоя благодаря высокой солености и поддерживают устойчивость стратификации даже при сильном выхолаживании поверхности. Таким образом, пикноклин в море Лаптевых формируется благодаря соленостной, а не температурной стратификации. Анализ современных и более ранних наблюдений показал, что увеличение притока атлантических вод в Северный Ледовитый океан началось в 1980-х гг., усилилось в середине 2000-х гг. и продолжается в настоящее время (Arctic ..., 2010; Observations ..., 2013).

Установлено, что сильное ветровое перемешивание в верхнем 50-метровом слое эффективно переносит тепло атлантических вод к поверхности, способствуя увеличению температуры и солености в галоклине и ослаблению стратификации (Arctic ..., 2010). В Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана величина частоты Вьяйсяля-Брента в слое 100–300 м с 1970-х по 1990-е годы снизилась на 30 %. А в 2007 году наблюдалась потеря стабильности водной толщи, что выразилось в отрицательных аномалиях частоты Вьяйсяля-Брента в верхней части слоя атлантических вод и нижней части галоклина (Arctic ..., 2010).

Неустойчивость стратификации провоцирует перемешивание водной толщи, затрудняя образование льда. Это, по-видимому, и является причиной отрицательных аномалий площади льда в море Лаптевых, ставших регулярными с 2004 г. (рис. 1). Отрицательные аномалии площади льда стали регулярно наблюдаться в это же время в Карском море (Булавина, 2023). Вероятно, на ледовые процессы в этих морях повлияли процессы, происходящие в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана и приведшие к сильному снижению устойчивости стратификации в середине 2000-х гг. Следовательно, факторы, способные поддерживать устойчивую стратификацию водной толщи, могут влиять на процесс ледообразования и, соответственно, на площадь морского льда коренным образом.

Поступление речных вод играет важную роль в поддержании стратификации в море Лаптевых. Усиление галоклина минимизирует восходящий поток тепла от глубинных вод. Это способствует быстрому выхолаживанию поверхности и образованию ледяного покрова (Consequences ..., 2016). Большую часть речного стока в море Лаптевых обеспечивает р. Лена – около 70 %. Поэтому поверхностный опресненный слой формируется преимущественно из вод этой реки.

Сток Лены в 1978–2022 гг. имел слабую тенденцию к увеличению (рис. 3). Согласно тесту значимости тренда Манна-Кендалла и t-тесту линейной регрессии восходящий тренд объема стока Лены статистически значим. Сток Лены в этот период увеличивался в среднем на 2.1 км³/год. Таким образом, объем стока возрастал на 3.5 % каждые 10 лет.



Рис. 3. Сток реки Лены и площадь льда в море Лаптевых (1978–2022 гг.)

Fig. 3. Lena River runoff and the area of ice in the Laptev Sea (1978–2022)

Нами выполнен поиск корреляционных зависимостей между объемом стока Лены и средней годовой площадью льда в море Лаптевых в периоды, отличающиеся по особенностям ледового режима. С 2004 по 2022 годы не только существенно сократилась средняя годовая площадь льда в море Лаптевых, но и изменился характер взаимосвязи между стоком реки и площадью льда. В 1978–2003 годах значимые корреляции между средней годовой площадью льда и стоком не обнаруживаются. Однако с 2004 по 2022 гг. отмечена значимая прямая корреляция между средним годовым стоком Лены и площадью льда в море Лаптевых. Вероятно, после произошедших изменений в поступлении атлантических

вод, стратификация в море Лаптевых стала менее устойчивой и достигает оптимальных для ледообразования величин только при высокой водности питающих рек.

Крупные отрицательные аномалии ледовитости, отмечаемые с 2004 г., привели к постепенному замещению многолетних льдов однолетними. Такая тенденция наблюдалась в течение последних десятилетий в морях Северного Ледовитого океана (Arctic ..., 2010; Арктический ..., 2013; Наумов, Гордеева, 2016). Однолетние льды тоньше и легче поддаются разрушению, а следовательно, более чувствительны к влиянию различных факторов. Усиление стратификации, изоляция тепла глубинных вод и снижение солености поверхностного слоя морской воды в годы с большим объемом речного стока может способствовать ускорению процессов ледообразования осенью и формированию более толстых однолетних льдов. Толстый однолетний лед имеет более длительный период таяния и с большей вероятностью способен «пережить» летний сезон.

Нами рассмотрена внутригодовая динамика площади льда в море Лаптевых в годы, максимально отличающиеся друг от друга по объему стока Лены. По формуле Чегодаева была рассчитана обеспеченность средних годовых расходов воды в створе гидрологического поста «Кюсюр» и определены маловодные (с обеспеченностью > 75 %) и многоводные (с обеспеченностью < 25 %) годы для Лены.

В годы высокой водности реки Лены образование льда в море Лаптевых начиналось раньше, чем в годы низкой водности (рис. 4). А таяние льда, напротив, происходило более интенсивно в маловодные годы. Таким образом, в многоводные для Лены годы в море Лаптевых к началу нового ледового сезона сохранялась большая площадь льда, чем в маловодные. Различия в площади ледяного покрова моря Лаптевых в годы различной водности Лены наблюдались с июня по октябрь.

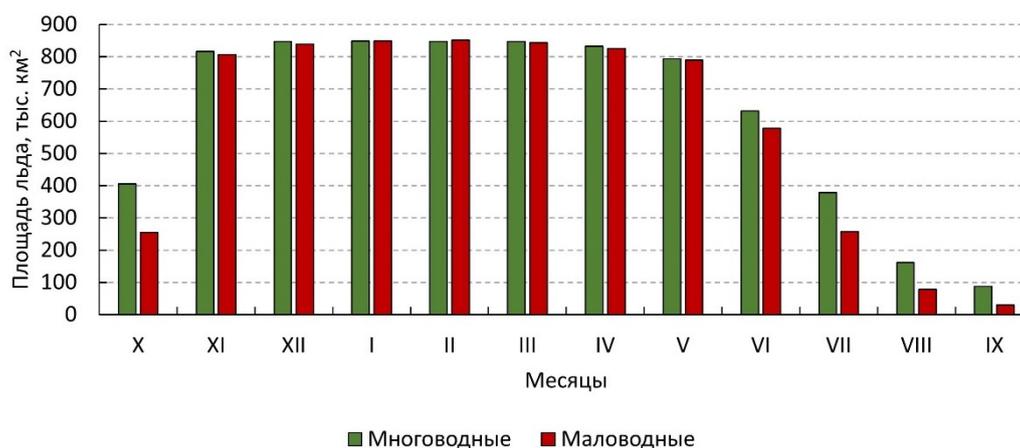


Рис. 4. Площадь льда в море Лаптевых в годы высокой и низкой водности реки Лены (2004–2022 гг.)

Fig. 4. The area of ice in the Laptev Sea during the years of high and low water content of the Lena River (2004–2022)

Заключение

Ледовый режим моря Лаптевых претерпел значительные изменения в последние два десятилетия. С 2004 года отмечены ежегодные отрицательные аномалии площади льда в море Лаптевых. В летний сезон акватория моря почти полностью освобождается от льда. Это привело к замещению многолетних льдов однолетними. Средняя годовая ледовитость стала определяться преимущественно площадью льда, успевшего образоваться в текущем ледовом сезоне. После произошедших изменений в ледовом режиме моря Лаптевых влияние речного стока на процессы сезонного формирования и разрушения морского льда возросло. С 2004 по 2022 годы средняя годовая площадь льда в море Лаптевых прямо коррелирует с колебаниями стока реки Лены. В этот период высокая водность Лены способствовала ускорению процессов ледообразования, удлинению периода стабилизации, сдвигу начала таяния льда на более поздние сроки.

Работа выполнена по теме «Структурно-динамические трансформации пелагических экосистем морских арктических бассейнов в условиях техногенных и естественных изменений среды» (№ государственной регистрации 124013000709-9) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. *Арктический* ледяной покров становится сезонным? / В. В. Иванов, В. А. Алексеев, Т. А. Алексеева, Н. В. Колдунов, И. А. Репина, А. В. Смирнов // Исследование Земли из космоса. 2013. № 4. С. 50. DOI: 10.7868/S0205961413040076
2. Булавина А. С. Влияние колебаний стока Оби и Енисея на площадь ледяного покрова Карского моря // Тр. Кольского науч. центра РАН. Сер. Естественные и гуманитарные науки. 2023. Т. 2, № 3. С. 10–18. DOI: 10.37614/2949-1185.2023.2.3.002
3. *Изменения* климата Арктики при глобальном потеплении / Г. В. Алексеев, В. Ф. Радионов, Е. И. Александров, Н. Е. Иванов, Н. Е. Харланенкова // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 1(103). С. 32–41.
4. *Малинин В. Н., Вайновский П. А.* О причинах первого потепления Арктики в XX столетии // Уч. зап. Рос. гос. гидромет. ун-та. 2018. № 53. С. 34–55.
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. *Осадчиев А. А.* Перенос и трансформация речного стока в российской Арктике // Вестн. РАН. 2021. Т. 91, № 12. С. 1137–1143. DOI: 10.31857/S0869587321120082
7. *Analysis of the Arctic system for freshwater cycle intensification: Observations and expectations* / M. Rawlins, M. Steele, M. Holland, J. Adam, J. Cherry, J. Francis, P. Groisman, L. Hinzman, T. Huntington, D. Kane, J. Kimball, R. Kwok, R. Lammers, C. Lee, D. Lettenmaier, K. McDonald, E. Podest, J. Pundsack, B. Rudels, M. Serreze, A. Shiklomanov, O. Skagseth, T. Troy, C. Vorosmarty, M. Wensnahan, E. Wood, R. Woodgate, D. Yang, K. Zhang, and T. Zhang // *J. Climate*. 2010. № 23(21). P. 5715–5737. DOI: 10.1175/2010JCLI3421.1
8. *Arctic Ocean warming contributes to reduced polar ice cap* / I. V. Polyakov, L. A. Timokhov, V. A. Alexeev, S. Bacon, I. A. Dmitrenko, L. Fortier, I. E. Frolov, J. C. Gascard, E. Hansen, V. V. Ivanov, S. Laxon, C. Mauritzen, D. K. Perovich, K. Shimada, H. L. Simmons, V. T. Sokolov, M. Steele, J. Toole // *J. Phys. Oceanogr.* 2010. Vol. 40, iss. 12. P. 2743–2756. DOI: 10.1175/2010JPO4339.1
9. *Arctic Great Rivers Observatory, Version 20231204* / J. W. McClelland, S. E. Tank, R. G. M. Spencer, A. I. Shiklomanov, S. Zolkos, R. M. Holmes // *Discharge Dataset*. 2023. URL: <https://www.arcticrivers.org/data/> (дата обращения 11.12.2023).
10. *Consequences of future increased Arctic runoff on Arctic Ocean stratification, circulation, and sea ice cover* / A. Nummelin, M. Ilıcak, C. Li, L. Smedsrud // *J. Geophys. Res.* 2016. Vol. 121, iss. 1. P. 617–637. DOI: 10.1002/2015JC011156
11. *Impact of the Arctic Ocean Atlantic water layer on Siberian shelf hydrography* / I. A. Dmitrenko, S. A. Kirillov, L. B. Tremblay, D. Bauch, J. A. Hölemann, T. Krumpfen, H. Kassens, C. Wegner, G. Heinemann, D. Schroder // *J. Geophys. Res.* 2010. Vol. 115, iss. C8. DOI: 10.1029/2009JC006020
12. *Observations of water masses and circulation with focus on the Eurasian Basin of the Arctic Ocean from the 1990s to the late 2000s* / B. Rudels, U. Schauer, G. Björk, M. Korhonen, S. Pisarev, B. Rabe, A. Wisotzki // *Ocean Sci.* 2013. № 9. P. 147–169. DOI: 10.5194/os-9-147-2013
13. *Rudels B.* Arctic Ocean circulation, processes and water masses: A description of observations and ideas with focus on the period prior to the International Polar Year 2007–2009 // *Prog. Oceanogr.* 2013. Vol. 132. P. 22–67. DOI: 10.1016/j.pocan.2013.11.006
14. *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 05.02.2024).

15. *Seasonal variability of Atlantic water on the continental slope of the Laptev Sea during 2002–2004* / I. A. Dmitrenko, I. V. Polyakov, S. A. Kirillov, L. A. Timokhov, H. L. Simmons, V. V. Ivanov, D. Walsh // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 2006. Vol. 244, iss. 3–4. P. 735–743. DOI: 10.1016/j.epsl.2006.01.067
16. *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. Vol. 112, iss. C3. DOI: 10.1029/2006JC003558
17. *Steele M., Boyd T.* Retreat of the cold halocline layer in the Arctic Ocean // *J. Geophys. Res.* 1998. Vol. 103, iss. C5. P. 10419–10435. DOI: 10.1029/98JC00580
18. *Toward a warmer Arctic Ocean: Spreading of the early 21st century Atlantic water warm anomaly along the Eurasian Basin margins* / I. A. Dmitrenko, I. V. Polyakov, S. A. Kirillov, L. A. Timokhov, E. Frolov, V. T. Sokolov, H. L. Simmons, V. V. Ivanov, D. Walsh // *J. Geophys. Res.* 2008. Vol. 113, iss. C5. DOI: 10.1029/2007JC004158

References

1. Ivanov V. V., Alekseev V. A., Alekseeva T. A., Koldunov N. V., Repina I. A., Smirnov A. V. *Arkticheskiy ledyanoy pokrov stanovitsya sezonnyy? [Does Arctic Ocean ice cover become seasonal?]. Issledovanie Zemli iz kosmosa [Exploring the Earth from Space]*, 2013, No. 4, p. 50 (In Russ.). DOI: 10.7868/S0205961413040076
2. Bulavina A. S. *Vliyaniye kolebaniy stoka Obi i Eniseya na ploshchad' ledyanogo pokrova Karskogo morya [The effect of fluctuations of the Ob and Yenisei rivers runoff on the area of the Kara Sea ice cover]. Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Estectvennye i gumanitarnye nauki [Transactions of the Kola Science Centre of the RAS. Series: Natural Sciences and Humanities]*, 2023, Vol. 2, No. 3, pp. 10–18 (In Russ.). DOI: 10.37614/2949-1185.2023.2.3.002
3. Alekseev G. V., Radionov V. F., Aleksandrov E. I., Ivanov N. E., Kharlanenkova N. E. *Izmeneniya klimata Arktiki pri global'nom potepnenii [Arctic climate change under global warming]. Problemy Arktiki i Antarktiki [Arctic and Antarctic Research]*, 2015, No. 1(103), pp. 32–41 (In Russ.).
4. Malinin V. N., Vaynovskiy P. A. *O prichinakh pervogo potepneniya Arktiki v XX stoletii [On the causes of the first warming of the Arctic in the 20th century]. Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta [Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University]*, 2018, No. 53, pp. 34–55 (In Russ.)
5. Naumov L. M., Gordeeva S. M. *Izmenchivost' ledovitosti Karskogo morya [Variability of the ice cover of the Kara Sea]. Kompleksnyye issledovaniya morey Rossii: operativnaya okeanografiya i ekspeditsionnyye issledovaniya: Materialy molodezhnoy nauchnoy konferentsii (g. Sevastopol', 25–29 aprelya 2016 g.) [Comprehensive research of the seas of Russia: operational oceanography and expeditionary research: Proceedings of the Youth Scientific Conference]. Sevastopol, Marine hydrophysics Institute of the RAS, 2016, pp. 332–337 (In Russ.)*
6. Osadchiev A. A. *Perenos i transformatsiya rechnogo stoka v Rossiyskoy Arktike [Transfer and transformation of river flow in the Russian Arctic]. Vestnik RAN [Bulletin of the Russian Academy of Sciences]*, 2021, Vol. 91, No. 12, pp. 1137–1143 (In Russ.). DOI: 10.31857/S0869587321120082
7. Rawlins M., Steele M., Holland M., Adam J., Cherry J., Francis J., Groisman P., Hinzman L., Huntington T., Kane D., Kimball J., Kwok R., Lammers R., Lee C., Lettenmaier D., McDonald K., Podest E., Pundsack J., Rudels B., Serreze M., Shiklomanov A., Skagseth O., Troy T., Vorosmarty C., Wensnahan M., Wood E., Woodgate R., Yang D., Zhang K., Zhang T. *Analysis of the Arctic system for freshwater cycle intensification: Observations and expectations. J. Climate*, 2010, No. 23(21), pp. 5715–5737. DOI: 10.1175/2010JCLI3421.1
8. Polyakov I. V., Timokhov L. A., Alexeev V. A., Bacon S., Dmitrenko I. A., Fortier L., Frolov I. E., Gascard J. C., Hansen E., Ivanov V. V., Laxon S., Mauritzen C., Perovich D., Shimada K., Simmons H. L., Sokolov V. T., Steele M., Toole J. *Arctic Ocean warming contributes to reduced polar ice cap. J. Phys. Oceanogr.*, 2010, Vol. 40, iss. 12, pp. 2743–2756. DOI: 10.1175/2010JPO4339.1

9. 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://www.arcticrivers.org/data/> (accessed 11.12.2023)
10. Nummelin A., Ilicak M., Li C., Smedsrud L. Consequences of future increased Arctic runoff on Arctic Ocean stratification, circulation, and sea ice cover. *J. Geophys. Res.*, 2016, Vol. 121, iss. 1, pp. 617–637. DOI: 10.1002/2015JC011156
11. Dmitrenko I. A., Kirillov S. A., Tremblay L. B., Bauch D., Hölemann J. A., Krumpfen T., Kassens H., Wegner C., Heinemann G., Schroder D. Impact of the Arctic Ocean Atlantic water layer on Siberian shelf hydrography. *J. Geophys. Res.*, 2010, Vol. 115, iss. C8. DOI: 10.1029/2009JC006020
12. Rudels B., Schauer U., Bjork G., Korhonen M., Pisarev S., Rabe B., Wisotzki A. Observations of water masses and circulation with focus on the Eurasian Basin of the Arctic Ocean from the 1990s to the late 2000s. *Ocean Sci.*, 2013, No. 9, pp. 147–169. DOI: 10.5194/os-9-147-2013
13. Rudels B. Arctic Ocean circulation, processes and water masses: A description of observations and ideas with focus on the period prior to the International Polar Year 2007–2009. *Prog. Oceanogr.*, 2013, Vol. 132, pp. 22–67. DOI: 10.1016/j.pocean.2013.11.006
14. 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 05.02.2024)
15. Dmitrenko I. A., Polyakov I. V., Kirillov S. A., Timokhov L. A., Simmons H. L., Ivanov V. V., Walsh D. Seasonal variability of Atlantic water on the continental slope of the Laptev Sea during 2002–2004. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 2006, Vol. 244, iss. 3–4, pp. 735–743. DOI: 10.1016/j.epsl.2006.01.067
16. 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. *J. Geophys. Res.*, 2007, Vol. 112, iss. C3. DOI: 10.1029/2006JC003558
17. Steele M., Boyd T. Retreat of the cold halocline layer in the Arctic Ocean. *J. Geophys. Res.*, 1998, Vol. 103, iss. C5, pp. 10419–10435. DOI: 10.1029/98JC00580
18. Dmitrenko I. A., Polyakov I. V., Kirillov S. A., Timokhov L. A., Frolov E., Sokolov V. T., Simmons H. L., Ivanov V. V., Walsh D. Toward a warmer Arctic Ocean: Spreading of the early 21st century Atlantic water warm anomaly along the Eurasian Basin margins. *J. Geophys. Res.*, 2008, Vol. 113, iss. C5. DOI: 10.1029/2007JC004158

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Статья поступила в редакцию 29.03.2024; одобрена после рецензирования 04.04.2024; принята к публикации 09.04.2024.
The article was submitted 29.03.2024; approved after reviewing 04.04.2024; accepted for publication 09.04.2024.

Научная статья
УДК 579.68 (268.45)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.003

КОМПОНЕНТЫ МИКРОБНОЙ ПИЩЕВОЙ СЕТИ В ПЕЛАГИАЛИ ФЬОРДОВ О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**Марина Павловна Венгер¹, Татьяна Ивановна Широколобова¹,
Татьяна Михайловна Максимовская^{1,2,3}, Марина Александровна Болтенкова¹,
Анастасия Владимировна Ващенко¹**

¹Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
venger@mmbi.info

²Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Изучена пространственная изменчивость количественных показателей прокариот и вирусоподобных частиц в акваториях трех арктических фьордов с учетом структуры их водных масс в летний период. Установлено, что средняя численность и биомасса прокариот в мезотрофных поверхностных водах (соответственно, 0.60 млн кл/мл и 28.64 мг/м³) превосходила значения в расположенных глубже олиготрофных водах – промежуточных (0.33 млн кл/мл и 16.82 мг/м³) и зимних (0.32 млн кл/мл и 19.72 мг/м³). Обилие вирусоподобных частиц в разных трофических условиях положительно коррелирует с параметрами сообществ прокариот и в выделенных водных массах в среднем составляет 1.01 млн, 0.09 млн и 1.31 млн в 1 мл соответственно. Рассмотрены факторы, определяющие распределение наиболее массовых представителей микробной пищевой сети и характер их взаимодействия.

Ключевые слова:

вирусные частицы, прокариоты, гидрологические условия, Шпицберген

Original article

THE COMPONENTS OF THE MICROBIAL FOOD WEB IN THE FJORD PELAGIC ZONE OF THE ISLAND OF WESTERN SPITSBERGEN IN MODERN CLIMATIC CONDITIONS

**Marina P. Venger¹, Tatyana I. Shirokolobova¹, Tatyana M. Maksimovskaya^{1,2,3},
Marina A. Boltenkova¹, Anastasiya V. Vashchenko¹**

¹Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
venger@mmbi.info

²P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia

³St. Petersburg University, St. Petersburg, Russia

Abstract

The spatial variability of quantitative indicators of prokaryotes and virus-like particles in the waters of three Arctic fjords was studied in connection with the structure of their dominant water masses in the summer. A comparison of the abundance and biomass of prokaryotes showed that their average value in mesotrophic surface waters (0.60 million cells/ml and 28.64 mg/m³, respectively) exceeded the values in deeper oligotrophic waters – intermediate (0.33 million cells/ml and 16.82 mg/m³) and winter (0.32 million cells/ml and 19.72 mg/m³). The abundance of virus-like particles in different trophic conditions positively correlated with the parameters of prokaryotic communities and in the isolated water masses averaged 1.01 million, 0.09 million and 1.31 million per ml respectively. The factors determining the distribution of the most abundant representatives of the microbial food web and the nature of their interaction are considered.

Keywords:

virus-like particles, prokaryotes, hydrological conditions, Spitsbergen

Введение

Климатические изменения двух последних десятилетий характеризуются глобальными масштабами и крайней интенсивностью. Темпы повышения температуры приземного воздуха в Арктике примерно в два раза превосходят средний мировой показатель (Darkening ..., 2021) и напрямую связаны

с уменьшением площади многолетних льдов Арктического бассейна (Polyakov et al., 2012). Быстрое сокращение ледяного покрова – одно из самых ярких проявлений потепления, при котором одновременно с уменьшением его площади и толщины продлевается и период ледотаяния.

Значительное воздействие на переход к доминированию сезонных льдов над многолетними оказывает адвекция тепла течениями. Большая часть Западной Арктики находится под влиянием Северо-Атлантического течения, воды которого несут в Гренландское и Баренцево моря большие запасы тепла и соли.

Наиболее выраженное уменьшение количества льда в зимние месяцы наблюдается в северных областях Баренцева моря и в районе архипелага Шпицберген (Seasonal ..., 2018). Приток атлантических вод с Западно-Шпицбергенским течением в фьорды архипелага на протяжении года оказывает воздействие на местные ледовые условия, вызывая не только значительное сокращение припайного льда, но и практически полное его отсутствие зимой (Sea ..., 2016). В летние месяцы, начиная с 2011 г., заток атлантических вод вглубь фьордов стал более регулярным в сравнении с предыдущим десятилетием (Блошкина и др., 2018).

Происходящие в гидрологическом режиме изменения в значительной мере затрагивают морские экосистемы, формируя различные типы абиотических и биотических взаимодействий в пелагиали фьордов. Однако оценить масштабы воздействия и эффективность адаптации к ним водных биоценозов не позволяют имеющиеся объемы информации. О пробелах в знаниях свидетельствуют скудные сведения о важнейших биологических показателях (первичная продукция, скорость ее потребления, оценка биомассы продуцентов) и представителях микрогетеротрофов (бактерии и протозоопланктон) (Phytoplankton ..., 2019).

Гетеротрофные прокариоты (бактерии и археи) – основной компонент микробных пищевых сетей и часто доминирующая часть сообщества арктического планктона, играют ключевую роль в биогеохимических циклах и потоках энергии в морских экосистемах (Bacterial ..., 2008). Наравне с прокариотами особого внимания заслуживают представители вириопланктона, исследования которого в заливах Западного Шпицбергена единичны (Changes ..., 2011). Вирусоподобные частицы, значительно превышая обилием своих потенциальных хозяев (бактерии, археи и микроводоросли), регулируют посредством лизиса не только качественный и количественный состав их популяций, но и величину производимой ими продукции (Wommack, Colwell, 2000).

Цель нашей работы – определение количественных характеристик наиболее массовых компонентов планктона и анализ особенностей их распределения в трех арктических фьордах о. Западный Шпицберген в летний период.

Материал и методы

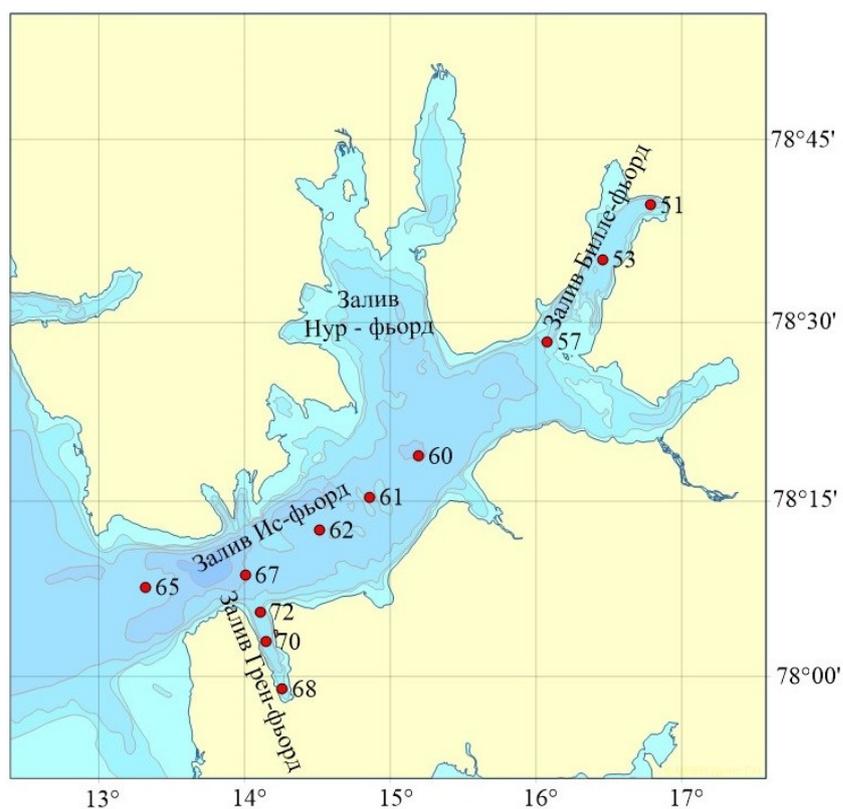
Исследования в заливах Ис-фьорд (Isfjorden), Грён-фьорд (Grønfjorden) и Билле-фьорд (Billefjorden) проводили с 22 по 25 июля 2017 г. с борта НИС «Дальние Зеленцы» (рисунок).

Пробы воды для анализа отбирали со стандартных горизонтов пластиковыми батометрами Нискина, установленными на кассетном пробоотборнике Hydro-Bios MWS 12 системе Rozett. Для измерения термохалинных характеристик вод использовали STD-профилограф SEACAT SBE 19 plus.

Подсчет прокариот и вирусоподобных частиц осуществляли стандартным методом эпифлуоресцентной микроскопии. Препараты просматривали под микроскопом Olympus BX 53 при ув. 1000 в свете ультрафиолетовых лучей.

Численность и размеры прокариот определяли с помощью флуорохрома DAPI (Porter, Feig, 1980). В работе использовали фильтры ОИЯИ (г. Дубна) с диаметром пор 0.2 мкм. Окрашенные DAPI бактериальные и архейные клетки именовали бактериями. Численность вирусоподобных частиц (далее – вирусов) устанавливали с помощью флуорохрома SYBR Green I и фильтров Anodisc («Wathman») с диаметром пор 0.02 мкм (Noble, Fuhrman, 1998).

При статистической обработке материала использовали метод ранговой корреляции Спирмена для расчета коэффициента r_s и U -критерий Манна-Уитни. Достоверными считали различия при $p \leq 0.05$.



Карта-схема района работ в водах заливов о. Западный Шпицберген в июле 2017 г.
Map of stations carried out in July 2017 in the waters of the fjords of the Island of Western Spitsbergen

Результаты

По оценкам теплового состояния Шпицбергенского течения летне-осенний период в 2009–2017 гг. соответствовал категории теплых и аномально теплых лет (Балякин и др., 2018). STD-профилирование водной толщи в ходе наших исследований показало, что поверхностный слой изучаемых заливов занимали относительно прогретые и распресненные воды, отделяемые от нижележащих холодных и соленых вод устойчивым пикноклином с глубиной залегания от 10 до 40 м. Атлантические воды с более низким теплосодержанием доминировали на входе в залив Ис-фьорд в слое 80–140 м. В Грэн-фьорде эта водная масса прослеживалась в слое 100–130 м. В Билле-фьорд поступление атлантических вод из Ис-фьорда отсекал двойной подводный порог между ними.

В Ис-фьорде, ориентированном по оси с запада на восток, наибольшей амплитудой значений температуры и солености характеризовались воды на станции восточного участка, наименьшей – западного участка. Анализ термохалинных условий позволил определить состав водных масс (табл. 1), две из которых (поверхностная и промежуточная) доминировали на станциях по объему.

Численность и биомасса бактериопланктона имели минимальные значения на ст. 65 (соответственно, 0.13 млн кл/мл у поверхности и 3.55 мг/м³ на глубине 100 м) и максимальные – на ст. 60 (соответственно, 1.40 млн кл/мл и 55.15 мг/м³ на глубине 25 м). В водной толще усредненные величины возрастали с запада на восток: численность – от 0.26 млн до 0.85 млн кл/мл, биомасса – от 12.45 до 16.26 мг/м³. Диапазон количественных показателей и их средние значения в слое поверхностной водной массы превосходили таковые в промежуточной и атлантической (табл. 2).

Связь солености с численностью и биомассой бактерий в акватории залива характеризовали коэффициенты корреляции $r_s = -0.53$ и $r_s = -0.44$ соответственно, связь температуры воды и численности – $r_s = 0.38$.

Таблица 1

Характеристика станций отбора проб воды, выполненных в Ис-фьорде в июле 2017 г.

Table 1

Characteristics of water sampling stations carried out in Isfjord in July 2017

Номер станции	Координаты		Глубина, м	Горизонт, м	Температура, °С	Соленость, епс	Водная масса
	с. ш.	в. д.					
60	78°19'	15°12'	276	0	6.56	33.16	Поверхностная
				10	6.36	33.06	Поверхностная
				25	5.18	33.84	Поверхностная
				50	1.77	34.55	Промежуточная
				100	1.18	34.68	Трансформированная атлантическая
				Дно	0.33	34.85	Локальная
61	78°15'	14°52'	228	0	6.46	33.26	Поверхностная
				10	6.44	33.26	Поверхностная
				25	5.97	33.45	Поверхностная
				50	2.70	34.38	Промежуточная
				100	1.14	34.59	Промежуточная
				Дно	1.00	34.76	Промежуточная
62	78°13'	14°31'	222	0	6.57	33.22	Поверхностная
				10	5.48	33.70	Поверхностная
				25	4.56	34.07	Поверхностная
				50	3.17	34.41	Промежуточная
				100	1.22	34.57	Промежуточная
				Дно	0.96	34.79	Промежуточная
67	78°09'	14°00'	293	0	5.58	33.69	Поверхностная
				10	5.52	33.69	Поверхностная
				25	5.26	33.82	Поверхностная
				50	3.77	34.30	Промежуточная
				100	1.32	34.58	Промежуточная
				Дно	1.15	34.82	Промежуточная
65	78°08'	13°19'	267	0	6.13	34.45	Поверхностная
				10	6.11	34.46	Поверхностная
				25	5.79	34.46	Поверхностная
				50	2.89	34.65	Промежуточная
				100	4.57	35.04	Атлантическая
				Дно	1.60	34.82	Трансформированная атлантическая

Таблица 2

Параметры бактерио- и вириопланктона в водных массах в Ис-фьорде в июле 2017 г.

Table 2

The parameters of bacterio- and virioplankton in the water masses of Isfjord in July 2017

Водная масса	N_{bac} , МЛН КЛ/МЛ	B_{bac} , МГ/М ³	V_{bac} , МКМ ³	N_{vir} , МЛН ЧАСТИЦ/МЛ	$N_{\text{vir}}/N_{\text{bac}}$
Поверхностная	0.13–1.40	5.47–55.15	0.023–0.069	0.02–0.15	0.1–0.6
	0.51	22.08	0.046	0.10	0.4
Промежуточная	0.17–0.71	7.05–41.60	0.032–0.076	0.06–0.16	0.2–0.7
	0.29	14.54	0.050	0.12	0.5
Атлантическая и трансформированная атлантическая	0.13–0.68	3.55–27.14	0.027–0.061	0.06–0.09	0.2–0.7
	0.38	16.68	0.043	0.08	0.5

ПРИМЕЧАНИЕ. Здесь и в таблицах 4, 6: N_{bac} – численность бактерий; B_{bac} – биомасса бактерий; V_{bac} – средний бактериальный объем; N_{vir} – численность вирусов; $N_{\text{vir}}/N_{\text{bac}}$ – соотношение численности вирусов и бактерий.

В промежуточных и поверхностных водах количественные показатели бактериопланктона достоверно различались. Состав его сообществ формировали мелкие клетки размером до 2 мкм, их доля в общей численности достигала 94.5–99.5 % в поверхностной водной массе и 98.5–99.6 % – в промежуточной, доля клеток на детрите соответствовала 0.1–4.9 % и 0.2–0.9 %.

Обилие вирусоподобных частиц, определенное в пробах станций 67 и 65, изменялось от 0.02 млн до 0.16 млн частиц/мл, среднее значение в водной толще не превышало 0.10 млн частиц/мл. Косвенный показатель соотношения количества вирусных частиц и бактериальных клеток (N_{vir}/N_{bac}), используемый при оценке вирусного взаимодействия со своими потенциальными хозяевами, практически совпадал по величине в выделенных водных массах на станциях (табл. 2).

В Грён-фьорде, ориентированном по оси с юга на север и имеющем свободный водообмен с Ис-фьордом, максимальная амплитуда температуры и солености наблюдалась на ст. 70. Из трех выделенных водных масс по объему доминировали поверхностная и промежуточная (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика станций отбора проб воды, выполненных в Грён-фьорде в июле 2017 г.

Table 3

Characteristics of water sampling stations carried out in Grønfjord in July 2017

Номер станции	Координаты		Глубина, м	Горизонт, м	Температура, °С	Соленость, епс	Водная масса
	с. ш.	в. д.					
72	78°06'	14°06'	134	0	6.18	33.34	Поверхностная
				10	5.62	33.49	Поверхностная
				25	5.44	33.67	Поверхностная
				50	4.53	34.18	Промежуточная
				Дно	3.39	34.92	Атлантическая
70	78°03'	14°09'	149	0	6.55	32.83	Поверхностная
				10	5.75	33.57	Поверхностная
				25	5.34	33.80	Поверхностная
				50	4.68	34.01	Промежуточная
				Дно	3.22	34.91	Атлантическая
68	77°60'	14°16'	85	0	6.27	33.27	Поверхностная
				10	6.11	33.45	Поверхностная
				25	5.35	33.78	Поверхностная
				50	3.94	34.27	Промежуточная
				Дно	3.36	34.78	Промежуточная

Самая низкая численность (0.15 млн кл/мл) и биомасса (6.14 мг/м³) бактериопланктона выявлены у дна на ст. 70, самая высокая – у поверхности на ст. 72 (соответственно, 0.53 млн кл/мл и 38.82 мг/м³). Средние величины показателей бактериопланктона в водной толще возрастали от кутовой части залива (численность – 0.35 млн кл/мл, биомасса – 17.39 мг/м³) до выхода из Грён-фьорда (соответственно, 0.39 млн кл/мл и 20.72 мг/м³). В слое поверхностной водной массы амплитуда и средние значения численности и биомассы превышали таковые в слоях, занятых промежуточной и атлантической (табл. 4).

Бактериоценозы в доминирующих водных массах достоверно различались по численности и не различались по биомассе. Значения количественных показателей в акватории залива положительно коррелировали с температурой (для численности – $r_s = 0.84$, для биомассы – $r_s = 0.81$) и отрицательно – с соленостью (для численности – $r_s = -0.83$, для биомассы – $r_s = -0.81$). Состав бактериопланктона определяли клетки мелких размеров: 99.0–99.6 % – поверхностная водная масса, 99.0–99.4 % – промежуточная, при этом доля клеток на детрите варьировала, соответственно, от 0.1 до 0.8 % и от 0.3 до 0.6 %.

Концентрация вирусоподобных частиц (0.03–0.27 млн в 1 мл) в среднем составляла 0.08 млн в 1 мл. Величина N_{vir}/N_{bac} в трех водных массах имела сходные значения (табл. 4).

Таблица 4

Параметры бактерио- и вириопланктона в водных массах в Грэн-фьорде в июле 2017 г.

Table 4

The parameters of bacterio- and virioplankton in the water masses of Grønfjord in July 2017

Водная масса	N_{bac} , млн кл/мл	B_{bac} , мг/м ³	V_{bac} , мкм ³	N_{vir} , млн частиц/мл	$N_{\text{vir}}/N_{\text{bac}}$
Поверхностная	<u>0.33–0.53</u>	<u>14.47–38.82</u>	<u>0.035–0.073</u>	<u>0.06–0.27</u>	<u>0.1–0.6</u>
	0.44	21.78	0.049	0.07	0.3
Промежуточная	<u>0.21–0.36</u>	<u>11.73–19.77</u>	<u>0.048–0.057</u>	<u>0.03–0.08</u>	<u>0.1–0.2</u>
	0.32	16.88	0.054	0.05	0.2
Атлантическая	<u>0.15–0.25</u>	<u>6.14–8.62</u>	<u>0.035–0.040</u>	<u>0.04–0.09</u>	<u>0.2–0.6</u>
	0.20	7.38	0.038	0.06	0.4

В Билле-фьорде, являющимся продолжением залива Ис-фьорд, особенности рельефа дна определяют круглогодичное существование придонных зимних вод с отрицательными температурами и высокой соленостью. В период наблюдений акваторию залива представляли четыре водные массы, из которых основной объем на станциях занимали поверхностная и зимняя. Диапазон термохалинных характеристик в кутовой части, куда поступают пресные воды от приливного ледника, превышал таковой на выходе из залива (табл. 5).

Таблица 5

Характеристика станций отбора проб воды, выполненных в Билле-фьорде в июле 2017 г.

Table 5

Characteristics of water sampling stations carried out in Billfjord in July 2017

Номер станции	Координаты		Глубина, м	Горизонт, м	Температура, °С	Соленость, епс	Водная масса
	с. ш.	в. д.					
51	78°40'	16°47'	171	0	7.71	27.72	Поверхностная
				10	7.52	31.57	Поверхностная
				25	4.51	33.75	Поверхностная
				50	0.06	34.57	Локальная
				100	-1.71	34.90	Зимняя
				Дно	-1.80	34.91	Зимняя
53	78°35'	16°27'	142	0	7.66	31.18	Поверхностная
				10	6.97	32.49	Локальная
				25	4.11	33.93	Поверхностная
				50	0.51	34.63	Локальная
				100	-1.73	34.90	Зимняя
				Дно	-1.80	34.91	Зимняя
57	78°28'	16°05'	64	0	6.94	32.58	Поверхностная
				10	6.91	32.60	Поверхностная
				25	5.85	33.78	Поверхностная
				Дно	2.26	34.46	Промежуточная

Наибольшие величины численности (1.6 млн кл/мл) и биомассы (76.24 мг/м³) бактериопланктона отмечены у поверхности на ст. 53, наименьшие (соответственно, 0.2 млн кл/мл и 12.21 мг/м³) – на глубине 100 м на ст. 51. Отмечено повышение средних для водного столба значений от кута к выходу из залива: соответственно, от 0.52 млн до 0.90 млн кл/мл – численность, от 29.51 до 43.38 мг/м³ – биомасса. Средние объемы бактериальных клеток в слое зимних вод превышали таковые в слое поверхностных и локальных вод. Сообщества бактерий поверхностных водных масс, в отличие от зимних и локальных, характеризовали максимальная амплитуда количественных показателей и их более высокие средние значения (табл. 6).

Таблица 6

Параметры бактерио- и вириопланктона в водных массах в Билле-фьорде в июле 2017 г.

Table 6

The parameters of bacterio- and virioplankton in the water masses of Billefjord in July 2017

Водная масса	N_{bac} , млн кл/мл	B_{bac} , мг/м ³	V_{bac} , мкм ³	N_{vir} , млн частиц/мл	$N_{\text{vir}}/N_{\text{bac}}$
Поверхностная	<u>0.53–1.59</u>	<u>26.82–76.24</u>	<u>0.032–0.062</u>	<u>0.83–5.56</u>	<u>0.7–6.7</u>
	0.97	48.67	0.050	1.88	2.9
Локальная	<u>0.42–0.82</u>	<u>26.39–32.81</u>	<u>0.040–0.063</u>	<u>0.05–0.37</u>	<u>0.1–0.8</u>
	0.56	28.58	0.054	0.21	0.5
Зимняя	<u>0.23–0.44</u>	<u>12.21–25.78</u>	<u>0.053–0.070</u>	<u>0.79–1.87</u>	<u>2.9–5.1</u>
	0.32	19.72	0.061	1.31	4.1

В преобладающих по объему водных массах структурные характеристики бактериальных сообществ достоверно различались. Их численность и биомасса в пелагиали залива положительно коррелировали с температурой (для численности – $r_s = 0.84$, для биомассы – $r_s = 0.87$) и отрицательно – с соленостью (для численности – $r_s = -0.83$, для биомассы – $r_s = -0.88$).

Доля клеток мелких размеров в поверхностных водах составляла 90.9–99.3 %, в зимних водах – 97.2–99.1 %. В первом случае наблюдалось повышенное содержание клеток на детрите (0.5–12.9 %), во втором – пониженное (1.5–1.9 %).

Численность вирусоподобных частиц изменялась от 0.05 млн до 5.56 млн в 1 мл (среднее – 1.80 млн в 1 мл). Минимум средних значений отмечен в слое локальной водной массы, максимум – в слое поверхностной, где соотношение $N_{\text{vir}}/N_{\text{bac}}$ наиболее варьировало. Его средние значения в зимних водах превышали таковые в поверхностных и локальных водах (табл. 6).

Обсуждение

В заливах Шпицбергена максимальный прогрев воды обычно приходится на конец июля–начало августа (Effects ..., 2017). К этому периоду приурочен и пик поступления талых ледниковых вод (Darlington, 2015), увеличивающих количество взвеси и органического вещества в акватории фьордов (Venkatachalam et al., 2023).

Сравнение результатов гидрологических съемок, выполненных в третьей декаде июля в Ис- и Грэн-фьорде, выявило сопоставимые диапазоны изменения термохалинных характеристик при практически одинаковых средних значениях солености (соответственно, 33.71 и 33.47 епс) и температуры (соответственно, 5.86 и 5.85 °С) их поверхностных вод, образующихся под влиянием радиационного прогрева и пресного стока поздней весной и летом (Современное ..., 2020). В залегающих ниже промежуточных водах, сформированных смешением поверхностных водных масс с атлантическими и трансформированными атлантическими (Современное ..., 2020), соленость также имела сравнимые интервалы и средние значения (соответственно, 34.61 и 34.31 епс) на фоне существенной разницы в амплитуде температуры и ее средних величинах, составивших 1.93 °С в Ис-фьорде и 4.13 °С в Грэн-фьорде. В Билле-фьорде диапазон и средние значения гидрологических параметров (соленость – 32.14 епс, температура – 6.40 °С) слоя поверхностных вод отличались от таковых в двух других фьордах и в слое придонных зимних вод (соленость – 34.91 епс, температура – –1.76 °С), сформированных на поверхности в период минимального ледникового стока и постепенно заполнивших глубинные слои (Ильин и др., 2018).

Летний прогрев создавал благоприятные условия для развития автотрофных микроорганизмов – главных продуцентов растворенного органического вещества, потребляемого сообществами арктического прокариотного планктона. Хлорофилл – основной пигмент микроводорослей, аккумулировался в верхней части водной толщи. Его содержание снижалось к выходу из заливов, и в слое 0–25 м на разрезе через Билле- и Ис-фьорд составило 1.12 ± 0.53 мг/м³ с максимумами (2.99 мг/м³) у поверхности кутовой части первого из них и на глубине 10 м (1.67 мг/м³) в предустьевой части второго (Водопьянова и др., 2018). Количество пигмента уменьшалось с глубиной и в расположенных ниже слоях (от 50 м до дна)

не превышало 0.27 ± 0.17 мг/м³. В Грён-фьорде на аналогичных глубинах величина показателя составила 0.28 ± 0.26 мг/м³, в слое 0–25 м – 1.15 ± 0.39 мг/м³ с максимумом у поверхности в кутовой части залива (1.56 мг/м³).

По классификации В. И. Ведерникова (1975), трофический статус поверхностной водной массы (0–25 м) в трех заливах соответствовал мезотрофному уровню. Воды кутовой части Билле-фьорда имели евтрофный статус, что обусловлено развитием цветения в приледниковой зоне. Более глубокие водные слои в Ис-, Грён- и Билле-фьорде относились к олиготрофной категории.

В том же июле 2017 г. при локальном цветении во внутренней части Конгс-фьорда концентрация хлорофилла *a* составила 2.8 мг/м³ (1.3 – 7.4 мг/м³) (Tidewater ..., 2019), что значительно превосходит полученные нами величины. В Адвент-фьорде – южном ответвлении Ис-фьорда, с конца июня до конца августа 2012 г в слое 0–25 м значения варьировали от 2 до 3 мг/м³, а глубже 25 м – не превышали 2 мг/м³. Сообщество фотосинтетиков в этот период представляли жгутиковые и нанофлагелляты размером 3–7 мкм (The annual ..., 2017).

Горизонтальное распределение основного пигмента, совпадающее с данными В. В. Водопьяновой с соавторами (2018), наблюдалось в августе 2016 г. в двух северных фьордах, где низкая флуоресценция хлорофилла характеризовала их внешние участки, более высокая – внутренние участки (Particles ..., 2020). Содержание хлорофилла в первом случае определялось развитием пикоэукариот размером < 2 мкм (криптофиты и динофлагелляты), во втором случае, по-видимому, оно связано с диатомовыми водорослями, чью вегетацию могли усиливать значительные концентрации растворенного кремния, поступающего в фьорд с ледниковым стоком (Tidewater ..., 2019).

Свидетельства количественного доминирования в июле 2007 г. криптофитовых и динофлагеллят при весьма низкой общей биомассе фототрофов (0.025 – 0.105 г/м³) в Грён-фьорде приводятся в работе Л. Л. Капустиной с соавторами (2018). Исследователи также отмечают, что и в июне 2008 г. биомассу микроводорослей (0.005 – 0.450 г/м³) практически полностью определяли представители динофлагеллят и значительная численность флагеллят.

Самые высокие концентрации хлорофилла, как правило, приурочены к весеннему цветению, в ходе которого в экосистемах высокоширотных фьордов создается большая часть годовой первичной продукции (Impact ..., 2018). Например, в конце мая 2012 г. во внутренней части Конгс-фьорда количество хлорофилла достигало 15.5 мкг/л (или в пересчете 15.5 мг/м³) при активной вегетации крупных диатомей (Effects ..., 2017). Их замещение летом на более мелкие водоросли и флагеллят делает экосистему пелагиали менее продуктивной (Comparison..., 2009).

Относительно низкий уровень трофности вод в наших исследованиях также, вероятно, определялся функционированием сообществ фототрофных пикоэукариот, активно развивающихся во внутренних водах Шпицбергена летом (The annual ..., 2017).

В арктических микробных пищевых сетях продуцируемое микрофотосинтетиками растворенное органическое вещество и температуру воды считают основными факторами, регулирующими развитие бактериопланктона по типу «восходящего контроля» (Kirchman et al., 2009). Результаты наших определений свидетельствуют о приуроченности повышенных значений численности и биомассы бактерий к поверхностной водной массе, что подтверждается ее мезотрофным статусом и выявленной тесной и умеренной связью микробиологических параметров с гидрологическими характеристиками. В отсутствие статистически значимых различий в теплосодержании поверхностных вод трех акваторий количественные показатели их бактериальных сообществ в Билле-фьорде достоверно превышали значения в Ис- и Грён-фьорде (от 1.9 до 2.2 раза). В первом из заливов доля входящих в состав сообществ мелких клеток (в среднем 95.3 %) и клеток, прикрепленных к детриту (в среднем 4.3 %), отличалась от аналогичных показателей в Ис- (соответственно, 98.7 % и 0.9 %) и Грён-фьорде (соответственно, 99.4 % и 0.4 %).

Вирусы имели сходный характер распределения со своими потенциальными хозяевами. Для поверхностной водной массы установлена высокой и средней силы корреляционная связь бактериальной численности ($r_s = 0.71$) и биомассы ($r_s = 0.56$) с концентрацией вирусных частиц.

Выявленные различия в качественном и количественном составе бактериопланктона могут быть связаны с более ранней вегетацией микроводорослей в Билле-фьорде по сравнению с Ис- и Грэн-фьордом, чему соответствует степень развития их микробных сообществ как реакция на разницу в продолжительности поступления в среду лабильного растворенного органического вещества. Дополнительным аргументом в пользу выдвинутого предположения служат показатели соотношения N_{vir}/N_{bac} с меньшими на порядок значениями в зонах с поздними сроками активизации микрофотосинтетиков. На фоне их более длительного периода функционирования в Билле-фьорде состав его вириопланктона, который на один-два порядка превышал обилие в двух других заливах, мог включать и альгофаги.

Глубже залегающие и доминирующие по объему водные массы характеризовали не только пониженная температура и концентрация хлорофилла, но и более низкий уровень развития бактериоценозов. Средняя численность (0.60 млн кл/мл) и биомасса (28.64 мг/м³) их представителей в поверхностной водной массе почти в 2 раза превышала величины в олиготрофных водах – промежуточной (соответственно, 0.33 млн кл/мл, 16.82 мг/м³) и зимней (соответственно, 0.32 млн кл/мл, 19.72 мг/м³). Снижение обилия с глубиной вызвано, с большой долей вероятности, как минимальными темпами роста из-за ограничения субстрата, так и возможным прессом выедания или вирусного лизиса.

В промежуточной и зимней водных массах, контрастирующих величиной термохалинных характеристик, значения численности и биомассы бактериопланктона достоверных различий не имели. В структуре сообществ преобладали одиночные мелкие клетки (99.1 % – промежуточная водная масса, 97.9 % – зимняя водная масса), гораздо меньшую долю составляли клетки на детрите (соответственно, 0.5 и 1.7 %).

Обилие вирусов в олиготрофных водах коррелировало с бактериальной биомассой ($r_s = 0.60$) и в зимней водной массе в среднем в 4 раза превышало величину обилия в промежуточной водной массе. Данный факт указывал на преобладание в зимней водной массе вирулентных литических фагов, заражающих и лизирующих клетки хозяев с последующим массовым выходом новых вирусных частиц. Отмеченные при этом относительно высокие значения соотношения N_{vir}/N_{bac} частично мог определять фактор вязкости воды, замедляющий деградацию вирусов и тем способствуя увеличению их концентрации в среде с отрицательными температурами и повышенной соленостью.

По-видимому, в промежуточной водной массе фаги пребывали в лизогенном состоянии и практически не влияли на жизнедеятельность бактерий, что подтверждают значения соотношения N_{vir}/N_{bac} меньше единицы. Существует мнение, что лизогения является наиболее оптимальным способом вирусной репликации в среде с низкой численностью и активностью хозяев в отличие от среды с более высокими значениями этих параметров, где преобладает литическая инфекция (Weinbauer, Suttle, 1996; Paul, Weinbauer, 2010). В зимних водах продуктивное взаимодействие литического типа осуществлялось на фоне низкой численности потенциальных хозяев-бактерий. Как одну из версий такого несоответствия можно считать изначально повышенную активность части сообщества бактерий, населявших детрит, где их рост уже в ходе литической инфекции поддерживался преимущественно за счет лизатов.

Выбор одной из двух жизненных стратегий у вирусных сообществ полностью зависит от экологических условий, которые в нашем случае определял, скорее всего, весьма замедленный водообмен в Билле-фьорде (Ильин и др., 2018) по сравнению с Грэн- и Ис-фьордом. Крайне ограниченная информация о факторах среды, влияющих на вирусы в пелагиали фьордов, не позволяет провести более полный анализ имеющихся данных.

Немногочисленные исследования сообщества прокариот, выполненные преимущественно в весенне-летний сезон, указывают на значительную изменчивость их количественных характеристик. Так диапазон и средняя численность (1117 ± 150 тыс. кл/мл) в фотическом слое Ис-фьорда в августе 2009 г. (Летний ..., 2012) превышали полученные нами величины в поверхностной водной массе, тогда как в придонном слое средняя численность (375 ± 96 тыс. кл/мл) соответствовала уровню, установленному для промежуточных и зимних вод. Более высокие, по сравнению с нашими, значения

диапазона отмечены в поверхностных водах летом 2007–2010 гг. с максимумом в июне в Грэн-фьорде (1.00–3.50 млн кл/мл) и минимумом в августе в Грэн- (0.82–1.60 млн кл/мл) и Билле-фьорде (0.70–1.40 млн кл/мл) (Капустина и др., 2018). Аналогично развивались события и в Конгс-фьорде, где с июня по август 2012 г. показатели снижались, варьируя в пределах сотен тысяч клеток в 1 мл (Spatio-temporal ..., 2016). Сопоставимые величины здесь наблюдались с июля по август 2013 г.: средняя численность – $1.8 \cdot 10^5$ кл/см³ ($1.16 \cdot 10^5$ – $4.26 \cdot 10^5$ кл/см³) (Kalinowska et al., 2015). Установлено, что в мае 2016 г. количество бактерий в 1 мл воды в Конгс-фьорде составляло 1 млн (Microbial ..., 2020). Методом проточной цитометрии показан рост числа бактерий в 4 раза и вирусов в 2–3 раза с июня по июль 2008 г. в слое 0–100 м (Changes ..., 2011).

Начало весеннего цветения в пелагиали фьордов варьирует по срокам и приходится на апрель–май. Тесно связанные с этим процессом численность и активность бактериопланктона обычно возрастают с задержкой на недели (Bird, Karl, 1999), что хорошо иллюстрируют данные исследователей (Changes ..., 2011; Капустина и др., 2018). В дальнейшем физиологическое состояние бактериальных клеток и состав их сообществ могут способствовать более быстрой реакции на последующее летнее развитие микроросистотиков (Dyamic ..., 2001). Подобный отклик на вегетацию, очевидно, имел место в августе 2009 г. (Летний ..., 2012) и июле 2017 г. в слое поверхностной водной массы Билле-фьорда и восточного участка Ис-фьорда.

О слабо выраженном весеннем развитии фитопланктона в этом же слое в Грэн-фьорде и западном участке Ис-фьорда свидетельствовали два факта: 1) уровень развития бактериопланктона в поверхностной водной массе, характерный для вод олигомезотрофной категории; 2) значения соотношения N_{vir}/N_{bac} менее единицы, определяемые недостаточной бактериальной активностью (в отсутствие лабильного растворенного органического вещества от весеннего цветения) для поддержания повышенной вирусной продукции.

Результаты выполненного нами исследования являются лишь «моментальным снимком» распределения бактерий, на численность и биомассу которых в поверхностных водах значительно влияли продолжительность развития альгоценозов и сроки его начала, формирующие условия локального повышения трофности вод. Вопрос о факторах, стимулирующих количественное развитие бактериопланктона в малотрофных более глубоких водных слоях, за исключением акватории с замедленным водообменом, остается открытым. Тем не менее, полученный материал позволяет расширить существующие представления о характере сезонных изменений в структуре микробных сообществ и дополнить создаваемую базу данных. Ее использование в дальнейшем мониторинге послужит ключом к пониманию воздействий изменения климата на структуру планктонных бактериоценозов заливов Шпицбергена.

Работа выполнена по теме «Многодисциплинарные исследования морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген» (№ государственной регистрации 124060300006-0) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Балякин Г. Г., Губаницев М. А., Ившин В. А. Особенности океанографических условий и промысла трески в районе архипелага Шпицберген в 2009–2017 годах // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2018. С. 12–13. DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0
2. Блошкина Е. В., Фильчук К. В., Рыжов В.И. Современное состояние вод фьордов Западного Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2018. С. 17–18. DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0
3. Ведерников В. И. Зависимость ассимиляционного числа и концентрации хлорофилла *a* от продуктивности вод в различных температурных областях Мирового океана // Океанология. 1975. Т. 15, вып. 4. С. 703–707.

4. *Водопьянова В. В., Ващенко П. С., Калинка О. П.* Концентрация хлорофилла в пелагиали прибрежья и фьордов архипелага Шпицберген в летний период // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2018. С. 23–24. DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0
5. *Ильин Г. В., Усягина И. С., Валу́йская Д. А.* Влияние ледников на радиоэкологическое состояние морской среды во фьордах Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2018. С. 46–47. DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0
6. *Капустина Л. Л., Павлова О. А., Родионова Н. В.* Планктонные сообщества двух фьордов о. Западный Шпицберген // Тр. КарНЦ РАН. 2018. № 1. Сер. Биогеография. С. 51–66. DOI: 10.17076/bg625
7. *Летний бактерио- и зоопланктон прибрежных вод архипелага Шпицберген / В. Г. Дворецкий, М. П. Венгер, П. Р. Макаревич, Д. В. Моисеев // Биол. моря. 2012. Т. 38, № 1. С. 82–85.*
8. *Современное состояние природной среды архипелага Шпицберген / Под общ. ред. Л. М. Саватюгина. СПб.: Изд-во ААНИИ, 2020. 304 с.*
9. *Bacterial carbon processing by generalist species in the coastal ocean / X. Z. Mou, S. L. Sun, R. A. Edward, R. E. Hodson, M. A. Moran // Nature. 2008. Vol. 451. P. 708–711. URL: <https://doi.org/10.1038/nature06513>*
10. *Bird D. F., Karl D. M.* Uncoupling of bacteria and phytoplankton during the austral spring bloom in Gerlache Strait, Antarctic Peninsula // *Aquat. Microb. Ecol.* 1999. Vol. 19. P. 13–27.
11. *Changes in viral and bacterial communities during the ice-melting season in the coastal Arctic (Kongsfjorden, Ny-Alesund / D. De Corte, E. Sintes, T. Yokokawa, G. J. Herndl // Environ. Microbiol. 2011. Vol. 13, iss. 7. P. 1827–1841. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2011.02497.x*
12. *Comparison of productivity and phytoplankton in a warm (Kongsfjorden) and a cold (Hornsund) Spitsbergen fjord in mid-summer / K. Piwosz, W. Walkusz, R. Hapter, P. Wieczorek, H. Hop, J. Wiktor // Polar Biol. 2009. Vol. 32. P. 549–559. DOI: 10.1007/s00300-008-0549-2*
13. *Effects of increase glacier discharge on phytoplankton bloom dynamics and pelagic geochemistry in a high Arctic ford / M. L. Calleja, P. Kerherve, S. Bourgeois, M. Kędra, A. Leynaert, E. Devred, M. Babin, N. Morata // Prog. Oceanogr. 2017. Vol. 159. P. 195–210. DOI: 10.1016/j.pocean.2017.07.005*
14. *Darkening of the Svalbard fjords waters observed with satellite ocean color imagery in 1997–2019 / M. Konik, M. Darecki, A.K. Pavlov, S. Sagan, P. Kowalczyk // Front. Mar. Sci. 2021. Vol. 8. DOI: 10.3389/fmars.2021.699318*
15. *Darlington E. F.* Meltwater delivery from the tidewater glacier Kronebreen to Kongsfjorden, Svalbard; insights from in-situ and remote-sensing analyses of sediment plumes: PhD Thesis. Loughborough University, 2015. URL: <https://hdl.handle.net/2134/19399>
16. *Dynamic bacterial and viral response to an algal bloom at subzero temperature / P.L. Yager, T.L. Connely, B. Mortazavi, K. E. Wommack, N. Bano, J. E. Bauer, S. Opsahl, J. T. Hollibaugh // Limnol. Oceanogr. 2001. Vol. 46, iss. 4. P. 790–801. DOI: 10.4319/lo.2001.46.4.0790*
17. *Impact of glacial meltwater on spatiotemporal distribution of copepods and their grazing impact in Young Sound NE, Greenland / A. B. Middelbo, M. K. Sejr, K. E. Arendt, E. F. Møller // Limnol. Oceanogr. 2018. Vol. 63. P. 322–336. DOI: 10.1002/lno.10633*
18. *Kalinowska A., Ameryk A., Jankowska K.* Microbiological survey in two Arctic fjords: total bacterial number and biomass comparison of Hornsund and Kongsfjorden // *GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences.* 2015. Vol. 22. P. 115–126. DOI: 10.1007/978-3-319-14283-8_9
19. *Kirchman D. L., Moran X. A. G., Ducklow H.* Microbial growth in the polar oceans: role of temperature and potential impact of climate change // *Nat. Rev. Microbiol.* 2009. Vol. 7. P. 451–459. DOI: 10.1038/nrmicro2115

20. *Microbial* abundance and enzyme activity patterns: response to changing environmental characteristics along a transect in Kongsfjorden (Svalbard Islands) / G. Caruso, A. Madonia, S. Bonamano, S. Misericchi, F. Giglio, G. Maimone, F. Azzaro, F. Decembrini, R. La Ferla, V. Piermattei, D. Piazzoolla, M. Marcelli, M. Azzaro // *J. Mar. Sci. Eng.*, 2020. Vol. 8(10). P. 824. DOI: 10.3390/jmse8100824
21. Noble R. T., Fuhrman J. A. Use of SYBR Green I for rapid epifluorescence counts of marine viruses and bacteria // *Aquat. Microb. Ecol.* 1998. Vol. 14, № 2. P. 113–118. URL: <https://doi.org/10.3354/ame014113>
22. *Particles*, protists and zooplankton in glacier-influenced coastal Svalbard waters / E. Trudnowska, A.M. Dabrowska, R. Boehnke, M. Zajączkowski, K. Blachowiak-Samolyk // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2020. Vol. 242(313). Article 106842. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106842
23. Paul J. H., Weinbauer M. G. Detection of lysogeny in marine environments // *MAVE*. 2010. Vol. 4. P. 30–33. DOI: 10.4319/mave.2010.978-0-9845591-0-7.30
24. *Phytoplankton* seasonal dynamics in Kongsfjorden, Svalbard and the adjacent shelf / E. N. Hegseth, P. Assmy, J. M. Wiktor, J. W. Jr, S. Kristiansen, E. Leu, V. Tverberg, T. M. Gabrielsen, R. Skogseth, F. Cottier // *The Ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard*. Springer, 2019. P. 173–227. DOI: 10.1007/978-3-319-46425-1_6
25. Polyakov I. V., Walsh J. E., Kwok R. Recent changes of arctic multiyear sea ice coverage and the likely causes // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2012. Vol. 93(2). P. 145–151. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00070.1
26. Porter K. G., Feig Y. S. The use of DAPI for identifying and counting of aquatic microflora // *Limnol. Oceanogr.* 1980. Vol. 25. P. 943–948. URL: <https://doi.org/10.4319/lo.1980.25.5.0943>
27. Sea ice cover in Isfjorden and Hornsund, Svalbard (2000–2014) from remote sensing data / S. Muckenhuber, F. Nilsen, A. Korosov, S. Sandven // *Cryosphere*. 2016. Vol. 10, iss. 1. P. 149–158. DOI: 10.5194/tc-10-149-2016
28. Seasonal and regional manifestation of arctic sea ice loss / I.H. Onarheim, T. Eldevik, L.H. Smedsrud, J. C. Stroeve // *J. Climate*. 2018. Vol. 31. P. 4917–4932. DOI: 10.1175/JCLI-D-17-0427.1
29. Spatio-temporal monitoring and ecological significance of retrievable pelagic heterotrophic bacteria in Kongsfjorden, an arctic fjord / R. K. Sinha, K. P. Krishnan, S. Kerkar, N. D. Divya // *Indian J. Microbiol.* 2016. Vol. 57(1). P. 116–120. DOI: 10.1007/s12088-016-0621-5
30. The annual planktonic protist community structure in an ice-free high arctic fjord (Adventfjorden, West Spitsbergen) / A. M. Kubiszyn, J. M. Wiktor, J. M. Wiktor-Jr., C. Griffiths, S. Kristiansen, T. M. Gabrielsen // *J. Mar. Syst.* 2017. Vol. 169. P. 61–72. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.01.013>
31. Tidewater glaciers and bedrock characteristics control the phytoplankton growth environment in an arctic fjord / L. Halbach, M. Vihtakari, P. Duarte, A. Everett, M. A. Granskog, H. Hop, H. M. Kauko, S. Kristiansen, P. I. Myhre, A. K. Pavlov, A. Pramanik, A. Tatarek, T. Torsvik, J. M. Wiktor, A. Wold, A. Wulff, H. Steen, P. Assmy // *Front. Mar. Sci.* 2019. Vol. 6. P. 254. URL: <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00254>
32. Venkatachalam S., Gopinath A., Krishnan K. P. Fjords of the western and northern regions of Svalbard harbour distinct bacterioplankton community structures // *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2023. Vol. 39, № 2. Article 57. DOI: 10.1007/s11274-022-03493-0.
33. Weinbauer M. G., Suttle C. A. Potential significance of lysogeny to bacteriophage production and bacterial mortality in coastal waters of the Gulf of Mexico // *Aquat. Microb. Ecol.* 1996. Vol. 62. P. 4374–4380. DOI: 10.1128/AEM.62.12.4374-4380.1996
34. Wommack K. E., Colwell R. R. Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems // *Microbiol. Molec. Biol. Rev.* 2000. Vol. 64(1). P. 69–114. DOI: 10.1128/MMBR.64.1.69-114.2000
35. Zhuravskiy D., Ivanov B., Pavlov A. Ice conditions at Grønfjorden Bay, Svalbard, from 1974 to 2008 // *Polar Geogr.* 2012. Vol. 35, № 2. P. 169–176. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=%22Microbiol+Mol+Biol+Rev%22%5Bjour%5D&sort=date&sort_order=desc

Reference

1. Balyakin G. G., Gubanishchev M. A., Ivshin V. A. Osobennosti okeanograficheskikh usloviy i promysla treski v rayone arhipelaga Shpitsbergen v 2009–2017 godakh [Features of oceanographic conditions and cod fishing near the Spitsbergen archipelago in 2009–2017]. *Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena i prilegayushchego shelfa: Tezisy dokladov XIV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Murmansk, 30 oktyabrya–2 noyabrya 2018 g.)* [Complex investigations of Spitsbergen and offshore nature: Proceedings of the XIV scientific conference with international participation (Murmansk, 30 October–2 November, 2018)]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2018, pp. 12–13 (In Russ.). DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0
2. Bloshkina E. V., Filchuk K. V., Ryzhov I. V. Sovremennoe sostoyanie vod f'ordov Zapadnogo Shpitsbergena [The present water masses conditions of West Spitsbergen fjords]. *Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena i prilegayushchego shelfa: Tezisy dokladov XIV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Murmansk, 30 oktyabrya–2 noyabrya 2018 g.)* [Complex investigations and offshore nature: Proceedings of the XIV scientific conference with international participation (Murmansk, 30 October–2 November, 2018)]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2018, pp. 17–18 (In Russ.). DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0
3. Vedernikov V. I. Zavisimost' assilyatsionnogo chisla i kontsentratsii khlorofilla *a* ot produktivnosti vod v razlichnykh temperaturnykh oblastiakh Mirovogo okeana [Dependence of the assimilation number and concentration of chlorophyll *a* on water productivity in different temperature regions of the World Ocean]. *Okeanologiya* [Oceanology], 1975, Vol. 15, No. 4, pp. 703–707 (In Russ.).
4. Vodop'yanova V. V., Vashchenko P. S., Kalinka O. P. Kontsentratsiya khlorofilla v pelagiali pribrezh'ya i f'ordov arhipelaga Shpitsbergen v letniy period [Chlorophyll concentration in the pelagic zone of the coast and fjords of the Spitsbergen archipelago in summer]. *Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena i prilegayushchego shelfa: Tezisy dokladov XIV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Murmansk, 30 oktyabrya–2 noyabrya 2018 g.)* [Complex investigations of Spitsbergen and offshore nature: Proceedings of the XIV scientific conference with international participation (Murmansk, 30 October–2 November, 2018)]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2018, pp. 23–24 (In Russ.). DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0
5. Il'in G. V., Usyagina I. S., Valyiskaya D. A. Vliyanie lednikov na radioekologicheskoe sostoyanie morskoy sredy vo f'ordakh Shpitsbergena [The influence of glaciers on the radioecological state of the marine environment in the fjords of Spitsbergen]. *Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena i prilegayushchego shelfa: Tezisy dokladov XIV Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Murmansk, 30 oktyabrya–2 noyabrya 2018 g.)* [Complex investigations of Spitsbergen and offshore nature: Proceedings of the XIV scientific conference with international participation (Murmansk, 30 October–2 November, 2018)]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2018, pp. 46–47 (In Russ.). DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0
6. Kapustina L. L., Pavlova O. A., Rodionova N. V. Planktonnyye soobshchestva dvukh f'ordov o. Zapadnyy Shpitsbergen [Plankton communities in two fjords of Western Spitsbergen]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Biogeografiya* [Transactions of Karelian Research Centre of RAS. Series: Biogeography], 2018, No. 1, pp. 51–66 (In Russ.). DOI: 10.17076/bg625
7. Dvoretzkiy V. G., Venger M. P., Makarevich P. R., Moiseev D. V. Letniy bakterio- i zooplankton pribrezhnykh vod arhipelaga Shpitsbergen [Summer bacterio- and zooplankton of Spitsbergen coastal waters]. *Biologiya morya* [Russian J. Mar. Biol.], 2012, Vol. 38, No. 1, pp. 82–85 (In Russ.).
8. *Sovremennoe sostoyanie prirodnoy sredy arhipelaga Shpitsbergen* [The current state of the natural environment on Spitzbergen archipelago] / Pod obshchey redaktsiey L. M. Savatyugina. Saint Petersburg, Publ. Arctic and Antarctic Research Institute, 2020. 304 p. (In Russ.).
9. Mou X. Z., Sun S. L., Edward R. A., Hodson R. E., Moran M. A. Bacterial carbon processing by generalist species in the coastal ocean. *Nature*, 2008, Vol. 451, pp. 708–711. Available at: <https://doi.org/10.1038/nature06513>

10. Bird D. F., Karl D. M. Uncoupling of bacteria and phytoplankton during the austral spring bloom in Gerlache Strait, Antarctic Peninsula. *Aquat. Microb. Ecol.*, 1999, Vol. 19, pp. 13–27.
11. De Corte D., Sintes E., Yokokawa T., Herndl G. J. Changes in viral and bacterial communities during the ice-melting season in the coastal Arctic (Kongsfjorden, Ny-Alesund. *Environ. Microbiol.*, 2011, Vol. 13, iss. 7. pp. 1827–1841. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2011.02497.x
12. Piwosz K., Walkusz W., Hapter R., Wieczorek P., Hop H., Wiktor J. Comparison of productivity and phytoplankton in a warm (Kongsfjorden) and a cold (Hornsund) Spitsbergen fjord in mid-summer. *Polar Biol.*, 2009, Vol. 32, pp. 549–559. DOI: 10.1007/s00300-008-0549-2
13. Calleja M. L., Kerherve P., Bourgeois S., Kędra M., Leynaert A., Devred E., Babin M., Morata N. Effects of increase glacier discharge on phytoplankton bloom dynamics and pelagic geochemistry in a high Arctic ford. *Prog. Oceanogr.*, 2017, Vol. 159, pp. 195–210. DOI: 10.1016/j.pocean.2017.07.005
14. Konik M., Darecki M., Pavlov A.K., Sagan S., Kowalczyk P. Darkening of the Svalbard fjords waters observed with satellite ocean color imagery in 1997–2019. *Front. Mar. Sci.*, 2021, Vol. 8. DOI: 10.3389/fmars.2021.699318
15. Darlington E. F. Meltwater delivery from the tidewater glacier Kronebreen to Kongsfjorden, Svalbard; insights from in-situ and remote-sensing analyses of sediment plumes: PhD Thesis. Loughborough University, 2015. Available at: <https://hdl.handle.net/2134/19399>
16. Yager P. L., Connely T. L., Mortazavi B., Wommack K. E., Bano N., Bauer J. E., Opsahl S., Hollibaugh J. T. Dynamic bacterial and viral response to an algal bloom at subzero temperature. *Limnol. Oceanogr.*, 2001, Vol. 46, iss. 4, pp. 790–801. DOI: 10.4319/lo.2001.46.4.0790
17. Middelbo A. B., Sejr M. K., Arendt K. E., Møller E. F. Impact of glacial meltwater on spatiotemporal distribution of copepods and their grazing impact in Young Sound NE, Greenland. *Limnol. Oceanogr.*, 2018, Vol. 63, pp. 322–336. DOI: 10.1002/lno.10633
18. Kalinowska A., Ameryk A., Jankowska K. Microbiological Survey in two Arctic Fjords: total bacterial number and biomass comparison of Hornsund and Kongsfjorden. *GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences*, 2015, Vol. 22, pp. 115–126. DOI: 10.1007/978-3-319-14283-8_9
19. Kirchman D. L., Moran X. A. G., Ducklow H. Microbial growth in the polar oceans: role of temperature and potential impact of climate change. *Nat. Rev. Microbiol.*, 2009, Vol. 7, pp. 451–459. DOI: 10.1038/nrmicro2115
20. Caruso G., Madonia A., Bonamano S., Misericchi S., Giglio F., Maimone G., Azzaro F., Decembrini F., La Ferla R., Piermattei V., Piazzolla D., Marcelli M., Azzaro M. Microbial abundance and enzyme activity patterns: response to changing environmental characteristics along a transect in Kongsfjorden (Svalbard Islands). *J. Mar. Sci. Eng.*, 2020, Vol. 8(10), pp. 824. DOI: 10.3390/jmse8100824
21. Noble R. T., Fuhrman J. A. Use of SYBR Green I for rapid epifluorescence counts of marine viruses and bacteria. *Aquat. Microb. Ecol.*, 1998, Vol. 14, No. 2, pp. 113–118. Available at: <https://doi.org/10.3354/ame014113>
22. Trudnowska E., Dabrowska A. M., Boehnke R., Zajączkowski M., Blachowiak-Samolyk K. Particles, protists and zooplankton in glacier-influenced coastal Svalbard waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2020, Vol. 242(313), Article 106842. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106842
23. Paul J. H., Weinbauer M. G. Detection of lysogeny in marine environments. *MAVE*, 2010, Vol. 4, pp. 30–33. DOI: 10.4319/mave.2010.978-0-9845591-0-7.30
24. Hegseth E. N., Assmy P., Wiktor J. M., Jr J. W., Kristiansen S., Leu E., Tverberg V., Gabrielsen T. M., Skogseth R., Cottier F. Phytoplankton seasonal dynamics in Kongsfjorden, Svalbard and the adjacent shelf. *The Ecosystem of Kongsfjorden, Svalbard*. Springer, 2019, pp. 173–227. DOI: 10.1007/978-3-319-46425-1_6
25. Polyakov I. V., Walsh J. E., Kwok R. Recent changes of arctic multiyear sea ice coverage and the likely causes. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 2012, Vol. 93(2), pp. 145–151. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00070.1
26. Porter K. G., Feig Y. S. The use of DAPI for identifying and counting of aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, 1980, Vol. 25, pp. 943–948. Available at: <https://doi.org/10.4319/lo.1980.25.5.0943>

27. Muckenhuber S., Nilsen F., Korosov A., Sandven S. Sea ice cover in Isfjorden and Hornsund, Svalbard (2000–2014) from remote sensing data. *Cryosphere*, 2016, Vol. 10, iss. 1, pp. 149–158. DOI: 10.5194/tc-10-149-2016
28. Onarheim I. H., Eldevik T., Smedsrud L.H., Stroeve J. C. Seasonal and regional manifestation of arctic sea ice loss. *J. Climate*, 2018, Vol. 31, pp. 4917–4932. DOI: 10.1175/JCLI-D-17-0427.1
29. Sinha R. K., Krishnan K. P., Kerkar S., Divya N. D. Spatio-temporal monitoring and ecological significance of retrievable pelagic heterotrophic bacteria in Konsfjorden, an arctic fjord. *Indian J. Microbiol.*, 2016, Vol. 57(1), pp. 116–120. DOI: 10.1007/s12088-016-0621-5
30. Kubiszyn A. M., Wiktor J. M., Wiktor-Jr. J. M., Griffiths C., Kristiansen S., Gabrielsen T. M. The annual planktonic protist community structure in an ice-free high arctic fjord (Adventfjorden, West Spitsbergen). *J. Mar. Syst.*, 2017, Vol. 169, pp. 61–72. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2017.01.013>
31. Halbach L., Vihtakari M., Duarte P., Everett A., Granskog M. A., Hop H., Kauko H. M., Kristiansen S., Myhre P. I., Pavlov A. K., Pramanik A., Tatarek A., Torsvik T., Wiktor J. M., Wold A., Wulff A., Steen H., Assmy P. Tidewater glaciers and bedrock characteristics control the phytoplankton growth environment in an arctic fjord. *Front. Mar. Sci.*, 2019, Vol. 6, pp. 254. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00254>
32. Venkatachalam S., Gopinath A., Krishnan K. P. Fjords of the western and northern regions of Svalbard harbour distinct bacterioplankton community structures. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2023, Vol. 39, No. 2, Article 57. DOI: 10.1007/s11274-022-03493-0.
33. Weinbauer M. G., Suttle C. A. Potential significance of lysogeny to bacteriophage production and bacterial mortality in coastal waters of the Gulf of Mexico. *Aquat. Microb. Ecol.*, 1996, Vol. 62, pp. 4374–4380. DOI: 10.1128/AEM.62.12.4374-4380.1996
34. Wommack K. E., Colwell R. R. Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems. *Microbiol. Molec. Biol. Rev.*, 2000, Vol. 64(1), pp. 69–114. DOI: 10.1128/MMBR.64.1.69-114.2000
35. Zhuravskiy D., Ivanov B., Pavlov A. Ice conditions at Grønfjorden Bay, Svalbard, from 1974 to 2008. *Polar Geogr.*, 2012, Vol. 35, No. 2, pp. 169–176. Available at: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=%22Microbiol+Mol+Biol+Rev%22%5Bjour%5D&sort=date&sort_order=desc

Информация об авторах

Марина Павловна Венгер – научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-4433-8965>

Татьяна Ивановна Широколова – кандидат биологических наук, ведущий инженер, <https://orcid.org/0009-0005-7280-5259>

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

Марина Александровна Болтенкова – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0009-0001-5094-0362>

Анастасия Владимировна Ващенко – стажер-исследователь, <https://orcid.org/0000-0003-0381-6147>

Information about the authors

Marina P. Venger – researcher, <https://orcid.org/0000-0002-4433-8965>

Tatyana I. Shirokolobova – PhD (Biology), leading engineer, <https://orcid.org/0009-0005-7280-5259>

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

Marina A. Boltenkova – junior researcher, <https://orcid.org/0009-0001-5094-0362>

Anastasya V. Vashchenko – trainee researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0381-6147>

Статья поступила в редакцию 27.05.2024; одобрена после рецензирования 03.06.2024; принята к публикации 10.06.2024.
The article was submitted 27.05.2024; approved after reviewing 03.06.2024; accepted for publication 10.06.2024.

Научная статья
УДК 591.5:595.3
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.004

ИЗМЕНЕНИЯ ЛИТОРАЛЬНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ РАЧКОВ-БАЛЯНУСОВ *SEMIBALANUS BALANOIDES* (L.) КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА И ВОСТОЧНОГО МУРМАНА В ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА В АРКТИКЕ

Александр Владимирович Гудимов

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
alexgud@mail.ru

Аннотация

Методы ранней биоиндикации воздействия климата на морскую экосистему не известны и разрабатываются впервые. Высокая скорость изменений в популяциях литоральных усоногих рачков-балаюсов *Semibalanus balanoides* (L.) имеет ключевое значение для биоиндикации. Массовая смертность и снижение численности в течение 1–3 лет наблюдались только в эстуариях и связаны в основном с увеличением объемов половодья в период продолжающегося потепления климата в Арктике. Выживание молоди, появившейся в 2023 г. (до 8000 экз/м²), полностью зависит от дальнейших изменений климата.

Ключевые слова:

ранняя биоиндикация, изменения климата, балаюсы, смертность, молодь, Кольский залив, губа Териберская

Original article

CHANGES IN LITTORAL POPULATIONS OF *SEMIBALANUS BALANOIDES* (L.) IN KOLA BAY AND EASTERN MURMAN DURING CLIMATE WARMING IN THE ARCTIC

Alexander V. Gudimov

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
alexgud@mail.ru

Abstract

Methods for bioindication of early climate impacts in the marine ecosystem are unknown and being developed for the first time. The high rate of changes in the littoral barnacle *Semibalanus balanoides* (L.) populations is of key importance for bioindication. Mass mortality and significant decrease in the abundance over 1–3 years were observed in estuaries only and mainly associated with an increase of spring floods during the period of ongoing climate warming in the Arctic. The survival of the juveniles appeared in 2023 (up to 8000 sp/m²) fully depends on further climate changes.

Keywords:

early bioindication, climate change, barnacle, mortality, juveniles, Kola Bay, Teriberskaya Bay

Введение

Климатические изменения морских экосистем трудны для наблюдения и анализа, особенно на относительно коротких временных интервалах (1–5 лет), так как изменения биологических сообществ инертны и происходят постепенно. Мониторинг и биоиндикация текущих климатических изменений экосистем арктических морей особенно актуальны, поскольку изменения климата в Арктике порождают значительные последствия не только для России и стран Северной Европы, но и планеты в целом.

Неоднозначность и сложность немногочисленных оценок влияния климата на биологические сообщества и экосистемы арктических морей (Bivalves ..., 2009; Footprints ..., 2011; Манушин и др., 2020; Arctic ..., 2020) делают особенно актуальным разработку новых методов биомониторинга и технологии ранней биоиндикации современных климатических изменений морских экосистем Северного Ледовитого океана.

Многолетние изменения условий среды, как правило, прослеживаются в показателях видового разнообразия и структуры донных сообществ (бентоса). При этом типичные ретроспективные исследования за несколько десятилетий опираются на стандартный подход к биомониторингу

зообентоса, который представляет собой крайне трудоемкий и неоднозначный анализ давно произошедших, накопленных за несколько лет инертных изменений (параметров обилия и разнообразия видов) донных сообществ. Соответственно, относительно быстрое обнаружение текущих климатических изменений в донных сообществах стандартными методами практически невозможно.

Поэтому главный вопрос заключается в том, как обнаружить биологические последствия современных (текущих) климатических изменений, возникших за небольшой период времени (1–5 лет), и как определить, что происходящие изменения популяций и сообществ вызваны именно климатом.

Целью наших исследований была разработка метода биоиндикации ранних климатических изменений экосистемы по динамике популяций донных сообществ литоральной зоны, так как именно зообентос литорали подвергается как прямому воздействию атмосферных факторов, так и длительному экстремальному воздействию климатически обусловленных факторов водной среды.

Воздействие факторов среды многократно усиливается в эстуарных районах, находящихся под давлением опреснения (Свитина, Гудимов, 2017). При этом наиболее уязвимы седентарные донные беспозвоночные литоральной эпифауны, первыми и в наибольшей степени подвергающиеся внешним воздействиям, и потому способные быть ранними биоиндикаторами климатических изменений экосистемы.

К таким эпибионтам, доступным для круглогодичного мониторинга в полевых условиях, относится усоногий рак-баланус *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea, Cirripedia) – массовый вид донной фауны литорали северных морей.

Материал и методы

Исследованы многолетние изменения локальных популяций усоногих рачков-балаанусов *S. balanoides* в нескольких эстуарных районах Мурманского побережья: в губах и куту Кольского залива, в губе Териберская и отчасти в губе Зеленецкая (Дальняя Зеленецкая). Мониторинг поселений балаанусов был начат в 2003 г., в дальнейшем он совпал с периодом интенсивного потепления в Баренцевом море (Трофимов и др., 2018; Dvoretzky, Dvoretzky, 2020) и затем продолжен работами береговых экспедиций ММБИ РАН в 2021–2023 гг.

В ходе проведенных работ обследованы наиболее крупные поселения балаанусов, определена численность рачков в эстуариях и уровень их смертности, оценены экологические условия обитания (соленость, температура, субстрат, загрязнение, питание).



Распределение и плотность локальных популяций *S. balanoides* на литорали Мурманского побережья определены путем подсчетов количества рачков в пробе (в рамке 10×10 см) (рис. 1) на отдельных точках маршрутов и разрезов (трансектах). Подсчет проводился на месте во время экспедиционных съемок и/или камерально по фотопробам. В каждой точке маршрута брали по 5–10 проб в скоплениях рачков на субстрате (камнях, скалах). При вычислении средней для каждой точки число рачков в пробах свыше 5 экз. округлялось до десятков из-за крайне неравномерности плотности скоплений. Высокая вариабельность распределения балаанусов в скоплениях не позволяет точно

Рис. 1. Подсчет балаанусов *S. balanoides* при помощи рамки
Fig. 1. Sample counting of the barnacles *S. balanoides* by means of a frame

определить среднюю при огромной дисперсии данных, дающей ошибку среднего до 80–98 % и более (Свити́на, Гудимов, 2017). Более точные значения средних будут получены по завершению обработки материала.

Маршруты выполнялись как вдоль литорали, так и поперек литоральных горизонтов – по разрезам. На каждом маршруте было от 2 до 6 точек отбора проб (подсчетов численности рачков) в каждой локальной популяции в зависимости от изменчивости биотопа и колебаний численности баянусов. Были также отобраны пробы воды вдоль эстуарного градиента для определения солености в биотопах баянусов и в поверхностном слое (на урезе) в отлив. Хотя накопленный за 3 года обширный материал обработан еще не полностью, первые результаты достаточно надежны. В данной работе публикуется их часть, характеризующая общие закономерности динамики исследованных популяций, связанные с воздействием климатически обусловленных факторов водной среды.

Результаты и обсуждение

По результатам мониторинга береговых экспедиций установлено, что в целом все исследуемые популяции баянуса остаются стабильны в течение 2021–2023 гг. Однако, в отдельных биотопах отмечены случаи массовой смертности молоди и в меньшей степени – баянусов среднего размерного класса (появление групп пустых домиков рачков) (табл. 1).

Таблица 1

Первичные результаты мониторинга спата, молоди и смертности в популяциях баянусов *S. balanoides* в эстуарных районах

Table 1

Estuarine areas, scope of work and initial results by monitoring of spat, juveniles and mortality in the barnacle *S. balanoides* populations

Район	Количество проб	Основные результаты
Кольский залив		
Губа Ретинская, ручей Ретинский	50	Осевшая молодь* отсутствует (2021 г.)**
Губа Хлебная, ручей	20	Гибель средних по размеру баянусов (пустые домики), до 100 % в русле ручья, молодь жива, малочисленна (менее 500 экз/м ²) (2023 г.)
Губа Белокаменная, р. Белокаменка	20	Гибель взрослых баянусов, около 10 % (возможно влияние взвеси из-за строительства) (2023 г.)
Мыс Еловый, р. Тулома	10	Первое за 10 лет точечное осажение молоди (более 500 экз/м ²) (2023 г.) – небольшими пятнами
Губа Вересовая, р. Тулома	10	Баянусы отсутствуют
Губа Териберская		
Устье р. Териберка, на 100 м выше от моста	40	Смертность средних и мелких < 1–3 %. Молоди мало, единично (2021 г.)
Губа Лодейная, ручей в «Мотобухте»	10	Массовая 100 %-я гибель мелких баянусов и отчасти средних (20 %) в устье ручья, участок «Мотобухты» (2023 г.)
Губа Завалишина, ручей из озера	20	Смертность старых взрослых < 3 %. Осевшей молоди мало (< 500 экз/м ²) (2022 г.)

*Осевшая молодь – это наиболее мелкая молодь (1–3 мм), пополнение этого года, осела недавно (спат) – после последнего вымета личинок.

**Указан год первого обнаружения.

В 2023 году были обнаружены первые случаи массовой смертности молоди баянусов на Восточном Мурмане – в ручье бухты Корабельная («Мотобухта», губа Териберская). Случаи массовой гибели баянусов среднего размера были выявлены в ручье губы Хлебная (Кольский залив) и в местах

близких к ручью губы Териберская («Мотобухта») (табл. 1), а также ранее отмечены в одной точке губы Зеленецкая (Дальний Пляж, 2022 г.).

Поскольку за период наблюдений 2021–2023 гг. другие случаи массовой гибели молоди и взрослых баянусов в данных популяциях не были обнаружены, то высокая смертность *S. balanoides* в 2023 г. может считаться аномальной и прежде всего в отношении скоплений взрослых рачков. При этом следует учитывать, что некоторый фоновый уровень смертности взрослых особей сохраняется всегда, даже в благоприятных условиях (Герасимова и др., 2022).

Смертность взрослых баянусов в эстуарии р. Териберка, как и в ручье губы Завалишина, все три года была незначительной. Видимо, такая величина смертности близка к уровню средней естественной (фоновой), которую можно считать нормальной, т. е. не связанной с аномальными изменениями условий среды и экстремальными внешними воздействиями.

С другой стороны, массовая элиминация молоди донных беспозвоночных и выживание лишь небольшого ее процента также является в природе естественным, обычным явлением (Connell, 1970; Герасимова и др., 2022). Однако, обнаруженное в мае 2023 г. в русле ручья «Мотобухты» (губа Териберская) очень плотное скопление недавно осевшей молоди (2–4 мм) численностью около 60000–80000 (до 150000) экз/м² к моменту подсчета имело 100 %-ю смертность – рачки легко опали при касании, но еще не были смыты волнами и водами ручья. За три года наблюдений такое явление массовой смертности встречено впервые и, очевидно, полная и быстрая элиминация плотного скопления молоди может считаться аномальной.

В то же время малочисленность молоди и ее ограниченное осажение в большинстве популяций баянусов, видимо, пока нельзя считать аномальным. Пополнение скоплений взрослых баянусов молодью, как и у других донных беспозвоночных (Connell, 1970; Герасимова и др., 2022), часто лимитировано доступным субстратом для осажения личинок и их успешного роста. Поэтому в стабильных популяциях небольшое пополнение молодью является нормой. Большое и успешное осажение возможно только на свободных участках биотопа (субстрата), находящихся в относительно благоприятных условиях.

Показательно, что наибольшее осажение молоди обнаружено в среднем отделе среднего горизонта литорали около мыса Еловый, где основная популяция погибла (Гудимов, 2023), освободив к 2019 г. весь субстрат. Первое за 10 лет относительно плотное осажение спата, но все еще точечное на очень небольших площадях отдельных камней, дало итоговую численность молоди от 5 до 80 экз. в пробе (до 8000 экз/м²). Молодь диаметром 2–4 мм занимала главным образом наиболее благоприятные участки субстрата на нижней части стенок камней, на уровнях наиболее близких к урезу воды литоральных ручьев и примыкающих литоральных ванн. Такое положение на субстрате давало баянусам наилучшие шансы на выживание: нивелировало влияние осушения и уменьшало воздействие эстуарного опреснения, сильно возросшего в последние два десятилетия вместе с объемом паводка северных рек (Сток ..., 2022).

Итак, во всех случаях молодь и взрослые баянусы были распределены крайне неравномерно (табл. 2). При этом их численность в эстуарных зонах была наибольшей на некотором удалении от устьев рек (Териберка, Белокаменная), но иногда была высока даже в руслах пресноводных ручьев (губа Завалишина) или по их берегам (губы Ретинская, Хлебная, Лодейная).

В эстуариях рек и ручьев как численность, так и мозаичность распределения рачков были наибольшими в среднем горизонте литорали. Например, в акватории губы Териберская на участке «Мотобухты» (бухта Корабельная, губа Лодейная) по берегам небольшого пресноводного ручья плотность взрослых баянусов в редких поселениях среднего горизонта не превышала 200 экз/м² (точка 1, рис. 2), а уже в 20 м от русла ручья (точка 2, рис. 2) достигала максимальной плотности 27000–28000 экз/м² в отдельных скоплениях на камнях (рис. 3).

Мористее на 50–100 м от устья и эстуария ручья плотность популяции уменьшалась до 5000 экз/м², в 2–5 раз снижалась вариабельность – возникал переход от эстуарной к стабильной морской популяции.

Таблица 2

**Первые результаты мониторинга численности эстуарных популяций
S. balanoides в некоторых районах Мурманского побережья в 2021–2023 гг.**

Table 2

**First results of the *S. balanoides* abundance monitoring in some estuary populations
 of the Murmansk coast for 2021–2023**

Район	Координаты		Количество проб	Плотность скоплений, экз/м ²
	в. д.	с. ш.		
Кольский залив				
Губа Ретинская, ручей Ретинский	33°16'24"	69°05'56"	50	500–7000
Губа Хлебная, ручей	33°24'35"	69°04'02"	50	500–3500
Губа Белокаменная, р. Белокаменка	33°09'53"	69°05'11"	70	300–4000
Мыс Еловый, р. Тулома	32°58'04"	68°53'40"	30	50–500
Губа Вересовая, р. Тулома	33°03'54"	68°52'53"	10	Бальянуса отсутствуют
Губа Териберская				
Устье р. Териберка, на 100 м выше моста	35°07'43"	69°09'49"	40	2000–7000
Губа Лодейная, ручей в «Мотобухте»	35°10'07"	69°10'27"	30	200–27000
Губа Завалишина, ручей из озера	35°14'45"	69°10'56"	20	200–30000

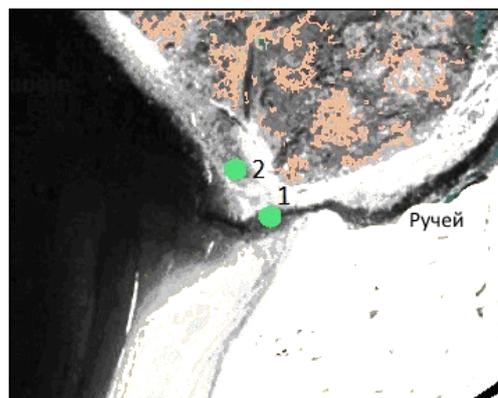


Рис. 2. Станции мониторинга поселений бальянусов (точки 1 и 2) в эстуарии ручья губы Лодейная (участок «Мотобухты», Териберская губа)

Fig. 2. Position of some monitoring stations in the barnacle settlement area (green points 1 and 2) within the small stream estuary of Lodeinaya Bay («Motoharbor» area in Teriberskaya Bay)



Рис. 3. Максимальное по плотности типичное скопление бальянусов *S. balanoides*

Fig. 3. The densest typical cluster of the barnacle *S. balanoides*

Из-за обычно крайней неравномерности плотности скоплений и огромной дисперсии (CV и ошибка среднего от 50 до 98 %) определение средней численности баянусов с точностью до 1 экз. не имело смысла, так как в пределах одного типичного скопления на камне плотность поселений варьирует от 2 до 400 экз. на пробу. Поэтому разница в средних численности менее чем на 200 экз./м² (2 экз. на пробу) может считаться ничтожной или случайной и не имеет какого-либо экологического значения для биоиндикации климата по состоянию и численности популяции, в том числе в поселениях очень низкой плотности (5 экз. и менее на пробу – < 500 экз./м²).

Неравномерность распределения и плотности поселений была максимальна для молодежи диаметром 2–3 мм и менее, которая не входила в подсчеты и средние численности и учитывалась отдельно (табл. 1).

Как показал опыт наших исследований (Свитина, Гудимов, 2017; Гудимов, 2023), для целей биоиндикации климата изменения средней численности только в 2–3 раза и более (на порядок) дают достоверные результаты даже при длительном сезонном и ежегодном мониторинге.

Очевидно, неравномерность и мозаичность распределения баянусов в пределах одного биотопа (участка) и одного горизонта литорали свидетельствует о сильной зависимости популяций баянусов от локального действия экологических факторов.

Было обнаружено, что на всех участках Мурманского побережья численность рачков значительно изменяется не только по горизонтам литорали («классически»), но и вдоль одного горизонта, образуя в эстуарных районах ярко выраженный экоклин – градиентное (клинальное) распределение (рис. 4), соответствующее среднему градиенту солености.

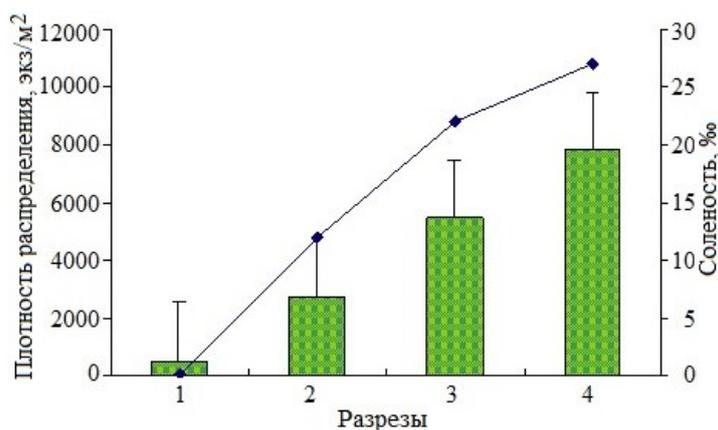


Рис. 4. Плотность распределения баянусов по разрезам литорали [нумерация – от ручья к морю; соленость от 0.5 ‰ (разрез 1) до 27 ‰ (разрез 4)] в эстуарии губы Ретинская Кольского залива

Fig. 4. Distribution of barnacles in the ecocline along littoral transects [numbering – from the stream to the sea; salinity from 0.5 ppm (section 1) to 27 ppm (section 4)] in the estuary of Retinskaya Bay, Kola Bay

В макромасштабе Кольского залива средние значения численности баянусов также показывают экоклин вслед за уменьшением солености воды от среднего колена залива к южному (Кольский ..., 2009), что характерно для экосистемы эстуарного типа, так как Кольский залив, особенно его южное колено, находится под значительным влиянием речного стока, объемы которого всегда тесно связаны с колебаниями климата (Сток ..., 2022).

Многолетний мониторинг состояния популяции баянусов в краевой зоне эстуария кута Кольского залива, начатый в 2003 г. (Свитина, Гудимов, 2017), показал неуклонное сокращение численности рачков с 2005 по 2019 гг., наиболее значительное в отдельные годы этого периода. До 2023 года эта эстуарная популяция вблизи мыса Еловый была на грани исчезновения, и в течение последних нескольких лет наблюдений не было обнаружено даже массового осаждения молодежи (рис. 5).

Первое осаждение молодежи в 2023 г., небольшими скоплениями у мыса Еловый, свидетельствует, вероятно, о некотором первичном ослаблении воздействия климатических изменений на донную

фауну Кольского залива и возможном замедлении процесса потепления в Арктике в последние два года. Очевидно, если данные условия среды обитания рачков сохраняются в определенном диапазоне благоприятных изменений, то постепенное восстановление локальной популяции баянусов *S. balanoides* это лишь вопрос времени.

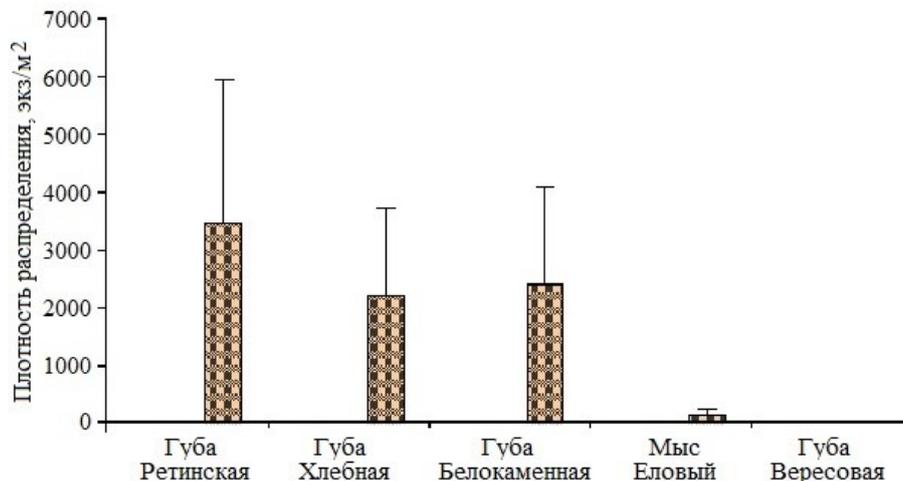


Рис. 5. Плотность распределения баянусов в губах Кольского залива в 2021–2023 гг.

Fig. 5. Average abundance of barnacles in the gulfs of Kola Bay, 2021–2023

Проверкой этого предположения будет период половодья 2024 г., воздействие которого является ключевым фактором для выживания баянусов. Именно в этот период в 2023 г. на Восточном Мурмане были обнаружены первые случаи массовой смертности молоди баянусов. Причины массовой смертности до конца не ясны, но, очевидно, они, как и в куту Кольского залива, связаны с климатом и поступлением аномальных объемов пресной воды в период снеготаяния.

Заключение

Полученные результаты могут служить базисным материалом для биомониторинга современных климатических изменений и дальнейшего изучения текущего влияния климата на экосистему Баренцева и других морей Арктики. Разрабатываемый подход к биоиндикации влияния климата по динамике популяций донных беспозвоночных литорали и выбору видов-биоиндикаторов климатических изменений позволяет выйти на новый уровень знаний об экологии, биологии и адаптивных реакциях популяций баянусов *S. balanoides* и других литоральных видов и дает важный материал к пониманию механизмов функционирования прибрежных экосистем.

Автор благодарен С. В. Малавенда за всестороннюю помощь в экспедиционной работе.

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

Список литературы

1. Герасимова, А. В., Максимович Н. В., Филиппова Н. А. Выживаемость и смертность в поселениях морских двустворчатых моллюсков в условиях ненарушенной среды залива (Белое море) // Биология внутренних вод. 2022. № 6. С. 775–792. DOI: 10.31857/S0320965222060067
2. Гудимов А. В. Краевые популяции баянуса *Semibalanus balanoides* (Crustacea, Cirripedia) как биоиндикатор влияния ранних климатических изменений среды // Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 85-летию Беломорской биостанции им. Н. А. Перцова Биологического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2023. С. 50–51.

3. *Кольский залив: освоение и рациональное природопользование* / Отв. ред. Г. Г. Матишов. М.: Наука, 2009. 381 с.
4. *Многолетняя динамика биомассы макрозообентоса в восточной части Баренцева моря (за период с 1924 по 2014 г.)* / И. Е. Манушин, Н. А. Стрелкова, П. А. Любин, Н. Е. Журавлева, Д. В. Захаров, В. С. Вязникова // Зоол. журн. 2020. Т. 99, № 7. С. 745–756.
5. *Свитина В. С., Гудимов А. В.* Многолетние колебания численности популяции усоногих раков *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea) на эстуарной литорали кута Кольского залива // Вестн. МГТУ. 2017. Вып. 20. С. 352–362.
6. *Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений* / Н. Л. Фролова, Д. В. Магрицкий, М. Б. Киреева, В. Ю. Григорьева, А. Н. Гельфан, А. А. Сазонова, А. И. Шевченко // Водн. ресурсы. 2022. Т. 49. С. 251–269.
7. *Трофимов А. Г., Карсаков А. Л., Ившин В. А.* Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувека // Вопросы промысловой океанологии. 2018. С. 79–91 (Тр. ВНИРО. Т. 173).
8. *Arctic coastal benthos long-term responses to perturbations under climate warming* / A. K. Al-Hababeh, S. Kortsch, B. A. Bluhm, F. Beuchel, B. Gulliksen, C. Ballantine, D. Cristini, R. Primicerio // Philosophical transactions of the Royal Society: Series A, Mathematical physical and engineering sciences. 2020. Vol. 378, № 20190355. URL: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0355>
9. *Bivalves as indicators of environmental variation and potential anthropogenic impacts in the southern Barents Sea* / M. L. Carroll, B. J. Johnson, G. A. Henkes, K. W. McMahon, A. Voronkov, W. G. Jr. Ambrose, S. G. Denisenko // Mar. Poll. Bull. 2009. Vol. 59. P. 193–206. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.02.022
10. *Connell J. H.* A predator-prey system in the marine intertidal region. I. *Balanus glandula* and several predatory species of *Thais* // Ecol. Monographs. 1970. Vol. 40, № 1. P. 49.
11. *Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G.* Effects of environmental factors on the abundance, biomass, and individual weight of juvenile red king crabs in the Barents Sea // Front. Mar. Sci. 2020. Vol. 7. Article 726. P. 1–9. DOI: 10.3389/fmars.2020.00726
12. *Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem* / P. Wassmann, C. M. Duarte, S. Agusti, M. K. Sejr // Global Change Biol. 2011. № 17. P. 1235–1249. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02311>

References

1. Gerasimova A. V., Maksimovich N. V., Filippova N. A. Vyzhivayemost' i smertnost' v poseleniyakh morskikh dvustvorchatykh mollyuskov v usloviyakh nenarushennoy sredy zaliva (Beloje more) [Mortality and survival in marine bivalve beds under undisturbed environmental conditions (on example of the White Sea)]. *Biologiya vnutrennikh vod* [Biology of inland waters], 2022, No. 6, pp. 775–792 (In Russ.). DOI: 10.31857/S0320965222060067
2. Gudimov A. V. Krayevye populyatsii balyanusov *Semibalanus balanoides* (Crustacea, Cirripedia) kak bioindikator vliyaniya rannikh klimaticheskikh izmeneniy sredy [Marginal populations of *Semibalanus balanoides* (Crustacea, Cirripedia) as a bioindicator of the early climatic changes in the environment]. *Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 85-letiyu Belomorskoy biostantsii imeni N. A. Pertsova Biologicheskogo fakul'teta MGU imeni M. V. Lomonosova* [Proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 85th anniversary of the White Sea Biological Station named after on the N. A. Pertsov, Faculty of Biology, Moscow State University, M. V. Lomonosov], Moscow, Comrade scientific ed. KMK, 2023, pp. 50–51 (In Russ.).
3. *Kol'skiy zaliv: osvoyenie i ratsional'noe prirotopol'zovanie* [Kola Bay: development and rational use of natural resources]. Moscow, Nauka, 2009. 381 p. (In Russ.).
4. Manushin I. Ye., Strelkova N. A., Lyubin P. A., Zhuravlyeva N. Ye., Zakharov D. V., Vyaznikova V. S. *Mnogoletnyaya dinamika biomassy makrozoobentosa v vostochnoy chasti Barentseva morya (za period s*

- 1924 по 2014 г.) [Long-term dynamics of macrozoobenthos biomass in the Eastern Barents Sea in 1924–2014]. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological Journal], 2020, Vol. 99, No. 7, pp. 745–756 (In Russ.).
5. Svitina V. S., Gudimov A. V. Mnogoletnie kolebaniya chislennosti populyatsii usonogikh rakov *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea) na estuarnoy litorali kuta Kol'skogo zaliva [Long-term fluctuations in population of barnacle *Semibalanus balanoides* (L.) (Crustacea) in the estuarine zone of the Kola Bay]. *Vestnik MGTU* [Bulletin of Murmansk State Technical University], 2017, Vol. 20, pp. 352–362 (In Russ.).
 6. Frolova N. L., Magritskiy D. V., Kireeva M. B., Grigor'eva V. YU., Gel'fan A. N., Sazonova A. A., Shevchenko A. I. Stok rek Rossii pri proiskhodyashchikh i prognoziruemykh izmeneniyakh klimata: obzor publikatsiy. 1. Otsenka izmeneniy vodnogo rezhima rek Rossii po dannym nablyudeniym [River flow in Russia under current and predicted climate changes: review of publications. 1. Assessment of changes in the water regime of Russian rivers based on observational data]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 2022, Vol. 49, pp. 251–269 (In Russ.).
 7. Trofimov A. G., Karsakov A. L., Ivshin V. A. Izmeneniya klimata v Barentsevom more na protyazhenii poslednego poluveka [Climate changes in the Barents Sea over the last half century]. *Trudy VNIRO* [Proceedings of the VNIRO], 2018, Vol. 173, pp. 79–91 (In Russ.).
 8. Al-Hababeh A. K., Kortsch S., Bluhm B. A., Beuchel F., Gulliksen B., Ballantine C., Cristini D., Primicerio R. Arctic coastal benthos long-term responses to perturbations under climate warming. *Philosophical transactions of the Royal Society: Series A, Mathematical physical and engineering sciences*, 2020, Vol. 378, No. 20190355. Available at: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0355>
 9. Carroll M. L., Johnson B. J., Henkes G. A., McMahon K. W., Voronkov A., Ambrose W. G. Jr., Denisenko S. G. Bivalves as indicators of environmental variation and potential anthropogenic impacts in the southern Barents Sea. *Mar. Poll. Bull.*, 2009, Vol. 59, pp. 193–206. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2009.02.022
 10. Connell J. H. A predator-prey system in the marine intertidal region. I. *Balanus glandula* and several predatory species of *Thais*. *Ecol. Monographs*, 1970, Vol. 40, No. 1, p. 49.
 11. Dvoretzky A. G., Dvoretzky V. G. Effects of environmental factors on the abundance, biomass, and individual weight of juvenile red king crabs in the Barents Sea. *Front. Mar. Sci.*, 2020, Vol. 7, Article 726, pp. 1–9. DOI: 10.3389/fmars.2020.00726
 12. Wassmann P., Duarte C. M., Agusti S., Sejr M. K. Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem. *Global Change Biol.*, 2011, No. 17, pp. 1235–1249. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02311>

Информация об авторе

Александр Владимирович Гудимов – ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-2365-1503>

Information about the author

Alexander V. Gudimov – Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-2365-1503>

Статья поступила в редакцию 27.04.2024; одобрена после рецензирования 14.05.2024; принята к публикации 21.05.2024.
The article was submitted 27.04.2024; approved after reviewing 14.05.2024; accepted for publication 21.05.2024.

Научная статья
УДК 57.044
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.005

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И БИОХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ СТЕРИЛЬНЫХ И ФЕРТИЛЬНЫХ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ *ASCOPHYLLUM NODOSUM*

**Анна Васильевна Даурцева^{1,2}, Елена Вячеславовна Горшенина^{1,2},
Екатерина Дмитриевна Облuchинская¹**

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

²Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия
tav.mmbi@yandex.ru

Аннотация

Бурые водоросли – ценный возобновляемый биоресурс, вместе с тем важный организм для мониторинга в связи с антропогенным воздействием в Арктике. В обоих случаях содержание природных элементов и их потенциальные сезонные колебания важны для разработки программы мониторинга и планирования добычи водорослей. Проведено сравнительное исследование влияния репродуктивной фазы и биохимических характеристик на элементный состав *Ascophyllum nodosum* из морей Баренцева, Ирмингера и Норвежского. Изучено содержание полисахаридов (альгиновой кислоты, ламинарана, фукоидана и маннита), полифенолов и 12 элементов. Показано, что содержание Fe, Al, Co, Cu значительно коррелирует попарно вне зависимости от наличия у водорослей рецептакулов ($r = 0.71–0.95$ при $p < 0.05$). Установлено, что содержание альгиновой кислоты значительно коррелирует с Co, Ca, Cu, As, Rb ($r = -0.95, -0.89, -0.89, -0.88, -0.81$ соответственно при $p < 0.05$) в стерильных водорослях *A. nodosum*. Также для стерильных особей характерна прямая корреляция маннита с Ca, Cu, Co, Rb, Sr, Al, Ba, Fe, Mn, ($r = 0.98, 0.95, 0.93, 0.92, 0.91, 0.89, 0.82, 0.78, 0.76$ соответственно при $p < 0.05$) и полифенолов с Zn ($r = 0.94$ при $p < 0.05$) и As ($r = 0.85$ при $p < 0.05$). Впервые выявлена прямая корреляционная зависимость накопления альгиновой кислоты и фукоидана для *A. nodosum* из морей Арктики, которая не связана с репродуктивной фазой водорослей.

Ключевые слова:

Ascophyllum nodosum, маннит, альгиновая кислота, фукоидан, полифенолы, элементы

Original article

COMPARATIVE STUDY OF ELEMENTS AND BIOCHEMICAL COMPONENTS OF STERILE AND FERTILE BROWN ALGAE *ASCOPHYLLUM NODOSUM*

Anna V. Daurtseva^{1,2}, Elena V. Gorshenina^{1,2}, Ekaterina D. Obluchinskaya¹

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

²Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia
tav.mmbi@yandex.ru

Abstract

Brown algae are a valuable renewable bioresource and are also important organisms to monitor due to anthropogenic impacts in the Arctic. In both cases, the content of natural elements and their potential seasonal variations are important knowledge for developing a monitoring program and planning biomass collection. The purpose of this work was a comparative study of the influence of the reproductive phase and biochemical characteristics on the elemental composition of *Ascophyllum nodosum* from the Barents Sea, the Irminger Sea and the Norwegian Sea. The content of polysaccharides (alginic acid, laminaran, fucoidan and mannitol) and 12 elements was studied. It was shown that the content of Fe, Al, Co, Cu correlates significantly in pairs, regardless of the presence of receptors in algae ($r = 0.71–0.95$, $p < 0.05$). It has been shown that the content of alginic acid significantly correlates with Co, Ca, Cu, As, Rb ($r = -0.95, -0.89, -0.89, -0.88, -0.81$, $p < 0.05$, respectively) in sterile algae *A. nodosum*. Also for sterile individuals, a direct correlation of mannitol with Ca, Cu, Co, Rb, Sr, Al, Ba, Fe, Mn was noted ($r = 0.98, 0.95, 0.93, 0.92, 0.91, 0.89, 0.82, 0.78, 0.76$, $p < 0.05$, respectively) and polyphenols with Zn ($r = 0.94$ at $p < 0.05$) and As ($r = 0.85$ at $p < 0.05$). For the first time, a direct correlation between the accumulation of alginic acid and fucoidan has been revealed for *A. nodosum* from the Arctic seas, which is not associated with the reproductive phase of the algae.

Keywords:

Ascophyllum nodosum, mannitol, alginic acid, fucoidan, polyphenols, elements

Введение

Арктические бурые водоросли *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis относятся к ценным морским биоресурсам. Потенциальная изменчивость содержания в них элементов и природных соединений позволяет использовать их в мониторинге, а также планировать их добычу.

Ascophyllum nodosum – распространенная бурая водоросль, встречающаяся на защищенных, приливных и скалистых берегах. Аскофиллум используется в производстве альгината, удобрений, кормов для животных и косметики (A concise ..., 2020), богат разнообразными биологически активными веществами (БАВ), среди которых полифенолы (14–20 %) и уникальные полисахариды: альгиновая кислота (12–33 %), фукоидан (10–11 %), ламинаран (0.5–2.7 %), а также маннит (5–12 %) (Подкорытова, Рощина, 2021).

Морские водоросли являются доминирующими организмами в прибрежной среде. Загрязнение металлами морских акваторий может негативно влиять на их физиологические и биохимические параметры. Изучение содержания металлов в морских водорослях дает информацию о воздействии загрязнения не только на них, но и на экосистемы морей в целом.

При разработке программ мониторинга важно учитывать репродуктивное состояние водорослей, а также различия в накоплении некоторых БАВ и металлов разными видами бурых водорослей, которые обусловлены их физиологией (Ryan et al., 2012).

В проведенном ранее исследовании (*Ascophyllum ...*, 2024) показано, что образцы *A. nodosum*, собранные в Баренцевом море, а также в море Ирмингера и Норвежском на разных репродуктивных стадиях демонстрировали зависимость содержания элементов от солености, температуры, места отбора проб и фазы размножения.

Цель данной работы – оценка влияния репродуктивной фазы и биохимических характеристик на элементный состав *A. nodosum* из арктических морей.

Материал и методы

Образцы бурых водорослей вида *A. nodosum* были собраны в прибрежных зонах морей Ирмингера, Норвежского и Баренцева в 2019 г.

Содержание маннита в образцах *A. nodosum* определяли спектрофотометрически при длине волны 597 нм (Shimadzu UV 1800, Shimadzu, Kyoto, Japan, Japan) согласно модифицированной методике (Obluchinskaya, 2008), в качестве стандартного образца (образца сравнения) использовался маннит.

Количество альгината устанавливали в результате проведения реакции с 3,5-диметилфенолом и серной кислотой, оптическая плотность измерялась при 400 и 450 нм (Usov et al, 1995). В качестве стандартного образца применялся альгинат натрия.

Для определения содержания фукоидана образцы морских водорослей обрабатывали по методике (Usov et al, 2001) и использовали цистеин-серноокислотный метод (Dische, Shettles, 1948), стандартом служила L-фукоза.

Фукоидан для анализа моносахаридного состава гидролизovali 2 М трифторуксусной кислотой (0.5 мл) при 121 °С в течение 2 ч. Затем образцы охлаждали на ледяной бане и центрифугировали при 5000 об/мин в течение 5 мин, рН жидкой фракции доводили до 7 с помощью 2 М NaOH (Obluchinskaya, Daurtseva, 2020). Моносахариды определяли с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (HPLC Model LC 20 AT Prominence, Shimadzu, Киото, Япония) с детектором показателя преломления (RID-10A, Shimadzu, Киото, Япония) (Extraction ..., 2013).

Содержание ламинарана в образцах оценивали путем измерения концентрации восстанавливающих сахаров (в виде глюкозы и олигомеров глюкозы) после гидролиза. Восстанавливающие сахара определяли спектрофотометрически при 500 нм глюкозооксидазным методом (Huggett, Nixoh, 1957). В качестве стандарта использовали глюкозу.

Для анализа общего содержания полифенолов образцы *A. nodosum* (2 г) экстрагировали трижды 50 мл водного раствора 60 %-го метанола в темном месте при комнатной температуре в течение 24 ч при непрерывном перемешивании при 200 об/мин на мульти-ротаторе Multi Bio RS-24 (ООО «Биосан»,

г. Рига, Латвия). Затем смеси центрифугировали при 3500 об/мин в течение 10 мин, фильтровали (фильтровальная бумага Whatman № 1) и объединяли. Фильтрат концентрировали до сухого состояния при пониженном давлении с использованием роторного испарителя IR-1m (ПАО «Химлаборатория», г. Клин, Россия) для удаления метанола, а остаток растворяли в мерных колбах объемом 25 мл с 60 %-м водным раствором метанола и фильтровали. Полифенолы в экстрактах *A. nodosum* анализировали спектрофотометрически (спектрофотометр Shimadzu UV 1800, г. Киото, Япония) при 750 нм с использованием реагента Фолина–Чокалтеу (Phytochemical ..., 2018). Полифенолы определяли как эквивалент 1 мг флороглюцинола на 1 г абсолютно сухой массы (а.с.м) водорослей.

Для проведения элементного анализа образцы *A. nodosum* были обработаны по методу (Phytochemical ..., 2018). Элементы анализировали на оптико-эмиссионном спектрофотометре с индуктивно связанной плазмой PerkinElmer® Optima™8000 (ICP-OES) (PerkinElmer, Inc., Шелтон, Коннектикут, США). Подробности описаны ранее (The biochemical ..., 2022; *Ascophyllum* ..., 2024).

Все измерения проведены в трехкратной повторности, а результаты выражены в миллиграммах на грамм абсолютно сухой массы водорослей.

О наличии связей между содержанием соединений судили при критическом уровне достоверности $p < 0.05$. Для определения линейного коэффициента корреляции Пирсона r и других расчетов, а также построения графиков использовали пакет программ Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Сведения о количестве в арктических водорослях *A. nodosum* таких БАВ как полифенолы, маннит, фукоидан, альгинат, ламинаран представлены в работе Е. Д. Облучинской с соавторами (*Ascophyllum* ..., 2024). Среднее содержание БАВ в *A. nodosum* из трех арктических морей показано на диаграмме (рис. 1).

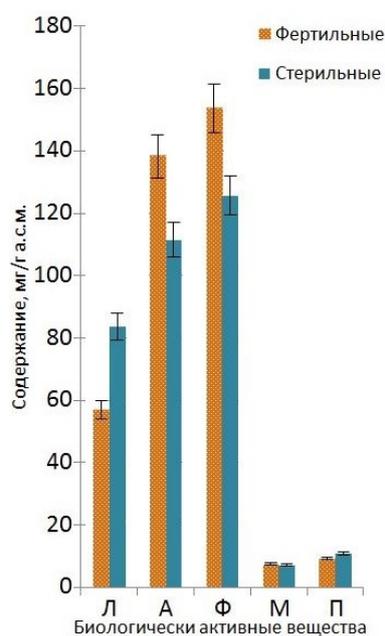


Рис. 1. Среднее содержание БАВ в образцах *A. nodosum* из арктических морей:

Л – ламинаран, А – альгинат, Ф – фукоидан, М – маннит, П – полифенолы

Fig. 1. Average content of biologically active substances in *A. nodosum* samples from different regions of the Arctic:

Л – laminaran, А – alginates, Ф – fucoxanthin, М – mannitol, П – polyphenols

Содержание металлов в образцах *A. nodosum* представлено на диаграммах (рис. 2). Концентрации элементов различаются в зависимости от места сбора и стадии размножения водорослей.

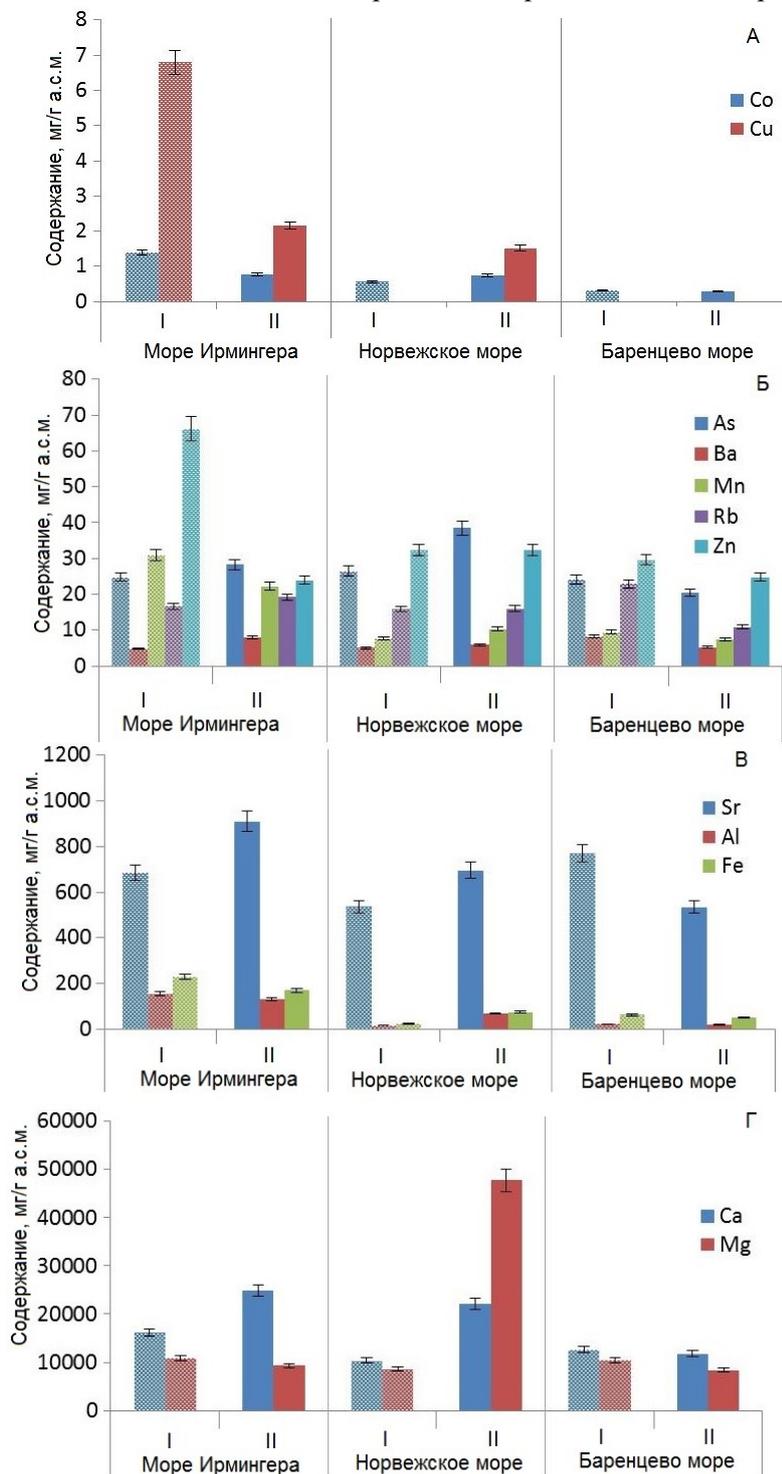


Рис. 2. Содержание элементов в образцах *A. nodosum* (I – фертильные, II – стерильные) из арктических морей: А – Co, Cu; Б – As, Ba, Mn, Rb, Zn; В – Sr, Al, Fe; Г – Ca, Mg

Fig. 2. Co, Cu content in *A. nodosum* (I – fertile, II – sterile) samples from different regions of the Arctic: А – Co, Cu; Б – As, Ba, Mn, Rb, Zn; В – Sr, Al, Fe; Г – Ca, Mg

У *A. nodosum* концентрация элементов зависела от репродуктивной фазы. В образцах из моря Ирмингера содержание As, Ba, Rb, Co, Cu, Al, Fe, Mg увеличивалось от стерильной к фертильной фазе. Для водорослей из Норвежского моря выявлено, что концентрация рассмотренных нами элементов (за исключением Mg) была выше в стерильную фазу, в то время как в водорослях Баренцева моря, наоборот, содержание 12 элементов увеличивалось от фертильной фазы к стерильной.

На основании данных о содержании элементов и биохимических компонентов стерильных и фертильных образцов бурых водорослей *A. nodosum* были построены корреляционные матрицы, показывающие коэффициенты корреляции Пирсона между рассматриваемыми компонентами *A. nodosum* (рисунки 3, 4, 5, 6).

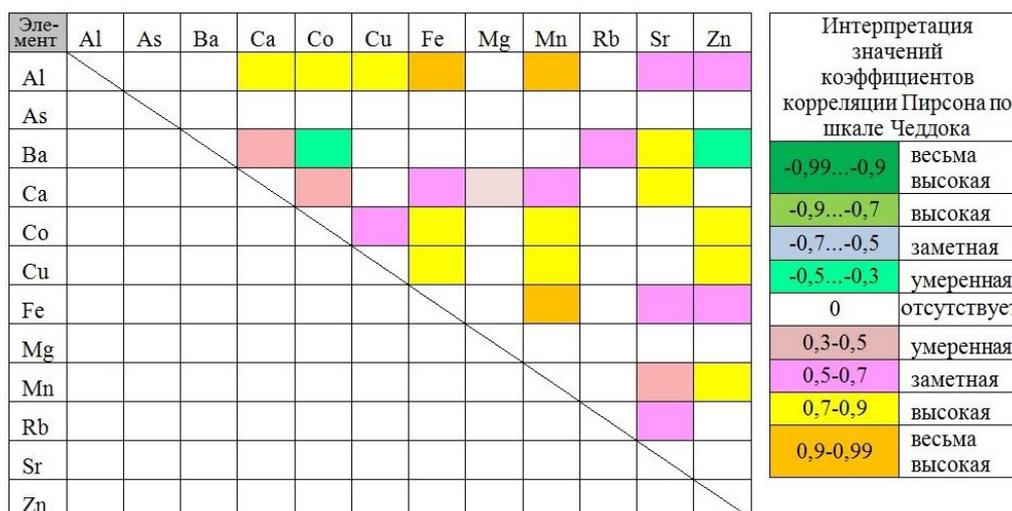


Рис. 3. Матрица, показывающая коэффициенты корреляции Пирсона между элементами во всех образцах *A. nodosum*

Fig. 3. Matrix showing Pearson correlation coefficients between elements in all *A. nodosum* samples

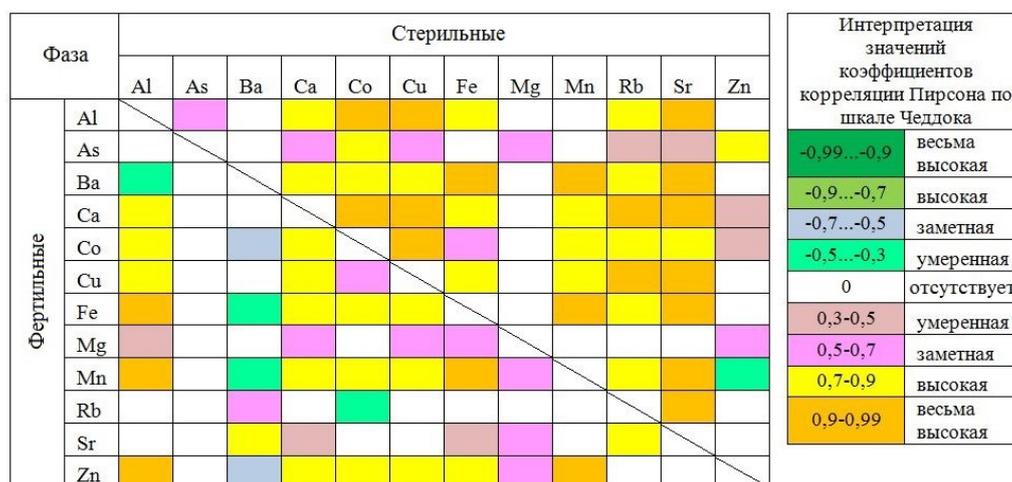


Рис. 4. Матрица, показывающая коэффициенты корреляции Пирсона между элементами в фертильных и стерильных образцах *A. nodosum*

Fig. 4. Matrix showing Pearson correlation coefficients between elements in fertile and sterile *A. nodosum* samples

Обнаружено, что содержание Fe, Al, Co и Cu значительно коррелирует попарно вне зависимости от наличия у водорослей рецептакулов ($r = 0.71-0.95$ при $p < 0.05$) (рис. 3). Так же отмечена сильная корреляция этих металлов с маннитом в стерильной фазе водорослей (при $p < 0.05$) (рис. 5).

Стерильные	Al	As	Ba	Ca	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Rb	Sr	Zn	Интерпретация значений коэффициентов корреляции Пирсона по шкале Чеддока		
Полифенолы															
Маннит															
Фукоидан														-0,99...-0,9	весьма высокая
Альгинат														-0,9...-0,7	высокая
Ламинаран														-0,7...-0,5	заметная
Фертильные	Al	As	Ba	Ca	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Rb	Sr	Zn		-0,5...-0,3	умеренная
Полифенолы														0	отсутствует
Маннит														0,3-0,5	умеренная
Фукоидан														0,5-0,7	заметная
Альгинат													0,7-0,9	высокая	
Ламинаран													0,9-0,99	весьма высокая	

Рис. 5. Матрица, показывающая коэффициенты корреляции Пирсона между элементами и БАВ в стерильных и фертильных образцах *A. nodosum*

Fig. 5. Matrix showing Pearson correlation coefficients between elements and biologically active substances in sterile and fertile *A. nodosum* samples

Стерильные	Полифенолы	Маннит	Фукоидан	Альгинат	Ламинаран	Интерпретация значений коэффициентов корреляции Пирсона по шкале Чеддока		
Полифенолы								
Маннит								
Фукоидан							-0,99...-0,9	весьма высокая
Альгинат							-0,9...-0,7	высокая
Ламинаран							-0,7...-0,5	заметная
Фертильные	Полифенолы	Маннит	Фукоидан	Альгинат	Ламинаран		-0,5...-0,3	умеренная
Полифенолы							0	отсутствует
Маннит							0,3-0,5	умеренная
Фукоидан							0,5-0,7	заметная
Альгинат						0,7-0,9	высокая	
Ламинаран						0,9-0,99	весьма высокая	

Рис. 6. Матрица, показывающая коэффициенты корреляции Пирсона между БАВ в стерильных и фертильных образцах *A. nodosum*

Fig. 6. Matrix showing Pearson correlation coefficients between biologically active substances in sterile and fertile *A. nodosum* samples

В период размножения отмечена положительная корреляция содержания Zn и Mn ($r = 0.93$ при $p < 0.05$), которая в стерильном периоде менее значима и отрицательна ($r = -0.34$ при $p < 0.05$) (рис. 4).

Обратная корреляция в фертильную фазу и прямая – в стерильную фазу наблюдается у Co с Ba ($r = -0.61$ и $r = 0.70$ при $p < 0.05$), Fe с Ba ($r = -0.31$ и $r = 0.95$ при $p < 0.05$) и Mn с Ba ($r = -0.39$ и $r = 0.96$ при $p < 0.05$) (рис. 4). Положительная взаимосвязь этих элементов также описана для фукусовых водорослей из Гренландии без учета фазы размножения (Wegeberg et al., 2023). Примечательно, что относительно Mg высоких корреляций не выявлено ни с одним из рассматриваемых в данном исследовании показателей.

У водорослей *A. nodosum* в стерильной фазе отмечена корреляция для большинства представленных в этом исследовании металлов с такими веществами водорослей как ламинаран, альгинат, фукоидан. В то время как у маннита с этими же элементами корреляции положительные.

Установлено, что содержание альгиновой кислоты в стерильных образцах *A. nodosum* имеет обратную корреляцию с концентрацией элементов Al, As, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Rb, Sr, Zn ($r = -0.62, -0.88, -0.52, -0.89, -0.95, -0.89, -0.43, -0.34, -0.50, -0.81, -0.68, -0.52$ соответственно при $p < 0.05$), а в фертильных образцах – прямую корреляцию с Ba, Ca, Mg, Sr ($r = 0.58, 0.32, 0.47, 0.40$ соответственно при $p < 0.05$) и обратную с содержанием As ($r = -0.45$ при $p < 0.05$) (рис. 5). Эти данные эквивалентны с таковыми, полученными ранее для *Fucus distichus* (Облучинская и др., 2023).

Также можно отметить наличие обратной корреляции в стерильных образцах без рецептакулов для ламинарана с Al, As, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mn, Rb, Sr ($r = -0.80, -0.34, -0.84, -0.81, -0.82, -0.89, -0.82, -0.95, -0.80, -0.84$ соответственно при $p < 0.05$), а также с Ba ($r = -0.61$) в фертильной фазе (рис. 5).

Концентрация маннита в стерильных особях *A. nodosum* имеет прямую корреляцию с концентрацией элементов Al, As, Ba, Ca, Co, Cu, Fe, Mn, Rb, Sr, Zn ($r = 0.88, 0.68, 0.82, 0.98, 0.93, 0.95, 0.78, 0.76, 0.92, 0.91, 0.33$ соответственно при $p < 0.05$), а в фертильных образцах – обратную корреляцию с As и Ba ($r = -0.33$ и $r = -0.36$ при $p < 0.05$) (рис. 5).

Для полифенольных соединений обнаружена прямая корреляция и в стерильную, и в фертильную фазы с такими металлами как Al, Co, Cu, Zn, а также высокая корреляция с тяжелым металлом As ($r = 0.85$ при $p < 0.05$) и весьма высокая с эссенциальным металлом Zn ($r = 0.94$ при $p < 0.05$) (рис. 5).

Содержание фукоидана в стерильных особях *A. nodosum* имеет обратную корреляцию с концентрацией элементов Co, Cu, Ca, As, Rb, Mn, Sr, Al, Ba, Mg, Fe ($r = -0.88, -0.85, -0.76, -0.72, -0.69, -0.61, -0.58, -0.50, -0.49, -0.40, -0.39$ соответственно при $p < 0.05$), а в фертильных образцах – прямую корреляцию с Ba, Mg и Sr ($r = 0.66, 0.60$ и 0.58 соответственно при $p < 0.05$) (рис. 5).

Также можно отметить обратную корреляцию между уровнем полифенолов и альгиновой кислоты (в стерильную фазу $r = -0.72$, в фертильную $r = -0.30$) (рис. 6). Прямая корреляция замечена у полифенолов с маннитом (в стерильную фазу $r = 0.56$, в фертильную $r = 0.54$ при $p < 0.05$) (рис. 6), а также у альгиновой кислоты с фукоиданом (в стерильную фазу $r = 0.87$, в фертильную $r = 0.79$ при $p < 0.05$) (рис. 5).

В зависимости от наличия рецептакулов наблюдается корреляция у ламинарана с фукоиданом: в стерильной стадии корреляция прямая ($r = 0.76$), в фертильной – обратная ($r = -0.44$ при $p < 0.05$) (рис. 6).

Отмеченное нами наличие прямой сильной корреляции между содержанием в *A. nodosum* фукоидана и альгиновой кислоты (рис. 6) противоположно обнаруженной зависимости в *F. vesiculosus* (Облучинская и др., 2023). Эти вариации могут быть вызваны физиологическими особенностями (реакцией фотосинтеза, скоростью роста и усвоением питательных веществ) видов макроводорослей (Peckol, Rivers, 1995; Villares et al., 2017). Установлено, что разница в накоплении тяжелых металлов между *A. nodosum* и *F. vesiculosus* соответствует таковому в содержании фенолов (Pedersen, 1984).

Элементы в растениях можно разделить на несколько групп, из которых наибольший интерес для нас представляют эссенциальные (являющиеся физиологически необходимыми для жизнедеятельности живых организмов – Fe, Cu, I, Zn, Ca, Mn, Se и т. д.) и токсичные (способные проявлять токсические свойства даже при самых незначительных концентрациях – Al, Pb, Co, Cr, Ag, Be и т. д.). В допустимых концентрациях эссенциальные элементы выполняют многие функции в клетках живых организмов, принимая участие в процессах жизнедеятельности. Отсутствие или недостаточное поступление данных элементов приводит к нарушению процессов жизнедеятельности и развитию признаков его дефицита в растительном организме (Титов и др., 2011; Ширяева, Ширяева, 2021). Различные перераспределения элементов у водных растений (у которых поглощение элементов может происходить через все части слоевища в течение года) должны отражать либо внутренний дефицит каких-либо элементов в метаболически активных тканях, либо свободный резерв для дальнейшего их использования.

Однако следует отметить, что разные элементы могут иметь химическое сродство, отсюда возможны ситуации конкуренции или замены эссенциальных на токсичные (Тахонотис ..., 1983). Так, например, Sr и Ba имеют сходные химические свойства с Ca, но ни один из них не является необходимым для роста растений. Однако оба эти элемента могут присутствовать в среде в значительных количествах и прямо или косвенно влиять на рост растений (Содержание ..., 2019). Rb может частично заменять K, который присутствует почти во всех тканях и органах растений, но большие его количества накапливаются в молодых растущих тканях. При калиевом дефиците Rb может стимулировать рост растения (El-Sheikh, Ulrich, 1967).

Обнаруженные нами корреляции также свидетельствуют о наличии взаимосвязей в накоплении элементов и БАВ, что в свою очередь требует дальнейшего изучения в контексте биохимии и физиологии водорослей.

Маннит почти повсеместно присутствует в бурых водорослях, являясь основным продуктом фотосинтеза (Усов, Ключкова, 1994). Об изменчивости содержания маннита в морских бурых водорослях сообщалось во многих исследованиях (The osmotic ..., 1985). Так, например, концентрация маннита резко снижалась (на 72 %) у водорослей *S. fusiforme* при остром стрессе, вызванном избытком Cu, и лишь на 14 % – при хроническом стрессе, что указывает на увеличение проницаемости клеток (Equilibrium ..., 2014). У некоторых дрожжей добавление Cu^{2+} активирует маннитдегидрогеназу, участвующую в биосинтезе маннита, что приводит к увеличению продукции маннита. Однако мало что известно о влиянии Cu на эти ферменты, участвующие в метаболизме маннита, особенно у бурых водорослей. В клеточной мембране Cu может влиять на проницаемость клеток (Overnell, 1975; Sunda, Huntsman, 1983).

Было показано, что морские водоросли с большим количеством отрицательно заряженных групп за счет наличия полисахаридов в клеточной стенке могут накапливать в ней больше металлов (Fourest, Volesky, 1997) и что эти морские водоросли могут увеличивать количество биомолекул с отрицательным зарядом в ответ на токсичность тяжелых металлов (Brown ..., 2010). Это указывает не только на то, что клеточная стенка действует как место связывания катионов, но и на то, что морские водоросли могут активно использовать клеточную стенку для предотвращения токсического действия катионов (Do we ..., 2023). Так, например, альгинаты в основном отвечают за естественную ионообменную способность бурых водорослей. Их уникальная макромолекулярная структура приводит к селективному связыванию металлов (Davis et al., 2003).

Альгинаты играют ключевую роль в биосорбции бурыми водорослями, поскольку было показано, что при связывании с альгинатом между металлами происходит ионный обмен. Есть данные об усиленном высвобождении ионов (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+) из водоросли *A. nodosum* при реакции с водным раствором, содержащим Co, по сравнению с раствором, не содержащим Co (Кувусак, Volesky, 1989; Davis et al., 2003).

Однако это не единственный механизм, которым обладают морские водоросли для предотвращения токсического действия металлов. Как только металлы попадают в клетки, морские водоросли вырабатывают антиоксиданты, препятствуя окислению клеточных компонентов, вызванного активными формами кислорода (АФК), тем самым предотвращая токсическое повреждение, а также они могут вырабатывать хелаторы металлов для инактивации катионов (Heavy ..., 2003; Moenne et al., 2016). Морские водоросли выделяют из своих клеток растворенные полифенольные соединения, которые хелатируют металлы в толще воды, тем самым изменяя их биодоступность в окружающей воде и уменьшая накопление и поглощение клетками (Connan, Stengel, 2011). Эти полифенольные соединения в больших количествах выделяются бурыми водорослями и являются важными хелаторами металлов в окружающей среде (Ragan, Jensen, 1979; Ragan et al., 1980; Sueur et al., 1982; The release ..., 1999; Swanson, Druehl, 2002; Extra-cellular ..., 2006). Фенольные соединения связаны с физодами (очень мелкими вакуолями) в клетках бурых морских водорослей. Их содержание отличается у видов бурых водорослей, а также в разных частях слоевищ (Haug, Larsen, 1958; Pedersen, 1984), а выделение может быть вызвано различными причинами, которые могут влиять на способность конкретных тканей водорослей накапливать металлы (Ragan, Jensen, 1979; Swanson, Druehl, 2002; Extra-cellular ..., 2006).

Выявленную в данном исследовании высокую положительную корреляцию полифенолов с Zn (рисунки 5, 6) можно объяснить селективностью данной группы БАВ к этому металлу (Myklestad et al., 1978). Цинк поглощается посредством мембранного транспорта и связывается с веществами внутри мембран, имеющими высокое сродство к цинку (Skipnes et al., 1975).

Для *A. nodosum* в период размножения нами отмечена прямая корреляция содержания Zn и Mn, которая в стерильном периоде становится обратной. Такая же обратная корреляция была описана для бурой водоросли *Palmaria lanosa* (Ryan et al., 2012). В другом исследовании было обнаружено, что

поглощение Mn у *Chlorella salina* ингибируется Zn (Garnham et al., 1992). При изучении фитопланктона аналогичная тенденция была замечена у диатомовых водорослей *Thalassiosira pseudonana* (Sunda, Huntsman, 1998). Известно, что участки координации металлов биологических лигандов не являются полностью специфичными для одного элемента. Следовательно, биологические лиганды, предназначенные для связывания предполагаемого эссенциального элемента, будут также связывать аналогичные конкурирующие металлы. Часто происходит конкуренция за связывание металлов с участками поглощения эссенциальных элементов, такими как участки для Mn. Ингибирование поглощения Mn фитопланктоном конкурирующими металлами, такими как Zn, может быть результатом как прямого связывания этих металлов с участками мембранного транспорта, так и внутриклеточного связывания с контрольными участками (Sunda, Huntsman, 1998).

Выводы

Мы сравнили фертильные и стерильные водоросли *A. nodosum* из разных арктических морей (Баренцева, Ирмингера, Норвежского), оценив влияние репродуктивной стадии и биохимических характеристик на элементный состав.

Обнаружено, что содержание Fe, Al, Co и Cu значимо коррелирует попарно вне зависимости от наличия у водорослей рецептакулов ($r = 0.71–0.95$ при $p < 0.05$). Отмечена сильная корреляция этих металлов с маннитом в стерильной фазе водорослей. Показано, что содержание альгиновой кислоты значимо коррелирует с Co, Ca, Cu, As, Rb ($r = -0.95, -0.89, -0.89, -0.88, -0.81$ соответственно при $p < 0.05$) в стерильных водорослях *A. nodosum*. Так же для таких водорослей отмечена прямая корреляция маннита с Ca, Cu, Co, Rb, Sr, Al, Ba, Fe, Mn ($r = 0.98, 0.95, 0.93, 0.92, 0.91, 0.89, 0.82, 0.78, 0.76$ соответственно при $p < 0.05$) и полифенолов с Zn и As ($r = 0.94$ и $r = 0.85$ при $p < 0.05$). Впервые выявлена прямая корреляционная зависимость накопления альгиновой кислоты и фукоидана для *A. nodosum* из морей Арктики, которая не связана с репродуктивной фазой водорослей.

Работа выполнена по теме «Природоподобные технологии в извлечении биологически активных веществ водорослей и беспозвоночных Арктики, фундаментальные и практические аспекты» (№ государственной регистрации 124013000732-7) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Облучинская Е. Д., Горшенина Е. В., Пожарицкая О. Н. Влияние географического положения мест сбора арктического *Fucus distichus* L. на накопление металлов и полисахаридов // Фундаментальная гликобиология-2023: Матер. VI Всерос. конф., Мурманск, 11–15 сентября 2023 года. Мурманск: Изд-во МАУ, 2023. С. 92.
2. Подкорытова А. В., Роцина А. Н. Морские бурые водоросли – перспективный источник БАВ для медицинского, фармацевтического и пищевого применения // Тр. ВНИРО. 2021. Т. 186, № 4. С. 156–172.
3. Содержание микроэлементов в ветвях бурой водоросли *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh, 1820 (Черное море) / В. И. Рябушко, Е. В. Гуреева, А. В. Празукин, Н. И. Бобко, М. В. Нехорошев // Вода: химия и экология. 2019. № 1–2. С. 90–96.
4. Тараховская Е. Р., Маслов Ю. И. Специфика усвоения маннита у *Fucus vesiculosus* L. и *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis (Phaeophyta) // Вестн. Санкт-Петербургского ун-та. 2010. Сер. 3. Биология. Вып. 2. С. 75–81.
5. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2011. 77 с.
6. Усов А. И., Ключкова Н. Г. Бурые водоросли Камчатки как источник маннита // Биоорг. химия. 1994. Т. 20, № 11. С. 1236–1241.
7. Ширяева О. Ю., Ширяева М. М. Изменение содержания эссенциальных элементов в растениях разных сортов // Изв. Оренбург. аграр. ун-та. 2021. № 4(90). С. 93–98.
8. A concise review of the brown macroalga *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis / L. Pereira, L. Morrison, P. S. Shukla et al. // J. Appl. Phycol. 2020. Vol. 32. P. 3561–3584.

9. *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis from Arctic: Its biochemical composition, antiradical potential, and human health risk / E. D. Obluchinskaya, O. N. Pozharitskaya, E. V. Gorshenina, A. V. Daurtseva, E. V. Flisyuk, Y. E. Generalova, I. I. Terninko, A. N. Shikov // *Mar. Drugs*. 2024. Vol. 22, № 48. P. 1–22.
10. Brown algae overproduce cell wall polysaccharides as a protection mechanism against the heavy metal toxicity / L. R. Andrade, R. N. Leal, M. Nosedá, M. E. R. Duarte, M. S. Pereira, P. A. S. Mourão, M. Farina, G. M. Amado Filho // *Mar. Pollut. Bull.* 2010. Vol. 60. P. 1482–1488.
11. *Connan S., Stengel D. B.* Impacts of ambient salinity and copper on brown algae: Interactive effects on phenolic pool and assessment of metal binding capacity of phlorotannin // *Aquatic Toxicol.* 2011. Vol. 104. P. 1–13.
12. *Davis T. A., Volesky B., Mucci A.* A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae // *Water Res.* 2003. Vol. 37(18). P. 4311–4330.
13. *Dische Z., Shettles L. B.* A specific color reaction of methylpentoses and a spectrophotometric micromethod for their determination // *J. Biol. Chem.* 1948. Vol. 175. P. 595–603.
14. Do we know the cellular location of heavy metals in seaweed? An up-to-date review of the techniques / A. Vázquez-Arias, C. Pacín, Á. Ares, J. Á. Fernández, J. R. Aboal // *Sci. Total Environ.* 2023. Vol. 856, part 2, article 159215. P. 1–7.
15. *El-Sheikh A. M., Ulrich T. C.* Sodium and rubidium as possible nutrients for sugar beet plants // *Plant physiol.* 1967. Vol. 42(9). P. 1202–1208.
16. Equilibrium and kinetic studies of Cd²⁺ biosorption by the brown algae *Sargassum fusiforme* / Z. Hui-Xi, L. Nan, W. Li-Hua, Y. Ping, Y. Xiu-Feng // *PLOS ONE*. 2014. Vol. 9(4), article e95242. P. 1–10.
17. Extra-cellular secretion of phenolic substances from living brown algae / T. Shibata, Y. Hama, T. Miyasaki, M. Ito, T. Nakamura // *J. Appl. Phycol.* 2006. Vol. 18. P. 787–794.
18. Extraction of sulfated polysaccharides by autohydrolysis of brown seaweed *Fucus vesiculosus* / R. M. Rodríguez-Jasso, S. I. Mussatto, L. Pastrana, C. N. Aguilar, J. A. Teixeira // *J. Appl. Phycol.* 2013. Vol. 25. P. 31–39.
19. *Fourest E., Volesky B.* Alginate properties and heavy metal biosorption by marine algae // *Appl. Biochem. Biotech.* 1997. Vol. 67. P. 215–226.
20. *Garnham G. W., Codd G. A., Gadd G. M.* Accumulation of cobalt, zinc and manganese by the estuarine green microalga *Chlorella salina* immobilized in alginate microbeads // *Environ. Sci. Technol.* 1992. Vol. 26(9). P. 1764–1770.
21. *Haug A., Larsen B.* Phenolic compounds in brown algae: The presence of reducing compounds in *Ascophyllum nodosum* // *Acta Chem. Scand.* 1958. Vol. 12. P. 650–657.
22. Heavy metal-induced oxidative stress in algae / E. Pinto, T. C. S. Sigaud-Kutner, M. A. S. Leitão, O. K. Okamoto, D. Morse, P. Colepicolo // *J. Phycology*. 2003. Vol. 39(6). P. 1008–1018.
23. *Huggett A. S. G., Nixoh D. A.* Use of glucose oxidase, peroxidase, and O-dianisidine in determination of blood and urinary glucose // *Lancet*. 1957. Vol. 273. P. 368–370.
24. *Kuyucak N., Volesky B.* Accumulation of cobalt by marine alga // *Biotech. Bioeng.* 1989. Vol. 33. P. 815–822.
25. *Moenne A., González A., Sáez C. A.* Mechanisms of metal tolerance in marine macroalgae, with emphasis on copper tolerance in Chlorophyta and Rhodophyta // *Aquat. Toxicol.* 2016. Vol. 176. P. 30–37.
26. *Myklestad S. M., Eide I., Melsom S.* Exchange of heavy metals in *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. *in situ* by means of transplanting experiments // *Environ. Pollut.* 1978. Vol. 16. P. 277–284.
27. *Obluchinskaya E. D.* Comparative chemical composition of the Barents Sea brown algae // *Appl. Biochem. Microbiol.* 2008. Vol. 44. P. 305–309.
28. *Obluchinskaya E., Daurtseva A.* Effects of air drying and freezing and long-term storage on phytochemical composition of brown seaweeds // *J. Appl. Phycol.* 2020. Vol. 32. P. 4235–4249.

29. Overnell J. The effect of heavy metals on photosynthesis and loss of cell potassium in two species of marine algae, *Dunaliella tertiolecta* and *Phaeodactylum tricornutum* // Mar. Biol. 1975. Vol. 29. P. 99–103.
30. Peckol P., Rivers J. S. Physiological responses of the opportunistic macroalgae *Cladophora vagabunda* (L.) van den Hoek and *Gracilaria tikvahiae* (McLachlan) to environmental disturbances associated with eutrophication // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1995. Vol. 190(1). P. 1–16.
31. Pedersen A. Studies on phenol content and heavy metal uptake in fucoids // Hydrobiologia. 1984. Vol. 116–117. P. 498–504.
32. Phytochemical components and amino acid profile of brown seaweed *Durvillaea antarctica* as affected by air drying temperature / E. Uribe, A. Vega-Gálvez, N. Vargas, A. Pasten, K. Rodríguez, K. S. Ah-Hen // J. Food Sci. Technol. 2018. Vol. 55. P. 4792–4801.
33. Ragan M. A., Jensen A. Quantitative studies on brown algal phenols: Light-mediated exudation of polyphenols from *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1979. Vol. 36. P. 91–101.
34. Ragan M. A., Ragan C. M., Jensen A. Natural chelators in sea water: detoxification of Zn²⁺ by brown algal polyphenols // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1980. Vol. 44. P. 261–267.
35. Ryan S., McLoughlin P., O'Donovan O. A comprehensive study of metal distribution in three main classes of seaweed // Environ. Pollut. 2012. Vol. 167. P. 171–177.
36. Skipnes O., Roald T., Haug A. Uptake of zinc and strontium by brown algae // Physiologia. 1975. Vol. 34, iss. 4. P. 314–320.
37. Sueur S., Van den Berg C. M. G., Riley J. P. Measurement of the metal complexing ability of exudates of marine macroalgae // Limnol. Oceanogr. 1982. Vol. 27. P. 536–543.
38. Sunda W. G., Huntsman S. A. Effect of competitive interactions between manganese and copper on cellular manganese and growth in estuarine and oceanic species of the diatom *Thalassiosira* // Limnol. Oceanogr. 1983. Vol. 28. P. 924–934.
39. Sunda W. G., Huntsman S. A. Processes regulating cellular metal accumulation and physiological effects: phytoplankton as model systems // Sci. Total Environ. 1998. Vol. 219. P. 165–181.
40. Swanson A. K., Druehl L. D. Induction, exudation and the UV protective role of kelp phlorotannins // Aquat. Bot. 2002. Vol. 73. P. 241–253.
41. Taxonomic character of plant species in absorbing and accumulating alkali and alkaline earth metals grown in temperate forest of Japan / A. Memon, T. Kuboi, K. Fujii, S. Ito, M. Yatazawa // Plant Soil. 1983. Vol. 70. P. 367–389.
42. The biochemical composition and antioxidant properties of *Fucus vesiculosus* from the Arctic region / E. D. Obluchinskaya, O. N. Pozharitskaya, D. V. Zakharov, E. V. Flisyuk, I. I. Terninko, Y. E. Generalova, I. E. Smekhova, A. N. Shikov // Mar. Drugs. 2022. Vol. 20, № 193. P. 1–19.
43. The osmotic role of mannitol in the *Phaeophyta*: an appraisal / R. H. Reed, I. R. Davison, J. A. Chudek, R. Foster // Phycologia. 1985. Vol. 24. P. 35–47.
44. The release of copper complexing ligands by the brown alga *Fucus vesiculosus* (Phaeophyceae) in response to increasing total copper levels / M. Gledhill, M. Nimmo, S. J. Hill, M. T. Brown // J. Phycology. 1999. Vol. 35. P. 501–509.
45. Usov A. I., Bilan M. I., Klochkova N. G. Polysaccharides of algae: 48. Polysaccharide composition of several calcareous red algae: Isolation of alginate from *Corallina pilulifera* P. et R. (Rhodophyta, Corallinaceae) // Bot. Mar. 1995. Vol. 38. P. 43–51.
46. Usov A. I., Smirnova G. P., Klochkova N. G. Polysaccharides of algae: 55. Polysaccharide composition of several brown algae from Kamchatka // Russ. J. Bioorg. Chem. 2001. Vol. 27. P. 395–399.
47. Villares R., Carral E., Carballeira C. Differences in metal accumulation in the growing shoot tips and remaining shoot tissue in three species of brown seaweeds // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 2017. Vol. 99. P. 372–379.
48. Wegeberg S., Søndergaard J., Geertz-Hansen O. Elements and sugars in kelp and fucoid species in Greenland, correlation and seasonality // Algal Res. 2023. Vol. 75, article 103240. P. 1–15.

References

1. Obluchinskaya E. D., Gorshenina E. V., Pozharitskaya O. N. Vliyanie geograficheskogo polozheniya mest sbora arkticheskogo *Fucus distichus* L. na nakoplenie metallov i polisacharidov [Influence of the geographical location of collection sites of Arctic *Fucus distichus* L. on the accumulation of metals and polysaccharides]. *Fundamental'naya glikobiologiya-2023: Materialy VI Vserossiyskoy konferentsii, Murmansk, 11–15 sentyabrya 2023 goda* [Fundamental glycobiology-2023: Proceedings of the VI All-Russian Conference]. Murmansk, Publ. MAU, 2023, p. 92 (In Russ.).
2. Podkorytova A. V., Roshchina A. N. Morskie burye vodorosli – perspektivnyy istochnik BAV dlya meditsinskogo, farmatsevticheskogo i pishchevogo primeneniya [Marine brown algae – a promising source of biologically active substances for medical, pharmaceutical and food applications]. *Trudy VNIRO* [Proceedings of the VNIRO], 2021, Vol. 186, No. 4, pp. 156–172 (In Russ.).
3. Ryabushko V. I., Gureeva E. V., Prazukin A. V., Bobko N. I., Nekhoroshev M. V. Soderzhanie mikroelementov v vetvyakh buroy vodorosli *Cystoseira barbata* (Stackhouse) S. Agardh, 1820 (Chyerno more) [Content of trace elements in the branches of the brown alga *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agardh, 1820 (Black Sea)]. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: chemistry and ecology], 2019, No. 1–2, pp. 90–96 (In Russ.).
4. Tarakhovskaya E. R., Maslov Yu. I. Spetsifika usvoeniya mannita u *Fucus vesiculosus* L. i *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis (Phaeophyta) [Specificity of mannitol absorption in *Fucus vesiculosus* L. and *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis (Phaeophyta)]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta* [Vestnik of Saint Petersburg University], 2010, Ser. 3, Biology, iss. 2, pp. 75–81 (In Russ.).
5. Titov A. F., Talanova V. V., Kaznina N. M. *Fiziologicheskie osnovy ustoychivosti rasteniy k tyazhyelym metallam* [Physiological basis of plant resistance to heavy metals], Petrozavodsk, Publ. KarNC RAN, 2011, 77 p. (In Russ.).
6. Usov A. I., Klochkova N. G. Burye vodorosli Kamchatki kak istochnik mannita [Brown algae of Kamchatka as a source of mannitol]. *Bioorganicheskaya khimiya* [Russian J. Bioorg. Chem.], 1994, Vol. 20, No. 11, pp. 1236–1241 (In Russ.).
7. Shiryaeva O. Yu., Shiryaeva M. M. Izmenenie sodержaniya essential'nykh elementov v rasteniyakh raznykh sortov [Changes in the content of essential elements in plants of different varieties]. *Izvestiya OGAU* [Izvestia Orenburg State Agrarian University], 2021, No. 4(90), pp. 93–98 (In Russ.).
8. Pereira L., Morrison L., Shukla P. S. et al. A concise review of the brown macroalga *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis. *J. Appl. Phycol.*, 2020, Vol. 32, pp. 3561–3584.
9. Obluchinskaya E. D., Pozharitskaya O. N., Gorshenina E. V., Daurtseva A. V., Flisyuk E. V., Generalova Y. E., Terninko I. I., Shikov A. N. *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis from Arctic: Its biochemical composition, antiradical potential, and human health risk. *Mar. Drugs*, 2024, Vol. 22, No. 48, pp. 1–22.
10. Andrade L. R., Leal R. N., Nosedá M., Duarte M. E. R., Pereira M. S., Mourão P. A. S., Farina M., Amado Filho G. M. Brown algae overproduce cell wall polysaccharides as a protection mechanism against the heavy metal toxicity. *Mar. Pollut. Bull.*, 2010, Vol. 60, pp. 1482–1488.
11. Connan S., Stengel D. B. Impacts of ambient salinity and copper on brown algae: Interactive effects on phenolic pool and assessment of metal binding capacity of phlorotannin. *Aquatic Toxicol.*, 2011, Vol. 104, pp. 1–13.
12. Davis T. A., Volesky B., Mucci A. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res.*, 2003, Vol. 37(18), pp. 4311–4330.
13. Dische Z., Shettles L. B. A specific color reaction of methylpentoses and a spectrophotometric micromethod for their determination. *J. Biol. Chem.*, 1948, Vol. 175, pp. 595–603.
14. Vázquez-Arias A., Pacín C., Ares Á., Fernández J. Á., Aboal J. R. Do we know the cellular location of heavy metals in seaweed? An up-to-date review of the techniques. *Sci. Total Environ.*, 2023, Vol. 856, part 2, article 159215, pp. 1–7.
15. El-Sheikh A. M., Ulrich T. C. Sodium and rubidium as possible nutrients for sugar beet plants. *Plant physiol.*, 1967, Vol. 42(9), pp. 1202–1208.

16. Hui-Xi Z., Nan L., Li-Hua W., Ping Y., Xiu-Feng Y. Equilibrium and kinetic studies of Cd²⁺ biosorption by the brown algae *Sargassum fusiforme*. PLOS ONE, 2014, Vol. 9(4), article e95242, pp. 1–10.
17. Shibata T., Hama Y., Miyasaki T., Ito M., Nakamura T. Extra-cellular secretion of phenolic substances from living brown algae. J. Appl. Phycol., 2006, Vol. 18, pp. 787–794.
18. Rodríguez-Jasso R. M., Mussatto S. I., Pastrana L., Aguilar C. N., Teixeira J. A. Extraction of sulfated polysaccharides by autohydrolysis of brown seaweed *Fucus vesiculosus*. J. Appl. Phycol., 2013, Vol. 25, pp. 31–39.
19. Fourest E., Volesky B. Alginate properties and heavy metal biosorption by marine algae. Appl. Biochem. Biotechnol., 1997, Vol. 67, pp. 215–226.
20. Garnham G. W., Codd G. A., Gadd G. M. Accumulation of cobalt, zinc and manganese by the estuarine green microalga *Chlorella salina* immobilized in alginate microbeads. Environ. Sci. Technol., 1992, Vol. 26(9), pp. 1764–1770.
21. Haug A., Larsen B. Phenolic compounds in brown algae: The presence of reducing compounds in *Ascophyllum nodosum*. Acta Chem. Scand., 1958, Vol. 12, pp. 650–657.
22. Pinto E., Sigaud-Kutner T. C. S., Leitão M. A. S., Okamoto O. K., Morse D., Colepicolo P. Heavy metal-induced oxidative stress in algae. J. Phycol., 2003, Vol. 39(6), pp. 1008–1018.
23. Huggett A. S. G., Nixoh D. A. Use of glucose oxidase, peroxidase, and O-dianisidine in determination of blood and urinary glucose. Lancet, 1957, Vol. 273, pp. 368–370.
24. Kuyucak N., Volesky B. Accumulation of cobalt by marine alga. Biotech. Bioeng., 1989, Vol. 33, pp. 815–822.
25. Moenne A., González A., Sáez C. A. Mechanisms of metal tolerance in marine macroalgae, with emphasis on copper tolerance in Chlorophyta and Rhodophyta. Aquat. Toxicol., 2016, Vol. 176, pp. 30–37.
26. Myklestad S. M., Eide I., Melsom S. Exchange of heavy metals in *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. *in situ* by means of transplanting experiments. Environ. Pollut., 1978, Vol. 16, pp. 277–284.
27. Obluchinskaya E. D. Comparative chemical composition of the Barents Sea brown algae. Appl. Biochem. Microbiol., 2008, Vol. 44, pp. 305–309.
28. Obluchinskaya E., Daurtseva A. Effects of air drying and freezing and long-term storage on phytochemical composition of brown seaweeds. J. Appl. Phycol., 2020, Vol. 32, pp. 4235–4249.
29. Overnell J. The effect of heavy metals on photosynthesis and loss of cell potassium in two species of marine algae, *Dunaliella tertiolecta* and *Phaeodactylum tricorutum*. Mar. Biol., 1975, Vol. 29, pp. 99–103.
30. Peckol P., Rivers J. S. Physiological responses of the opportunistic macroalgae *Cladophora vagabunda* (L.) van den Hoek and *Gracilaria tikvahiae* (McLachlan) to environmental disturbances associated with eutrophication. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 1995, Vol. 190(1), pp. 1–16.
31. Pedersen A. Studies on phenol content and heavy metal uptake in fucoids. Hydrobiologia, 1984, Vol. 116–117, pp. 498–504.
32. Uribe E., Vega-Gálvez A., Vargas N., Pasten A., Rodríguez K., Ah-Hen K. S. Phytochemical components and amino acid profile of brown seaweed *Durvillaea antarctica* as affected by air drying temperature. J. Food Sci. Technol., 2018, Vol. 55, pp. 4792–4801.
33. Ragan M. A., Jensen A. Quantitative studies on brown algal phenols: Light-mediated exudation of polyphenols from *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jol. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 1979, Vol. 36, pp. 91–101.
34. Ragan M. A., Ragan C. M., Jensen A. Natural chelators in sea water: detoxification of Zn²⁺ by brown algal polyphenols. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 1980, Vol. 44, pp. 261–267.
35. Ryan S., McLoughlin P., O'Donovan O. A comprehensive study of metal distribution in three main classes of seaweed. Environ. Pollut., 2012, Vol. 167, pp. 171–177.
36. Skipnes O., Roald T., Haug A. Uptake of zinc and strontium by brown algae. Physiologia, 1975, Vol. 34, iss. 4, pp. 314–320.
37. Sueur S., Van den Berg C. M. G., Riley J. P. Measurement of the metal complexing ability of exudates of marine macroalgae. Limnol. Oceanogr., 1982, Vol. 27, pp. 536–543.

38. Sunda W. G., Huntsman S. A. Effect of competitive interactions between manganese and copper on cellular manganese and growth in estuarine and oceanic species of the diatom *Thalassiosira*. *Limnol. Oceanogr.*, 1983, Vol. 28, pp. 924–934.
39. Sunda W. G., Huntsman S. A. Processes regulating cellular metal accumulation and physiological effects: phytoplankton as model systems. *Sci. Total Environ.*, 1998, Vol. 219, pp. 165–181.
40. Swanson A. K., Druehl L. D. Induction, exudation and the UV protective role of kelp phlorotannins. *Aquat. Bot.*, 2002, Vol. 73, pp. 241–253.
41. Memon A., Kuboi T., Fujii K., Ito S., Yatazawa M. Taxonomic character of plant species in absorbing and accumulating alkali and alkaline earth metals grown in temperate forest of Japan. *Plant Soil.*, 1983, Vol. 70, pp. 367–389.
42. Obluchinskaya E. D., Pozharitskaya O. N., Zakharov D. V., Flisyuk E. V., Terninko I. I., Generalova Y. E., Smekhova I. E., Shikov A. N. The biochemical composition and antioxidant properties of *Fucus vesiculosus* from the Arctic region. *Mar. Drugs*, 2022, Vol. 20, No. 193, pp. 1–19.
43. Reed R. H., Davison I. R., Chudek J. A., Foster R. The osmotic role of mannitol in the Phaeophyta: an appraisal. *Phycologia*, 1985, Vol. 24, pp. 35–47.
44. Gledhill M., Nimmo M., Hill S. J., Brown M. T. The release of copper complexing ligands by the brown alga *Fucus vesiculosus* (Phaeophyceae) in response to increasing total copper levels. *J. Phycol.*, 1999, Vol. 35, pp. 501–509.
45. Usov A. I., Bilan M. I., Klochkova N. G. Polysaccharides of algae: 48. Polysaccharide composition of several calcareous red algae: Isolation of alginate from *Corallina pilulifera* P. et R. (Rhodophyta, Corallinaceae). *Bot. Mar.*, 1995, Vol. 38, pp. 43–51.
46. Usov A. I., Smirnova G. P., Klochkova N. G. Polysaccharides of algae: 55. Polysaccharide composition of several brown algae from Kamchatka. *Russ. J. Bioorg. Chem.*, 2001, Vol. 27, pp. 395–399.
47. Villares R., Carral E., Carballeira C. Differences in metal accumulation in the growing shoot tips and remaining shoot tissue in three species of brown seaweeds. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 2017, Vol. 99, pp. 372–379.
48. Wegeberg S., Søndergaard J., Geertz-Hansen O. Elements and sugars in kelp and fucoid species in Greenland, correlation and seasonality. *Algal Res.*, 2023, Vol. 75, article 103240, pp. 1–15.

Информация об авторах

Анна Васильевна Даурцева – младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-6653-5452>

Елена Вячеславовна Горшенина – ведущий инженер, <https://orcid.org/0009-0000-1329-0017>

Екатерина Дмитриевна Облучинская – кандидат фармацевтических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-4456-656X>

Information about the authors

Anna V. Daurtseva – Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6653-5452>

Elena V. Gorshenina – Leading Engineer, <https://orcid.org/0009-0000-1329-0017>

Ekaterina D. Obluchinskaya – PhD (Pharmacy), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-4456-656X>

Статья поступила в редакцию 15.04.2024; одобрена после рецензирования 23.04.2024; принята к публикации 27.05.2024.
The article was submitted 15.04.2024; approved after reviewing 23.04.2024; accepted for publication 27.05.2024.

Научная статья
УДК 581.526.325.3 (268.4)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.006

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ И ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НАНОФИТОПЛАНКТОНА В ФЬОРДАХ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Елена Ивановна Дружкова

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

Аннотация

Представлены результаты исследований нанофитопланктона в фьордах Западного Шпицбергена в летний период 2001, 2002, 2003 и 2017 гг. На акватории каждого из изученных фьордов выявлено измельчение сообщества планктонных нановодорослей с глубиной и от кутовой к устьевой области, а также заглужение ядра максимального обилия на выходе из фьорда вне зависимости от плотностной структуры водного столба. Для фьордов различной широтной локализации зафиксирован спад интегральных показателей, опускание ядра сообщества из поверхностного горизонта и замещение крупных размерных фракций клетками меньше 5 мкм в северном направлении по мере увеличения температуры воды. В аспекте межгодовой изменчивости общее обилие и структурная организация нанофитопланктона определялись степенью температурной стратификации. В летний период 2017 г. выявлено повышение абсолютных значений численности и биомассы на один-два порядка по сравнению с нулевыми годами при сохранении основных особенностей структурной организации сообщества.

Ключевые слова:

Западный Шпицберген, нанофитопланктон, пространственная изменчивость, временная изменчивость

Original article

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF NANOPHYTOPLANKTON IN THE FJORDS OF WEST SPITSBERGEN IN SUMMER

Elena I. Druzhkova

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

Abstract

The paper presents the results of studies of nanophytoplankton in the fjords of Western Spitsbergen in the summer of 2001, 2002, 2003 and 2017. It is shown that the water area of each fjord is characterized by a fragmentation of the community of planktonic nanoalgae with depth and from the apex to the mouth region, as well as a deepening of the core of maximum abundance at the exit from the fjord, regardless of the density structure of the water column. For fjords of different latitudinal locations, a decline in integral indicators, a lowering of the community core from the surface horizon, and the replacement of large size fractions by cells smaller than 5 μm in the northern direction as the water temperature increases were recorded. In terms of interannual variability, the total abundance and structural organization of nanophytoplankton were determined by the degree of temperature stratification. In the summer of 2017 an increase in the absolute values of abundance and biomass by 1–2 orders of magnitude compared to zero years was revealed, while maintaining the main features of the structural organization of the community.

Keywords:

Western Spitsbergen, nanophytoplankton, spatial variability, temporal variability

Введение

В условиях современных климатических изменений наиболее быстрые и существенные перестройки морских экосистем наблюдаются в высоких широтах, особенно в Арктике (Exceptional ..., 2022).

Архипелаг Шпицберген является уникальным районом для изучения влияния климатических факторов на все компоненты среды (Arctic ..., 2005; Piechura, Walczowski, 2009; Warming ..., 2013). Фьорды Западного Шпицбергена, крупнейшего острова архипелага, подвергаются максимальному

воздействию разнонаправленных динамических сил. Среди них существенную роль играет адвекция теплых атлантических вод с Западно-Шпицбергенским течением – основным источником океанического переноса тепла в Арктику (Pan-Svalbard ..., 2011).

Под влиянием физических, климатических, океанологических факторов на акваториях фьордов формируются различные варианты морских и эстуарных экосистем в относительно небольших пространственных масштабах. То есть с биологической точки зрения в изолированном виде каждый из них может рассматриваться как уникальная самоподдерживающаяся экосистема, своего рода природный мезокозм, идеальный для исследования множества параметров функционирования биоты в целом и ее планктонной составляющей – ключевого компонента арктической пищевой цепи.

Необходимо отметить, что изучение океанографических характеристик фьордов традиционно привлекало к себе внимание исследователей. В то же время вопросы организации пелагической биоты, в частности, альгоценозов, в литературе представлены явно недостаточно. Развитие микрофитопланктонного сообщества описывается в основном для периода весеннего максимума (Eilertsen et al., 1989), для нанофитопланктона немногочисленные литературные данные ограничиваются указанием диапазона изменений количественных показателей. А между тем перестройка планктонных сообществ в сторону увеличения доли мелких размерных фракций не только ожидается, но и уже наблюдаемое следствие потепления в быстро меняющейся Арктике (Spatial ..., 2020). При этом разными исследователями показана значительная роль нанофитопланктона в формировании биомассы пелагических альгоценозов в течение всего периода вегетации (Nodal, Kristiansen, 2008; Smallest ..., 2009; Nodal, 2011).

Таким образом, цель настоящей работы – исследование особенностей пространственной и временной организации сообщества нанофитопланктона фьордов Западного Шпицбергена.

Материал и методы

Материал был получен в ходе экспедиций на НИС «Дальние Зеленцы» 05–10 августа 2001 г., 04–08 июля 2002 г., 12 августа 2003 г., 22–25 июля 2017 г. Батометрические пробы отбирались в верхнем 50-метровом слое по трем-четырем горизонтам.

Пробы воды объемом 50 мл фиксировались раствором глутарового альдегида (конечная концентрация 0.5 %) и концентрировались на ядерные фильтры (г. Дубна) с диаметром пор 0.8 мкм под слабым вакуумом. Затем фильтры были окрашены примулином (Caron, 1983) и исследованы под эпифлуоресцентным микроскопом AXIO Imager. D1 при ув. 1000. Клетки нанопланктона учитывались по размерным фракциям 2–5, 6–10 и 11–20 мкм. Размеры клеток измерялись индивидуально с помощью окуляр-микрометра, при вычислении объемов применялась сферическая или сфероидальная аппроксимация формы клеток.

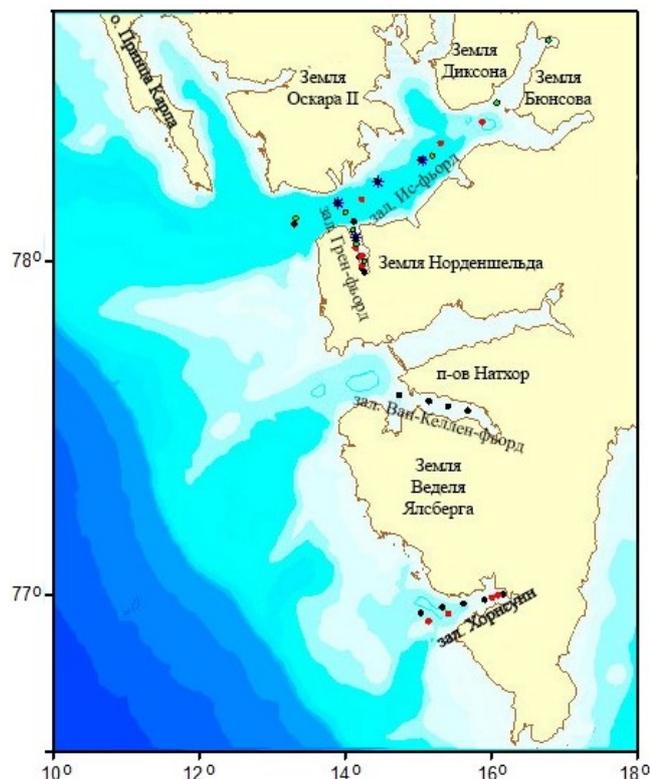


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб в фьордах Западного Шпицбергена. Черным цветом обозначены станции, выполненные в 2001 г., красным – в 2002 г., синим – в 2003 г., зеленым – в 2017 г.

Fig. 1. Map of sampling stations. Stations completed in 2001 are marked in black, in red – 2002, in blue – 2003, in green – 2017

В рассмотренные материалы по нанофитопланктону не включены данные по диатомовым водорослям аналогичного размера и агрегированным нановодорослям, которые по своим гидродинамическим характеристикам относятся к организмам микропланктона. Таким образом, рассмотренный материал представляет группу автотрофных одиночных жгутиковых и коккоидных форм нанопланктонного размерного диапазона.

В данной работе представлены результаты исследований фотической зоны (верхнего 50-метрового слоя) на акватории заливов Западного Шпицбергена – Хорнсунн (Hornsund), Ван-Келен-фьорд (Van Keulenfjorden), Ис-фьорд (Isfjorden), Грён-фьорд (Grønfjorden) (рис. 1).

Результаты

В 2001 году изучение нанофитопланктона проводилось с 5 по 10 августа на акватории Ис-фьорда, Грён-фьорда, Ван-Келен-фьорда и залива Хорнсунн.

Термический режим водной массы в Ис-фьорде характеризовался выраженным прогревом поверхностного слоя (до 6.12–7.32 °С) и стабильным вертикальным уменьшением температуры воды: 2.87–4.04 °С на глубине 25 м и 0.77–3.19 °С на глубине 50 м, где значения постепенно увеличивались от кутовой части к выходу из фьорда. На фоне убывания температуры с глубиной соленость, напротив, увеличивалась от поверхностного слоя (локальный минимум в кутовой части – 30.71 епс) до глубины 50 м (более 34 епс).

Численность нанофитопланктона варьировала от 160 тыс. до 1 млн 640 тыс. кл/л, на всей изученной акватории доминировали клетки младшей размерной фракции, их относительная доля составляла от 73 до 96 %. Диапазон колебаний биомассы был достаточно широк – 7–107 мкг/л, при этом независимо от абсолютных значений показателя каких-либо закономерностей относительного обилия разных размерных групп нановодорослей в терминах биомассы отмечено не было. Ядро сообщества, в котором численность нанофракции превышала 1 млн 100 тыс. кл/л при биомассе более 60 мкг/л, локализовалось в подповерхностном слое на глубине 20 м в центральной части фьорда (рисунки 2–5).

Поскольку Грён-фьорд представляет собой ответвление в устьевой части залива Ис-фьорд, термохалинные характеристики водных масс на этом участке акватории соответствовали таковым Ис-фьорда: отмечено постепенное снижение температуры на фоне роста солености с глубиной и от кутовой области к устьевой в поверхностном горизонте.

Показатели количественного развития нановодорослей соответствуют значениям, зарегистрированным на акватории Ис-фьорда. Максимальные интегральные численности сообщества превышают 1 млн кл/л (до 1 млн 300 тыс. кл/л), максимальная интегральная биомасса – 80 мкг/л – зафиксирована в поверхностном горизонте на выходе из фьорда (рис. 3). Ядро сообщества приурочено к верхнему 20-метровому слою, ниже которого численность плавно убывает, достигая минимальных значений в наиболее глубокой области на выходе из фьорда, убывание биомассы носит скачкообразный характер. Размерная структура сообщества нанопланктона также соответствует таковой, описанной для Ис-фьорда. В поверхностном горизонте относительная численность размерной фракции 2–5 мкм составляет более 90 % в кутовой области и до 65 % в районе устья, при этом биомасса на 60–75 % сформирована водорослями среднего размерного класса (6–10 мкм). Минимальные значения по всему водному столбу, включая поверхностные горизонты, приурочены к району свала глубин в центральной части фьорда, где сообщество представлено двумя младшими размерными фракциями с преобладанием (более 80 % по численности) клеток менее 5 мкм. В целом на всей акватории фьорда отмечено стандартное измельчение сообщества с глубиной. Однако в районе фронтальной зоны выводного ледника максимальные численности нановодорослей (более 1 млн кл/л) были отмечены непосредственно в области терминальных ледниковых образований, где в условиях постоянной подпитки пресными водами и прогрева поверхностного слоя формируются зоны локальных апвеллингов, что обуславливает перемещение планктонных водорослей из придонного в поверхностный горизонт. Далее, по мере продвижения к центральной части фьорда, зарегистрирован спад количественных показателей развития нанопланктона во всем столбе воды. Возможно, эти участки соответствуют зонам оседания терригенной взвеси, где в условиях недостаточной освещенности развитие планктонных водорослей ингибируется. Таким образом, основными факторами, влияющими на

пространственное распределение нанофитопланктона в данном случае являются как морфология фьорда, так и наличие ледника в его кутовой части.

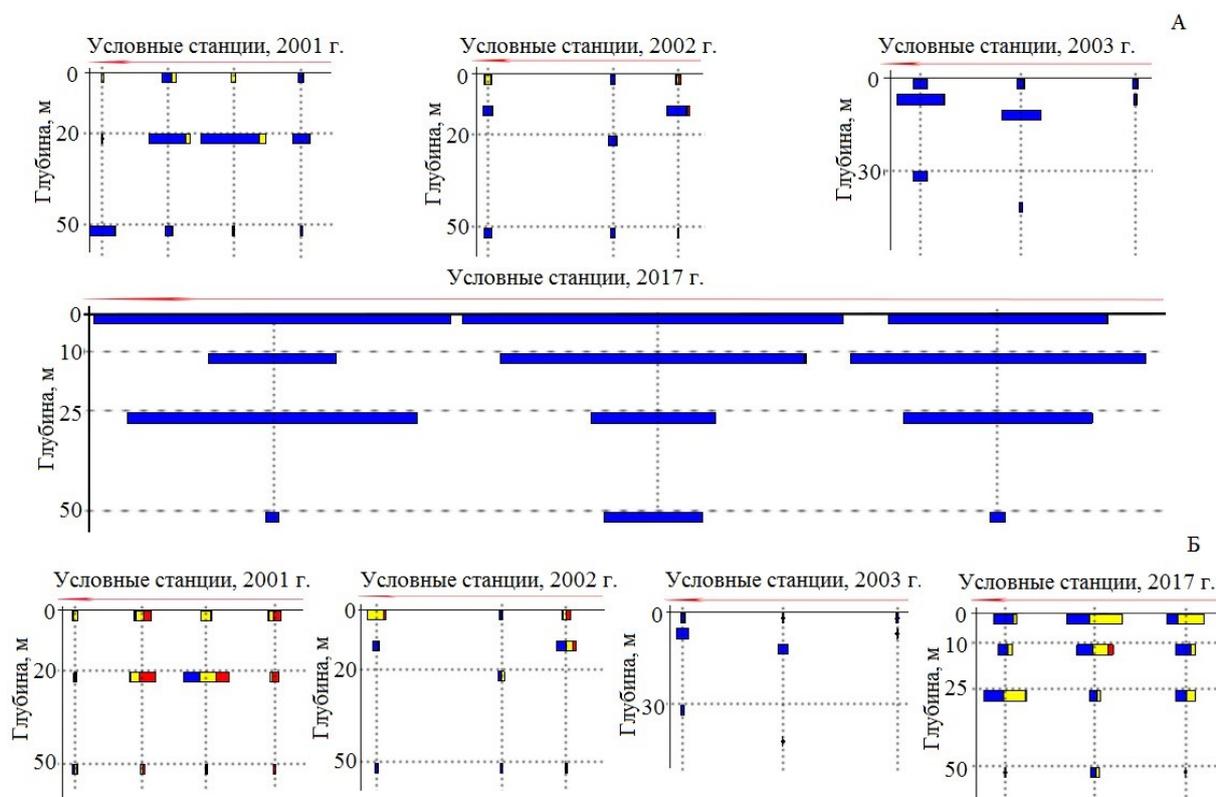


Рис. 2. Схемы пространственного распределения численности (А) и биомассы (Б) нанофитопланктона на акватории Ис-фьорда (Западный Шпицберген) в летний период 2001, 2002, 2003, 2017 гг. Здесь и на рисунках 3–5: длина каждого композита соответствует интегральным значениям показателя (численности или биомассы соответственно), а сегмента – показателям относительного обилия (численности или биомассы) разных размерных фракций: синий – 2–5 мкм, желтый – 6–10 мкм, красный – 11–20 мкм. На оси абсцисс обозначены локальные точки отбора проб на акватории фьорда. Красной стрелкой показано направление от кутовой к устьевой части фьорда

Fig. 2. Spatial distribution schemes of nanophytoplankton abundance (A) and biomass (B) in the waters of the Isfjords (Western Spitsbergen) in the summer of 2001, 2002, 2003, 2017. Here and in figures 3–5: the length of each composite corresponds to the integral values of the indicator (abundance or biomass, respectively). The length of each segment corresponds to the relative values (abundance or biomass) of different size fractions: blue – 2–5 μm, yellow – 6–10 μm, red – 11–20 μm. The abscissa indicates local sampling points in the fjord water area. The red arrow indicates the direction from the apex to the mouth of the fjord

Для Ван-Келлен-фьорда (залив Белльсунн; Bellsund) характерно широкое открытое устье и, соответственно, свободный водообмен с прилегающей акваторией. Температура поверхностного слоя не достигала значений, зарегистрированных в Ис-фьорде и Грэн-фьорде, диапазон ее изменений составил от 4.07 до 4.91 °C при солености 26.12–33.25 епс. Постепенное снижение температуры и солености поверхностного слоя к кутовой части позволяет утверждать о формировании поверхностной водной массы под влиянием ледникового стока, что оказывает определенное влияние на структуру сообщества нанопланктона. В поверхностном слое диапазон колебаний численности и биомассы нановодорослей был достаточно широк (590 тыс.–1 млн 200 тыс. кл/л, 43–140 мкг/л), при мозаичном распределении доминирующих размерных фракций. Относительная численность размерной фракции 2–5 мкм колебалась от 13 до 90 %, размерной фракции 6–10 мкм – от 8 до 85 %. Для биомассы эти диапазоны составляли 2–42 и 14–82 % соответственно. При этом происходило постепенное замещение

размерной группы 2–5 мкм фракцией 6–10 мкм, что привело к постепенному увеличению интегральной биомассы сообщества от 43 до 139 мкг/л по направлению от кутовой к устьевой части залива. Картина вертикального распределения нановодорослей определялась ранее описанной тенденцией к измельчению сообщества с глубиной и выражалась в стабильном снижении численности и биомассы при одновременном возрастании доли младшей размерной фракции. Единственным исключением был зарегистрированный «скачок» численности нанопланктона (2 млн 300 тыс. кл/л) над слоем термоклина (50 м) в морской части разреза (рис. 4).

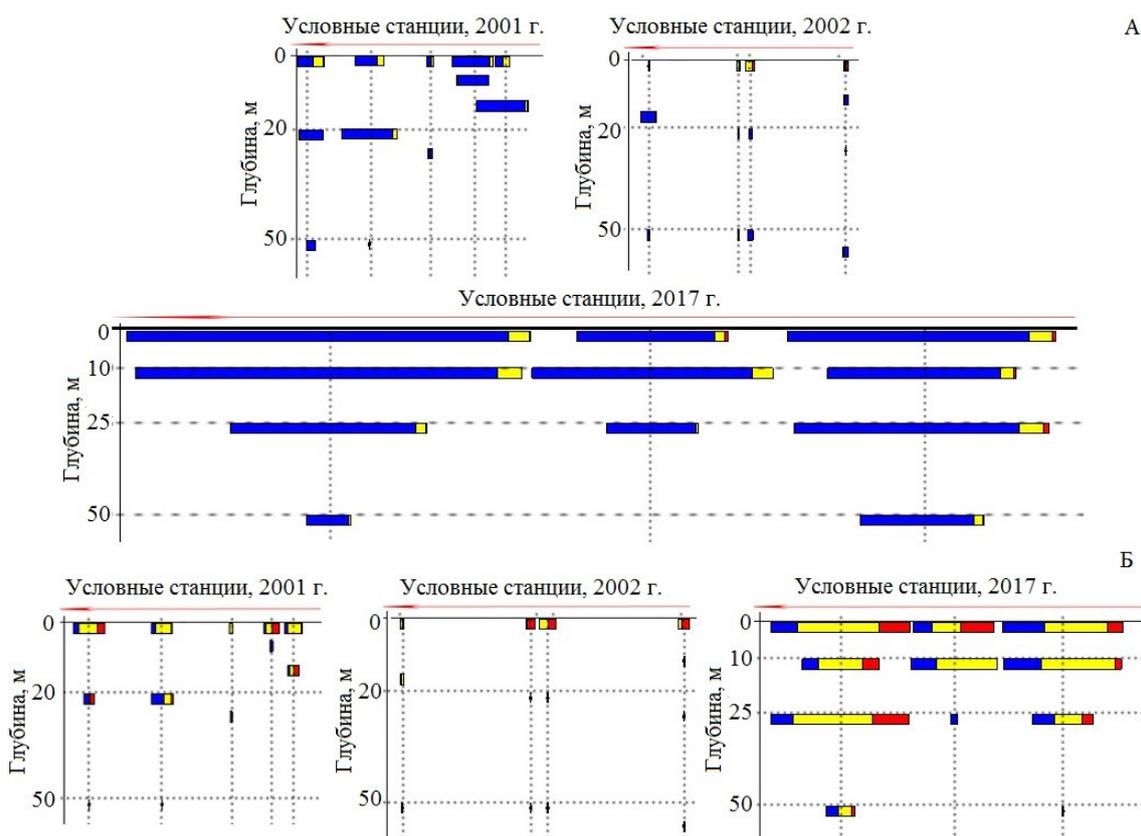


Рис. 3. Схемы пространственного распределения численности (А) и биомассы (Б) нанофитопланктона на акватории Грэн-фьорда (Западный Шпицберген) в летний период 2001, 2002, 2017 гг.

Fig. 3. Spatial distribution schemes of nanophytoplankton abundance (А) and biomass (Б) in the waters of the Greenfjords (Western Spitsbergen) in the summer of 2001, 2002, 2017

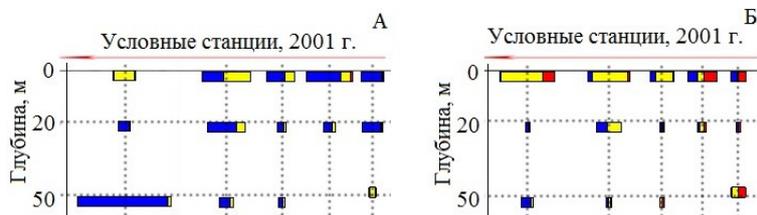


Рис. 4. Схемы пространственного распределения численности (А) и биомассы (Б) нанофитопланктона на акватории Ван-Келлен-фьорда (Западный Шпицберген) в летний период 2001 г.

Fig. 4. Spatial distribution schemes of nanophytoplankton abundance (А) and biomass (Б) in the waters of the Van-Kellenfjords (Western Spitsbergen) in the summer of 2001

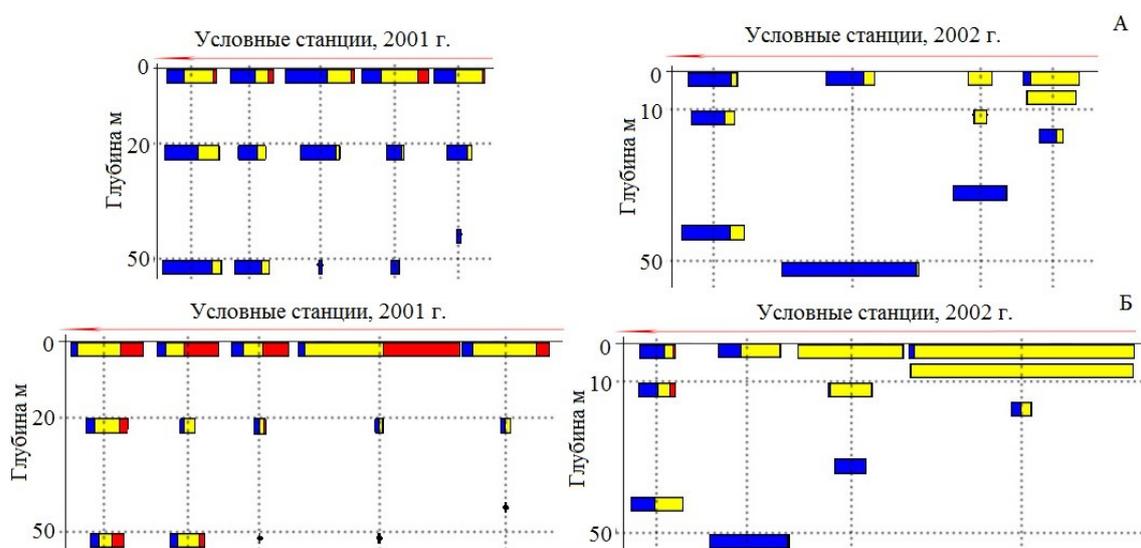


Рис. 5. Схемы пространственного распределения численности (А) и биомассы (Б) нанофитопланктона на акватории залива Хорнсунн (Западный Шпицберген) в летний период 2001, 2002 гг.

Fig. 5. Spatial distribution schemes of nanophytoplankton abundance (А) and biomass (Б) in the waters of the Hornsund Bay (Western Spitsbergen) in the summer of 2001, 2002

Залив Хорнсунн находится на юго-западном побережье Шпицбергена и представляет собой, как и описанные выше фьорды первого порядка, широко открытый залив с свободным водообменом с прилегающей морской акваторией. Диапазон изменения температуры для поверхностного горизонта составил от 2.62 до 3.26 °С, для 20 м – 2.57–2.81 °С и для 50 м – 1.17–2.38 °С. Соответствующие значения для солёности были следующими: 0 м – от 31.28 до 33.05 епс, 20 м – от 32.48 до 33.54 епс, 50 м – от 33.55 до 34.08 епс.

На всей акватории фьорда зарегистрированы высокие значения численности и биомассы нановодорослей, максимальные показатели приурочены к поверхностному горизонту (численность от 1 млн до 1 млн 700 тыс. кл/л при биомассе от 140 до 400 мкг/л). При анализе вертикального распределения на внутренней акватории была выявлена явная тенденция к стабильному снижению численности и биомассы с глубиной. Анализ размерной структуры сообщества показал, что относительное обилие размерной группы 2–5 мкм возрастало от 30–60 % по численности и 10–20 % по биомассе в поверхности до 70–100 % на глубинах более 50 м. В области порога (глубина 48 м) численность нановодорослей составляла около 100 тыс. кл/л при биомассе не более 3 мкг/л, что является еще одним подтверждением вышеописанной тенденции: более 90 % численности и более 75 % биомассы сообщества сформировано младшей размерной фракцией. Более того, на самом мористом участке акватории выявлено возрастание численности от 1 млн 225 тыс. кл/л в поверхности до 1 млн 500 тыс. кл/л на глубине 50 м на фоне радикального снижения биомассы от 180 до 13 мкг/л (рис. 5).

В начале июля 2002 г. на акватории Ис-фьорда поверхностный прогрев и пресный сток еще не достигли своих максимальных значений. Температура воды в поверхности изменялась от 4.46 до 6.56 °С, на глубине 50 м составляла 2.28–3.49 °С при солёности 31.89–32.57 епс и 34.57–34.65 епс соответственно.

Диапазон колебаний численности нанофитопланктона не превышал одного порядка – от 41.5 тыс. кл/л до 515.5 тыс. кл/л, биомасса изменялась в интервале от 1.6 до 24 мкг/л. Экстремальные значения численности были зарегистрированы в кутовой части фьорда на разных глубинах (максимум – на 10 м, минимум – на 50 м), где отмечались и минимальные значения биомассы сообщества. Для размерной структуры было характерно абсолютное доминирование мелкой размерной фракции по

численности, ее доля на большей части акватории превышала 90 %. В пределах низких значений интегральных биомасс никаких закономерностей ни в пространственной, ни в структурной организации сообщества планктонных нановодорослей отмечено не было (рис. 2).

Термохалинная структура водного столба на акватории залива Грён-фьорд отличается от таковой Ис-фьорда наличием хорошо прогретого распресненного поверхностного слоя. И если значения температуры лишь незначительно превосходят зафиксированные в Ис-фьорде и лежат в довольно узком диапазоне – 6.2–7.7 °С, соленость изменяется в широких пределах – от 24.8 до 32.6 епс. Необходимо отметить, что максимальные значения температуры и минимальные значения солености приурочены к кутовой части. В вертикальном направлении значения и температуры и солености закономерно убывают. В кутовой части уже на глубине 10 м температура снизилась до 4.19 °С при солености 34.3 епс. На глубине 20–25 м эти показатели на всей акватории фьорда изменялись от 3.49 до 4 °С и 34.38–34.67 епс, а на глубине 50 м – 3.24–3.38 °С и 34.74–34.81 епс соответственно.

Однако столь заметные различия в плотностной структуре водной массы двух акваторий не отражаются на количественных характеристиках пелагических нановодорослей. Численность сообщества варьирует от 13 тыс. кл/л до 377 тыс. кл/л, биомасса – от 0.23 до 39 мкг/л. Максимальные значения численности зафиксированы в подповерхностном горизонте на выходе из фьорда, сгущение биомассы локализовано в поверхностном горизонте и определяется высокими удельными биомассами старшей размерной фракции (11–20 мкм) на всем участке акватории за исключением выхода из фьорда, где 73 % совокупной биомассы сформировано размерным классом 6–10 мкм. В поверхности водоросли этого размерного диапазона преобладают и в терминах относительной численности. Только в наиболее распресненном кутовом участке количественно преобладают клетки крупнее 10 мкм. Ниже слоя пикноклина в нанопланктонном сообществе наблюдался переход доминирования: на фоне резкого падения обилия нановодорослей группы 6–20 мкм относительная доля размерной фракции менее 5 мкм превышает 60 % по биомассе и 91 % по численности (рисунки 2, 3).

На акватории залива Хорнсунн температура воды поверхностного слоя изменялась в пределах 2.96–4.18 °С, соленость – 30.77–33.92 епс. На глубине 50 м соответствующие диапазоны составили 3.51–3.78 °С и 34.27–34.67 епс.

Размах колебаний численности пелагического наноальгоценоза составил от 297 тыс. до 3 млн 330 тыс. кл/л, биомассы – 50–550 мкг/л, причем высокие показатели отмечаются практически на всей акватории фьорда с локальными снижениями в кутовой части на глубине 25 м для численности и 25–50 м для биомассы. Структура нанофитопланктона отличается высокой однородностью. В целом на акватории доминирует младшая размерная фракция с относительной численностью 78–99 % и относительной биомассой 70–96 %. В верхнем 10-метровом слое кутовой части залива – участке с относительным распреснением (соленость 32.5 епс) и максимальными значениями интегральной биомассы нанофитопланктона – лидирующее положение как в значениях относительной численности, так и относительной биомассы занимает размерная фракция 6–10 мкм (рис. 5).

12 августа 2003 г. вся акватория Ис-фьорда от поверхности до глубины 10 м была занята теплыми распресненными водными массами с температурой 5.72–7.38 °С и соленостью 30.84–32.9 епс, причем на поверхности соленость снижалась от центральной части фьорда к устью. Ниже 10-метрового слоя отмечалось незначительное снижение температуры и увеличение солености.

Характерной чертой организации нанопланктонного сообщества были достаточно высокие значения абсолютной численности (88.5 тыс.–1 млн 171 тыс. кл/л) на фоне низких биомасс (4–29 мкг/л), что косвенным образом свидетельствует об абсолютном доминировании в сообществе младшей размерной фракции. При непосредственном анализе структурной организации нанофитопланктона было показано преобладание размерного класса 2–5 мкм как по численности (более 85 %), так и по биомассе (55–90 %) на всей акватории фьорда за исключением горизонта 5 м в кутовой части залива, где его относительное обилие несколько снижается (рис. 5).

В конце июля 2017 г. весь исследованный участок акватории Ис-фьорда на глубине от 0 до 25 м занимали теплые (5.3–6.6 °С) воды с соленостью 33.06–34.46 епс. Минимальные значения были

приурочены к верхнему 10-метровому слою центральной части фьорда на траверзе залива Грён-фьорд. На глубине 50 м значения температуры снизились до 1.8–3.9 °С на фоне увеличения солености.

На всей изученной акватории Ис-фьорда была отмечена активная пролиферация пелагических нановодорослей. Диапазон колебаний численности составил от 700 тыс. кл/л на глубине 50 м до 7 млн 900 тыс. кл/л у поверхности. Экстремально высокие значения фиксировались в пределах верхнего 20-метрового слоя на разных участках акватории: 4 млн 900 тыс.–7 млн. 900 тыс. кл/л у поверхности с некоторой тенденцией на увеличение к выходу из фьорда, 5 млн 800 тыс.–6 млн 300 тыс. кл/л на глубине 10 м от центральной части до точки на траверзе залива Грён-фьорд, 6 млн 100 тыс. кл/л в 20-метровом горизонте в устье фьорда. Для таких высоких численностей биомассы были относительно низкими и не превышали 136 мкг/л при минимальных значениях 34 мкг/л. Подобная картина наблюдается при абсолютном доминировании мелких форм (диаметр клетки менее 5 мкм), на долю которых в данном случае приходилось 88–99 % численности и 55–84 % биомассы сообщества (на участках с ее низкими интегральными значениями) (рисунки 2, 3).

Гидрологические характеристики водной массы на акватории Грён-фьорда практически полностью повторяли вышеописанные, отличаясь большей однородностью и мощностью прогретого слоя, который распространялся до глубины 50 м.

Еще более высокие показатели количественного развития нанофитопланктона в исследованный период были зарегистрированы на акватории Грён-фьорда. Численность нановодорослей достигала 9 млн 700 тыс. кл/л в поверхностном горизонте и не опускалась ниже значения в 1 млн кл/л на всей акватории. Диапазон изменения биомассы составил 18–334 мкг/л. Минимальные значения были зарегистрированы на глубине 50 и 25 м в центральной части фьорда. Во всех остальных случаях интегральная биомасса нанопланктона превышала 150 мкг/л. При анализе структуры нанофитоценоза показано, что численность сообщества практически полностью формируется за счет клеток младшей размерной фракции, при том что удельная биомасса клеток диаметром более 5 мкм составляет: для размерного класса 6–10 мкм – 36–69 %, для размерного класса 11–20 мкм – до 37 % (рис. 3).

Обсуждение

Приведенные в работе данные позволяют проанализировать как пространственную (одномоментные наблюдения на акваториях разных фьордов), так и разнопериодную временную (в течение ряда последовательных лет и с временным интервалом в 15 лет на акватории одного фьорда) изменчивость нанофитопланктона в фьордах Западного Шпицбергена.

На севере изученных акваторий (Ис-фьорд и Грён-фьорд) в августе 2001 г. поверхностная температура воды превышала 7 °С. Области максимального прогрева в кутовой части соответствовали областям пониженной солености (30.71–30.85 епс). Картина пространственного распределения гидрологических показателей в целом была сходной в двух фьордах. Следует лишь отметить более выраженный вертикальный температурный градиент в Ис-фьорде.

Показатели количественного развития нанофитопланктона Ис-фьорда и Грён-фьорда были вполне сопоставимы между собой, но если на акватории Грён-фьорда высокая численность отмечалась по всему верхнему 20-метровому слою с некоторой тенденцией к заглублению от кута к устью, то в Ис-фьорде ядро сообщества полностью перемещается из поверхности на слой сезонного термоклина с максимальными значениями на траверзе залива Грён-фьорд. Причиной этого могла быть именно плотностная структура водной массы. Ранее подобное явление «опускания» ядра развития было отмечено для высокоширотных фьордов в отношении фитопланктона, максимальные плотности которого отмечались в нижнем горизонте поверхностного слоя, где скорость выноса минимальна. В нашем варианте максимальные показатели нановодорослей были зарегистрированы в подповерхностном слое в тех случаях, когда горизонт отбора совпадал с глубиной скачка плотности. В нижележащих горизонтах наблюдалось постепенное убывание количественных показателей. Пространственное распределение биомассы в целом соответствовало пространственному распределению численности, но имело более сглаженный характер, поскольку в его формировании

принимали участие все размерные фракции нанофитопланктона, в то время как по численности на всей акватории доминировали клетки диаметром менее 5 мкм.

В Ван-Келлен-фьорде в августе 2001 г. температура воды была несколько ниже (4.07–4.91 °С), чем в двух северных фьордах, а распределение в поверхностном горизонте кутовой части фьорда достигало максимальных в ряду изученных фьордов значений (26.12 епс). Картина пространственного распределения гидрологических показателей в целом соответствовала таковой, описанной для заливов Ис-фьорд и Грён-фьорд при выраженных вертикальных и горизонтальных градиентах солености на фоне постепенного изменения температуры.

Абсолютные показатели количественного развития нанопланктона в целом соответствовали зафиксированным в северных фьордах: численность до 1 млн 200 тыс. кл/л, биомасса до 139 мкг/л. При этом картина пространственного распределения численности явно отражает опускание зоны максимума из поверхности в кутовой части до глубины 50 м на выходе из фьорда. Высокие биомассы (и, соответственно, высокая относительная доля клеток размерных диапазонов 6–10 и 11–20 мкм) строго приурочены к горизонту 0 м, где прослеживается нарастание интегральных значений от кутовой (43 мкг/л) к устьевой (139 мкг/л) части фьорда. Высокие удельные биомассы старших размерных фракций сохраняются в Ван-Келлен-фьорде в августе 2001 г. по всему водному столбу, и это (при сопоставимых значениях численности) определяет более высокие значения биомасс по сравнению с двумя северными фьордами. При анализе вертикального распределения была выявлена явная тенденция к стабильному снижению количественных показателей с глубиной. Снижение биомассы носило скачкообразный характер на фоне плавного убывания значений численности, что свидетельствует об увеличении доли младшей размерной фракции в составе нанопланктона.

Залив Хорнсунн – самый южный из исследованных фьордов, при этом именно здесь зафиксированы самые низкие температуры (не выше 3.61 °С у поверхности) при минимальном влиянии пресного стока (31.28 епс в кутовой части). Сообщество нанопланктона характеризовалось самыми высокими в ряду изученных фьордов количественными показателями. Ядро сообщества с областью максимального сгущения в центральной части фьорда было четко приурочено к поверхностному горизонту. В кутовой и центральной частях фьорда зафиксировано стабильное снижение интегральных показателей с глубиной, особенно выраженное в терминах биомассы (порядок величин на каждые 20 м). На выходе из фьорда эта тенденция сглаживается, а для численности наблюдается даже некоторое повышение показателя на глубине 50 м. Подобное пространственное распределение отражает особенности структурной организации сообщества. Если в поверхностном горизонте все размерные группы нанопланктона представлены в достаточном объеме и количественные показатели определяются их удельными значениями (соотношением), то с глубиной в сообществе растет доля клеток диаметром менее 5 мкм, причем не только для численности, но и для биомассы.

Таким образом, в августе 2001 г. гидрологическая обстановка во фьордах Западного Шпицбергена заметно различалась. В то время как на акватории Ис-фьорда и Грён-фьорда устанавливается температурная стратификация вследствие активного прогрева поверхностного слоя, на акватории Ван-Келлен-фьорда отмечены выраженные градиенты солености, а верхние 50 м на акватории залива Хорнсунн представляют собой перемешанный квазиоднородный слой. Для нанофитопланктона исследованных фьордов выявлены следующие основные черты пространственного распределения: спад интегральных показателей, опускание ядра сообщества из поверхностного горизонта и замещение крупных размерных фракций клетками меньше 5 мкм в северном направлении по мере увеличения температуры воды. При этом на акватории каждого отдельного фьорда независимо от гидрологических характеристик водной массы и широтной локализации прослеживаются общие закономерности организации пелагических нановодорослей: измельчение сообщества с глубиной и от кутовой к устьевой области и заглупление ядра максимального обилия на выходе из фьорда.

На акватории Грён-фьорда в июле 2002 г. вследствие активного прогрева и интенсивного пресного стока сформировался узкий поверхностный слой с высокими температурами (6.3–7.7 °С) и

низкой соленостью (24.8–32.6 епс), минимальные значения которой были приурочены к кутовой части фьорда. Жесткая стратификация водного столба не отразилась на пространственном распределении клеток нанофитопланктона. На всей акватории нановодоросли распределялись равномерно, показатели количественного развития пелагического нанофитоцена были весьма невысоки: 100–200 тыс. кл/л при максимальной биомассе 39 мкг/л. В пределах этих значений некоторое повышение обилия отмечалось в поверхностном слое, где в составе сообщества было зафиксировано присутствие размерной группы 6–10 мкм, не отмеченной на остальной акватории.

Аналогичная картина наблюдалась в июле 2002 г. на акватории Ис-фьорда: низкие показатели обилия (максимальная численность около 200 тыс. кл/л, биомасса около 20 мкг/л), равномерное пространственное распределение в столбе воды и стабильное преобладание клеток диаметром менее 5 мкм на всей акватории за исключением поверхностного прогретого распресненного слоя.

В заливе Хорнсунн в июле 2002 г. на фоне низких однородных температур область пониженной солености локализована в поверхностном горизонте кутовой участка. Пространственное распределение численности нановодорослей носит достаточно равномерный характер в рамках значений 600 тыс.–1 млн 400 тыс. кл/л с единственным локальным максимумом на глубине 50 м на выходе из фьорда. При такой выровненности численных характеристик выделяются два участка акватории с различными структурными характеристиками нанофитопланктона. В верхнем 10-метровом слое кутовой части 86–99 % от совокупной численности сообщества представлено клетками размерной фракции 6–10 мкм. На остальной части акватории доминируют клетки младшей размерной фракции. Подобная структура сообщества определяет пространственное распределение биомассы, максимальные значения которой отмечены в поверхностном горизонте кутовой части фьорда – 260–550 мкг/л.

Следовательно, в июле 2002 г. жесткая плотностная стратификация водного столба устанавливается на акватории Грэн-фьорда, где зафиксированы максимальная поверхностная температура и минимальная соленость в ряду исследованных фьордов. В Ис-фьорде и прогрев поверхности, и влияние пресного стока выражены в меньшей степени. Для залива Хорнсунн характерны минимальные поверхностные температуры и значительное распреснение в кутовой области. Основные черты пространственной и структурной организации нанофитопланктона в рассматриваемый период: параллельно с ростом поверхностной температуры в северном направлении отмечен значительный (на порядок величин) спад показателей обилия при переходе доминирования к младшей размерной фракции. Для залива Хорнсунн показано измельчение сообщества нановодорослей с глубиной и от кута к устью. Анализ пространственного распределения и структуры планктонных нановодорослей двух северных фьордов неинформативен ввиду низких показателей обилия.

Межгодовая изменчивость проанализирована для заливов Ис-фьорд, Грэн-фьорд и Хорнсунн.

В июле 2002 г. на акватории Ис-фьорда термохалинные характеристики водной массы в целом соответствовали таковым 2001 г., однако поверхностный прогрев и пресный сток еще не достигли своих максимальных значений и, как следствие, температура поверхности была несколько ниже (4.46–6.56 °С), а соленость несколько выше (31.89–35.52 епс) значений 2001 г.

В августе 2003 г. температура воды у поверхности в Ис-фьорде превышала 7 °С при минимальной солености 30.84 епс на траверзе залива Грэн-фьорд, где была зафиксирована максимальная численность нанофитопланктона на глубине 5 м – 1 млн 170 тыс. кл/л. Биомассы сообщества на всей акватории не превышала 30 мкг/л. Картина пространственного распределения биомассы соответствовала описанной для численности, что свидетельствует об однородной структуре сообщества, которое было полностью сформировано клетками размерной фракции 2–5 мкм.

Таким образом, на акватории Ис-фьорда в летний период 2001–2003 гг. максимальные показатели обилия и полнота размерного спектра нанофитопланктона отмечены в 2001 г. под слоем скачка плотности в условиях максимальных температурных градиентов. Повышение подповерхностной температуры и сглаживание гидрологических градиентов приводит к спаду количественных показателей и тотальному измельчению сообщества.

В Грэн-фьорде в 2002 г. температура верхнего 50-метрового слоя была в целом выше и температурные градиенты менее выражены по сравнению с 2001 г. В этих условиях численность

нанопланктона была на порядок ниже значений 2001 г. Для биомассы эта тенденция также прослеживалась, но не в такой резкой форме.

Нужно отметить, что значительное распреснение поверхностного слоя в 2002 г. не оказало заметного влияния на развитие пелагического наноальгоценоза. Так же, как и в предыдущем случае, ослабление температурной стратификации приводит к переходу в структуре сообщества от полного размерного спектра к абсолютному доминированию размерной фракции 2–5 мкм.

На акватории залива Хорнсунн как в 2001 г., так и в 2002 г. зафиксированы минимальные поверхностные температуры с незначительным градиентом. При этом показатели количественного развития достигают максимальных в ряду изученных фьордов значений. На фоне сопоставимых показателей обилия качественный состав нанопланктона заметно различался. Если в 2001 г. в составе нановодорослей на всей акватории присутствуют все размерные классы в различных соотношениях, то в 2002 г. верхний 10-метровый слой оккупирован клетками размером 6–10 мкм, ниже доминирование полностью переходит к клеткам менее 5 мкм.

Гидрологические характеристики водных масс на акваториях Ис-фьорда и Грэн-фьорда в конце июля 2017 г. полностью соответствовали таковым 2001–2003 гг. Это касается и абсолютных значений температуры и солености, и их пространственного распределения. При этом количественные показатели обилия нанопланктона на один-два порядка превышали величины 2001–2003 гг. Интересно отметить, что структурная организация сообщества планктонных нановодорослей на этом фоне оставалась неизменной, с устойчивым трендом на преобладание в сообществе мелкой размерной фракции.

Заключение

Таким образом, в настоящей работе были выявлены основные закономерности пространственной и временной изменчивости нанопланктона во фьордах Западного Шпицбергена в летний период.

В пространственном отношении на акватории отдельных фьордов отмечено измельчение сообщества с глубиной и от кутовой к устьевой области, заглупление ядра максимального обилия на выходе из фьорда вне зависимости от плотностной структуры водного столба, а для фьордов различной широтной локализации – спад интегральных показателей, опускание ядра сообщества из поверхностного горизонта и замещение крупных размерных фракций клетками мельче 5 мкм в северном направлении по мере увеличения температуры воды.

В рамках анализа межгодовой изменчивости показано, что степень температурной стратификации определяет общее обилие и структурную организацию нанопланктона. В 2017 году зафиксировано повышение (по сравнению с нулевыми годами) абсолютных значений численности и биомассы планктонных нановодорослей на один-два порядка при сохранении основных особенностей структурной организации сообщества.

Возможно, столь заметный рост обилия мелких одноклеточных водорослей в пелагиали высокоширотного фьорда является одним из проявлений «быстрого потепления» климата Арктики в целом и фьордов Западного Шпицбергена в частности в начале XXI века.

Поскольку данные по нанопланктону на акватории фьордов Западного Шпицбергена в литературе практически отсутствуют, сравнение полученных в настоящем исследовании результатов возможно только с результатами аналогичного сезона для других участков акватории Баренцева моря. Так, в августе 2006 г. на внутренней акватории архипелага Земля Франца-Иосифа численность нановодорослей составила более 1 млн кл/л при биомассе 300–400 мкг/л, относительная численность размерной фракции 2–5 мкм превышала 80 % (Особенности ..., 2014). В августе 2007 г. на этой же акватории численность нанопланктона превысила 3 млн 500 тыс. кл/л (относительная доля размерной фракции 2–5 мкм – 60–90 %) при биомассе 260 мкг/л (Особенности ..., 2014).

Таким образом, полученные в настоящей работе результаты в очередной раз служат подтверждением тезиса, что именно нанопланктонное сообщество, обладая высокой экологической пластичностью и мощным адаптивным потенциалом, является базовым звеном

пелагического фитоценоза и может служить своего рода стабилизирующим фактором для развития биоценоза пелагиали в целом (Дружкова, 2011).

Работа выполнена по теме «Многодисциплинарные исследования морских и наземных экосистем в районе архипелага Шпицберген» (№ госрегистрации 124060300006-0) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Дружкова Е. И. Пространственная организация сообщества нанопланктона фьордов Западного Шпицбергена // Глобальные климатические изменения 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. 54–56.
2. Особенности организации пелагиали в районе архипелага Земля Франца-Иосифа в летний период / И. В. Берченко, Е. И. Дружкова, А. А. Олейник, Т. Г. Ишкулова, М. П. Венгер // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2014. Т. 4, № 23. Сер. Океанология. Вып. 2. С. 112–150.
3. Arctic climate impact assessment (ACIA) / C. Symon, L. Arris, B. Heal (Eds.). Overview report. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 1020 p. DOI: 10.5860/choice.43-6507
4. Caron D. A. Technique for enumeration of heterotrophic and phototrophic nanoplakton, using epifluorescence microscopy, and comparison with other procedures // Appl. Environ. Microbiol. 1983. Vol. 46. P. 491–498.
5. Eilertsen H. C., Taasen J. P., Weslawski J. M. Phytoplankton studies in the fjords of West Spitzbergen: physical environment and production in spring and summer // J. Plankton Res. 1989. Vol. 11, iss. 6. P. 1245–1260. URL: <https://doi.org/10.1093/plankt/11.6.1245>
6. Exceptional warming over the Barents area / K. Isaksen, Ø. Nordli, B. Ivanov, M. Køltzow, S. Aaboe, H. Gjelten, A. Mezghani, S. Eastwood, E. Førland, R. Benestad, I. Hanssen-Bauer, R. Brækkan, P. Sviashchennikov, V. Demin, A. Revina, T. Karandasheva // Scientific reports. 2022. Vol. 12, № 1. P. 1–18.
7. Hodal H. Primary production and the relevance of small autotrophic and heterotrophic cells in marine arctic ecosystems. A dissertation for the degree of Philosophiae Doctor, University of Tromsø, 2011. 65 p.
8. Hodal H., Kristiansen S. The importance of small-celled phytoplankton in spring blooms at the marginal ice zone in the northern Barents Sea // Deep Sea Res. II. 2008. Vol. 55. P. 2176–2185.
9. Pan-Svalbard growth rate variability and environmental regulation in the Arctic bivalve *Serripes groenlandicus* / M. L. Carroll, W. G. Jr. Ambrose, B. S. Levin, G. A. Henkes, H. Hop, P. E. Renaud // J. Mar. Syst. 2011. Vol. 88. P. 239–251. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2011.04.010
10. Piechura J., Walczowski W. Warming of the west Spitsbergen current and sea ice north of Svalbard // Oceanologia. 2009. Vol. 51. P. 147–164. DOI: 10.5697/oc.51-2.147
11. Smallest algae thrive as the Arctic Ocean freshens / W. K. W. Li, F. A. McLaughlin, C. Lovejoy, E. C. Carmack // Science. 2009. Vol. 326. P. 539.
12. Spatial patterns of particles and plankton in the warming arctic fjord (Isfjorden, West Spitsbergen) in seven consecutive mid-summers (2013–2019) / M. Szeligowska, E. Trudnowska, R. Boehnke, A. M. Da'browska, J. M. Wiktor, S. Sagan, K. Błachowiak-Samołyk // Front. Mar. Sci. 2020. Vol. 7, article 584. DOI: 10.3389/fmars.2020.00584
13. Warming of Atlantic water in two west Spitsbergen fjords over the last century (1912–2009) / A. K. Pavlov, V. Tverberg, B. V. Ivanov, F. Nilsen, S. Falk-Petersen, M. A. Granskog // Polar Res. 2013. Vol. 32, № 1, article 1206. DOI: 10.3402/polar.v32i0.11206

References

1. Druzhkova E. I. Prostranstvennaya organizatsiya soobshchestva nanoplanktona f'ordov Zapadnogo Shpitsbergena [Spatial organization of the nanoplankton community in the West Spitsbergen fjords]. *Global'nye klimaticheskie izmeneniya i ikh vliyanie na ekosistemy arkticheskikh i subarkhticheskikh regionov: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (g. Murmansk, 9–11 noyabrya 2011 goda)* [Global climatic processes and their effects on ecosystems of the Arctic and Subarctic regions:

- Proceedings of the International Scientific Conference (Murmansk, 9–11 November 2011). Apatity, Publ. KSC RAS, 2011, pp. 54–56 (In Russ.).
2. Berchenko I. V., Druzhkova E. I., Oleynik A. A., Ishkulova T. G., Venger M. P. Osobennosti organizatsii pelagialii v rayone arhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa v letniy period [Features of the organization of the pelagic zone in the area of the Franz Josef Land archipelago in summer]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN, Seriya: Okeanologiya, vypusk 2* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 2], 2014. Vol. 4, No. 23, pp. 112–150 (In Russ.).
 3. Arctic climate impact assessment (ACIA) / C. Symon, L. Arris, B. Heal (Eds.). Cambridge, Cambridge University Press, 2005, 1020 p. DOI: 10.5860/choice.43-6507
 4. Caron D. A. Technique for enumeration of heterotrophic and phototrophic nanoplakton, using epifluorescence microscopy, and comparison with other procedures. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1983, Vol. 46, pp. 491–498.
 5. Eilertsen H. C., Taasen J. P., Weslawski J. M. Phytoplankton studies in the fjords of West Spitzbergen: physical environment and production in spring and summer. *J. Plankton Res.*, 1989, Vol. 11, iss. 6, pp. 1245–1260. Available at: <https://doi.org/10.1093/plankt/11.6.1245>
 6. Isaksen K., Nordli Ø., Ivanov B., Køltzow M., Aaboe S., Gjeltten H., Mezghani A., Eastwood S., Førland E., Benestad R., Hanssen-Bauer I., Brækkan R., Sviashchennikov P., Demin V., Revina A., Karandasheva T. Exceptional warming over the Barents area. *Scientific reports*, 2022, Vol. 12, No. 1, pp. 1–18.
 7. Hodal H. Primary production and the relevance of small autotrophic and heterotrophic cells in marine arctic ecosystems: A dissertation for the degree of Philosophiae Doctor, University of Tromsø, 2011, 65 p.
 8. Hodal H., Kristiansen S. The importance of small-celled phytoplankton in spring blooms at the marginal ice zone in the northern Barents Sea. *Deep Sea Res. II*, 2008, Vol. 55, pp. 2176–2185.
 9. Carroll M. L., Ambrose W. G. Jr., Levin B. S., Henkes G. A., Hop H., Renaud P. E. Pan-Svalbard growth rate variability and environmental regulation in the Arctic bivalve *Serripes groenlandicus*. *J. Mar. Syst.*, 2011, Vol. 88, pp. 239–251. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2011.04.010
 10. Piechura J., Walczowski W. Warming of the west Spitsbergen current and sea ice north of Svalbard. *Oceanologia*, 2009, Vol. 51, pp. 147–164. DOI: 10.5697/oc.51-2.147
 11. Li W. K. W., McLaughlin F. A., Lovejoy C., Carmack E. C. Smallest algae thrive as the Arctic Ocean freshens. *Science*, 2009, Vol. 326, p. 539.
 12. Szeligowska M., Trudnowska E., Boehnke R., Da'browska A. M., Wiktor J. M., Sagan S., Błachowiak-Samołyk K. Spatial patterns of particles and plankton in the warming arctic fjord (Isfjorden, West Spitsbergen) in seven consecutive mid-summers (2013–2019). *Front. Mar. Sci.*, 2020, Vol. 7, article 584. DOI: 10.3389/fmars.2020.00584
 13. Pavlov A. K., Tverberg V., Ivanov B. V., Nilsen F., Falk-Petersen S., Granskog M. A. Warming of Atlantic water in two west Spitsbergen fjords over the last century (1912–2009). *Polar Res.*, 2013, Vol. 32, No. 1, article 1206. DOI: 10.3402/polar.v32i0.11206

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Статья поступила в редакцию 15.05.2024; одобрена после рецензирования 22.05.2024; принята к публикации 10.06.2024.
The article was submitted 15.05.2024; approved after reviewing 22.05.2024; accepted for publication 10.06.2024.

Научная статья
УДК 504.054+546.027 (268.45+470.118)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.007

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА В АВГУСТЕ И СЕНТЯБРЕ 2023 ГОДА

Наталья Сергеевна Иванова, Геннадий Васильевич Ильин

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

Аннотация

Представлены результаты исследований современной активности техногенных изотопов в прибрежной зоне острова Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа. Пробы морской воды, водорослей, донных осадков, почвы и растительного покрова были отобраны в ходе экспедиции, выполненной совместно с Северным флотом и Русским географическим обществом в августе и сентябре 2023 г. Отмечено, что в морской среде и литоральных макрофитах содержание техногенного ^{137}Cs снижается по сравнению с показателями 2000–2010 гг. В наземной экосистеме распределение ^{137}Cs мозаично, наибольшая удельная активность обнаружена в почвах (до 71.4 Бк/кг). В единичных пробах отмечено наличие короткоживущего изотопа ^{134}Cs , который является индикатором относительно недавних атмосферных выпадений в Арктике.

Ключевые слова:

Земля Франца-Иосифа, радиоактивность, морская среда, почвы, наземная растительность

Original article

RADIOECOLOGICAL RESEARCH IN THE REGION OF FRANZ JOSEF LAND ARCHIPELAGO, IN AUGUST AND SEPTEMBER 2023

Natalia S. Ivanova, Gennady V. Ilyin

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

Abstract

The results of a study of the current activity of technogenic isotopes in the coastal zone of the Alexandra Land island of the Franz Josef Land archipelago are presented. Samples of sea water, algae, bottom sediments, soil and vegetation were taken during an expedition carried out under the auspices of the Northern Fleet and the Russian Geographical Society in August and September 2023. In the marine environment and littoral macrophytes, the content of technogenic ^{137}Cs is gradually decreasing in comparison with the indicators of the previous period 2000–2010. In the terrestrial ecosystem, the distribution ^{137}Cs is mosaic; the highest specific activity is found in soils (up to 71.4 Bq/kg). In single samples, the presence of the short-lived isotope ^{134}Cs was noted, which is an indicator of relatively recent atmospheric fallout in the Arctic.

Keywords:

Franz Josef Land, radioactivity, marine environment, soils, ground vegetation

Введение

Окраинные арктические архипелаги (в частности архипелаг Земля Франца-Иосифа) не вовлечены до настоящего времени в хозяйственную деятельность из-за своей труднодоступности и суровых климатических условий. Серьезным препятствием для навигации и освоения островов служат дрейфующие льды и айсберги. Граница ледовых полей сдвигается к северной оконечности архипелага до 83° с. ш. лишь в период максимального таяния в сентябре или раньше в наиболее теплые годы. Относительно свободное плавание у архипелага возможно не более чем в течение 40 календарных суток с учетом дней неблагоприятной метеорологической обстановки – сильных туманов и ветров.

На архипелаге широко развито оледенение. Лед и фирн покрывают 80 % площадей островной суши. В период оттаивания тундра интенсивно заболачивается с образованием грязевых потоков и склоновых оползней в силу расчлененности рельефа (Куликов, 2004; Макарьева и др., 2006).

В данных условиях территория островов практически необитаема. Техногенные нарушения экосистемы архипелага происходят лишь вблизи немногочисленных действующих и

законсервированных полярных станций. Эти нарушения ассоциированы со свалками бытового и производственного мусора, брошенными складами нефтепродуктов.

Техногенное загрязнение архипелага радиоактивными элементами началось в период испытания ядерного оружия – в 1950–1960-е годы. Однако с середины 1960-х гг. фон искусственных радионуклидов в морской среде и на суше формируется естественными процессами трансграничного переноса радионуклидов и обмена в системе островная суша–море за счет тающих многолетних ледовых шапок. Морской трансграничный перенос обеспечивается потоками теплых атлантических вод, которые поступают через пролив Фрама и из Баренцева моря. Воды Атлантики переносят загрязнения от североευропейских энергетических и радиохимических предприятий. В баренцевоморских водах последствия и динамика радионуклидного загрязнения активно изучаются и хорошо освещены в научных публикациях (Матишов, Матишов, 2001; Естественное ..., 2009; Распределение ..., 2017; Тенденции ..., 2018). Однако в районе архипелага, из-за его труднодоступности, различные аспекты загрязнения его экосистем техногенными радионуклидами исследуются эпизодически и остаются малоизученными (Усягина и др., 2014). В то же время архипелаг как часть экосистемы играет определенную роль в формировании закономерностей циркуляции радионуклидов в Баренцевом море. В настоящее время переоценка хозяйственного и геополитического потенциала Баренцева моря, в том числе района архипелага Земля Франца-Иосифа, определяет возросший в настоящее время интерес к изучению радиоэкологического состояния этой высокоширотной области.

В соответствии с вышеизложенным, цель исследований – получение на примере Земли Франца-Иосифа новых данных о характеристиках радиоэкологического фона в прибрежных экосистемах высокоширотных архипелагов и влиянии климатических изменений на его флуктуации.

Материал и методы

Исследования проведены в наземной и морской части острова Земля Александры (рис. 1). Экспедиция на архипелаг была проведена совместно с Северным флотом и Мурманским областным отделением Русского географического общества в августе и сентябре 2023 г.

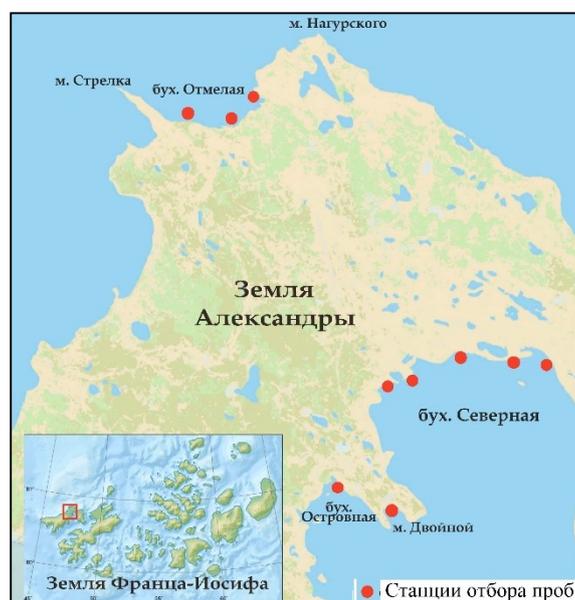


Рис. 1. Карта-схема отбора проб на литоральной отмели и в береговой зоне о. Земля Александры в августе и сентябре 2023 г.

Fig. 1. Sampling stations on the intertidal shallows and in the coastal zone, August and September 2023

В различных районах острова собраны и изучены образцы почвы, растительного покрова (мхов и лишайников), донных осадков, водорослей и морской воды. Отбор проб воды и донного осадка выполнен на литоральных отмелях в нескольких бухтах острова. Проба воды объемом 100 л подвергалась первичной обработке сразу после отбора методом концентрирования радионуклидов на целлюлозном неорганическом сорбенте «анфеж» и получения счетного образца. Пробы донного осадка (поверхностный слой 0–5 см) и макрофитов рода *Saccharina* взяты в период отлива и осушки литорали. Образцы почвы, мхов и лишайников отобраны вблизи береговой черты на пригодных участках с помощью металлического почвоотборника.

В пробах определена активность ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th . Радиометрический анализ проб выполнен в лаборатории Мурманского морского биологического института РАН. Измерения активности ^{137}Cs в счетных образцах сорбента и удельной активности γ -излучающих радионуклидов в пробах донного осадка выполнены на спектрометрах гамма-излучения InSpector-2000, гамма- и рентгеновского излучения b13237 («Canberra», США). Спектры обрабатывались с помощью программного обеспечения Genie-2000. Данные по удельной активности ^{137}Cs в донных отложениях приведены в расчете на 1 кг массы сухого осадка.

Работы выполнены в бухтах Северная, Отмелая и Островная (рис. 1), где на 10 точках были собраны пробы для радиометрического анализа состояния островных прибрежных экосистем (таблица).

**Характеристика материала, отобранного для радиометрических исследований
 в августе и сентябре 2023 г. на о. Земля Александры
 Volume of material selected for radiometric studies, August and September 2023**

Район работ	Координаты		Объект исследования
	с. ш.	в. д.	
Бухта Отмелая	80°50.1732'	47°14.8062'	Вода (анфеж)
	80°50.2380'	47°18.2304'	Донный осадок (0–5 см)
	80°50.4012'	47°20.9160'	Водросли
Бухта мыса Двойного	80°44.1018'	47°34.4394'	Вода (анфеж)
Бухта Северная	80°45.9042'	47°33.3294'	Донный осадок (0–5 см)
	80°46.0854'	47°36.4602'	Донный осадок (0–5 см)
	80°45.9042'	47°33.3294'	Водросли
	80°46.3698'	47°46.5192'	Водросли
	80°46.4742'	47°49.7304'	Водросли
	80°46.0854'	47°36.4602'	Почва
	80°46.3698'	47°46.5192'	Почва
	80°46.3698'	47°46.5192'	Почва
Бухта Островная	80°46.3698'	47°46.5192'	Мхи, лишайники
	80°44.4144'	47°30.5100'	Почва
	80°44.4144'	47°30.5100'	Мхи, лишайники

Результаты и обсуждение

Количественные характеристики техногенных радионуклидов в прибрежной экосистеме исследуемой территории приведены на рисунках 2 и 3.

Объемная активность ^{137}Cs в омывающих остров водах в среднем составляет 0.7 Бк/м³. Различия активности в воде бухты Отмелая (0.8±0.3 Бк/м³) и у мыса Двойной (0.5±0.2 Бк/м³) недостоверны (рис. 2). При сравнении полученных показателей с данными предшествующих исследований архипелага, выполненными ММБИ в 2000–2010 гг., следует констатировать более чем двукратное снижение уровня техногенной радиоактивности к 2023 г. Содержание радиоактивного цезия в предшествующий период в водах межостровной акватории, в частности в проливе Британский канал, составляло 1.9 Бк/м³ (Усягина и др., 2014). В среднем современная объемная активность ^{137}Cs в водах, омывающих архипелаг Земля Франца-Иосифа, оказывается ниже средней его активности в водах

бассейна Баренцева моря (1.6 ± 0.3 Бк/м³) (Радиоэкологическое ..., 2020). Такое различие определяется в первую очередь влиянием арктической водной массы, которая образуется в результате таяния льдов в летной период. Например, в Баренцевом море объемная активность ¹³⁷Cs у кромки дрейфующих льдов вблизи архипелага составляла в конце зимы 1.2 ± 0.4 Бк/м³ (Распределение ..., 2017).



Рис. 2. Распределение техногенных радионуклидов в морской среде побережья о. Земля Александры в августе и сентябре 2023 г.

Fig. 2. Distribution of man-made radionuclides in the marine environment of the coastal region Alexandra Land, August and September 2023



Рис. 3. Распределение техногенных радионуклидов в компонентах островного ландшафта Земли Александры в августе и сентябре 2023 г.

Fig. 3. Distribution of technogenic radionuclides in the components of the island landscape of Alexandra Land, August and September 2023

В донных отложениях во внутренних проливах, омывающих Землю Александры, в 2023 г. удельная активность ^{137}Cs варьировала от 1.7 ± 0.3 до 3 ± 0.8 Бк/кг. На литоральной отмели внешнего шельфа (в бухте Отмелая), омываемой холодными арктическими водами, активность ^{137}Cs составила 0.2 ± 0.1 Бк/кг (рис. 3). Вариации концентраций радиоцезия даже в близко расположенных точках отбора проб могут быть обусловлены несколькими причинами. Главные из них связаны с локальными различиями вещественного состава донных отложений и наличием водотоков при сезонном таянии ледово-снежного покрова островной суши. Пробы имели отличия в гранулометрическом составе. Так поверхностный слой донных отложений прибрежной зоны Земли Александры представлен плохосортированным осадочным материалом. В бухте Отмелая донные осадки сложены грубообломочным терригенным материалом с минимальным содержанием пелитовой фракции. В бухте Северная отложения в точках отбора последовательно представлены алевритово-песчаным материалом с единичными включениями гравия и гравийно-песчаными с включениями обломков раковин моллюсков. В осадках этого литотипа отмечена наибольшая концентрация ^{137}Cs .

Ранее в осадках межостровных проливов архипелага фиксировалась удельная активность от 2 до 4.9 Бк/кг сухого осадка (Усягина и др., 2014). Таким образом можно констатировать, что поступление радиоактивных элементов в донные осадки островных шхер поддерживается на прежнем уровне, по-видимому, за счет циркулирующих здесь атлантических вод и невысокой скорости осадконакопления. С северной, внешней стороны архипелага, под влиянием малозагрязненных арктических вод концентрация этого радионуклида заметно снижена. В литоральных отложениях бухты Отмелая обнаружен изотоп ^{134}Cs (0.12 ± 0.06 Бк/кг) – короткоживущий радионуклид с периодом полураспада 2.06 года. Данный изотоп является показателем относительно недавних атмосферных радиоактивных выпадений. Исходя из того, что ^{134}Cs был отмечен также в растительном покрове острова, его присутствие в донных отложениях является результатом флювиального смыва осадочного материала с территории Земли Александры.

Во всех образцах ламинарии, отобранных на разных сторонах острова – в бухтах Отмелая и Северная (таблица), удельная активность техногенных изотопов была ниже минимально детектируемой активности.

До начала 1990-х годов радиоактивное загрязнение островных ландшафтов архипелага Земля Франца-Иосифа практически не исследовалось. Первые экспедиционные радиоэкологические исследования были проведены в 1991–1994 гг. Удельная активность ^{137}Cs в почвогрунтах южных островов архипелага варьировала в диапазоне от 25 до 547 Бк/кг. Максимальное загрязнение почв было отмечено на о. Мейбелл (Радионуклиды ..., 1994). По данным исследований 2023 г., удельная активность ^{137}Cs в грунтах обследованной территории составила от 0.9 до 71.4 Бк/кг. Максимальное значение отмечено в почвенном покрове в районе бухты Островная. В указанной точке наблюдений почвенный покров по сравнению с другими участками опробывания наиболее развит. Почвы на о. Земля Александры, как и на всем архипелаге Земля Франца-Иосифа, очень маломощны. Исследуемая почва состояла из мелкозема, основой которого является песок, практически не содержащий гумуса. Данный факт может быть одной из причин преимущественно невысоких уровней накопления радиоактивных элементов в слое почвы на острове и на архипелаге в целом. Однако при сравнении данных очевидно значительное снижение минимальной и максимальной удельной активности ^{137}Cs в почвенном покрове архипелага.

Растительный покров о. Земля Александры в пределах изучаемого района представлен мхами и кустистыми лишайниками. Распространение растительного покрова фрагментарно. Радиометрический анализ проб показал разброс накопления ^{137}Cs этими растениями от 7.4 ± 0.8 Бк/кг у мыса Двойного до 25.8 ± 2.2 Бк/кг в районе бухты Северная, что может определяться локальными условиями произрастания и состояния растений. В одной из проб был обнаружен радионуклид ^{134}Cs – 1.7 ± 0.9 Бк/кг, что служит показателем атмосферных радиоактивных выпадений в недавнее время.

По данным наблюдений 1991 г., в лишайниках южных островов Земли Франца-Иосифа отмечены ^{137}Cs и ^{134}Cs , однако в более высокой концентрации. Удельная активность ^{137}Cs составляла от 31 до 375 Бк/кг, а ^{134}Cs – от 0.5 до 21 Бк/кг. Кроме этого, во мхах и лишайниках обнаружены ^{152}Eu и ^{60}Co

(Радионуклиды ..., 1994). В более поздних наблюдениях начала 2000-х гг. ^{134}Cs , ^{152}Eu и ^{60}Co в растениях архипелага не обнаруживались (Усягина и др., 2014).

Выводы

Выполненные в августе и сентябре 2023 г. исследования на о. Земля Александры и полученные в результате этого новые материалы дали возможность актуализировать представления о современном радиоэкологическом фоне в районе архипелага Земля Франца-Иосифа. Сравнительный анализ вновь полученных данных и материалов предшествующих исследований позволили показать существующие тенденции изменений радиоэкологического фона на архипелаге. На примере эволюции концентраций ^{137}Cs можно констатировать устойчивое снижение накопленных концентраций техногенных радионуклидов в водной среде, донных отложениях, почвах, морской и наземной биоте архипелага. Современный уровень техногенной радиоактивности компонентов морской среды следует квалифицировать как невысокий, ниже средних величин для Баренцева моря. Уровень загрязнения почвы и наземной растительности фрагментирован и характеризуется относительно широким диапазоном накопления радионуклидов. В то же время очевидно, что высокоширотная, арктическая область аккумулирует атмосферные радиоактивные выбросы на ледяной покров и поверхность архипелагов. Свидетельством этому являются эпизоды обнаружения в почве и наземной растительности о. Земля Александры радионуклида ^{134}Cs .

Авторы выражают благодарность участникам совместной экспедиции Северного флота и Мурманского областного отделения Российского географического общества С. А. Гончарову, С. Г. Зинченко, И. С. Мариненко и Е. М. Гончаровой, которые отобрали пробы, провели первичную обработку и доставили для исследований в ММБИ РАН.

Работа выполнена по теме «Структурно-динамические трансформации пелагических экосистем морских арктических бассейнов в условиях техногенных и естественных изменений среды» (№ государственной регистрации 124013000709-9) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. *Естественное* снижение уровня искусственных радионуклидов в Баренцевом море / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, Д. Солатие, Н. Е. Касаткина, А. Леппанен // Докл. РАН. 2009. Т. 427, № 4. С. 539–544.
2. Куликов И. В. Предварительная оценка состояния природной среды архипелага Земля Франца-Иосифа по результатам авиадесантных работ при геологической съемке масштаба 1:1000000 в августе–сентябре 2000 г. // Земля Франца-Иосифа. Архангельск: ФГУ «ГФИ по Архангельской обл.», 2004. С. 77–79.
3. Макарьева Е. М., Погорельский А. И., Сахарова К. А. Результаты геоэкологических исследований Земли Франца-Иосифа и прилегающего шельфа // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 120–135.
4. Матишов Д. Г., Матишов Г. Г. Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2001. 417 с.
5. Радионуклиды в экосистеме региона Баренцева и Карского морей / Г. Г. Матишов, Д. Г. Матишов, Е. Щипа, К. Риссанен. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 235 с.
6. Радиоэкологическое состояние среды морских экосистем Арктики в условиях современного природопользования / Г. В. Ильин, И. С. Усягина, Н. Е. Касаткина, Д. А. Валуйская // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2020. Т. 4, № 11. Сер. Океанология. Вып. 7. С. 260–275. DOI: 10.37614/2307-5252.2020.11.4
7. Распределение радионуклидов в ледовой прикромочной зоне Баренцева моря (по материалам экспедиции 2016 года) / Г. В. Ильин, И. С. Усягина, Н. Е. Касаткина, Д. А. Валуйская, А. А. Дерябин // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2017. Т. 2, № 8. Сер. Океанология. Вып. 4. С. 101–111.

8. *Тенденции перераспределения техногенной радиоактивности в Баренцевом море в конце XX–начале XXI веков* / И. С. Усягина, Н. Е. Касаткина, Г. В. Ильин, Д. А. Валуйская // *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018: Сб. статей по матер. Междунар. науч.-практ. конф. (Севастополь, 24–27 сентября 2018 г.)*. Севастополь: Изд-во Сев. гос. ун-та, 2018. С. 1191–1196.
9. *Усягина И. С., Касаткина Н. Е., Ильин Г. В.* Техногенные радионуклиды в морской среде и элементах наземной экосистемы архипелага Земля Франца-Иосифа // *Тр. Кольского науч. центра РАН*. 2014. Т. 4, № 23. Сер. Океанология. Вып. 2. С. 102–112.

References

1. Matishov G. G., Matishov D. G., Kasatkina N. E., Solatie D., Leppanen A. Estestvennoe snizhenie urovnya isskustvennykh radionuklidov v Barentsevom more [Natural decrease of the intensity level of artificial radioactive isotopes in the Barents Sea]. *Doklady RAN* [Doklady Earth Sciences], 2009, Vol. 427, No. 4, pp. 539–544. (In Russ.).
2. Kulikov I. V. Predvaritel'naya otsenka sostoyaniya prirodnoy sredy arkhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa po rezul'tatam aviadesantnykh работ pri geologicheskoy s'emke masshtaba 1:1000000 v avguste–sentyabre 2000 g. [Preliminary assessment of the state of the natural environment of the Franz Josef Land archipelago based on the results of airborne operations during a geological survey on a scale of 1:1000000 in August–September 2000]. *Zemlya Frantsa-Iosifa* [Franz Josef Land]. Arkhangelsk, Federal State Institution «TFI for the Arkhangelsk Region», 2004, pp. 77–79 (In Russ.).
3. Makar'eva E. M., Pogorel'sky A. I., Sakharova K. A. Rezul'taty geoeologicheskikh issledovaniy Zemlya Frantsa-Iosifa i prilegayushchego shel'fa [The results of geoeological investigation of Franz Josef Land archipelago and surrounding shelf]. *Kompleksnyye issledovaniya prirody Shpitsbergena, vypusk 6* [Complex investigations of Spitsbergen nature, iss. 6]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2006, pp. 120–135 (In Russ.).
4. Matishov D. G., Matishov G. G. *Radiatsionnaya ekologicheskaya okeanologiya* [Radiational ecological oceanology]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2001, 417 p. (In Russ.).
5. Matishov G. G., Matishov D. G., Shchiba E., Rissanen K. *Radionuklidy v ekosisteme regiona Barentseva i Karskogo morey* [Radionuclides in the Ecosystem of the Barents and Kara Seas Region]. Apatity, Publ. KSC RAS, 1994, 235 p. (In Russ.).
6. Il'in G. V., Usyagina I. S., Kasatkina N. E., Valuyskaya D. A. Radioekologicheskoe sostoyanie sredy morskikh ekosistem Arktiki v usloviyakh sovremennogo prirodogopol'zovaniya [Radioecological status of arctic marine ecosystems and current ocean and coastal management]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Okeanologiya, vypusk 7* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 7], 2020, Vol. 4, No. 11, pp. 260–275 (In Russ.).
7. Il'in G. V., Usyagina I. S., Kasatkina N. E., Valuyskaya D. A., Deryabin A. A. Raspredelenie radionuklidov v ledovoy prikromochnoy zone Barentseva morya (po materialam ekspeditsii 2016 goda) [Distribution of radionuclides in the marginal ice zone of the Barents Sea (results of a cruise in 2016)]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Okeanologiya, vypusk 4* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 4], 2017, Vol. 2, No. 8, pp. 101–111 (In Russ.).
8. Usyagina I. S., Kasatkina N. E., Il'in G. V., Valuyskaya D. A. Tendentsii pereraspredeleniya tekhnogennoy radioaktivnosti v Barentsevom more v kontse XX–nachale XXI vekov [Trends of technogenic radioactivity redistribution in the Barents Sea in the end of the XX–beginning of the XXI century]. *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' – 2018: Sbornik statey po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Environmental, industrial and energy safety – 2018: Collection of articles based on materials from the international scientific and practical conference]. Sevastopol, Publ. Sevastopol State University, 2018, pp. 1191–1196 (In Russ.).
9. Usyagina I. S., Kasatkina N. E., Il'in G. V. Tekhnogennyye radionuklidy v morskoy srede i elementakh nazemnoy ekosistemy arkhipelaga Zemlya Frantsa-Iosifa [Artificial radionuclides in the marine environment and elements of terrestrial ecosystem of the Franz Josef Land archipelago]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Okeanologiya, vypusk 2* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 2], 2014, Vol. 4, No. 23, pp. 102–112 (In Russ.).

Информация об авторах

Наталья Сергеевна Иванова – стажер-исследователь

Геннадий Васильевич Ильин – кандидат географических наук, главный научный сотрудник,
<https://orcid.org/0000-0002-5707-9114>

Information about the authors

Natalia S. Ivanova – Trainee Researcher

Gennady V. Ilyin – PhD (Geography), Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-5707-9114>

Статья поступила в редакцию 26.04.2024; одобрена после рецензирования 14.05.2024; принята к публикации 16.05.2024.
The article was submitted 26.04.2024; approved after reviewing 14.05.2024; accepted for publication 16.05.2024.

Научная статья
УДК 598.412.1 (268.46):591.53
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.008

ОСОБЕННОСТИ ТРОФИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ОБЫКНОВЕННОЙ ГАГИ *SOMATERIA MOLLISSIMA* В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОШИРОТНЫХ АРХИПЕЛАГОВ ШПИЦБЕРГЕН И ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА

**Юрий Владимирович Краснов¹, Галина Андреевна Шкляревич²,
Алексей Викторович Ежов¹, Мария Владиславовна Гаврило³**

¹Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
kharlov51@mail.ru, mr.haliaeetus51@mail.ru

²Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

³Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Состав кормов обыкновенной гаги *Somateria mollissima* с Западного Шпицбергена и Земли Франца-Иосифа представлен на основании данных копрологического анализа. Выявлено его меньшее разнообразие во втором районе. Основу корма составили моллюски и ракообразные, но значение последних на Земле Франца-Иосифа выше. Обсуждается влияние потепления на состав корма. Допускается, что характер кормовой базы является фактором, лимитирующим численность популяций гаг.

Ключевые слова:

обыкновенная гага, питание, Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, моллюски, ракообразные

Original article

FEATURES OF TROPIC RELATIONSHIPS OF THE COMMON EIDER *SOMATERIA MOLLISSIMA* AT HIGH-LATITUDE ARCHIPELAGOES OF SPITSBERGEN AND FRANZ JOSEF LAND

Yury V. Krasnov¹, Galina A. Shklyarevich², Alexey V. Ezhov¹, Maria V. Gavrilov³

¹Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
kharlov51@mail.ru, mr.haliaeetus51@mail.ru

²Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

³Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Abstract

Based on scatological analysis, data on food composition of the common eider *Somateria mollissima* in Western Spitsbergen and Franz Josef Land were obtained. It was revealed that in the latter, food diversity is smaller. The basis of the food were mollusks and crustaceans, at the same time, the importance of the latter on Franz Josef Land is higher. The impact of warming on food composition was further discussed. It is assumed that the nature of the food supply is a factor limiting the number of eider populations.

Keywords:

common eider, diet, Spitsbergen, Franz Josef Land, mollusks, crustaceans

Введение

В пределах большей части баренцевоморского ареала обыкновенной гаги *Somateria mollissima* основу ее питания составляют моллюски (Белопольский, 1971; Шкляревич, Шкляревич, 1982). Часть исследователей, исходя из имевшихся в их распоряжении материалов, указывают, что в южной части Баренцева моря и Белом море ведущую роль в питании гаги играет мидия *Mytilus edulis*. Этот феномен они объясняют относительно легкой доступностью для уток мидий и их огромной продуктивностью, которая по сравнению с другими гидробионтами бывает выше на порядки (Питание ..., 1979; Луканин, Ошурков, 1984; Bustnts, Tertitsky, 2000).

Наши более поздние и подробные исследования в разных районах Белого моря продемонстрировали, что значение этого вида моллюсков как кормового объекта гаг варьирует в широких пределах, а в отдельных случаях мидии отсутствуют в пище (Краснов и др., 2009). В Баренцевом море мидии широко представлены во всех сериях копрологических проб, полученных

в южной части бассейна, от западных районов Мурмана до о. Вайгач. Но их роль, в сравнении с другими объектами питания, невелика. В зависимости от конкретного района кормежки в составе пищи преобладали другие виды двусторчатых моллюсков, усиливалась роль брюхоногих моллюсков, ракообразных или иглокожих. В этой связи роль мидий в питании обыкновенной гаги в указанных районах признана нами преувеличенной.

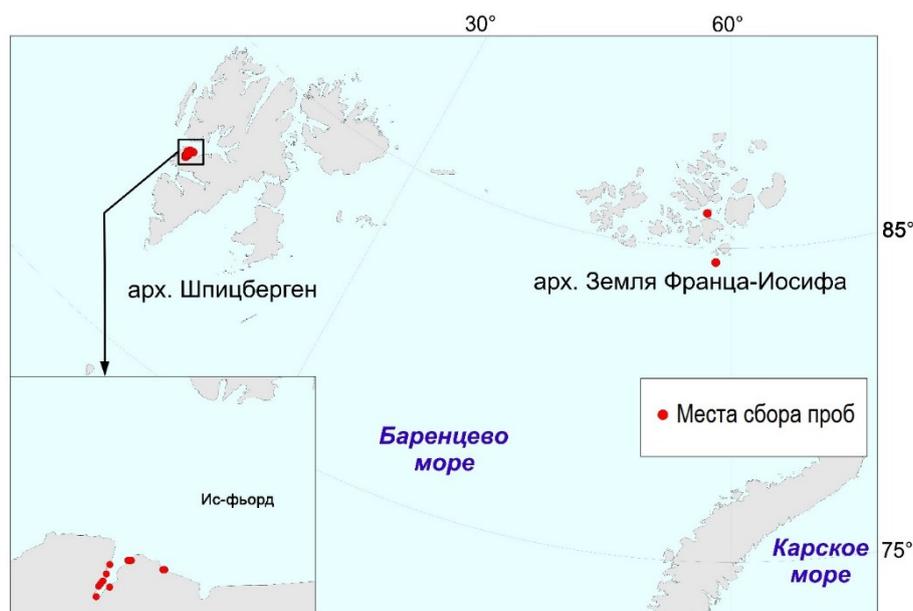
Результаты анализа наших материалов свидетельствуют о чрезвычайно высокой вариабельности питания обыкновенных гаг, даже если ограничиться пределами только одного какого-либо конкретного района. Еще в большей степени географическая изменчивость питания обыкновенных гаг заметна при сборе проб в удаленных друг от друга районах моря или при сравнении проб, полученных в Белом море и южных районах Баренцева моря (О трофических ..., 2008; Food ..., 2010). В связи с этим особый интерес представляет изучение кормовых спектров питания обыкновенной гаги в прибрежных водах высокоширотных архипелагов Шпицберген (Гренландское море) и Земля Франца-Иосифа (Баренцево море). Западное побережье Шпицбергена находится под влиянием атлантических водных масс, температура которых с начала 2000-х гг. повышается (Ocean ..., 2005). Следовательно, трофическая база морских птиц может подвергаться соответствующим изменениям. Напротив, Земля Франца-Иосифа расположена в зоне действия арктических водных масс, где условия обитания морских уток более суровые и относительно стабильные. В то же время о кормах и трофических связях обыкновенной гаги, типичного вида морских уток для этих районов, известно очень немного. Главная цель настоящего исследования – выявить особенности питания обыкновенной гаги в критических условиях арктических архипелагов на примере Западного Шпицбергена и южной части Земли Франца-Иосифа.

Материал и методы

Большинство исследований кормовых спектров обыкновенной гаги основаны на результатах анализов содержимого пищеводов и желудков вскрытых птиц (Белопольский, 1971; О суточной ..., 1975; The diet ..., 2007). При всей своей традиционности такой способ изучения питания со временем в большинстве случаев оказался неприемлем в связи с повсеместными ограничениями и прямыми запретами на добычу птиц, а также организацией резерватов во многих районах морей. Однако существует еще один способ изучения трофических связей гаг – копрологический анализ (Татаринкова и др., 1979; Шкляревич, Шкляревич, 1982; Краснов и др., 2007). Анализ проб экскрементов – гуманный способ исследования морских уток, позволяющий достаточно полно охарактеризовать различные аспекты их питания и трофические связи в районе исследований. Сравнение результатов исследований содержимого желудков и копрологического проб, полученных в одном и том же районе кормления обыкновенных гаг, продемонстрировало предпочтительность второго метода, поскольку данные копрологического анализа полнее отражают разнообразие, соотношение видов и групп кормов между собой (Шкляревич, Шкляревич, 1982).

Изучение состава кормов обыкновенной гаги на арктических архипелагах Шпицберген и Земля Франца-Иосифа было проведено нами методом копрологического анализа. Пробы экскрементов получены в местах отдыха птиц в 2004–2011 гг. на Земле Норденшельда (о. Западный Шпицберген) в районе залива Ис-фьорд (Isfjorden), наиболее крупного на архипелаге, главным образом, в его южном ответвлении Грён-фьорде (Grønfjorden). Всего нами исследован состав 222 копрологического проб, из которых 192 пробы были получены в различных районах Грён-фьорда и 30 проб в Холлендар-бухте (Hollendarbukta) Ис-фьорда (рисунок). На архипелаге Земля Франца-Иосифа 63 пробы экскрементов были собраны в августе 2007 г. на островах Хейса и Ламон.

Все пробы были тщательно высушены. В дальнейшем в лабораторных условиях каждую пробу в отдельной чашке Петри размачивали в морской воде, затем разбирали под биноклем при ув. 8×1 и 8×2. Трудно определяемые фрагменты при необходимости просматривали при большем увеличении. Частицы грунта и гастролиты в пищевые спектры не вносили, их наличие или отсутствие описывали отдельно. За гастролиты принимали более или менее окатанные каменистые фракции.



Карта-схема расположения мест сбора копрологических проб
Schematic map of the location of scatological sampling sites

Спектры питания птиц в различных районах архипелагов традиционно представлены нами в двух формах: абсолютной и относительной встречаемости. В первом случае за 100 % принимали число исследованных копрологических проб, во втором – общее число встреч с различными видами корма, обнаруженными при их анализе (Белопольский, 1957; Морские ..., 1995). Таким образом, показатель абсолютной встречаемости позволяет оценить, насколько широко обыкновенная гага использует конкретный вид корма в районе исследований, а показатель относительной встречаемости – роль (значение) данного корма в ее питании.

Результаты

Результаты анализа копрологических проб обыкновенных гаг в исследованных районах архипелагов представлены в таблицах 1–3. Из них следует, что в Ис-фьорде и Грён-фьорде на Шпицбергене основу питания этого вида морских уток составляют моллюски, относительная встречаемость которых свыше 66 %. Причем очевидно явное преимущество двустворчатых над брюхоногими моллюсками – 36.6 % против 23.1 % (табл. 1). Среди брюхоногих наиболее высокая встречаемость было отмечена у моллюсков родов *Margarites* и *Buccinum* (табл. 2). Из двустворчатых моллюсков наибольшее значение имели *Macoma calcarea*, *Mya truncata* и виды рода *Astarte* (табл. 2). А вот мидия *Mytilus edulis* встречена единственный раз в одной из проб, собранных в устье р. Конгресс (Грён-фьорд). Панцирные моллюски рода *Tonicella* (класс Polyplacophora) были обнаружены более чем в 23 % проб, но их значение в питании гаг невелико (относительная встречаемость 6.6 %).

Второй по значимости группой кормов гаг в этих районах Шпицбергена оказались ракообразные (Arthropoda, Crustacea). В некоторых районах, например на мысах Стемме (Stemmeset) и Коккеринесет (Kokerineset), ракообразные были зарегистрированы, соответственно, в 70.0 и 83.3 % проб при относительной встречаемости 21 и 45.5 %. Наиболее значимыми объектами питания из этой группы оказались крабы рода *Hyas* (в 35.6 % всех проб при относительной встречаемости 10 %).

А вот роль иглокожих как компонентов питания этих морских уток невелика. Относительная встречаемость иглокожих во всех исследованных пробах составила 8 %. В подавляющем большинстве среди них отмечены фрагменты морских ежей *Strongylocentrotus droebachiensis*. Однако в некоторых исследованных районах [например, в устье р. Брүдебеккен (Brydebekken)] они были обнаружены,

соответственно, в 86.7 и 100 % просмотренных проб при относительной встречаемости этой группы кормов 22.8 и 42.3 %.

Таблица 1
Состав кормов обыкновенной гаги на Западном Шпицбергене (Гренландское море, лето)
Table 1
Food composition of the common eider, West Spitsbergen (Greenland Sea, summer)

Объект питания	Количество встреч	Встречаемость, %	
		абсолютная	относительная
Cnidaria			
Hydrozoa			
Hydrozoa*	1	0.45	0.13
Annelida			
Polychaeta			
<i>Nereis zonata</i>	1	0.45	0.13
Polychaeta*	14	6.31	1.78
Mollusca			
Polyplacophora			
<i>Tonicella</i> sp.	52	23.42	6.61
Gastropoda			
<i>Admete</i> sp.	1	0.45	0.13
<i>Buccinum scalariforme</i>	2	0.90	0.25
<i>Buccinum</i> sp.	38	17.12	4.83
<i>Cryptonatica affinis</i>	2	0.90	0.25
<i>Lacuna vincta</i>	1	0.45	0.13
<i>Littorina</i> sp.	3	1.35	0.38
<i>Margarites groenlandicus</i>	9	4.05	1.14
<i>Margarites olivaceus</i>	1	0.45	0.13
<i>Margarites</i> sp.	20	9.01	2.54
<i>Oenopota</i> sp.	5	2.25	0.64
Gastropoda*	100	45.05	12.71
Bivalvia			
<i>Astarte</i> sp.	20	9.01	2.54
<i>Chlamys islandica</i>	8	3.60	1.02
<i>Ciliatocardium ciliatum</i>	14	6.31	1.78
<i>Hiatella arctica</i>	8	3.60	1.02
<i>Liocyma fluctuosa</i>	1	0.45	0.13
<i>Lyonsia arenosa</i>	2	0.90	0.25
<i>Macoma calcarea</i>	58	26.13	7.37
<i>Modiolus modiolus</i>	1	0.45	0.13
<i>Musculus</i> sp.	4	1.80	0.51
<i>Mya truncata</i>	37	16.67	4.70
<i>Mytilus edulis</i>	1	0.45	0.13
<i>Serripes groenlandicus</i>	4	1.80	0.51
<i>Thyasira</i> sp.	2	0.90	0.25
<i>Tridonta elliptica</i>	2	0.90	0.25
<i>Tridonta montagui</i>	2	0.90	0.25
Bivalvia*	124	55.86	15.76
Arthropoda			
Crustacea			
Malacostraca			
<i>Balanus</i> sp.	6	2.70	0.76
<i>Hyas</i> sp.	79	35.59	10.00

Окончание табл. 1

Объект питания	Количество встреч	Встречаемость, %	
		абсолютная	относительная
<i>Hyperia</i> sp.	1	0.45	0.13
<i>Hyperia galba</i>	1	0.45	0.13
<i>Onisimus</i> sp.	4	1.80	0.13
<i>Onisimus litoralis</i>	1	0.45	0.13
<i>Saduria sabini</i>	3	1.35	0.38
Amphipoda*	29	13.6	3.68
Decapoda*	5	2.25	0.64
Isopoda*	4	1.80	0.51
Pandalidae*	1	0.45	0.13
Crustacea*	11	4.95	1.40
Echinodermata			
Echinoidea			
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	62	27.93	7.88
Ophiuroidea			
Ophiuroidea*	1	0.45	0.13
Pisces			
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	7	3.15	0.89
Pisces*	1	0.45	0.13
Algae			
Phaeophyceae			
<i>Fucus</i> sp.	8	3.60	1.02
Phaeophyceae*	3	1.35	0.38
Phaeophyta, фрагменты*	5	2.25	0.64
Rhodophyta			
<i>Chaetopterus plumosa</i>	4	1.80	0.51
<i>Desmarestia</i> sp.	5	2.25	0.64
<i>Halosaccion</i> sp.	1	0.45	0.13
<i>Lithothamnion</i> sp.	1	0.45	0.13
<i>Phyllophora</i> sp.	2	0.90	0.25
<i>Ptilota</i> sp.	2	0.90	0.25
Rhodophyta*	2	0.90	0.25

*Здесь и в табл. 2: видовая идентификация не выполнена.

Таблица 2

Состав кормов обыкновенной гаги на Земле Франца-Иосифа (Баренцево море, лето)

Table 2

Food composition of the common eider, Franz Jozef Land (Barents Sea, summer)

Объект питания	Количество встреч	Встречаемость, %	
		абсолютная	относительная
Annelida			
Polychaeta			
Polychaeta*	4	6.35	2.99
Mollusca			
Polyplacophora			
<i>Tonicella</i> sp.	2	3.17	1.49
Gastropoda			
<i>Buccinum</i> sp.	6	9.52	4.48
<i>Margarites</i> sp.	4	6.35	2.99
Gastropoda*	6	9.52	4.48
Bivalvia			
<i>Astarte</i> sp.	4	6.35	2.99

Окончание табл. 2

Объект питания	Количество встреч	Встречаемость, %	
		абсолютная	относительная
<i>Ennucula tenuis</i>	8	12.70	5.97
<i>Hiatella arctica</i>	5	7.94	3.73
<i>Macoma calcarea</i>	2	3.17	1.49
<i>Musculus</i> sp.	2	3.17	1.49
<i>Mya truncata</i>	15	23.81	11.19
Bivalvia*	8	12.70	5.97
Arthropoda			
Crustacea			
<i>Onisimus</i> sp.	18	28.57	13.43
<i>Onisimus glacialis</i>	4	6.35	2.99
<i>Onisimus plautus</i>	1	1.59	0.75
Amphipoda*	1	1.59	0.75
Isopoda*	1	1.59	0.75
Crustacea*	29	46.03	21.64
Echinodermata			
Echinoidea			
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	4	6.35	2.99
Pisces			
Рыба*	1	1.59	0.75
Algae			
Chlorophyta, фрагменты	3	4.76	2.24
Devaleraea sp.	1	1.59	0.75
Halosaccion sp.	1	1.59	0.75
Phaeophyceae, фрагменты	2	3.17	1.49
Rhodophyta, фрагменты	2	3.17	1.49

Таблица 3

Относительная встречаемость различных систематических групп в питании обыкновенной гаги в копрологических пробах на архипелагах Шпицберген и Земля Франца-Иосифа

Table 3

Relative occurrence of different systematic food grounds of the common eider in scatological samples on the archipelagos of Spitsbergen and Frantz Jozef Land

Объект питания	Шпицберген, n = 787		Земля Франца-Иосифа, n = 134	
	Количество встреч	Встречаемость, %	Количество встреч	Встречаемость, %
Cnidaria	1	0.13	–	–
Annelida	15	1.91	4	2.99
Mollusca	522	66.33	62	46.27
Gastropoda	182	23.12	16	11.90
Bivalvia	288	36.60	44	32.80
Arthropoda	145	18.42	54	40.30
Echinodermata	63	8.00	4	2.99
Pisces	8	1.02	1	0.75
Algae	33	4.19	9	6.70

Рыба в питании обыкновенных гаг на западе Шпицбергена сколько-нибудь серьезного значения не имела. Ее остатки были зарегистрированы лишь немногим более чем в 3 % проб. Большая часть из них была определена как кости трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus*.

На обследованных нами островах Земли Франца-Иосифа, исходя из содержимого копрологических проб, питание обыкновенной гаги состояло, в основном, из моллюсков и ракообразных. Причем, по сравнению с составом кормов на Шпицбергене, значительно ниже

относительная встречаемость моллюсков и больше роль ракообразных (табл. 3). Среди моллюсков, как и на Шпицбергене, на островах Хейса и Ламон преобладали двустворчатые моллюски. Относительная встречаемость брюхоногих моллюсков была более чем в 2 раза ниже. Среди последних наиболее обычными были виды родов *Margarites* и *Buccinum* (табл. 3). Из двустворчатых моллюсков с наибольшей частотой встречались *M. truncata* (23.8 %), *Ennucula tenuis* (11.1 %) и *Hiatella arctica* (7.9 %). В то же время в одной из серий, полученных на о. Ламон, *M. truncata* была зарегистрирована в 81.8 % проб (относительная встречаемость 25.7 %). Среди ракообразных в пище обыкновенных гаг чаще всего регистрировали представителей рода *Onisimus*, в том числе *O. glacialis*, *O. plautus*. Иглокожие (*S. droebachiensis*) в пище обыкновенных гаг на Земле Франца-Иосифа присутствовали, но их значение было невелико (таблицы 2, 3).

И хотя на мелководьях и вблизи льдов у Земли Франца-Иосифа обитает несколько видов рыб, доступных для поимки обыкновенными гагами, фрагменты рыбы были обнаружены нами лишь в одной пробе.

Обсуждение

В высокоширотных районах ареала обыкновенной гаги на западном побережье архипелага Шпицберген (Гренландское море) и на архипелаге Земля Франца-Иосифа (Баренцево море) составы кормов демонстрируют значительную степень сходства, но в последнем случае они менее разнообразны. В обоих высокоширотных районах основу питания обыкновенных гаг составляют две систематические группы морских беспозвоночных организмов – моллюски и ракообразные. При этом совершенно очевидно, что в западных районах Шпицбергена (в зоне влияния атлантических водных масс) моллюски преобладают над другими объектами питания, а в более суровых условиях Земли Франца-Иосифа они имеют лишь незначительное преимущество при сравнении с ракообразными. Из брюхоногих моллюсков наиболее частыми объектами добычи гаг в обоих районах являлись представители родов *Margarites* и *Buccinum*, но на Земле Франца-Иосифа они встречались реже в 2 раза (таблицы 1, 2). В литературных источниках представители данных систематических групп при анализе содержимого желудков отмечены в питании взрослых обыкновенных гаг на Шпицбергене (Lydersen et al., 1989) и у птенцов и взрослых птиц на Земле Франца-Иосифа (Weskawski et al., 1994; Galaktionov et al., 2021).

Из наших материалов следует, что среди двустворчатых моллюсков в питании гаг в западных районах Шпицбергена наиболее часто встречались *M. calcarea* и *M. truncata*, но в прибрежных водах Земли Франца-Иосифа первого моллюска регистрировали значительно реже, а второго, напротив, чаще. Из литературных сведений известно о регистрации в желудках вскрытых гаг на Шпицбергене двустворчатых моллюсков *H. arctica* и *M. truncata* (Lydersen et al., 1989; Lipids ..., 2003), но на Земле Франца-Иосифа в содержимом желудков 5 птенцов и 11 вскрытых взрослых птиц *M. truncata* не зарегистрированы (Weskawski et al., 1994; Galaktionov et al., 2021). Как было отмечено выше, мидия была обнаружена нами единственный раз в августе 2006 г. в устье р. Конгресс (Kongresselva) в Грён-фьорде на западном побережье Шпицбергена. Первое ее небольшое поселение было найдено в устье Ис-фьорда в 2004 г. (Osean ..., 2005), исследователи полагают, что появление мидий у западного побережья Шпицбергена объясняется массовым переносом их личинок теплым атлантическим течением и соответствующим повышением температуры прибрежных вод. Согласно литературным данным, мидия достаточно обычна в питании обыкновенных гаг у западного побережья Южного острова архипелага Новая Земля (Белопольский, 1957). Но на Земле Франца-Иосифа данный вид не отмечен. Если исходить из того, что морские птицы (включая обыкновенную гагу) являются чувкими индикаторами изменения морских экосистем, то, вероятно, Ис-фьорд, в том числе Грён-фьорд (Шпицберген) и Южный остров Новой Земли являются северной границей распространения этого двустворчатого моллюска.

Из полученных нами материалов следует, что в обоих высокоширотных районах в питании гаг значимую роль играют ракообразные (табл. 3). Но в западных районах Шпицбергена наиболее часто мы встречали краба рода *Hyas*, а в пробах с Земли Франца-Иосифа – представителей рода *Onisimus*

(таблицы 1, 2). По литературным данным, на Шпицбергене в районе залива Хорнсунн (Hornsund) в желудках обыкновенных гаг самыми распространенными объектами, наряду с двусторчатыми моллюсками, были крабы *H. araneus* и амфиподы *Gammarellus homari* (Lydersen et al., 1989). Аналогичные результаты получены и на Земле Франца-Иосифа (Galaktionov, 2021). Амфиподы (*G. homari*, *Gammarus setosus*, *Weyprechtia pinguis*, *Onisimus* sp.) были второй по значимости группой объектов питания обыкновенных гаг (Weslawki et al., 1994). В нашем случае на Земле Франца-Иосифа амфиподы также были важнейшей составляющей питания гаг (табл. 2).

Среди представителей иглокожих наиболее массовым объектом питания гаг в обоих районах являются морские ежи *S. droebachiensis* и *S. pallidus*. Но их встречаемость в пробах с Земли Франца-Иосифа в разы ниже, чем на западном побережье Шпицбергена. Тем не менее, морские ежи зафиксированы и в небольшой серии вскрытых желудков гаг (Galaktionov et al., 2021).

Рыба в питании гаг также характерна для обоих районов, но в районе Грэн-фьорда в 3 % проб были обнаружены кости трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* [август 2006 г. – устье реки Конгресс; июнь 2011 г. – ледовая кромка припая в районе мыса Сандефьорден (Sandefjordenset)]. На первый взгляд, наличие данного вида в пище гаг в водах Западного Шпицбергена удивительно, но в 2001–2006 гг. в этом регионе (включая Ис-фьорд) были отмечены нередкие встречи трехиглых колюшек (Svenning et al., 2015). Авторы данной статьи связывают широкое северное распространение этого вида с повышением температуры морских вод у западного побережья Шпицбергена. Такая ситуация в очередной раз подтверждает значение обыкновенных гаг как прекрасных индикаторов природных изменений в морских экосистемах. В то же время на Земле Франца-Иосифа в желудках и пищеводах обыкновенных гаг были обнаружены обычная для этих вод сайка *Boreogadus saida* и представители семейства Lumpenidae (Galaktionov et al., 2021). Очевидно, что значение рыбы в питании гаг на обоих арктических архипелагах невелико. Это подтверждают и материалы со Шпицбергена и Гренландии (Lydersen et al., 1989; The diet ..., 2007). Основываясь на вскрытых желудках обыкновенных гаг ($n = 100$) в южной части Баренцева моря (побережье Мурман), Л. О. Белопольский (1957) утверждал, что рыба в питании обыкновенных гаг редкий и случайный корм. Тем не менее, в дальнейшем было установлено, что в некоторых случаях она может играть в питании обыкновенных гаг существенную роль (Шкляревич, 1979; Bustnes, Erikstad, 1988; наши данные).

По результатам анализа копрологических проб питание обыкновенной гаги в южной части Баренцева моря – у побережья Мурман (Шкляревич, Шкляревич, 1982), по сравнению с высокоширотными районами (Земля Франца-Иосифа), характеризуется высоким разнообразием объектов питания. У берегов Мурман пищевой спектр состоит не только из моллюсков и ракообразных, но также из кишечнорастворимых, иглокожих и водорослей. Их абсолютная встречаемость в пробах варьировала от 71 до 96 %. В весенний период в районе архипелага Семь Островов (Восточный Мурман) в копрологических пробах были найдены фрагменты 57 видов беспозвоночных животных, причем 27 из которых играли заметную роль в питании обыкновенных гаг (Шкляревич, Шкляревич, 1982).

Обыкновенная гага является обычным видом морских уток на мелководьях указанных архипелагов. Величина гнездящихся группировок на западном и восточном побережьях Шпицбергена оценивается в 12000–17000 и 1500–3500 пар соответственно (Prestrud, Mehlum, 1991). На Земле Франца-Иосифа, исходя из экспертной оценки, обитает до 2000–3000 пар (Краснов и др., 2015). Однако в юго-западной части Баренцева моря собираются на зимовку гаги как местной мурманской популяции, так и из других частей Баренцева моря, в том числе из района Шпицбергена (Бустнес, Тертицкий, 2003). Общая численность этого вида в период зимовки достигает у норвежских и российских берегов Баренцева моря до 100000 особей (Краснов и др., 2015). Понятно, что это было бы невозможно без наличия в этих районах богатой и доступной для такого количества птиц кормовой базы.

Выводы

Таким образом, если сравнивать пищевые спектры гаг из высокоширотных районов (наши данные) и южной части Баренцева моря (Шкляревич, Шкляревич, 1982), полученные в обоих случаях методом копрологического анализа, хорошо заметно, что в первом случае спектр более узок и изменчив. В условиях высокоширотной Арктики при снижении доступности видового разнообразия моллюсков птицы способны заменять их массовыми формами ракообразных. В каждой конкретной ситуации гага выбирает наиболее массовый и соразмерный объект из доступных для нее видов пищи. И хотя кормовое поведение обыкновенных гаг характеризуется известной пластичностью, позволяя им эффективно добывать массовые формы бентосных организмов и подвижные объекты – рыб, в высоких широтах Баренцева моря численность локальных популяций этого вида морских уток невелика. Вполне возможно, что одним из существенных факторов, лимитирующих численность обыкновенных гаг арктических архипелагов, являются объемы и структура доступной для них кормовой базы.

Авторы выражают искреннюю признательность Н. Ю. Иваненко за неоценимую помощь в сборе полевых материалов, а также сотрудникам лаборатории зообентоса ММБИ РАН к.б.н. О. В. Смольковой и О. Л. Зиминной за помощь при обработке полученных данных.

Работа выполнена по теме «Экология, физиология и паразитология птиц Арктического бассейна в условиях климатических и антропогенных трансформаций среды обитания» (№ государственной регистрации 124013000721-1) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Белопольский Л. О. Экология морских колониальных птиц Баренцева моря. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. 460 с.
2. Белопольский Л. О. Состав кормов морских птиц Баренцева моря // Учен. зап. Калнинград. гос. ун-та. 1971. Вып. 6. С. 41–67.
3. Бустнес Я. У., Тертицкий Г. М. Обыкновенная гага *Somateria mollissima* // Состояние популяций морских птиц, гнездящихся в регионе Баренцева моря. Отчет № 113-Б. Тромсё, Норвегия: Норвежский полярный ин-т. 2003. С. 46–50.
4. Краснов Ю. В., Шкляревич Г. А., Горяев Ю. И. Географическая изменчивость питания обыкновенной гаги *Somateria mollissima* на Белом море // Экологические исследования беломорских организмов: Матер. 2-й Междунар. конф. (18–22 июля 2007 г., мыс Картеш). СПб.: Изд. Зоол. ин-та РАН, 2007. С. 78–79.
5. Краснов Ю. В., Шкляревич Г. А., Горяев Ю. И. Характер и особенности питания обыкновенной гаги *Somateria mollissima* в Белом море // Докл. РАН. 2009. Т. 427, № 2. С. 282–285.
6. Краснов Ю. В., Гаврило М. В., Шавыкин А. А. Состояние, численность и организация мониторинга популяций обыкновенной гаги (*Somateria mollissima*) в Баренцевом и Белом морях // Зоол. журн. 2015. Т. 94, № 1. С. 62–67.
7. Луканин В. В., Ошурков В. В. О связи запасов и распределения мидий с численностью и распределением гаги в Кандалакшском заливе Белого моря // Проблемы охраны природы в бассейне Белого моря. Мурманск: Кн. изд-во, 1984. С. 107–113.
8. Морские колониальные птицы Мурманска / Ю. В. Краснов, Г. Г. Матишов, К. В. Галактионов, Т. Н. Савинова. СПб.: Наука, 1995. 226 с.
9. О суточной потребности в пище некоторых морских птиц Севера / В. В. Бианки, В. Н. Карпович, Н. И. Пилипас, И. П. Татаринкова // Тр. Кандалакш. заповедника. 1975. Вып. 9. С. 100–128.
10. О трофических связях обыкновенной гаги (*Somateria mollissima*) в Баренцевоморском регионе / Ю. В. Краснов, Г. А. Шкляревич, Н. Г. Николаева, Ю. И. Горяев // Материалы научной конференции, посвященной 70-летию Беломорской биологической станции МГУ. М.: Изд-во «Гриф и К», 2008. С. 309–313.
11. Питание обыкновенной гаги Белого моря / В. В. Бианки, Н. С. Бойко, Е. А. Нинбург, Г. А. Шкляревич // Экология и морфология гаг в СССР. М.: Наука, 1979. С. 126–170.

12. Татаринкова И. П., Горлач М. В., Письменная Т. И. О весеннем питании гаги на Айновых островах // Экология и морфология гаг в СССР. М.: Наука, 1979. С. 171–178.
13. Шкляревич Ф. Н. Зимовки обыкновенной гаги на Белом море // Экология и морфология гаг в СССР. М.: Наука, 1979. С. 61–67.
14. Шкляревич Ф. Н., Шкляревич Г. А. О весеннем питании обыкновенной гаги на Семи Островах (Восточный Мурман) // Экология и морфология птиц на крайнем северо-западе СССР. М: ЦНИЛ охот. хоз-ва и заповедников РСФСР, 1982. С. 56–65.
15. Bustnes J. O., Erikstad K. E. The diets of sympatric wintering populations of common eider *Somateria mollissima* and king eider *S. spectabilis* in Northern Norway // *Ornis Fennica*. 1988. Vol. 65. P. 163–168.
16. Bustnes J. O., Tertitsky G. M. The common eider // The status of marine birds breeding in the Barents Sea region. Norsk Polarinstitutt Rapportserie. 2000. Vol. 113. P. 46–47.
17. Food composition and feeding habits of common eider (*Somateria mollissima*) in the Barents and White seas / N. G. Nikolaeva, Yu. V. Krasnov, G. A. Shklyarevich, M. V. Gavrilov // 1st World Seabird Conference. 2010. Poster session 2. Abstracts. P. 41.
18. Galaktionov K. V., Węślawski J. M., Stempniewicz L. Food chain, parasites and climate changes in the high Arctic: a case study on trophically transmitted parasites of common eider *Somateria mollissima* at Franz Josef Land // *Polar Biol*. 2021. Vol. 44. P. 1321–1342. URL: <https://doi.org/10.1007/s00300-021-02881-w>
19. Lipids and stable isotopes in common eider, blacklegged kittiwake and northern fulmar: a trophic study from an Arctic fjord / T. M. Dahl, S. Falk-Petersen, G. W. Gabrielsen, J. R. Sargent, H. Hop, R. M. Millar // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2003. Vol. 256. P. 257–269. URL: <https://doi.org/10.3354/meps256257>
20. Lydersen C., Giertz I., Węślawski J. M. Stomach contents of autumn-feeding marine vertebrates from Hornsund, Svalbard // *Polar Record*. 1989. Vol. 25(153). P. 107–114. URL: <https://doi.org/10.1017/S0032247400010408>
21. Ocean temperature oscillations enable reappearance of blue mussels *Mytilus edulis* in Svalbard after a 1000 year absence / J. Berge, G. Johnsen, F. Nilsen, B. Gulliksen, D. Slagstad // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2005. Vol. 303. P.167–175.
22. Prestrud P., Mehlum F. Population size and summer distribution of the common eider *Somateria mollissima* in Svalbard 1981–1985 // *Norsk Polarinstitutt Skrifter*. 1991. Vol. 195. P. 9–20.
23. Svenning M.-A., Aas M., Borgstrøm R. First records of three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* in Svalbard freshwaters: An effect of climate change? // *Polar Biol*. 2015. Vol. 38. P. 1937–1940. URL: <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1752-6>
24. The diet of common eiders wintering in Nuuk, Southwest Greenland / F. R. Merkel, S. E. Jamieson, K. Falk, A. Mosbech // *Polar Biol*. 2007. Vol. 30. P. 227–234.
25. Węślawski J. M., Stempniewicz L., Galaktionov K. Summer diet of seabirds from the Franz Josef Land archipelago, Russian Arctic // *Polar Res*. 1994. Vol. 13(2). P. 173–181.

References

1. Belopol'skiy L. O. *Ekologiya morskikh kolonial'nykh ptits Barentseva morya* [Ecology of marine colonial birds of the Barents Sea]. Moscow, Leningrad, Publ. of Academy of Science USSR, 1957, 460 p. (In Russ.).
2. Belopol'skiy L. O. Sostav kormov morskikh ptits Barentseva morya [Composition of food for seabirds of the Barents Sea]. *Uchnye zapiski Kaliningradskogo gosudarstvennogo universiteta* [Scientific notes of Kaliningrad State University], 1971, iss. 6, pp. 41–67 (In Russ.).
3. Bustnes Ya. U., Tertitskiy G. M. Obyknovennaya gaga *Somateria mollissima* [Common eider *Somateria mollissima*]. *Sostoyanie populytsii morskikh ptits, gnezdyashhikh v regione Barentseva morya*. Onchet № 113-B [Status of seabird populations breeding in the Barents Sea region. Report No. 113-B]. Tromsø, Norway, Norway Polar Institute, 2003, pp. 46–50 (In Russ.).
4. Krasnov Yu. V., Shklyarevich G. A., Goryaev Yu. I. Geograficheskaya izmenchivost' pitaniya obyknovennoy gagi *Somateria mollissima* na Belom more [Geographical variability of feeding of the common eider *Somateria mollissima* on the White Sea]. *Ekologicheskie issledovaniya belomorskikh organizmov: Materialy Vtoroy Mezhdunarodnoy konferentsii (18–22 iyulya 2007 goda, mys Kartesh)*

- [Ecological studies of White Sea organisms: Proceedings of the 2nd International conference]. Saint Petersburg, Publ. Zoological institute RAS, 2007, pp. 78–79 (In Russ.).
5. Krasnov Yu. V., Shklyarevich G. A., Goryaev Yu. I. Kharakter i osobennosti pitaniya obyknovennoy gagi *Somateria mollissima* v Belom more [The nature and features of the diet of the common eider *Somateria mollissima* in the White Sea]. *Doklady Akademii Nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2009, Vol. 427, No. 2, pp. 282–285 (In Russ.).
 6. Krasnov Yu. V., Gavrilov M. V., Shavykin A. A. Sostoyanie, chislennost' i organizatsiya monitoringa populyatsiy obyknovennoy gagi (*Somateria mollissima*) v Barentsevom i Belom moryakh [Status, abundance and organization of monitoring of common eider (*Somateria mollissima*) populations in the Barents and White seas]. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological Journal], 2015, Vol. 94, No. 1, pp. 62–67 (In Russ.).
 7. Lukanin V. V., Oshurkov V. V. O svyazi zapasov i raspredeleniya midiy s chislennost'yu i raspredeleniem gagi v Kandalakshskom zalive Belogo morya [On the connection between the stocks and distribution of mussels and the abundance and distribution of eiders in the Kandalaksha Bay of the White Sea]. *Problemy okhrany prirody v bassejne Belogo morya* [Problems of nature conservation in the White Sea basin]. Murmansk, Book publ. house, 1984, pp. 107–113 (In Russ.).
 8. Krasnov Yu. V., Matishov G. G., Galaktionov K. V., Savinova T. N. *Morskie kolonial'nye ptitsy Murmana* [Colonial seabirds of Murman]. Saint Petersburg, Nauka, 1995, 226 p. (In Russ.).
 9. Bianki V. V., Karpovich V. N., Pilipas N. I., Tatarinkova I. P. O sutochnoy potrebnosti v pishche nekotorykh morskikh ptits Severa [About the daily food requirements of some seabirds of the North]. *Trudy Kandalakshskogo zapovednika* [Proceedings of the Kandalaksha Nature Reserve]. 1975, iss. 9, pp. 100–128 (In Russ.).
 10. Krasnov Yu. V., Shklyarevich G. A., Nikolaeva N. G., Goryaev Ju. I. O troficheskikh svyazyakh obyknovennoy gagi (*Somateria mollissima*) v Barentsevomorskom regione [On the trophic relationships of the common eider (*Somateria mollissima*) in the Barents Sea region]: *Materialy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 70-letiyu Belomorskoy biologicheskoy stantsii MGU* [Proceedings of the scientific conference dedicated to the 70th anniversary of the White Sea Biological Station of Moscow State University]. Moscow, Publ. «Grif i K», 2008, pp. 309–313 (In Russ.).
 11. Bianki V. V., Boyko N. S., Ninburg E. A., Shklyarevich G. A. Pitaniye obyknovennoy gagi Belogo morya [Feeding of the White Sea common eider]. *Ekologiya i morfologiya gag v SSSR* [Ecology and morphology of eiders in the USSR]. Moscow, Nauka, 1979, pp. 126–170 (In Russ.).
 12. Tatarinkova I. P., Gorchach M. V., Pis'mennaya T. I. O vesennem pitanii gagi na Aynovykh ostrovakh [About the spring feeding of eider on the Ainu Islands]. *Ekologiya i morfologiya gag v SSSR* [Ecology and morphology of eiders in the USSR]. Moscow, Nauka, 1979, pp. 171–178 (In Russ.).
 13. Shklyarevich F. N. Zimovki obyknovennoy gagi na Belom more [Wintering grounds of the common eider on the White Sea]. *Ekologiya i morfologiya gag v SSSR* [Ecology and morphology of eiders in the USSR]. Moscow, Nauka, 1979, pp. 61–67 (In Russ.).
 14. Shklyarevich F. N., Shklyarevich G. A. O vesennem pitanii obyknovennoy gagi na Semi Ostrovakh (Vostochnyy Murman) [About the spring feeding of the common eider on the Seven Islands (Eastern Murman)]. *Ekologiya i morfologiya ptits na kraynem severo-zapade SSSR* [Ecology and morphology of birds in the extreme north-west of the USSR]. Moscow, Publ. Central Scientific Research Laboratory of Hunting and Nature Reserves, 1982, pp. 56–65 (In Russ.).
 15. Bustnes J. O., Erikstad K. E. The diets of sympatric wintering populations of common eider *Somateria mollissima* and king eider *S. spectabilis* in Northern Norway. *Ornis Fennica*, 1988, Vol. 65, pp. 163–168.
 16. Bustnes J. O., Tertitsky G. M. The common eider. The status of marine birds breeding in the Barents Sea region. *Norsk Polarinstitutt Rapportserie*, 2000, Vol. 113, pp. 46–47.
 17. Nikolaeva N. G., Krasnov Yu. V., Shklyarevich G. A., Gavrilov M. V. Food composition and feeding habits of common eider (*Somateria mollissima*) in the Barents and White seas. 1st World Seabird Conference, 2010, Poster session 2, Abstracts, p. 41.
 18. Galaktionov K. V., Węśławski J. M., Stempniewicz L. Food chain, parasites and climate changes in the high Arctic: a case study on trophically transmitted parasites of common eider *Somateria mollissima* at

Franz Josef Land. *Polar Biol.*, 2021, Vol. 44, pp. 1321–1342. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00300-021-02881-w>

19. Dahl T. M., Falk-Petersen S., Gabrielsen G. W., Sargent J. R., Hop H., Millar R. M. Lipids and stable isotopes in common eider, blacklegged kittiwake and northern fulmar: a trophic study from an Arctic fjord. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2003, Vol. 256, pp. 257–269. Available at: <https://doi.org/10.3354/meps256257>
20. Lydersen C., Giertz I., Węśławski J. M. Stomach contents of autumn-feeding marine vertebrates from Hornsund, Svalbard. *Polar Record*, 1989, Vol. 25, No. 153, pp. 107–114. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0032247400010408>
21. Berge J., Johnsen G., Nilsen F., Gulliksen B., Slagstad D. Ocean temperature oscillations enable reappearance of blue mussels *Mytilus edulis* in Svalbard after a 1000 year absence. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2005, Vol. 303, pp. 167–175.
22. Prestrud P., Mehlum F. Population size and summer distribution of the common eider *Somateria mollissima* in Svalbard 1981–1985. *Norsk Polarinstitutt Skrifter*, 1991, Vol. 195, pp. 9–20.
23. Svenning M.-A., Aas M., Borgstrøm R. First records of three-spined stickleback *Gasterosteus aculeatus* in Svalbard freshwaters: An effect of climate change? *Polar Biol.*, 2015, Vol. 38, pp. 1937–1940. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1752-6>
24. Merkel F. R., Jamieson S. E., Falk K., Mosbech A. The diet of common eiders wintering in Nuuk, Southwest Greenland. *Polar Biol.*, 2007, Vol. 30, pp. 227–234.
25. Weslawski J. M., Stempniewicz L., Galaktionov K. Summer diet of seabirds from the Franz Josef Land archipelago, Russian Arctic. *Polar Res.*, 1994, Vol. 13, No. 2, pp. 173–181.

Информация об авторах

Юрий Владимирович Краснов – доктор биологических наук, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-7238-0618>

Галина Андреевна Шкляревич – доктор биологических наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-2275-0737>

Алексей Викторович Ежов – научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-6110-1153>

Мария Владиславовна Гаврило – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-3500-9617>

Information about the authors

Yury V. Krasnov – Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-7238-0618>

Galina A. Shklyarevich – Dr. Sci. (Biology), Professor, <https://orcid.org/0000-0003-2275-0737>

Alexey V. Ezhov – Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-6110-1153>

Maria V. Gavrilov – PhD (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-3500-9617>

Статья поступила в редакцию 14.05.2024; одобрена после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 21.05.2024.
The article was submitted 14.05.2024; approved after reviewing 15.05.2024; accepted for publication 21.05.2024.

Научная статья
УДК 597.08.591.9
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.009

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИБРЕЖНОЙ ИХТИОФАУНЫ ГУБ ВОСТОЧНОГО МУРМАНА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2021 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 2021 г., получены количественные характеристики распределения каждого вида рыб. Проанализирована пространственно-временная и межгодовая динамика обилия и разнообразия рыбной части прибрежных сообществ. Обнаружено 12 видов рыб, среди которых наиболее постоянным и многочисленным в прибрежной ихтиофауне была сайда. В сравнении с многолетними данными рыбные сообщества в 2021 г. характеризовались невысокими показателями видового богатства, плотности распределения, обилия тресковых видов и 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 2021

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 Yarnyshnaya and Zelenetskaya bays (Barents Sea) during summer 2021. Also quantitative characteristics of the distribution for each fish species are represented. The dynamics of abundance and diversity of coastal fish communities were analyzed. At whole was discovered 12 species of fish and most abundant between them is young saithe *Pollachius virens*. Comparing of perennial data with 2021 indicates that at the present observed average species composition, fish distribution density, abundance of young Gadidae and indicators of biodiversity in coastal communities.

Keywords:

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

Введение

Оценка долгосрочных изменений актуальна для управления и сохранения морской среды (McClenachan et al., 2012), особенно для прибрежных районов, которые находятся в зоне взаимодействия в системе суша–океан. Мониторинг состояния и целостности различных водных экосистем, основанный на изучении прибрежных сообществ рыб, уже проводится некоторыми странами на побережье Северного и Балтийского морей и в различных эстуариях Европы (Beyst et al., 2001; Pihl, Wennhage, 2002; Whitfield, Elliot, 2002; The structure ..., 2003; Lotze, Milewski, 2004; Transient ..., 2011; Changes ..., 2015).

В Баренцевом море изучение структуры прибрежной ихтиофауны было начато сотрудниками ММБИ РАН в летний сезон 2008 г. для получения исходной базовой информации о видовом составе, количественных показателях обилия и биоразнообразия рыбных сообществ, обитающих в литорально-сублиторальной зоне губ Ярнышная и Зеленецкая. С 2010 года эти исследования стандартизированы и проводятся ежегодно в летне-осенний период. Опубликованные результаты этих работ за отдельные периоды или годы (Ихтиофауна ..., 2014; Представители ..., 2015; Кудрявцева, 2015, 2019, 2022, 2023; Kudryavtseva, 2018) подчеркивают важность долгосрочных наблюдений для определения исходных

показателей здоровых экосистем и выявления тенденций изменчивости их структуры и биоразнообразия.

Мониторинг, который фокусируется на структуре сообщества рыб, в сочетании с последующими дополнениями необходим для получения базовых знаний об изменении этих сообществ, а также может быть использован для моделирования антропогенных воздействий и для определения местообитаний рыб, нуждающихся в защите.

Данная работа в рамках долгосрочного мониторинга состояния ихтиоценоза прибрежных экосистем ММБИ РАН показывает результаты ихтиологических исследований, выполненных в летний период 2021 г., цель которых состояла в оценке структуры и биоразнообразия прибрежных сообществ рыб в губах Ярнышная и Зеленецкая в сравнении с многолетними данными.

Материал и методы

Описание районов исследований и расположения стандартных ихтиологических станций изложены нами в более ранних публикациях (Kudryavtseva, 2018; Кудрявцева, 2019, 2022, 2023). Отбор ихтиологического материала, как и в предыдущие годы, проводили 15-метровой мальковой волокушей (ячейки дели в крыльях и горловине – 5 мм, в куту – 4 мм). Площадь одного облова волокушей варьировала на разных станциях в пределах 250–500 м². Волокуши выставляли во время сизигийных отливов в литорально-сублиторальной зоне на илисто-песчаных и песчаных грунтах. В губе Зеленецкая выполнено 8 ихтиологических тралений, в губе Ярнышная – 6 (табл. 1). На каждой станции определяли видовой состав уловов, подсчитывали число особей каждого вида и определяли их массу. Всего было исследовано 2266 рыб (табл. 2).

Таблица 1

Характеристика отбора ихтиологических проб в 2021 г.

Table 1

Areas and dates of ichthyological sampling in 2021

Район	Дата	Количество станций
Губа Ярнышная	12.07	3
	12.08	3
Губа Зеленецкая	14.07	4
	10.08	4

Таблица 2

Объем исследованного материала, экз.

Table 2

Volume of material studied, spec.

Вид	Губа Ярнышная	Губа Зеленецкая
Атлантическая треска <i>Gadus morhua</i> Linnaeus, 1758	28	67
Сайда <i>Pollachius virens</i> (Linnaeus, 1758)	456	1465
Трехиглая колюшка <i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758	1	–
Арктический шлемоносный бычок <i>Gymnocanthus tricuspis</i> (Reinhardt, 1830)	16	13
Европейский керчак <i>Muchocephalus scorpius</i> (Linnaeus, 1758)	70	19
Пинагор <i>Cyclopterus lumpus</i> Linnaeus, 1758	–	1
Люмпен Фабриция <i>Lumpenus fabricii</i> Reinhardt, 1836	1	–
Атлантический маслюк <i>Pholis gunnellus</i> (Linnaeus, 1758)	3	1
Европейская многопозвонковая песчанка <i>Ammodytes marinus</i> Raitt, 1934	2	6
Ершоватка <i>Limanda limanda</i> (Linnaeus, 1758)	1	–
Речная камбала <i>Platichthys flesus</i> (Linnaeus, 1758)	6	–
Морская камбала <i>Pleuronectes platessa</i> Linnaeus, 1758	51	59
Всего	635	1631

Номенклатура и зоогеографическая характеристика видов даны в соответствии с современными представлениями о систематике рыбообразных и рыб (Andriashev, Chernova, 1995; Catalog ..., 2024). Для характеристики равномерности распределения каждого вида вычисляли частоту его встречаемости F . Показатели плотности распределения и удельной биомассы видов для каждой губы 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). При анализе многолетней динамики количественных характеристик распределения и биоразнообразия рыбных сообществ были использованы осредненные за сезон данные по двум исследованным губам.

Результаты и обсуждение

Видовой состав. В летний период 2021 г. в литорально-сублиторальной зоне исследованных губ обнаружено 12 видов рыб, относящихся к 8 семействам, 5 отрядам (табл. 3). Наиболее представительным по числу семейств был отряд Perciformes – 3, а по числу видов – семейство Pleuronectidae – 3. По характеру зоогеографического ареала преобладали преимущественно бореальные виды (83.3 %), а остальную долю сообществ составляли преимущественно арктические виды (16.7 %).

Таблица 3
Table 3

Частота встречаемости видов рыб в губах Восточного Мурмана в летний период 2021 г.
Frequency of species occurrence in Eastern Murman bays during summer period in 2021

Таксон	ЗГА	Губа Зеленецкая				F , %	Губа Ярнышная			F , %
		Станции					Станции			
		1	2	3	4		5	6	7	
Отряд Gadiformes										
Семейство Gadidae										
<i>Gadus morhua</i>	ПБ	+	+	+	+	75.0	+	+	+	66.7
<i>Pollachius virens</i>	ПБ	+	+	+	+	100.0	+	+	+	83.3
Отряд Gasterosteiformes										
Семейство Gasterosteidae										
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	ПБ	–	–	–	–	–	+	–	–	16.7
Отряд Scorpaeniformes										
Семейство Cottidae										
<i>Gymnocanthus tricuspis</i>	ПА	+	+	+	+	50.0	+	+	–	66.7
<i>Myoxocephalus scorpius</i>	ПБ	+	+	+	+	100.0	+	+	+	100.0
Семейство Cyclopteridae										
<i>Cyclopterus lumpus</i>	ПБ	–	–	+	–	12.5	–	–	–	–
Отряд Perciformes										
Семейство Stichaeidae										
<i>Lumpenus fabricii</i>	ПА	–	–	–	–	–	–	+	–	16.7
Семейство Pholidae										
<i>Pholis gunnellus</i>	ПБ	–	–	–	+	12.5	+	–	–	16.7
Семейство Ammodytidae										
<i>Ammodytes marinus</i>	ПБ	+	–	–	–	12.5	+	+	–	33.3
Отряд Pleuronectiformes										
Семейство Pleuronectidae										
<i>Limanda limanda</i>	ПБ	–	–	–	–	–	+	–	–	16.7
<i>Platichthys flesus</i>	ПБ	–	–	–	–	–	+	+	–	50.0
<i>Pleuronectes platessa</i>	ПБ	+	+	+	+	62.5	+	–	+	50.0
Всего видов		6	5	6	6	8	10	7	4	11

ПРИМЕЧАНИЕ. ЗГА – зоогеографический ареал: ПА – преимущественно арктический, ПБ – преимущественно бореальный вид; F – частота встречаемости.

Уловы состояли в основном из молоди указанных видов (табл. 3), за исключением ершоватки и речной камбалы, представленных крупными половозрелыми особями. Треска, сайда, арктический шлемоносный бычок и пинагор были представлены в литоральных сообществах только сеголетками, а у остальных видов наряду с сеголетками встречалась и более старшая молодь. Ихтиофауна в разных районах несколько различалась по видовому составу: трехиглая колюшка, люмпен Фабриция, ершоватка и речная камбала отмечены только в губе Ярнышная, а пинагор – лишь в губе Зеленецкая. Число видов на станциях варьировало от 4 до 10, но наиболее часто в уловах встречалась молодь европейского керчака ($F = 100\%$) и сайды (83.3–100%), чуть реже – молодь атлантической трески, арктического шлемоносного бычка и морской камбалы (табл. 3). Другие виды редко отмечались в уловах на литорали губ Восточного Мурмана в 2021 г.

Распределение. В среднем за период исследований в 2021 г. общая численность рыб в куту губы Ярнышная была 3.7 тыс. экз/га, в литоральной зоне губы Зеленецкая – 6.8 тыс. экз/га, а их биомасса составляла, соответственно, 22.6 и 11.4 кг/га. Прибрежные сообщества рыб в губах различались не только по видовому составу, но и по количественным характеристикам распределения отдельных видов (рис. 1). В губе Ярнышная наблюдались более плотные скопления европейского керчака, арктического шлемоносного бычка и атлантического маслюка. Акваторию губы Зеленецкая предпочитали тресковые виды, песчанка и морская камбала. Плотность других, общих для двух губ, видов в разных районах различалась незначительно.

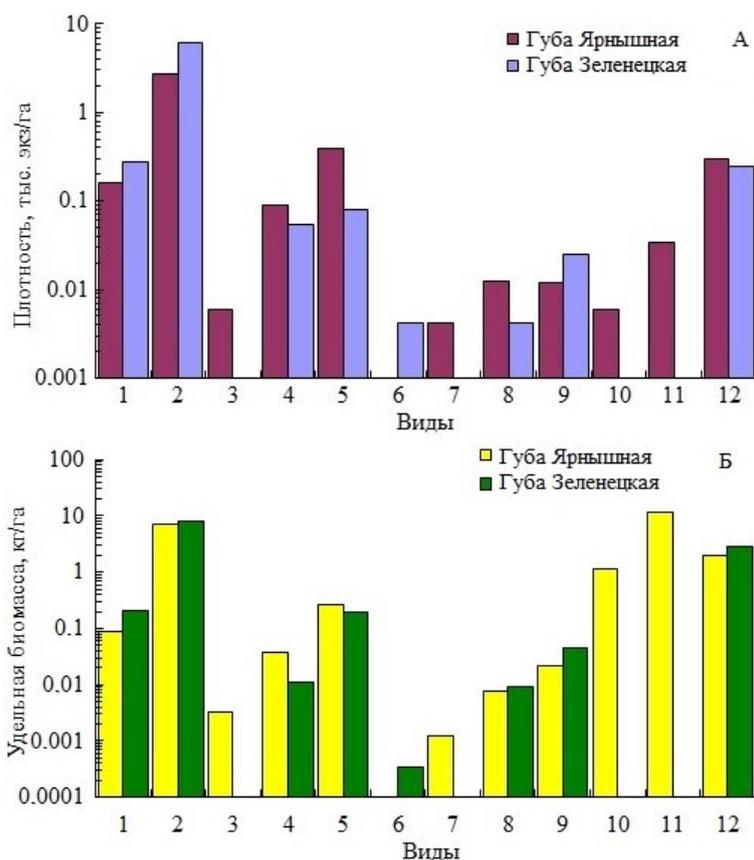


Рис. 1. Средняя плотность распределения (А) и средняя удельная биомасса (Б) рыб в губах Восточного Мурмана в летний период 2021 г.:

1 – *G. morhua*, 2 – *P. virens*, 3 – *G. aculeatus*, 4 – *G. tricuspis*, 5 – *M. scorpius*, 6 – *C. lumpus*, 7 – *L. fabricii*, 8 – *P. gunnellus*, 9 – *A. marinus*, 10 – *L. limanda*, 11 – *P. flesus*, 12 – *P. platessa*

Fig. 1. Mean density of fish distribution (A) and mean specific fish biomass (B) in Eastern Murman bays in summer period 2021: 1 – *G. morhua*, 2 – *P. virens*, 3 – *G. aculeatus*, 4 – *G. tricuspis*, 5 – *M. scorpius*, 6 – *C. lumpus*, 7 – *L. fabricii*, 8 – *P. gunnellus*, 9 – *A. marinus*, 10 – *L. limanda*, 11 – *P. flesus*, 12 – *P. platessa*

Наиболее обильным видом в сообществах рыб исследованных губ была сайда, плотность которой в среднем за летний сезон составила в губе Ярнышная 2.7 тыс. экз/га, а в губе Зеленецкая – 6.1 тыс. экз/га (рис. 1А). Плотность других видов была на порядки меньше. Основа биомассы прибрежных сообществ рыб губы Зеленецкая летом 2021 г. – сайда (8.2 кг/га), а в губе Ярнышная, где плотность распределения этого вида также была достаточно высока (7.3 кг/га), преобладала речная камбала – 11.8 кг/га (рис. 1Б). В обеих губах отмечена относительно высокая биомасса морской камбалы (2.0–2.8 кг/га).

В начале периода наблюдений ядро рыбных сообществ губы Ярнышная формировала молодь европейского керчака и сайды, которые разреженно встречались в литоральной зоне (рис. 2). В августе концентрация всех видов рыб возросла, особенно сайды (от 0.06 до 5.3 тыс. экз/га), которая заняла доминирующее положение по численности в рыбных сообществах. Основной вклад в биомассу рыб губы Ярнышная привносила речная камбала, доминирующая по этому показателю в течение всего летнего периода.

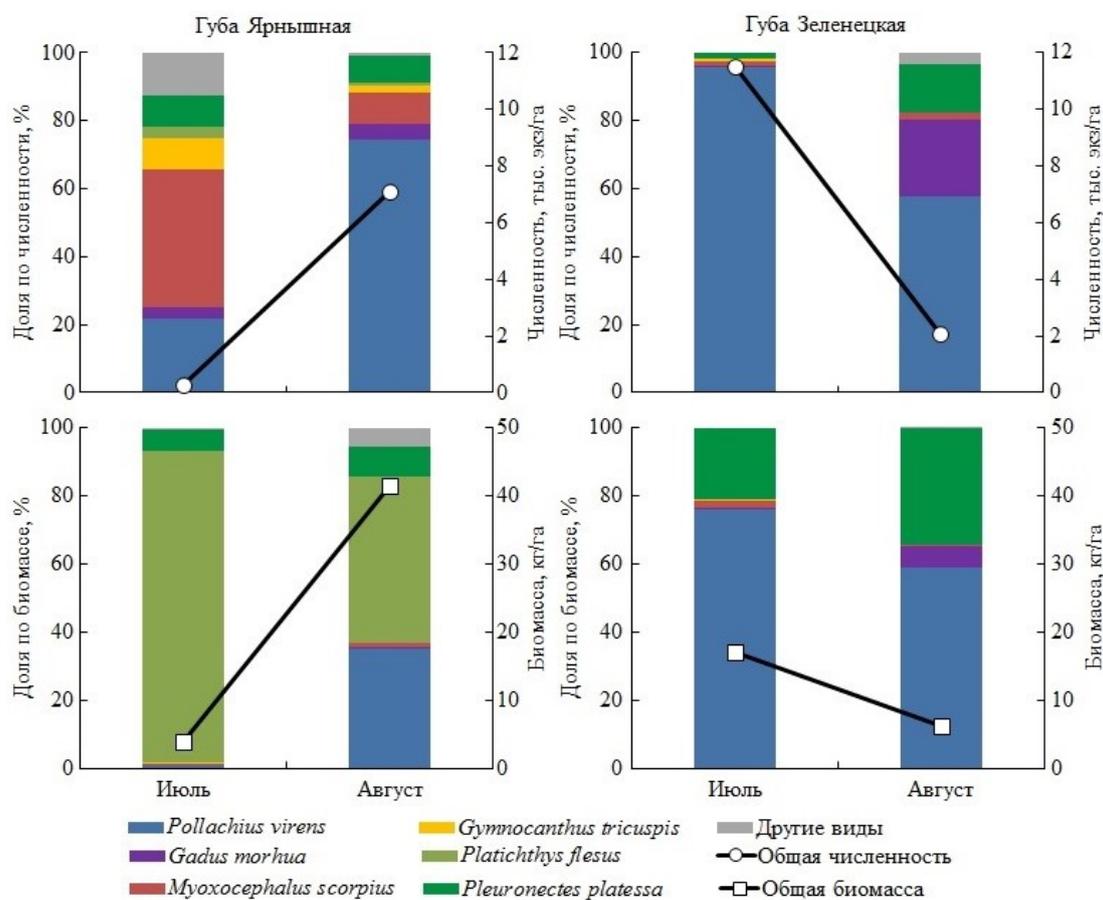


Рис. 2. Пространственно-временные изменения структуры литорально-сублиторальных сообществ рыб летом 2021 г.

Fig. 2. Spatio-temporal changes in the structure of the littoral-sublittoral fish communities in summer 2021

Структура рыбных сообществ губы Зеленецкая на протяжении всего сезона оставалась сходной: в ихтиофауне литорали преобладала молодь сайды, доля которой к августу заметно уменьшалась, как и показатели ее обилия (рис. 1). В августе наблюдалось незначительное снижение плотности керчаковых рыб, а также увеличение обилия атлантической трески и морской камбалы.

Сравнивая полученные результаты с данными за предшествующие годы, следует отметить, что литоральные сообщества рыб летом 2021 г. характеризовались немногочисленным видовым составом

(12 видов) и отсутствием массовых скоплений рыб, плотность распределения которых составляла в среднем 5.2 тыс. экз/га и 17.2 кг/га соответственно (рис. 3). Наиболее обильным видом в литоральной зоне исследованных губ была сайда, представленная в сообществах рыб исключительно сеголетками. Плотность распределения этого вида в среднем за сезон составила 4.4 тыс. экз/га (7.8 кг/га). Численность остальных видов была на порядки меньше, однако биомасса субдоминантной речной камбалы, составляющая 5.9 кг/га, лишь незначительно уступала показателю сайды.

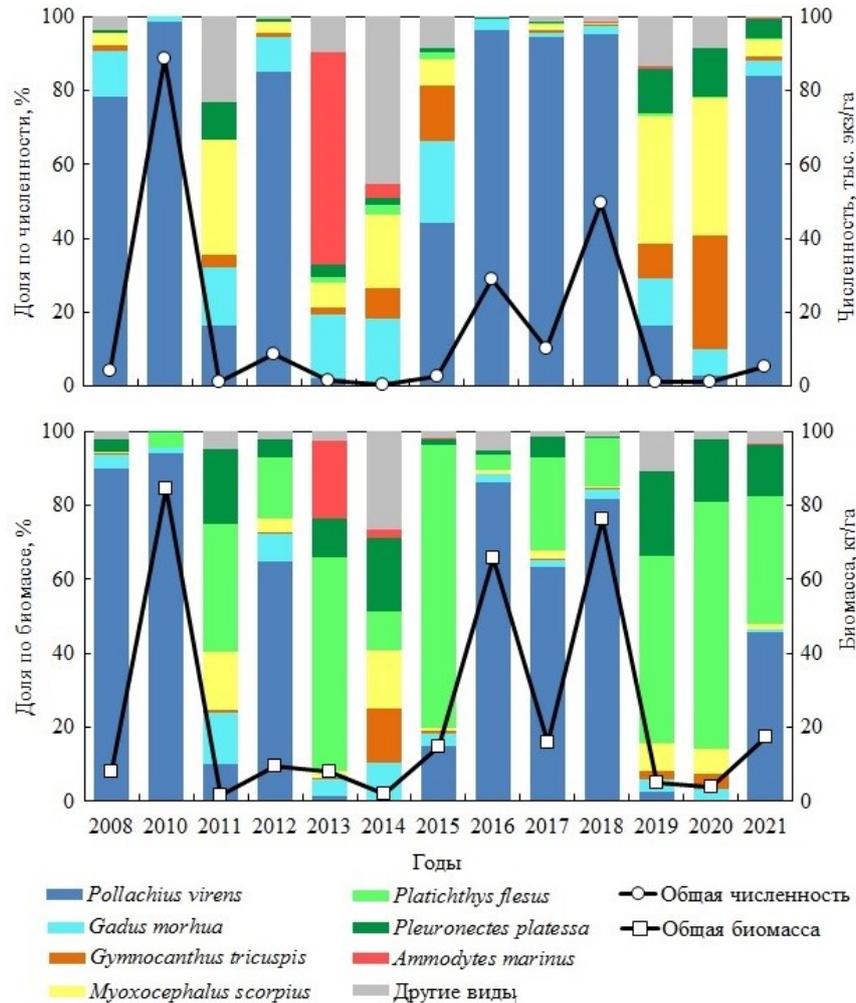


Рис. 3. Многолетняя динамика распределения рыб в прибрежной зоне губ Ярнышная и Зеленецкая в летний период
Fig. 3. Dynamics of ichthyofauna distribution in coastal zone of Yarnyshnaya and Zelenetskaya bays in summer period

Плотность распределения сеголеток тресковых видов (сайды и атлантической трески) в сумме составляла 4.6 тыс. экз/га, или 8.0 кг/га. Таким образом, по степени обилия молоди тресковых видов 2021 г. следует характеризовать как период их средней численности. К этой категории были отнесены 2008, 2012 и 2017 годы (Kudryavtseva, 2018), когда прибрежные сообщества рыб отличались невысокими показателями обилия ихтиофауны (4.1–10.1 тыс. экз/га, или 7.9–15.9 кг/га) и обилия тресковых видов (3.4–9.6 тыс. экз/га, или 6.7–10.3 кг/га), небольшим числом видов (10–13) и достаточно высокой долей молоди сайды в сообществах рыб (рис. 3).

Биоразнообразие сообществ. В многолетнем ряду наблюдений рыбные сообщества губ Восточного Мурмана в летний период 2021 г. характеризовались средними показателями видового богатства и биоразнообразия ($D_{Mn} = 0.25$, $H' = 0.96$), несмотря на сравнительно высокую степень

доминирования преобладающей сайды ($d = 0.85$) (рис. 4). Сходные по характеристикам биоразнообразия прибрежные сообщества рыб отмечены в 2008 и 2012 гг.

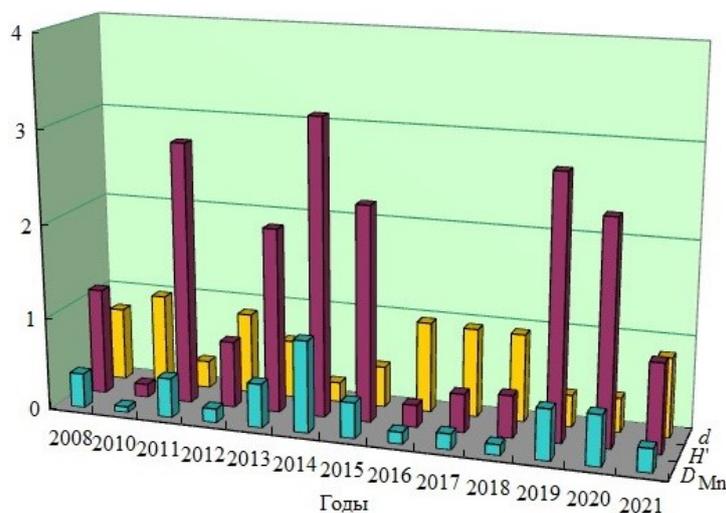


Рис. 4. Динамика показателей видового разнообразия прибрежных сообществ рыб в губах Ярнышная и Зеленецкая
Fig. 4. Dynamics of indices of diversity of coastal fish communities in Yarnyshnaya and Zelenetskaya bays

Заключение

В летний сезон 2021 г. рыбная часть литоральных сообществ прибрежной зоны губ Ярнышная и Зеленецкая характеризовалась невысокими, близкими к среднемноголетним, показателями обилия (3.7–6.8 тыс. экз/га, или 11.4–22.6 кг/га) и видового богатства (12 видов). Наиболее многочисленным видом в ихтиофауне литорали исследованных губ была сайда, доминирующая в губе Зеленецкая также и по биомассе. В губе Ярнышная этот вид по показателям биомассы уступал только речной камбале. Следует отметить, что показатели обилия морской камбалы летом 2021 г. в губах Восточного Мурмана были максимальными за весь период наблюдений (2008, 2010–2021 гг.).

В течение летнего сезона 2021 г. на литорали губ Восточного Мурмана в сообществах рыб происходили разнонаправленные изменения. В губе Ярнышная отмечалось увеличение общей плотности и биомассы рыб в основном за счет увеличения обилия сеголеток сайды и камбаловых рыб, представленных в уловах либо единичными взрослыми экземплярами (речная камбала, ершоватка), либо наряду с сеголетками молодью старшего возраста (морская камбала). В губе Зеленецкая, наоборот, изначально высокие, по сравнению с губой Ярнышная, показатели обилия рыб в течение сезона снижались из-за уменьшения численности и биомассы сайды.

Сравнительный анализ результатов многолетних исследований прибрежной ихтиофауны губ Восточного Мурмана свидетельствует, что в 2021 г. литоральные сообщества рыб характеризовались средними показателями видового богатства, плотности распределения рыб, обилия молоди тресковых видов и биоразнообразия. Сходными характеристиками обладали сообщества рыб в годы невысокой (средней) численности сеголеток сайды (2008 и 2012 гг.).

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

Работа выполнена по теме «Экология рыб и биоразнообразие рыбной части сообществ арктических морей» (№ госрегистрации 124013000725-9) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. *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.
2. *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.
3. *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. DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.3.22-35
4. *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. DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.005
5. *Кудрявцева О. Ю.* Характеристика прибрежной ихтиофауны губ Восточного Мурмана в летний период 2020 года // Тр. Кольского науч. центра РАН. Сер. Естественные и гуманитарные науки. 2023. Т. 2, № 3. С. 34–44. DOI: 10.37614/2949-1185.2023.2.3.005
6. *Мэггаран Э.* Экологическое разнообразие и его измерение: Пер. с англ. М.: Мир, 1992. 184 с.
7. *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.
8. *Andriashev A. P., Chernova N. V.* Annotated List of fishlike vertebrates and fishes of the arctic seas and adjacent waters // J. Ichthyology. 1995. Vol. 35, № 1. P. 81–123.
9. *Beyst B., Hostens K., Mees J.* Factors influencing fish and macrocrustacean communities in the surf zone of sandy beaches in Belgium: temporal variation // J. Mar. Biol. Ass. UK. 2001. Vol. 46. P. 281–294. DOI: 10.1016/S1385-1101(01)00087-9
10. *Catalog of fishes: genera, species, references* / R. Fricke, W. N. Eschmeyer, R. van der Laan (Eds.). Electronic version accessed 02 April 2024. URL: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>
11. *Changes over 50 years in fish fauna of a temperate coastal sea: Degradation of trophic structure and nursery function* / H. W. van der Veer, R. Dapper, P. A. Henderson, A. S. Jung, C. J. M. Philippart, J. I. Witte, A. F. Zuur // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2015. Vol. 155. P. 156–166. DOI: 10.1016/j.ecss.2014.12.041
12. *Kudryavtseva O. Yu.* Structure of coastal fish communities in Yarnyshnaya and Zelenetskaya bays (Eastern Murman) // J. Ichthyology. 2018. Vol. 58, № 4. P. 508–518. DOI: 10.1134/S0032945218040094
13. *Lotze H., Milewski I.* Two centuries of multiple human impacts and successive changes in a North Atlantic food web // Ecol. Appl. 2004. Vol. 14, № 5. P. 1428–1447. DOI: 10.1890/03-5027
14. *McClenachan L., Ferretti F., Baum J. K.* From archives to conservation: why historical data are needed to set baselines for marine animals and ecosystems // Conserv. Lett. 2012. Vol. 5, № 5. P. 349–359. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2012.00253.x
15. *Pihl L., Wennhage H.* Structure and diversity of fish assemblages on rocky and soft bottom shores on Swedish west coast // J. Fish Biol. 2002. Vol. 61. P. 148–166. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2002.tb01768.x
16. *The structure and dynamics of fish communities in the Latvian coastal zone (Pape – Pērkone), Baltic Sea* / D. Ustups, E. Urtans, A. Minde, D. Uzars // Acta Univ. Latv. 2003. Vol. 662. P. 33–44.
17. *Transient dynamics of an altered large marine ecosystem* / K. T. Frank, B. Petrie, J. A. D. Fisher, W. C. Leggett // Nature. 2011. Vol. 477. P. 86–89. DOI: 10.1038/nature10285

18. Whitfield A. K., Elliot M. Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future // J. Fish Biol. 2002. Vol. 61. P. 229–250. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2002.tb01773.x

References

1. Kim K. I., Bondarev O. V., Kudryavtseva O. Yu., Malavenda S. S. Ikhtiofauna pribrezhnoy zony gub Vostochnogo Murmana (Yarnyshnaya, Zelenetskaya) v letniy period 2013 g. [Ichthyofauna of coastal zone of the inlets of Eastern Murman (Yarnyshnaya, Zelenetskaya) in summer 2013]. *Problemy Arkticheskogo regiona: Materialy XIV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii 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.)
2. Kudryavtseva O. Yu. Struktura pribrezhnykh soobshchestv molodi ryb v gubakh Dal'nezelenetskaya i Yarnyshnaya Barentseva 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 nauchnykh traditsiy i innovatsiy (k 80-letiyu MMBI KNC RAN): Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [International Sciences 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.)
3. Kudryavtseva O. Yu. Kharakteristika pribrezhnykh soobshchestv ryb v gubakh Vostochnogo Murmana v letne-osenniy period 2018 g. [Characteristics of coastal fish communities in Eastern Murman bays during summer and autumn 2018]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Okeanologiya, vypusk 6* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 6], 2019, Vol. 3, No. 10, pp. 22–35 (In Russ.)
4. Kudryavtseva O. Yu. Kharakteristika pribrezhnykh soobshchestv ryb v gubakh Vostochnogo Murmana v letne-osenniy period 2019 goda [Characteristics of coastal fish communities in Eastern Murman bays during summer and autumn 2019]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Okeanologiya, vypusk 10* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 10], 2022, Vol. 4, No. 13, pp. 42–54 (In Russ.)
5. Kudryavtseva O. Yu. Kharakteristika pribrezhnoy ikhtiofauny gub Vostochnogo Murmana v letniy period 2020 goda [Characteristics of coastal fish in the bays of Eastern Murman during summer 2020]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Estestvennye i Gumanitarnye nauki* [Transactions Kola Science Centre RAS. Series: Natural Sciences and Humanities], 2023, Vol. 2, No. 3, pp. 34–44 (In Russ.)
6. Megarran E. *Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie* [Ecological diversity and its measurement]. Moscow, Mir, 1992, 184 p. (In Russ.)
7. Bondarev O. V., Kim K. I., Malavenda S. S., Kudryavtseva O. Yu. Predstaviteli ikhtiofauny v pribrezhnykh zonakh gub Yarnyshnaya i Zelenetskaya v letniy 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 Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentscii studentov i aspirantov (Murmansk, 14 maya 2015 g.)* [Challenges for the Arctic Region: Abstracts of the XV International Scientific Conference for Students and Post-Graduates (Murmansk, 14 May 2015)]. Rostov-on-Don, Publ. SSC RAS, 2015, pp. 70–71 (In Russ.)
8. Andriashev A. P., Chernova N. V. Annotated list of fishlike vertebrates and fishes of the arctic seas and adjacent waters. *J. Ichthyology*, 1995, Vol. 35, No. 1, pp. 81–123.
9. Beyst B., Hostens K., Mees J. Factors influencing fish and macrocrustacean communities in the surf zone of sandy beaches in Belgium: temporal variation. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 2001, Vol. 46, pp. 281–294.
10. Catalog of fishes: genera, species, references / R. Fricke, W. N. Eschmeyer, R. van der Laan (Eds.). Electronic version accessed 02 April 2024. Available at: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>
11. Van der Veer H. W., Dapper R., Henderson P. A., Jung A. S., Philippart C. J. M., Witte J. I., Zuur A. F. Changes over 50 years in fish fauna of a temperate coastal sea: Degradation of trophic structure and nursery function. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2015, Vol. 155, pp. 156–166.

12. Kudryavtseva O. Yu. Structure of coastal fish communities in Yarnyshnaya and Zelenetskaya bays (Eastern Murman). *J. Ichthyology*, 2018, Vol. 58, No. 4, pp. 508–518.
13. Lotze H., Milewski I. Two centuries of multiple human impacts and successive changes in a North Atlantic food web. *Ecol. Appl.*, 2004, Vol. 14, No. 5, pp. 1428–1447.
14. McClenachan L., Ferretti F., Baum J. K. From archives to conservation: why historical data are needed to set baselines for marine animals and ecosystems. *Conserv. Lett.*, 2012, Vol. 5, No. 5, pp. 349–359.
15. Pihl L., Wennhage H. Structure and diversity of fish assemblages on rocky and soft bottom shores on Swedish west coast. *J. Fish Biol.*, 2002, Vol. 61, pp. 148–166.
16. Ustups D., Urtans E., Minde A., Uzars D. The structure and dynamics of fish communities in the Latvian coastal zone (Pape – Pērkone), Baltic Sea. *Acta Universitatis Latviensis*, 2003, Vol. 662, pp. 33–44.
17. Frank K. T., Petrie B., Fisher J. A. D., Leggett W. C. Transient dynamics of an altered large marine ecosystem. *Nature*, 2011, Vol. 477, pp. 86–89.
18. Whitfield A. K., Elliot M. Fishes as indicators of environmental and ecological changes within estuaries: a review of progress and some suggestions for the future. *J. Fish Biol.*, 2002, Vol. 61, pp. 229–250.

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 11.04.2024; одобрена после рецензирования 12.04.2024; принята к публикации 16.04.2024.
The article was submitted 11.04.2024; approved after reviewing 12.04.2024; accepted for publication 16.04.2024.

Научная статья
УДК 595.122.2:594.3
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.010

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ИНВАЗИИ ЛИТОРАЛЬНЫХ МОЛЛЮСКОВ ПАРТЕНИТАМИ И ЛИЧИНКАМИ ТРЕМАТОД В ГУБАХ И ЗАЛИВАХ МУРМАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ В МАЕ–ИЮНЕ 2021 ГОДА

Вадим Владимирович Куклин, Марина Михайловна Куклина

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

Аннотация

По итогам паразитологического обследования у литоральных моллюсков *Littorina saxatilis* (Olivi, 1792), *L. obtusata* (L., 1758), *L. littorea* (L., 1758) и *Nucella lapillus* (L., 1758) Мурманского побережья обнаружены представители 10 таксонов трематод. Повсеместно в прибрежье Мурмана встречаются личинки и партениты трематод *Microphallus pygmaeus*, *M. piriformes* и *Podocotyle atomon*. Наибольшее видовое разнообразие гельминтов отмечено в Кольском заливе и в губе Ивановская, наименьшее – в губе Дворовая. В большинстве районов Мурманского побережья условия для циркуляции отмеченных гельминтов в целом достаточно однородны. Выявленных трендов в распределении очагов заражения не отмечено. Некоторые особенности распределения экстенсивности инвазии трематодами *M. pygmaeus* и *P. atomon* характерны для моллюсков в губах Печенга и Ивановская соответственно. Вероятно, это обусловлено различной интенсивностью потоков инвазионного начала от окончательных хозяев.

Ключевые слова:

литоральные гастроподы, личинки трематод, Мурманское побережье

Original article

DISTRIBUTION OF TREMATODE PARTHENITE AND LARVAE THROUGHOUT OF INTERTIDAL SNAILS IN THE INLETS AND BAYS ALONG THE MURMANSK COAST ACCORDING TO DATA OF PARASITOLOGICAL STUDY IN 2021

Vadim V. Kuklin, Marina M. Kuklina

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

Abstract

Species composition and geographical variation in the distribution of digenean parthenite and larvae in intertidal snails in the littoral zones along the Murmansk coast were examined. Four species of littoral gastropods (*Littorina saxatilis*, *L. obtusata*, *L. littorea* and *Nucella lapillus*) were investigated. We found 10 species of digeneans, of which 9 have marine birds as a final host. The exception was *Podocotyle atomon* which uses fish as a definitive host. Larvae of trematode *Microphallus pygmaeus*, *M. piriformes* and *Podocotyle atomon* are found everywhere on the Murmansk coast. The richest helminth fauna were recorded in the Kola Bay and in Ivanovskaya Bay, the poorest helminth fauna were recorded in Dvorovaya Bay. No pronounced trends in distribution of infection foci were noted. Trematode prevalence appears to be predominantly determined by local site condition favoring or hindering final host (birds and fishes) abundance.

Keywords:

littoral gastropods, digenean parthenite and larvae, Murmansk coast

Введение

В северных морях реализация жизненных циклов большинства гельминтов, завершающих развитие в рыбах, морских птицах и млекопитающих, происходит в биоценозах литорали и верхней сублиторали. Поэтому для детальной характеристики паразитологической ситуации в прибрежных экосистемах ключевое значение имеет анализ гельминтофауны промежуточных хозяев – литоральных и сублиторальных беспозвоночных, ведущих прикрепленный или малоподвижный образ жизни. Наличие у них личиночных стадий тех или иных паразитов, а также количественные показатели инвазии дают основания утверждать о наличии или отсутствии очагов заражения в районе проведения работ.

Многочисленные паразитологические исследования литорального макробентоса на побережье Баренцева моря (Успенская, 1963; Чубрик, 1966; Подлипаев, 1979; Galaktionov, Bustnes, 1999) показали, что

состав гельминтофауны беспозвоночных не одинаков в различных районах. Очаги инвазии на Мурмане, как правило, локализованы в губах и заливах, а таксономическое разнообразие паразитов обусловлено комплексным влиянием экологических и физико-географических условий. Кроме того, в районах с антропогенным прессом может иметь место значительная вариабельность зараженности прибрежных беспозвоночных из-за изменения среды обитания и структуры связей с другими хозяевами в цепочке жизненного цикла трематод (Bustnes, Galaktionov, 1999).

Цель настоящего исследования – изучение гельминтофауны брюхоногих моллюсков в различных районах Мурманского побережья, определение количественных показателей инвазии паразитами разных видов и выявление закономерностей в распределении очагов заражения.

Материал и методы

Исследования проведены в мае–июле 2021 г. в ходе береговых экспедиций и научного рейса НИС “Дальние Зеленцы” в нескольких районах баренцевоморского побережья Кольского полуострова – губе Печенга, Кольском заливе, губе Териберская, в районе н. п. Дальние Зеленцы, а также в губах Дворовая, Дроздовка и Ивановская. Расположение районов и точек сбора моллюсков представлено на рисунках 1, 2.

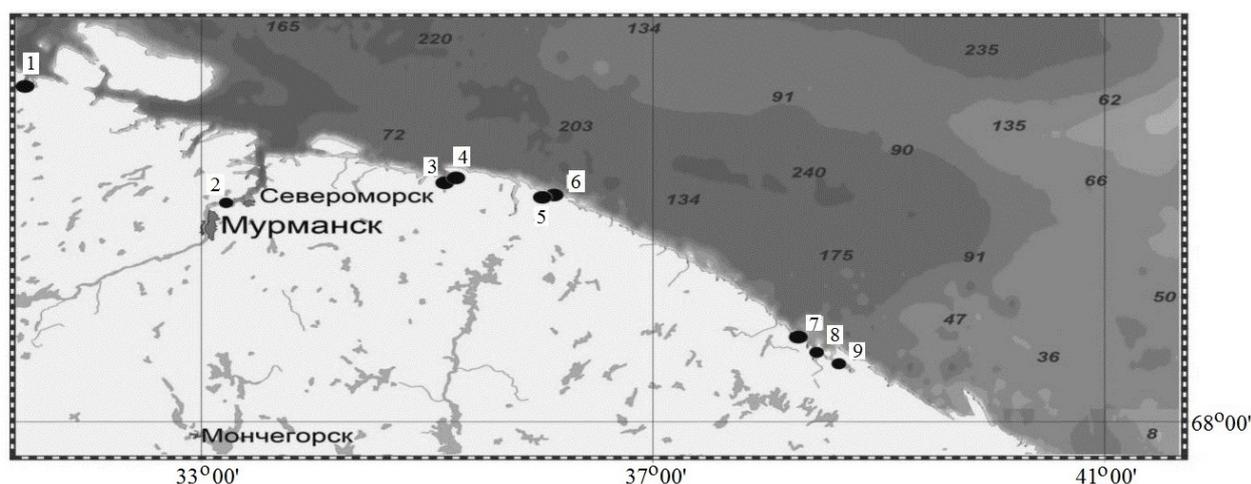


Рис. 1. Карта-схема районов проведения паразитологической съемки литоральных брюхоногих моллюсков в прибрежье Мурмана (Баренцево море) в 2021 г.:

1 – губа Печенга, 2 – Кольский залив, 3 – бухта Корабельная (Териберская губа), 4 – бухта Завалишина (Териберская губа), 5 – губа Ярнышная, 6 – губа Зеленецкая, 7 – губа Дворовая, 8 – губа Дроздовка, 9 – губа Ивановская

Fig. 1. The geographical location of the study areas on the Murmansk coast (Barents Sea), 2021:

1 – Pechenga Bay, 2 – Kola Bay, 3 – Korabelnaya Inlet (Teriberskaya Bay), 4 – Zavalishina Inlet (Teriberskaya Bay), 5 – Yarnyshnaya Bay, 6 – Zelenetskaya Bay, 7 – Dvorovaya Bay, 8 – Drozdovka Bay, 9 – Ivanovskaya Bay

Сбор материала проводился вручную в период отлива на среднем горизонте литорали с поверхности камней, грунта и водорослей. Обследовано 4147 особей гастропод: *Littorina saxatilis* (Olivier, 1792) – 3215 экз., *L. obtusata* (L., 1758) – 442 экз., *L. littorea* (L., 1758) – 391 экз. и *Nucella lapillus* (L., 1758) – 99 экз. Данные по датам сборов и количеству обследованных моллюсков в каждом районе представлены в табл. 1.

У моллюсков измеряли высоту раковины, затем их раздавливали, а внутренние органы помещали в чашку Петри и просматривали под биноклем Leica EZ4D. Определяли пол моллюска, наличие или отсутствие паразитов и в случае наличия их таксономическую принадлежность и стадии жизненного цикла. При определении трематод использовали таксономические сводки (Подлипаев, 1979; Levakin et al., 2013; Galaktionov et al., 2023).

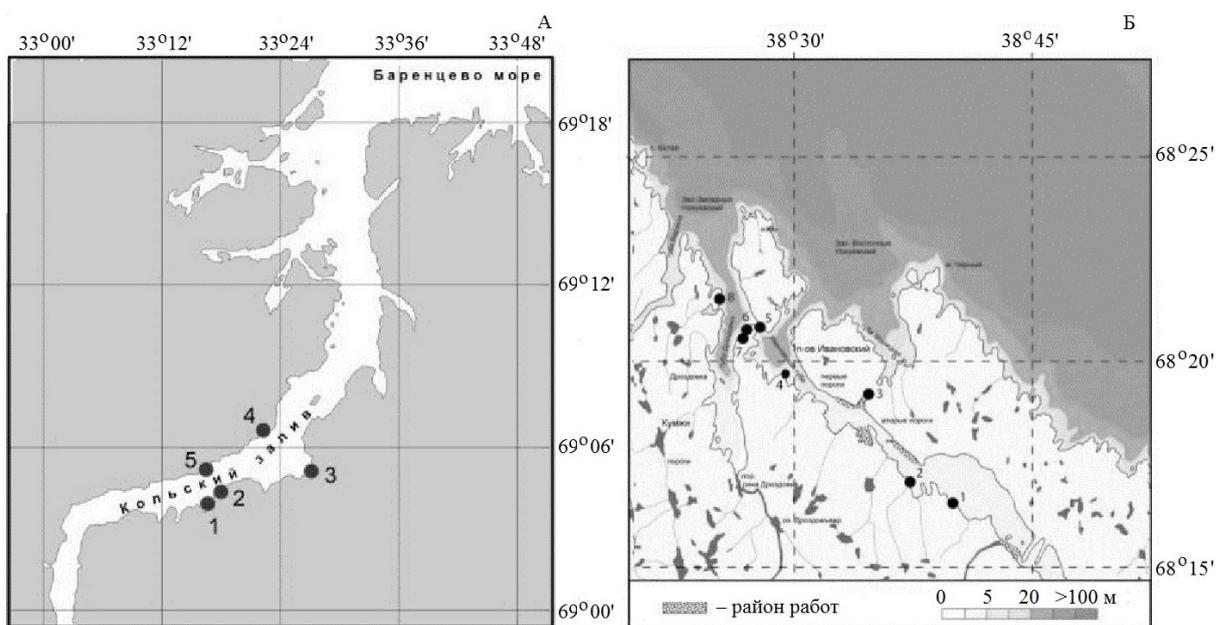


Рис. 2. Карта-схема районов проведения паразитологической съемки литоральных брюхоногих моллюсков в Кольском заливе (А: 1 – губа Грязная, 2 – губа Хлебная, 3 – губа Ваенга, 4 – губа Ретинская, 5 – губа Белокаменная) и губе Ивановская (Б) в 2021 г.

Fig. 2. The geographical location of the study areas in the Kola Bay (A: 1 – Gryaznaya Bay, 2 – Khlebnaaya Bay, 3 – Vaenga Bay, 4 – Retinskaya Bay, 5 – Belokamennaya Bay) and in Ivanovskaya Bay, 2021

Объем исследованного материала в прибрежье Кольского полуострова в 2021 г., экз. Таблица 1

Sample sizes of intertidal snails collected in different regions on the Murmansk coast (Barents Sea), 2021, spec. Table 1

Район	Дата	<i>Littorina saxatilis</i>	<i>Littorina obtusata</i>	<i>Littorina littorea</i>	<i>Nucella lapillus</i>
Губа Печенга	28.05	208	13	128	2
Кольский залив:		896	388	262	–
губа Ретинская	27.05	36	91	6	–
губа Белокаменная	27.05	123	8	170	–
губа Ваенга	30.06	253	4	50	–
губа Хлебная	30.06	32	275	36	–
губа Грязная	30.06	452	10	–	–
Губа Терiberская:		629	13	–	2
бухта Корабельная	28.06	365	1	–	–
бухта Завалишина	28.06	264	12	–	2
Н. п. Дальние Зеленцы:		390	3	1	1
губа Ярнышная	10.07	226	1	1	1
губа Зеленецкая	10.07	164	2	–	–
Губа Дворовая	29.07	171	1	–	25
Губа Дроздовка:		290	1	–	–
ст. 6	27.07	101	1	–	1
ст. 7	27.07	89	–	–	–
ст. 8	28.07	100	–	–	–
Губа Ивановская:		631	23	–	69
ст. 1	20.07	130	–	–	–
ст. 2	20.07	130	–	–	–
ст. 3	21.07	110	23	–	69
ст. 4	24.07	131	–	–	–
ст. 5	23.07	130	–	–	–

Рассчитывали значение экстенсивности инвазии (отношение количества моллюсков, зараженных паразитом данного вида, к общей численности моллюсков в выборке, выраженное в процентах). При статистической обработке результатов использовали методы сравнения границ доверительных интервалов экстенсивности инвазии на 5-процентном уровне значимости, рассчитанных с использованием компьютерной программы Quantitative parasitology 3.0 (Rozsa et al., 2000). Достоверность обнаруженных различий оценивали с помощью точного критерия Фишера F . Проведена оценка сходства состава гельминтофауны моллюсков в различных районах Мурманского побережья с использованием коэффициента Сёренсена:

$$K_s = \frac{2c}{a+b},$$

где a – количество видов гельминтов в первом районе, b – количество видов гельминтов во втором районе, c – количество видов, общих для первого и второго районов.

Результаты

У моллюсков обнаружены представители 10 таксонов трематод. Помимо моноинвазий, зарегистрировано 9 вариантов двойного заражения. Общая зараженность составила для *L. saxatilis* 40.03 %, *L. obtusata* 21.04 %, *L. littorea* 6.14 %, *N. lapillus* 7.07 % при следующих значениях нижней и верхней границ 95 %-ного доверительного интервала: 38.3–41.7, 17.3–25.1, 4.09–9.0, 2.9–14.0 соответственно. Состав гельминтофауны моллюсков и показатели экстенсивности инвазии представлены в табл. 2.

Таблица 2

Видовой состав и экстенсивность инвазии литоральных моллюсков в прибрежье Мурмана в 2021 г., %

Table 2

Prevalence of digeneans in the intertidal snails on the Murmansk coast (Barents Sea), 2021, %

Вид паразита	Стадия паразита	<i>Littorina saxatilis</i>	<i>Littorina obtusata</i>	<i>Littorina littorea</i>	<i>Nucella lapillus</i>
<i>Microphallus pygmaeus</i> (Levinsen, 1881)	Метацеркарии	24.73 (23.2–26.3)	12.90 (9.9–16.4)	4.35 (2.6–6.9)	–
<i>Microphallus piriformes</i> (Odhner, 1905)	Метацеркарии	9.08 (8.1–10.1)	6.79 (4.6–9.5)	–	–
<i>Microphallus pseudopygmaeus</i> (Galaktionov, 2009)	Метацеркарии	0.69 (0.4–1.0)	0.23 (0.0–1.3)	–	–
<i>Himasthla</i> sp.	Редии с церкариями	0.59 (0.4–0.9)	–	–	–
<i>Cryptocotyle lingua</i> (Creplin, 1825)	Редии с церкариями	0.40 (0.2–0.7)	–	1.28 (0.4–3.0)	–
<i>Renicola parvicaudatus</i> (Stunkard, Shaw, 1931)	Спороцисты с церкариями	0.22 (0.1–0.4)	0.23 (0.0–1.3)	–	7.07 (2.9–14.0)
<i>Parvatrema homoeotecnium</i> (James, 1964)	Редии с церкариями	0.81 (0.5–1.2)	0.23 (0.0–1.3)	–	–
<i>Paramonostomum chabaudi</i> (Van Strydonck, 1965)	Редии с церкариями	0.09 (0.0–0.3)	–	–	–
<i>Parapronocephalum symmetricum</i> (Belopolskaya, 1952)	Метацеркарии	0.03 (0.0–0.2)	–	–	–
<i>Podocotyle atomon</i> (Rudolphi, 1802) Odhner, 1905	Спороцисты с церкариями	2.77 (2.2–3.4)	0.46 (0.1–1.6)	0.26 (0.0–1.4)	–
<i>Himasthla</i> sp. + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.28 (0.1–0.5)	–	–	–
<i>Himasthla</i> sp. + <i>M. piriformes</i>	–	–	0.23 (0.0–1.3)	–	–

Окончание табл. 2

Вид паразита	Стадия паразита	<i>Littorina saxatilis</i>	<i>Littorina obtusata</i>	<i>Littorina littorea</i>	<i>Nucella lapillus</i>
<i>P. atomon</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.12 (0.0–0.3)	–	–	–
<i>R. parvicaudatus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.06 (0.0–0.2)	–	–	–
<i>C. lingua</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.03 (0.0–0.2)	–	–	–
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.03 (0.0–0.2)	–	–	–
<i>M. pseudopygmaeus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.03 (0.0–0.2)	–	0.26 (0.0–1.4)	–
<i>P. atomon</i> + <i>M. piriformes</i>	–	0.03 (0.0–0.2)	–	–	–
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. piriformes</i>	–	0.03 (0.0–0.2)	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. Здесь и в таблицах 4–6: в скобках приведены значения нижней и верхней границ 95 %-го доверительного интервала.

Из числа обнаруженных трематод лишь *P. atomon* завершает свое развитие в рыбах, для остальных окончательными хозяевами служат морские птицы. Наибольшее видовое разнообразие трематод отмечено у гастропод в Кольском заливе и губе Ивановская, наименьшее – в губе Дворовая. Повсеместно в прибрежье Мурмана встречаются личинки и партениты трех видов трематод (табл. 3).

Таблица 3

Встречаемость личинок трематод у брюхоногих моллюсков в прибрежье Мурмана в 2021 г.

Table 3

Occurrence of trematode larvae in different species of intertidal snails in different areas of the Murmansk coast (Barents Sea), 2021

Трематоды	Районы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
<i>M. pygmaeus</i>	1	1, 2, 3	1, 2	1, 2, 3	1	1	1, 2
<i>M. piriformes</i>	1, 2	1, 2	1	1	1	1	1, 2
<i>M. pseudopygmaeus</i>	1	1, 2	1	1	–	–	1
<i>Himasthla</i> sp.	–	1	1	1	–	1	1
<i>C. lingua</i>	–	1, 3	–	–	–	–	1
<i>R. parvicaudatus</i>	1	2	1	4	4	–	1, 4
<i>P. homoeotecnum</i>	–	1	–	1	–	1	1, 2
<i>P. chabaudi</i>	–	1	–	–	–	–	–
<i>P. symmetricum</i>	–	–	–	–	–	1	–
<i>P. atomon</i>	1, 2	1, 3	1	1	1	1	1, 2
<i>Himasthla</i> sp. + <i>M. pygmaeus</i>	–	1	–	1	–	1	1
<i>Himasthla</i> sp. + <i>M. piriformes</i>	–	2	–	–	–	–	–
<i>P. atomon</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	–	–	1	–	1	1
<i>R. parvicaudatus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	1	–	–	1	–	–	–
<i>C. lingua</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	1	–	–	–	–	–
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	–	–	1	–	–	–
<i>M. pseudopygmaeus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	3	–	1	–	–	–
<i>P. atomon</i> + <i>M. piriformes</i>	–	–	–	–	–	1	–
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. piriformes</i>	–	–	–	1	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. Здесь и в табл. 6: I – губа Печенга, II – Кольский залив, III – губа Териберская, IV – губы Ярнышная и Зеленецкая, V – губа Дворовая, VI – губа Дроздовка, VII – губа Ивановская. Моллюски: 1 – *L. saxatilis*, 2 – *L. obtusata*, 3 – *L. littorea*, 4 – *N. lapillus*.

Выраженных географических трендов в динамике состава трематодофауны моллюсков выявлено не было.

Количественная оценка показала довольно высокую степень сходства фауны паразитов моллюсков в разных районах побережья Кольского полуострова. Значение коэффициента Сёрнсена варьировало от 0.60 до 0.94.

Анализ отличий инвазии между самцами и самками показал, что у *N. lapillus* заражение трематодами характерно только для самок. Более высокая инвазия зарегистрирована у самок *L. saxatilis* по сравнению с самцами. У остальных видов статистически значимых отличий в заражении разных полов не обнаружено (рис. 3).

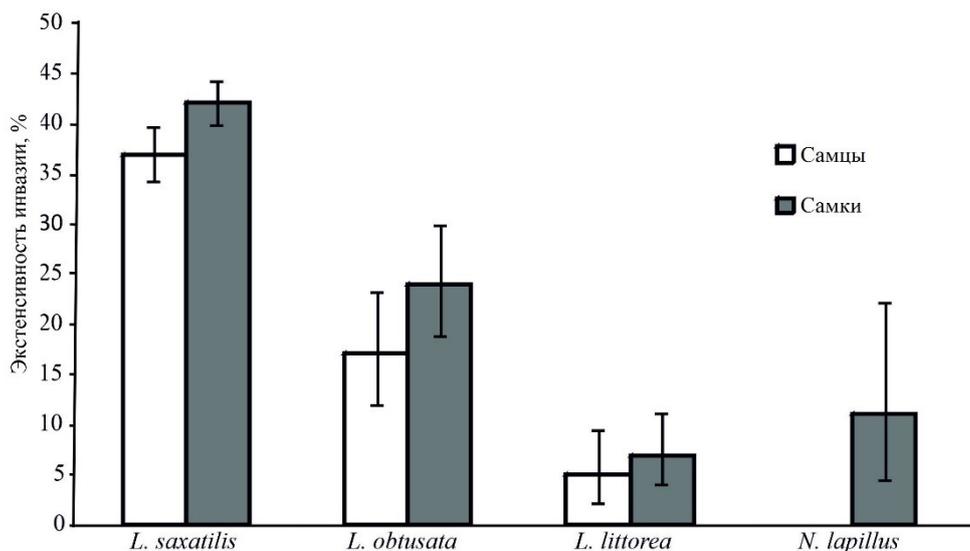


Рис. 3. Общая зараженность парентитами и личинками трематод у самок и самцов брюхоногих моллюсков в прибрежье Мурмана в 2021 г.

Fig. 3. Total infestation by digeneans in females and males of intertidal snails on the Murmansk coast (Barents Sea), 2021

Littorina saxatilis. Наиболее массовым и повсеместно встречающимся был вид *L. saxatilis*. Поэтому паразитофауна этих гастропод требует более детального анализа.

Помимо общих данных по зараженности, представленных в таблицах 2, 3 и на рис. 3, у *L. saxatilis* были изучены особенности инвазии моллюсков разных размерных классов, а также географические аспекты заражения различными видами трематод.

Результаты изучения зараженности трематодами в шести размерных классах *L. saxatilis* представлены в табл. 4. Обращают на себя внимание невысокие значения экстенсивности инвазии и низкое видовое разнообразие гельминтофауны у моллюсков с высотой раковины менее 6.0 мм. Наибольшее количество вариантов заражения (включая двойные инвазии) отмечено в размерных классах 12.1–14.0 мм, 10.1–12.0 мм и 8.1–10.0 мм – по 13. Статистически достоверные отличия в зараженности моллюсков различными видами трематод регистрировались редко и касались в основном двух-трех отдельных размерных классов (в частности, инвазии *L. saxatilis* из классов 10.1–12.0 мм и 8.1–10.0 мм по сравнению с инвазией в классах 6.1–8.0 мм и менее 6.0 мм). Необходимо отметить, что наибольшее количество вариантов двойных инвазий характерно для размерного класса 12.1–14.0 мм – 5, а наибольшее количество моллюсков с двойной инвазией для размерного класса 10.1–12.0 мм – 7 экз.

При анализе инвазии самцов и самок *L. saxatilis* в прибрежье Мурмана установлено, что, помимо уже упомянутой более высокой общей зараженности самок (рис. 3), статистически достоверные

отличия значений экстенсивности инвазии характерны для заражения моллюсков личинками *Parvatrema homoeotecnum* (выше у самцов) и *P. atomon* (выше у самок) (табл. 5). Один вариант моноинвазии и шесть случаев двойного заражения отмечены у моллюсков одного пола, но практически все эти находки были единичными.

Таблица 4

Видовой состав и экстенсивность инвазии в различных размерных классах *Littorina saxatilis* в прибрежье Мурмана в 2021 г., %

Table 4

Composition and prevalence of digeneans in various size classes of the periwinkle *Littorina saxatilis* on the Murmansk coast (Barents Sea), 2021, %

Виды паразитов	Размерные классы (высота раковины), мм					
	> 14.0 <i>n</i> = 87	12.1–14.0 <i>n</i> = 341	10.1–12.0 <i>n</i> = 955	8.1–10.0 <i>n</i> = 1266	6.1–8.0 <i>n</i> = 491	≤ 6.0 <i>n</i> = 75
<i>M. pygmaeus</i>	24.14 (15.6–34.5)	24.34 (19.9–29.3)	28.06 (25.2–31.0)	26.07 (23.7–28.6)	17.72 (14.4–21.4)	8.00 (3.0–16.6)
<i>M. piriformes</i>	3.45 (0.7–9.7)	7.04 (4.6–10.3)	6.49 (5.0–8.2)	10.11 (8.5–11.9)	13.65 (10.7–17.0)	10.66 (4.7–19.9)
<i>M. pseudopygmaeus</i>	2.30 (0.3–8.1)	1.76 (0.6–3.8)	0.63 (0.2–1.4)	0.63 (0.3–1.2)	–	–
<i>Himasthla</i> sp.	2.30 (0.3–8.1)	1.76 (0.6–3.8)	0.84 (0.4–1.6)	0.24 (0.0–0.7)	–	–
<i>C. lingua</i>	2.30 (0.3–8.1)	0.88 (0.2–2.5)	0.52 (0.2–1.2)	0.24 (0.0–0.7)	–	–
<i>R. parvicaudatus</i>	–	0.59 (0.1–2.1)	0.42 (0.1–1.1)	0.08 (0.0–0.4)	–	–
<i>P. homoeotecnum</i>	1.15 (0.0–6.2)	0.29 (0.0–1.6)	0.52 (0.2–1.2)	0.87 (0.4–1.5)	1.63 (0.7–3.2)	–
<i>P. chabaudi</i>	–	–	0.21 (0.0–0.8)	0.08 (0.0–0.4)	–	–
<i>P. symmetricum</i>	–	–	–	0.08 (0.0–0.4)	–	–
<i>P. atomon</i>	1.15 (0.0–6.2)	2.93 (1.4–5.2)	3.66 (2.6–5.1)	3.00 (2.1–4.1)	1.02 (0.3–2.4)	–
<i>Himasthla</i> sp. + <i>M. pygmaeus</i>	2.30 (0.3–8.1)	0.29 (0.0–1.6)	0.42 (0.1–1.1)	0.16 (0.0–0.6)	–	–
<i>P. atomon</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.29 (0.0–1.6)	0.10 (0.0–0.6)	0.08 (0.0–0.4)	0.20 (0.0–1.1)	–
<i>R. parvicaudatus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	–	0.10 (0.0–0.6)	0.08 (0.0–0.4)	–	–
<i>C. lingua</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	–	0.10 (0.0–0.6)	–	–	–
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.29 (0.0–1.6)	–	–	–	–
<i>M. pseudopygmaeus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.29 (0.0–1.6)	–	–	–	–
<i>P. atomon</i> + <i>M. piriformes</i>	–	0.29 (0.0–1.6)	–	–	–	–
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. piriformes</i>	1.15 (0.0–6.2)	–	–	–	–	–
Всего	40.23 (29.9–51.3)	41.06 (35.8–46.5)	42.09 (38.9–45.3)	41.71 (39.0–44.5)	34.22 (30.0–38.6)	18.67 (10.6–29.3)

Таблица 5

Экстенсивность инвазии партенитами и личинками трематод у самок и самцов *Littorina saxatilis* в прибрежье Мурмана в 2021 г., %

Table 5

Prevalence of digeneans in females and males of the periwinkle *Littorina saxatilis* on the Murmansk coast (Barents Sea), 2021, %

Виды паразитов	Самцы, n = 1292	Самки, n = 1923
<i>M. pygmaeus</i>	22.60 (20.3–25.0)	26.16 (24.2–28.2)
<i>M. piriformes</i>	8.98 (7.5–10.7)	9.15 (7.9–10.5)
<i>M. pseudopygmaeus</i>	0.74 (0.3–1.6)	0.83 (0.5–1.3)
<i>Himasthla</i> sp.	0.74 (0.3–1.6)	0.68 (0.4–1.2)
<i>C. lingua</i>	0.31 (0.1–0.8)	0.47 (0.2–0.9)
<i>R. parvicaudatus</i>	0.61 (0.2–1.4)	0.10 (0–0.4)
<i>P. homoeotecnum</i>	1.63 (1.0–2.5)	0.26 (0.1–0.6)
<i>P. chabaudi</i>	0.15 (0–0.6)	0.05 (0–0.3)
<i>P. symmetricum</i>	0.08 (0–0.4)	–
<i>P. atomon</i>	1.47 (0.9–2.3)	3.64 (2.8–4.6)
<i>Himasthla</i> sp. + <i>M. pygmaeus</i>	0.23 (0–0.7)	0.31 (0.1–0.7)
<i>P. atomon</i> + <i>M. pygmaeus</i>	0.08 (0–0.4)	0.16 (0–0.5)
<i>R. parvicaudatus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.10 (0–0.4)
<i>C. lingua</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.05 (0–0.3)
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. pygmaeus</i>	0.08 (0–0.4)	–
<i>M. pseudopygmaeus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.05 (0–0.3)
<i>P. atomon</i> + <i>M. piriformes</i>	0.08 (0–0.4)	–
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. piriformes</i>	–	0.05 (0–0.3)

Данные о видовом составе паразитофауны *L. saxatilis* и показатели экстенсивности инвазии в разных районах представлены в табл. 6. Наибольшее разнообразие гельминтов отмечено в Кольском заливе и губе Ивановская, наименьшее – в губе Дворовая. В то же время наивысшее значение общей экстенсивности инвазии и максимальное количество двойных инвазий зарегистрировано в прибрежье н. п. Дальние Зеленцы, в губах Терiberская и Дворовая моллюсков с двойным заражением не обнаружено.

Таблица 6

Экстенсивность инвазии *Littorina saxatilis* личинками и партенитами трематод в разных районах прибрежья Мурмана в 2021 г., %

Table 6

Prevalence of digeneans in the periwinkle *Littorina saxatilis* in various areas of the Murmansk coast (Barents Sea), 2021, %

Трематоды	Районы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
<i>M. pygmaeus</i>	2.40 (0.8–5.5)	28.57 (25.6–31.7)	9.54 (7.4–12.1)	64.87 (59.9–69.6)	25.15 (18.8–32.3)	29.31 (24.1–34.9)	14.74 (12.1–17.7)
<i>M. piriformes</i>	23.56 (18.0–29.9)	16.29 (13.9–18.9)	2.70 (1.6–4.3)	3.59 (2.0–5.9)	0.58 (0–3.2)	4.48 (2.4–7.5)	8.24 (6.2–10.7)
<i>M. pseudopygmaeus</i>	0.48 (0–2.6)	1.12 (0.5–2.0)	0.95 (0.4–2.1)	1.03 (0.3–2.6)	–	–	0.16 (0–0.9)
<i>Himasthla</i> sp.	–	0.56 (0.2–1.3)	0.64 (0.2–1.6)	1.28 (0.4–3.0)	–	0.69 (0.1–2.5)	0.48 (0.1–1.4)
<i>C. lingua</i>	–	1.12 (0.5–2.0)	–	–	–	–	0.48 (0.1–1.4)
<i>R. parvicaudatus</i>	0.48 (0–2.6)	–	0.64 (0.2–1.6)	–	–	–	0.32 (0–1.1)
<i>P. homoeotecnum</i>	–	0.22 (0–0.8)	–	0.77 (0.2–2.2)	–	3.45 (1.7–6.2)	1.74 (0.9–3.1)

Окончание табл. 6

Трематоды	Районы						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
<i>P. chabaudi</i>	–	0.33 (0.1–1.0)	–	–	–	–	–
<i>P. symmetricum</i>	–	–	–	–	–	0.34 (0–1.9)	–
<i>P. atomon</i>	0.48 (0–2.6)	1.56 (0.9–2.6)	1.12 (0.4–2.3)	1.54 (0.6–3.3)	0.58 (0–3.2)	1.38 (0.4–3.5)	8.87 (6.8–11.4)
<i>Himasthla</i> sp. + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.45 (0.1–1.1)	–	0.77 (0.2–2.2)	–	0.34 (0–1.9)	0.16 (0–0.9)
<i>P. atomon</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	–	–	0.51 (0.1–1.8)	–	0.34 (0–1.9)	0.16 (0–0.9)
<i>R. parvicaudatus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	0.48 (0–2.6)	–	–	0.26 (0–1.4)	–	–	–
<i>C. lingua</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	0.11 (0–0.6)	–	–	–	–	–
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	–	–	0.26 (0–1.4)	–	–	–
<i>M. pseudopygmaeus</i> + <i>M. pygmaeus</i>	–	–	–	0.26 (0–1.4)	–	–	–
<i>P. atomon</i> + <i>M. piriformes</i>	–	–	–	–	–	0.34 (0–1.9)	–
<i>P. homoeotecnum</i> + <i>M. piriformes</i>	–	–	–	0.26 (0–1.4)	–	–	–
Всего	27.88 (21.9–34.5)	50.33 (47.0–53.7)	15.58 (12.8–18.7)	75.38 (70.8–79.6)	26.32 (19.9–33.6)	40.69 (35.0–46.6)	35.34 (31.6–39.2)

Обсуждение

Детальный анализ зараженности моллюсков разных видов провести сложно из-за несопоставимости объемов выборок и отсутствия некоторых видов в отдельных районах (табл. 1). Можно отметить наличие инвазии *M. pygmaeus* и *P. atomon* у всех видов моллюсков рода *Littorina*. При этом *M. pseudopygmaeus*, обладающий широкой специфичностью к промежуточным хозяевам (Галактионов, 2009), не был отмечен у *L. littorea*. Этот же вид моллюсков оказался свободным от заражения *R. parvicaudatus*. Примечательно, что на Мурмане инвазия *L. littorea* рениколидами не отмечалась и ранее (Чубрик, 1966; Подлипаев, 1979), хотя находки *R. parvicaudatus* (главным образом под названием *R. roscovita*) у этих моллюсков описаны на Белом (Зеликман, 1966) и Балтийском (Lauckner, 1984) морях, а также на западном (Pohley, 1976; Controls ..., 2008) и восточном (Werdning, 1969; Lauckner, 1980; Overview ..., 2023) побережье Северной Атлантики. Вероятно, отсутствие инвазии *L. littorea* рениколидами и другими редкими видами трематод связано с разреженностью их популяции. На открытых участках в прибрежье Мурмана эти моллюски практически не встречаются, а в губах и заливах их численность обычно не превышает 2–3 особей на 1 м² (Кузнецов, 1960).

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что в большинстве районов прибрежья Мурмана условия для реализации жизненных циклов трематод, использующих в качестве промежуточных хозяев литоральных гастропод (прежде всего *L. saxatilis*), достаточно однородны. Об этом свидетельствуют высокие значения коэффициентов сходства фаун, а также небольшое количество видов с локальной встречаемостью. Выявленные отличия в разнообразии трематодофауны моллюсков в различных районах (табл. 3), скорее всего, объясняются разным объемом выборок и особенностями распределения окончательных хозяев гельминтов.

В этой связи заслуживает внимания низкая зараженность *L. saxatilis* в губе Печенга трематодой *M. pygmaeus*, для которой характерен 2-хозяинный жизненный цикл [окончательные хозяева – морские утки рода *Somateria* (Leach, 1819)], а влияние абиотических факторов на успешность их циркуляции ограничено. Вероятно, основной причиной незначительной инвазии моллюсков можно считать невысокую численность окончательных хозяев. Для губы Печенга характерен ряд признаков,

неблагоприятных для пребывания гаг (распреснение и недостаток пищевых ресурсов; небольшое количество участков на побережье, пригодных для гнездования; высокий уровень антропогенного пресса). Поэтому численность уток в губе Печенга (особенно в летний период) обычно невелика (Иваненко, 2013). Соответственно, поток инвазионного начала в период активной циркуляции гельминтов тоже незначителен. Невысокой численностью окончательных хозяев (прежде всего обыкновенных гаг из-за фактора беспокойства) (Гурба, 2023), вероятнее всего, объясняется и низкая зараженность моллюсков в губе Териберская.

В качестве другой отличительной особенности инвазии моллюсков следует указать относительно высокую зараженность гастропод в губе Ивановская *P. atomon*. Возможно, это объясняется тем, что указанная губа относится к водоемам «ковшового» типа, у которых затруднен водообмен с внешней акваторией. Гидрологическая изоляция нарастает от устья к кутовой части, что способствует стабильности состояния литоральных экосистем губы (Бобков и др., 2010) и облегчает контакты между окончательными и первыми промежуточными хозяевами. Кроме того, высокая зараженность литторин в губе Ивановская трематодами *P. atomon* может быть связана и с наличием здесь постоянной популяции реликтовой формы трески (Макеевко, 2016), которая играет роль окончательных хозяев для этих гельминтов и обеспечивает стабильный поток инвазионного начала (яиц трематод).

Слабая зараженность *L. saxatilis* младших размерных классов и отсутствие значимых различий в показателях экстенсивности инвазии (и общей, и отдельными видами) у остальных (табл. 5) объясняется, видимо, влиянием нескольких причин. С одной стороны, по мере увеличения возраста хозяина растет и вероятность его контакта с инвазионным началом паразитов. С другой, заражение многими видами трематод в ряде случаев может приводить к замедлению темпов роста моллюсков (Mouritsen et al., 1999; Горбушин, 2000), вызывать их паразитарную кастрацию (Lauckner, 1980; Галактионов, 1993) и даже гибель при совокупном воздействии неблагоприятных условий внешней среды (Сергиевский и др., 1986; Галактионов, 1993). В итоге определенная доля литторин либо не достигает более крупных размеров, либо элиминирует. Возможно, эти факторы в определенной степени уравнивают друг друга, что и нашло отражение в результатах исследований.

Полученные данные об особенностях инвазии самцов и самок моллюсков (особенно в случаях обобщения данных по всем видам паразитов и популяциям моллюсков) следует интерпретировать с большой осторожностью. Для корректной трактовки таких показателей необходимо учитывать многолетнюю динамику биотических и абиотических условий в каждом районе, фактор элиминации моллюсков (особенно зимой и ранней весной), эффект «накопления» инвазии по мере изменения возрастного состава популяций и т. д. (Галактионов, 1985, 1993; Гранович, Горбушин, 1995). Эти нюансы невозможно учесть в формате единовременных сборов. Однако некоторые установленные факты в отношении *L. saxatilis* заслуживают рассмотрения.

Достоверные отличия в общей зараженности между самцами и самками обнаружены только в губе Ивановская (экстенсивность инвазии самцов – 27.68 %, самок – 39.56 %). При анализе общей зараженности в размерных классах статистически значимые различия отмечены лишь в классе 8.1–10.0 мм (экстенсивность инвазии самцов – 36.95 %, самок – 45.29 %). Кроме того, в размерном классе 12.1–14.0 мм различия зарегистрированы при инвазии *M. piriformes* (экстенсивность инвазии самцов – 15.96 %, самок – 3.64 %). По большинству других параметров инвазии различий между моллюсками разных полов не найдено. Достоверность отличий в общей зараженности (табл. 4), а также в инвазии редкими видами (*P. homoeotectum* и *P. atomon*), скорее всего, объясняется «накопительным эффектом» при суммировании незначительных различий в экстенсивности инвазии в отдельных районах. Большинство локальных особенностей заражения самцов и самок нивелируется при макромасштабном анализе на уровне региона.

Заключение

По итогам паразитологической съемки, проведенной в 2021 г. в губах и заливах Мурмана, у литоральных гастропод обнаружены представители 10 таксонов трематод. Для состава паразитофауны и показателей инвазии выявлена определенная пространственная изменчивость на

региональном уровне, но явных географических трендов в распределении инвазии не обнаружено. Различия в зараженности самцов и самок выражены незначительно и касаются отдельных размерных классов или редко встречающихся видов трематод. Для моллюсков *L. saxatilis* из младших возрастных групп характерны низкое видовое разнообразие гельминтов и невысокие значения экстенсивности инвазии, но во всех остальных классах значимых отличий по этим показателям не обнаружено. С учетом однотипного характера литорали в точках сбора, незначительного влияния прибойности и штормовых волн, определяющую роль в формировании состава трематодофауны и степени зараженности моллюсков в губах и заливах играет, по-видимому, наличие и обилие окончательных хозяев (как источников инвазионного начала).

Работа выполнена по теме «Экология, физиология и паразитология птиц Арктического бассейна в условиях климатических и антропогенных трансформаций среды обитания» (№ государственной регистрации 124013000721-1) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Бобков А. А., Стрелков П. П., Ильина А. Н. Приливная изменчивость океанологических условий сублиторали губы Ивановской // Вестн. СПбГУ. 2010. Сер. 7: Геология, география. Вып. 1. С. 86–99. URL: http://vestnik.unipress.ru/pdf10/s07/s07v1_10_S.pdf
2. Галактионов К. В. Зараженность самцов и самок моллюсков рода *Littorina* (Gastropoda, Prosobranchia) партенитами трематод на побережье Баренцева моря // Паразитология. 1985. Т. 19, № 3. С. 213–219. URL: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/1985/prz_1985_3_8_Galaktionov.pdf
3. Галактионов К. В. Жизненные циклы трематод как компоненты экосистем (опыт анализа на примере представителей семейства Microphallidae). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1993. 198 с.
4. Галактионов К. В. Описание мартит и определение статуса вида *Microphallus pseudopygmaeus* sp. nov. (Trematoda: Microphallidae) // Паразитология. 2009. Т. 43, № 4. С. 289–299. URL: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/2009/prz_2009_4_2_Galaktionov.pdf
5. Горбушин А. М. Сравнительный морфофункциональный анализ взаимоотношений в системе моллюски–трематоды // Паразитология. 2000. Т. 34, № 6. С. 502–514. URL: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/2000/prz_2000_6_5_Gorbushin.pdf
6. Гранович А. И., Горбушин А. М. Различия зараженности самцов и самок литоральных моллюсков родов *Littorina* и *Hydrobia* Кандалакшского залива Белого моря партенитами трематод // Паразитология. 1995. Т. 29, № 3. С. 167–178. URL: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/1995/prz_1995_3_4_Granovich.pdf
7. Гурба А. Н. Результаты орнитологических наблюдений в ходе береговых экспедиций ММБИ РАН в 2021–2022 годах // Тр. Кольского науч. центра РАН. Сер. Естественные и гуманитарные науки. 2023. Т. 2, № 3. С. 26–33. DOI: 10.37614/2949-1185.2023.2.3.004
8. Зеликман Э. А. Некоторые эколого-паразитологические связи на литорали северной части Кандалакшского залива // Жизненные циклы паразитических животных северных морей. Л.: Наука, 1966. С. 7–77.
9. 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.
10. Кузнецов В. В. Белое море и биологические особенности его флоры и фауны. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. 332 с.
11. Макеенко Г. А. Генетическая изменчивость атлантической трески (*Gadus morhua* L.) на северо-востоке ареала. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2016. 22 с.
12. Подлипаев С. А. Партениты и личинки трематод литоральных моллюсков Восточного Мурмана // Экологическая и экспериментальная паразитология. Л.: Изд-во ЛГУ, 1979. С. 47–101.
13. Сергиевский С. О., Гранович А. И., Михайлова Н. А. Влияние трематодной инвазии на выживаемость моллюсков *Littorina obtusata* (L.) и *L. saxatilis* (Olivi) в условиях экстремально низкой солености // Паразитология. 1986. Т. 20, № 3. С. 202–207. URL: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/1986/prz_1986_3_6_Sergievsky.pdf

14. Успенская А. В. Паразитофауна бентических ракообразных Баренцева моря. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 128 с.
15. Чубрик Г. К. Фауна и экология личинок трематод из моллюсков Баренцева и Белого морей // Жизненные циклы паразитических животных северных морей. Л.: Наука, 1966. С. 78–159.
16. Bustnes J. O., Galaktionov K. Anthropogenic influences on the infestation of intertidal gastropods by seabird trematode larvae on the Southern Barents sea coast // Mar. Biol. 1999. Vol. 133. P. 449–453. DOI: 10.1007/s002270050484
17. Controls of spatial variation in the prevalence of trematode parasites infecting a marine snail / J. E. Byers, A. M. H. Blakeslee, E. Linder, A. B. Cooper, T. J. Maguire // Ecology. 2008. Vol. 89, iss. 2. P. 439–451. DOI: 10.1890/06-1036.1
18. Galaktionov K. V., Bustnes J. O. Distribution patterns of marine bird digenean larvae in periwinkles along the southern coast of the Barents Sea // Diseases of aquatic organisms. 1999. Vol. 37, iss. 3. P. 221–230. DOI: 10.3354/dao037221
19. Lauckner G. Diseases of Mollusca: Gastropoda // Diseases of marine animals / O. Kinne (Ed.). New York: Wiley and Sons Publ., 1980. Vol. 1. General aspects, protozoa to gastropoda. P. 311–424.
20. Lauckner G. Brackish-water submergence of the common periwinkle, *Littorina littorea*, and its digenean parasites in the Baltic Sea and in the Kattegat // Helgoländer Meeresuntersuchungen. 1984. Vol. 37, iss. 1. P. 177–184. DOI: 10.1007/BF01989302
21. Levakin I. A., Nikolaev K. E., Galaktionov K. V. Long-term variation in trematode (Trematoda, Digenea) component communities associated with intertidal gastropods is linked to abundance of final hosts // Hydrobiologia. 2013. Vol. 706, iss. 1. P. 103–118. DOI: 10.1007/s10750-012-1267-x
22. Mouritsen K. N., Gorbushin A., Jensen K. T. Influence of trematode infection on *in situ* growth rates of *Littorina littorea* // J. Mar. Biol. Ass. UK. 1999. Vol. 79, iss. 3. P. 425–430. DOI: 10.1017/S002531549800054X
23. Overview of renicolid digeneans (Digenea, Rencolidae) from marine gulls of northern Holarctic with remarks on their species statuses, phylogeny and phylogeography / K. V. Galaktionov, A. I. Solovyeva, A. M. H. Blakeslee, K. Skirnisson // Parasitology. 2023. Vol. 150, iss. 1. P. 55–77. DOI: 10.1017/S0031182022001500
24. Pohley W. J. Relationships among three species of *Littorina* and their larval digenea // Mar. Biol. 1976. Vol. 37, iss. 2. P. 179–186. DOI: 10.1007/BF00389127
25. Rozsa L., Reiczigel J., Majoros G. Quantifying parasites in samples of hosts // J. Parasitology. 2000. Vol. 86, iss. 2. P. 228–232.
26. Werding B. Morphologie, Entwicklung und Okologie digener Trematoden-Larwen der Strandschnecke *Littorina littorea* // Mar. Biol. 1969. Vol. 3, iss. 4. P. 306–333. DOI: 10.1007/BF00698861

References

1. Bobkov A. A., Strelkov P. P., Il'ina A. N. Prilivnaya izmenchivost' okeanologicheskikh usloviy sublitorali guby Ivanovskoy [Tidal variability of oceanological conditions of submarine landscapes on sublittoral of the Inlet Ivanovskaya]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7: Geologiya, Geografiya* [Bull. St. Petersburg State University. Series 7: Geology, Geography], 2010, No. 1, pp. 86–99 (In Russ.). Available at: http://vestnik.unipress.ru/pdf10/s07/s07v1_10_S.pdf
2. Galaktionov K. V. Zarazhennost' samtsov i samok mollyuskov roda *Littorina* (Gastropoda, Prosobranchia) partenitami trematod na poberezh'e Barentseva morya [The infection of males and females of molluscs of the genus *Littorina* (Gastropoda, Prosobranchia) with parthenites of trematodes in the Barents Sea coastal waters]. *Parazitologiya* [Parasitology], 1985, Vol. 19, No. 3, pp. 213–219 (In Russ.). Available at: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/1985/prz_1985_3_8_Galaktionov.pdf
3. Galaktionov K. V. *Zhiznennyye tsikly trematod kak komponenty ekosistem (opyt analiza na primere predstaviteley semeystva Microphallidae)* [Digenean life cycles as a components of ecosystems (an attempt of analysis by example of representatives of family Microphallidae)]. Apatity, Publ. KSC RAS, 1993, 198 p. (In Russ.).

4. Galaktionov K. V. Opisanie marit i opredelenie statusa vida *Microphallus pseudopygmaeus* sp. nov. (Trematoda: Microphallidae) [Description of the maritae and determination of the species status of *Microphallus pseudopygmaeus* sp. nov. (Trematoda: Microphallidae)]. *Parazitologia* [Parasitology], 2009, Vol. 43, No. 4, pp. 289–299 (In Russ.). Available at: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/2009/prz_2009_4_2_Galaktionov.pdf
5. Gorbushin A. M. Sravnitel'nyy morfofunktsional'nyy analiz vzaimootnosheniy v sisteme mollyuski–trematody [Comparative morphofunctional analysis of the gastropod–trematode interactions]. *Parazitologia* [Parasitology], 2000, Vol. 34, No. 4, pp. 502–514 (In Russ.). Available at: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/2000/prz_2000_6_5_Gorbushin.pdf
6. Granovich A. I., Gorbushin A. M. Razlichiya zarazhennosti samtsov i samok litoral'nykh mollyuskov rodov *Littorina* i *Hydrobia* Kandalakshskogo zaliva Belogo morya partenitami trematod [Differences in the trematode parthenite infection rate in males and females of the littoral snail genera *Littorina* and *Hydrobia* in the Kandalaksha Bay of White Sea]. *Parazitologia* [Parasitology], 1995, Vol. 29, No. 3, pp. 167–178 (In Russ.). Available at: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/1995/prz_1995_3_4_Granovich.pdf
7. Gurba A. N. Rezul'taty ornitologicheskikh nablyudeniy v khode beregovykh ekspeditsiy MMBI RAN v 2021–2022 godax [The results of ornithological observation during coastal expedition of the MMBI RAS in 2021–2022]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. Seriya: Estestvennye i gumanitarnye nauki* [Transactions of the Kola Science Centre of the RAS. Series: Natural Sciences and Humanities], 2023, Vol. 2, No. 3, pp. 26–33 (In Russ.). DOI: 10.37614/2949-1185.2023.2.3.004
8. Zelikman E. A. Nekotorye ekologo-parazitologicheskie svyazi na litorali severnoy chasti Kandalakshskogo zaliva [Some ecological and parasitological interconnections in the littoral zone of the northern part of the Kandalaksha gulf]. *Zhiznennyye tsikly paraziticheskikh zhivotnykh severnykh morey* [Life cycles of parasitic worms from Northern seas]. Leningrad, Nauka, 1966, pp. 7–77 (In Russ.).
9. Ivanenko N. Yu. Ornitofauna Zapadnogo Murmana na primere guby Pechenga i Aynovykh ostrovov [Avifauna of West Murman by the example of Pechenga Bay and Islands of Ainov]. *Ptitsy severnykh i yuzhnykh morey Rossii: fauna, ekologiya* [Birds of northern and southern Russian seas: fauna, ecology]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2013, pp. 64–102 (In Russ.).
10. Kuznetsov V. V. *Beloe more i biologicheskie osobennosti ego flory i fauny* [The White Sea and the biological peculiarities of its flora and fauna]. Moscow, Leningrad, Publ. of Academy of Science USSR, 1960, 332 p. (In Russ.).
11. Makeenko G. A. *Geneticheskaya izmenchivost' atlanticheskoy treski (Gadus morhua L.) na severo-vostoke areala. Avtoref. kand. biol. nauk* [Genetic variability of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in the northeast of the areal: PhD Thesis]. Moscow, 2016. 22 p. (In Russ.).
12. Podlipaev S. A. Partenity i lichinki trematod litoral'nykh mollyuskov Vostochnogo Murmana [Trematode parthenitae and larvae in the intertidal molluscs of the Eastern Murman]. *Ekologicheskaya i eksperimental'naya parazitologiya* [Ecological and Experimental Parasitology]. Leningrad, Publ. Leningrad State University, 1979, pp. 47–101 (In Russ.).
13. Sergievsky S. O., Granovich A. I., Mikhailova N. A. Vliyanie trematodnoy invazii na vyzhivaemost' mollyuskov *Littorina obtusata* (L.) i *L. saxatilis* (Olivi) v usloviyakh ekstremal'no nizkoy solenosti [Effect of trematode infection on the survival of periwinkles *Littorina obtusata* and *L. saxatilis* under the conditions of extremely low salinity]. *Parazitologia* [Parasitology], 1986, Vol. 20, No. 3, pp. 202–207 (In Russ.). Available at: https://www.zin.ru/Journals/parazitologiya/content/1986/prz_1986_3_6_Sergievsky.pdf
14. Uspenskaya A. V. *Parazitofauna benticheskikh rakoobraznykh Barentseva morya* [Parasitic fauna of benthic crustaceans of the Barents Sea]. Moscow, Leningrad, Publ. of Academy of Science USSR, 1963, 128 p. (In Russ.).
15. Chubrik G. K. Fauna i ekologiya lichinok trematod iz mollyuskov Barentseva i Belogo morey [Fauna and ecology of trematode larvae from molluscs of the Barents and White Seas]. *Zhiznennyye tsikly paraziticheskikh zhivotnykh severnykh morey* [Life cycles of parasitic worms from northern seas]. Leningrad, Nauka, 1966, pp. 78–159 (In Russ.).

16. Bustnes J. O., Galaktionov K. Antropogenic influences on the infestation of intertidal gastropods by seabird trematode larvae on the Southern Barents Sea coast. *Mar. Biol.*, 1999, Vol. 133, pp. 449–453. DOI: 10.1007/s002270050484
17. Byers J. E., Blakeslee A. M. H., Linder E., Cooper A. B., Maguire T. J. Controls of spatial variation in the prevalence of trematode parasites infecting a marine snail. *Ecology*, 2008. Vol. 89, iss. 2, pp. 439–451. DOI: 10.1890/06-1036.1
18. Galaktionov K. V., Bustnes J. O. Distribution patterns of marine bird digenean larvae in periwinkles along the southern coast of the Barents Sea. *Diseases of aquatic organisms*, 1999, Vol. 37, iss. 3, pp. 221–230. DOI: 10.3354/dao037221
19. Lauckner G. *Diseases of Mollusca: Gastropoda. Diseases of marine animals.* O. Kinne (Ed.). New York: Wiley and Sons Publ., 1980, Vol. 1. General aspects, protozoa to gastropoda, pp. 311–424.
20. Lauckner G. Brackish-water submergence of the common periwinkle, *Littorina littorea*, and its digenean parasites in the Baltic Sea and in the Kattegat. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 1984, Vol. 37, iss. 1, pp. 177–184. DOI: 10.1007/BF01989302
21. Levakin I. A., Nikolaev K. E., Galaktionov K. V. Long-term variation in trematode (Trematoda, Digenea) component communities associated with intertidal gastropods is linked to abundance of final hosts. *Hydrobiologia*, 2013, Vol. 706, iss. 1, pp. 103–118. DOI: 10.1007/s10750-012-1267-x
22. Mouritsen K. N., Gorbushin A., Jensen K. T. Influence of trematode infection on *in situ* growth rates of *Littorina littorea*. *J. Mar. Biol. Ass. UK*, 1999, Vol. 79, iss. 3, pp. 425–430. DOI: 10.1017/S002531549800054X
23. Galaktionov K. V., Solovyeva A. I., Blakeslee A. M. H., Skirnisson K. Overview of renicolid digeneans (Digenea, Rencolidae) from marine gulls of northern Holarctic with remarks on their species statuses, phylogeny and phylogeography. *Parasitology*, 2023, Vol. 150, iss. 1, pp. 55–77. DOI: 10.1017/S0031182022001500
24. Pohley W. J. Relationships among three species of *Littorina* and their larval digenea. *Mar. Biol.*, 1976, Vol. 37, iss. 2, pp. 179–186. DOI: 10.1007/BF00389127
25. Rozsa L., Reiczigel J., Majoros G. Quantifying parasites in samples of hosts. *J. Parasitology*, 2000, Vol. 86, iss. 2, pp. 228–232.
26. Werding B. Morphologie, Entwicklung und Ökologie digener Trematoden-Larven der Strandschnecke *Littorina littorea*. *Mar. Biol.*, 1969, Vol. 3, iss. 4, pp. 306–333. DOI: 10.1007/BF00698861

Информация об авторах

Вадим Владимирович Куклин – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-7517-2056>

Марина Михайловна Куклина – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-3293-6383>

Information about the authors

Vadim V. Kuklin – PhD (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-7517-2056>

Marina M. Kuklina – PhD (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-3293-6383>

Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 25.03.2024; принята к публикации 08.04.2024.
The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 25.03.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Научная статья
УДК 551.311.2 (268.45)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.011

МАТЕРИКОВЫЙ СТОК В КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ БЕЛОГО МОРЯ С КАРЕЛЬСКОГО БЕРЕГА В ТЕПЛЫЙ СЕЗОН ГОДА (С КОНЦА ВЕСЕННЕГО ПАВОДКА ДО ОСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ)

Максим Валентинович Митяев, Марина Васильевна Герасимова

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

Аннотация

С целью определения стока пресных вод с Карельского берега в теплый период года (2018–2023) проведены сезонные наблюдения расхода воды в водотоках, впадающих в губы Чупа, Медвежья, Кив, Кереть и Летняя Кандалакшского залива Белого моря. В реках и ручьях исследовалось изменение расхода воды за сутки, начиная с конца весеннего паводка до конца осеннего половодья. Выявлено, что речной водный сток в теплый сезон года с этой части Карельского берега не превышает 750 млн м³, а ручьевого – 60 млн м³. Сезонный водный сток имеет два максимума (конец мая–первая декада июня и конец сентября–середина октября), разделенных летним меженным периодом. Несмотря на продолжительность летнего меженного периода, его доля в общем сезонном стоке не превышает 40 % (в среднем 34±1 %). В течение 6 лет объем ручьевого стока в данной части Карельского берега в среднем увеличивался на 2–3 % в год, а речной сток – на 1–2 % в год. Выделяются два года с небольшим суммарным сезонным стоком (2018 и 2022) и два года с повышенным суммарным сезонным стоком (2021 и 2023). Полученные данные свидетельствуют, что пресный сток с Карельского берега в воды Белого моря подвержен цикличности с небольшим увеличением общего объема материкового стока.

Ключевые слова:

Карельский берег, реки, ручьи, пресный сток, теплый сезон года

Original article

CONTINENT RUNOFF FROM THE KARELIAN COAST IN WARM SEASON OF THE YEAR (FROM THE END OF THE SPRING FLOOD TO THE AUTUMN FLOOD)

Maxim V. Mityaev, Marina V. Gerasimova

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

Abstract

In order to determine the flow of fresh water from the Karelian coast in the warm season, in 2018–2023. Seasonal observations of water flow were carried out in watercourses flowing into the Chupa, Medvezhya, Kiv, Keret and Letnyaya bays of the Kandalaksha Bay of the White Sea. In rivers and streams, changes in water flow per day were studied, starting from the end of the spring flood to the end of the autumn flood. It was revealed that river water flow in the warm season of the year from this part of the Karelian coast does not exceed 750 million m³, and stream flow – 60 million m³. Seasonal water flow has two maximums (end of May–first ten days of June and end of September–mid-October) separated by a summer low-water period. Despite the length of the summer low-water period, its share in the total seasonal runoff does not exceed 40 % (on average 34±1 %). Over the course of 6 years, the volume of stream flow in this part of the Karelian coast increased on average by 2–3 % per year, and river flow by 1–2 % per year. Two years with a low total seasonal runoff (2018 and 2022) and two years with an increased total seasonal runoff (2021 and 2023) are distinguished. The data obtained indicate that freshwater runoff from the Karelian coast to the waters of the White Sea is subject to cyclical nature with a slight increase in the total volume of continental runoff.

Keywords:

Karelian coast, rivers, streams, fresh water, warm season

Введение

Материковые воды не только главный фактор понижения водосборных пространств (Гордеев, 2012), но и одно из главных богатств северной Карелии (Изменения ..., 2012). Изменение объемов водного стока с побережья непосредственно связано с региональными изменениями природной среды и климата (Климат ..., 2004; Система ..., 2010). Все это требует систематических наблюдений за

водными артериями с целью своевременного реагирования на негативные изменения в водосборном бассейне (Мониторинг ..., 2005).

Результаты исследований водного стока малых водотоков с Карельского берега в воды Белого моря до 2017 г. были опубликованы в работах М. В. Митяева и М. В. Герасимовой (2010, 2023) и Ю. С. Долотова с соавторами (On the dynamics ..., 2002). Цель настоящей работы – выявить современную тенденцию изменений водного стока малых водных артерий Карельского берега, впадающих в губы Чупа, Медвежья, Кив, Кереть и Летняя Кандалакшского залива Белого моря в теплый сезон года. Для достижения поставленной цели на протяжении шести лет проводились измерения суточного расхода воды в 68 водотоках Карельского берега. По результатам наблюдений вычислялся сезонный расход воды каждого водотока и суммарный пресный сток в Белое море.

Материал и методы

Исследования пресного стока с Карельского берега в пять губ Кандалакшского залива Белого моря (рис. 1) проводились с 2018 по 2023 гг. Методика полевых измерений включала в себя определение скорости течения воды в водотоках (поплачковым методом) и живого сечения русла водотоков (прямым замером) в замыкающем створе выше сизигийного прилива.

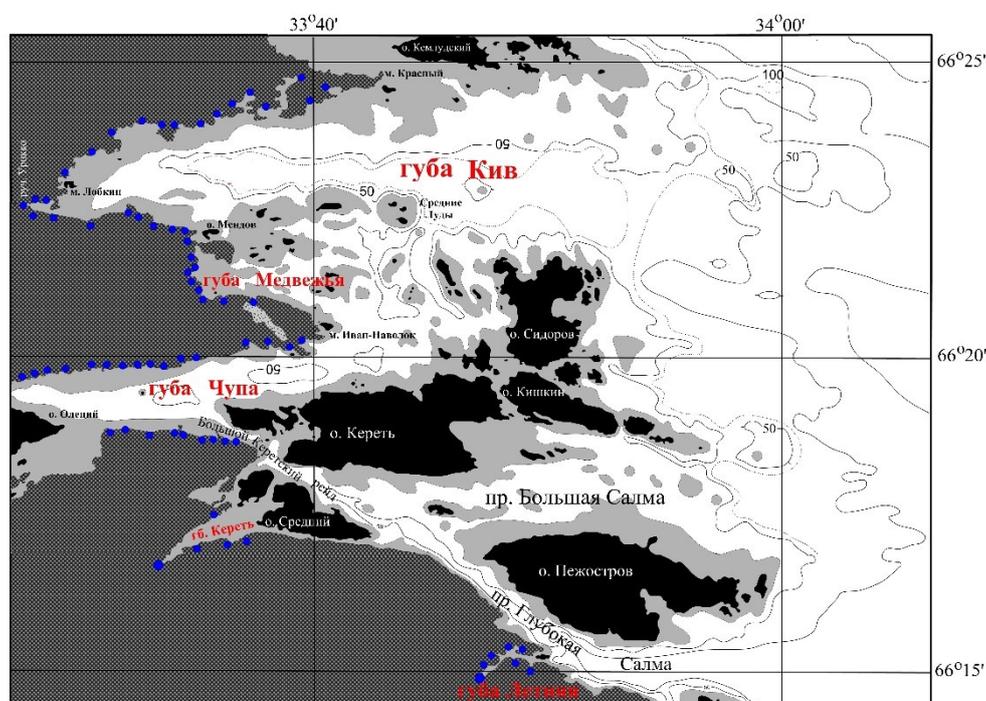


Рис. 1. Схема района работ. Синие маркеры – замыкающие створы малых водотоков

Fig. 1. Scheme of the work area. Blue markers are the closing points of small watercourses

Через скорость течения воды и площадь сечения русла вычисляли расход воды в кубических метрах за сутки. Расход воды в водотоках определяли с третьей декады мая по конец октября, замеры проводили не менее двух раз в месяц.

Пресный сток исследовали в губах Чупа (25 ручьев, в северном борту губы от о. Олений на западе до мыса Иван-Наволоки на востоке, в южном борту губы от о. Олений на западе до Большого Керетского рейда на востоке), Кив (25 ручьев, от о. Меднов на юго-востоке до устья ручья Урокко на западе и от мыса Лобкини на северо-западе до Красного мыса на северо-востоке), Медвежья (8 ручьев), Летняя (6 ручьев и р. Летняя) и Кереть (4 ручья и р. Кереть).

Результаты и обсуждение

От конца весеннего паводка (конец мая) до осеннего половодья (начало октября) суммарный сток рек Кереть и Летняя в среднем составил 0.68 ± 0.03 км³ ($n = 28$), или 96 ± 1 % от суммарного пресного стока в районе наблюдений. Исходя из того, что объем пресного стока р. Летняя не превышает 0.05 км³ в год и он в 25 раз меньше стока р. Кереть, то р. Летнюю будем рассматривать совместно с ручьями.

Суммарный летний сток в восточную часть губы Чупа в среднем составил 13.03 ± 0.92 млн м³. В губу впадает более 50 водотоков с различным объемом водного стока: от 0.01 м³ (временные ручьи) до 30 тыс. м³ в сутки (ручьи постоянного стока). В среднем за пять лет наблюдений летнего меженного сезона в губу за сутки поступало около 108 ± 19 тыс. м³ пресной воды. В этом районе известно десять временных ручьев, которые в засушливые годы не функционируют как водотоки (отсутствие водного стока у ручьев может составлять 40 сут.).

Наибольшее поступление пресных вод в губу после весеннего паводка происходит с конца мая до начала июня (171 ± 20 тыс. м³ в сутки). В июне–июле, в пик межени, пресный сток не превышает 80 тыс. м³ в сутки (в среднем 64 ± 15 тыс. м³). В осеннее половодье сток достигает 125 тыс. м³ в сутки (в среднем 97 ± 26 тыс. м³). С 2018 по 2021 годы наблюдалось увеличение стока, и в 2021 г. он составил 16.3 млн м³, что на 25 % больше среднемноголетнего стока в губу (таблица). В дальнейшем поступление пресных вод в губу существенно снизилось и в 2023 г. не отличалось от среднемноголетнего значения. В целом сток в 2018–2019 гг. лишь на 6 % меньше, чем сток в 2022–2023 гг., а годовая вариация стока в теплый сезон года не превышает 15 %.

Объем пресного стока в губы Кандалакшского залива в теплый сезон года, млн м³
Freshwater runoff in the warm season of the year, million m³

Период	Губы				
	Медвежья, $n = 420$	Чупа, $n = 845$	Кив, $n = 380$	Летняя, $n = 372$	Кереть, $n = 80$
2018 г.	2.67	10.33	25.64	17.89	567
2019 г.	3.05	13.33	29.62	27.56	674
2020 г.	3.01	12.91	31.38	27.04	655
2021 г.	3.14	16.31	38.23	37.36	726
2022 г.	2.71	11.50	24.93	18.89	607
2023 г.	3.02	13.81	33.36	33.78	714
Среднее	2.93 ± 0.09	13.03 ± 0.92	31.68 ± 2.9	27.09 ± 2.9	658 ± 27

ПРИМЕЧАНИЕ. n – количество замеров.

В губу Медвежья впадает восемь ручьев, ни один из них не пересыхает даже в самые засушливые годы. В теплый сезон года расход воды в ручьях изменялся от 120 м³ до 15.5 тыс. м³ в сутки. В среднем за это время в губу поступает 2.93 ± 0.09 млн м³ пресной воды (таблица). Наибольшее поступление пресных вод наблюдалось в мае и октябре (30.3 ± 5.6 и 30.7 ± 1.4 тыс. м³ в сутки соответственно). В июне–июле пресный сток не превышал 15 тыс. м³ в сутки (в среднем 9.3 ± 3.6 тыс. м³). Осеннее поступление пресных вод равноценно количеству водной массы, поступающей в губу после весеннего паводка (конец мая–начало июня). Так же, как и в губе Чупа, максимальный сток наблюдался в 2021 г. – 3.14 млн м³ за сезон, что на 7 % больше, чем среднемноголетний сток. В целом с 2018 по 2021 гг. отмечено увеличение стока, затем его снижение, различия между 2018–2019 и 2022–2023 гг. менее 0.5 %, годовая вариация стока в теплый сезон года достигает 20 %.

В исследуемую часть губы Кив впадает двадцать пять ручьев, пять из которых в засушливые годы пересыхают (отсутствие водного стока может достигать 30 сут.). В летнюю межень расход воды в ручьях изменяется от первых кубических метров до 330 тыс. м³ в сутки. В среднем за летний период в губу поступает 31.7 ± 2.9 млн м³ пресной воды. Наибольшее поступление пресных вод наблюдалось в сентябре (1.6 ± 0.1 млн м³ в сутки). В июне–июле пресный сток не превышал 250 тыс. м³ в сутки (в среднем 198 ± 28 тыс. м³). Сток после весеннего паводка (конец мая–начало июня) достоверно не отличается от стока после осеннего половодья (конец сентября–октябрь) (427 ± 68 тыс.

м³ и 480±84 тыс. м³ в сутки соответственно). Максимальный сток наблюдался в 2021 г. и составил 38.2 млн м³ за сезон, что на 21 % больше, чем среднемноголетний сток. Годовая вариация стока в теплый сезон года превышает 20 %, различия между 2018–2019 и 2022–2023 гг. менее 5 %.

Три губы (Чупа, Медвежья и Кив) сочленяются в районе Средних Луд (рис. 1), поэтому целесообразно оценивать пресный сток в данную часть побережья совместно. Выделим несколько ключевых моментов:

1) во всех губах пресный сток формируют водотоки, по масштабу относящиеся к ручьям, максимальный водный сток во всех губах наблюдался в 2021 г.;

2) в среднем за сезон из этой части Карельского берега в море поступает 46.5±3.2 млн м³ (38.6–57.7 млн м³) пресной воды (рис. 2А);

3) суммарный сток в 2022–2023 гг. практически соответствует таковому в 2018–2019 гг. (44.7 и 42.3 млн м³ за сезон), что свидетельствует о цикличности водного стока (увеличение стока сменяется уменьшением этого же показателя) (рис. 2Б).

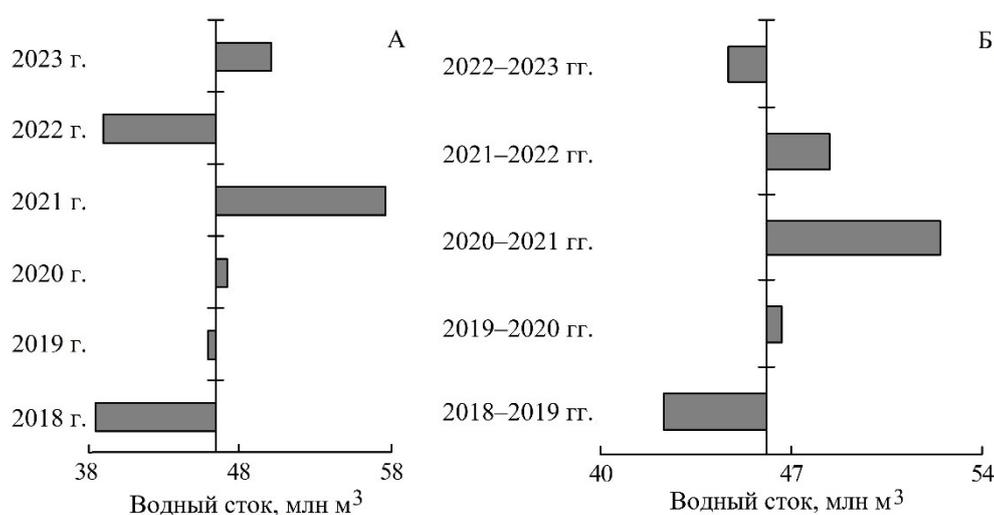


Рис. 2. Суммарный ручьевогой сток в губы Чупа, Медвежья и Кив в теплый сезон года:

А – измеренный водный сток; Б – водный сток, осредненный по двум годам; шаг – один год

Fig. 2. Total stream flow in the warm season of the year (Chupa, Medvezhya and Kiv bays):

А – measured water flow; Б – water flow averaged over two years; step one

Несмотря на цикличность пресного стока, за шесть лет произошли значительные изменения. Так в 2023 г. сток увеличился, по сравнению с 2018 г., на 11.5 млн м³, а это почти 1/4 суммарного стока в районе.

В губу Летняя впадает шесть ручьев и р. Летняя. Два впадающих в губу ручья в засушливые годы пересыхают (максимальная длительность отсутствия водного стока составляла 50 сут.). В летнюю межень расход воды в ручьях изменялся от первых кубических метров до 36 тыс. м³ в сутки, в р. Летней – от 55 до 467 тыс. м³ в сутки. Суммарный пресный сток в теплый сезон за 2018–2023 гг. в среднем составлял 27.1±3.5 млн м³ (рис. 3А). Наибольшее поступление пресных вод наблюдалось в мае, после весеннего паводка – 461±21 тыс. м³ в сутки. В июне–сентябре пресный сток не превышал 250 тыс. м³ в сутки (в среднем от 138±24 до 216±28 тыс. м³). Сток в осеннее половодье (конец сентября–октябрь) не превышал 350 тыс. м³ в сутки (в среднем 294±48 тыс. м³ в сутки). Максимальный сток наблюдался в 2021 г. – 37.4 млн м³ за сезон, что почти на 40 % больше, чем среднемноголетний сток. Годовая вариация стока в теплый сезон года превышает 50 %, различия между 2018–2019 и 2022–2023 гг. – более 13 % (рис. 3В).

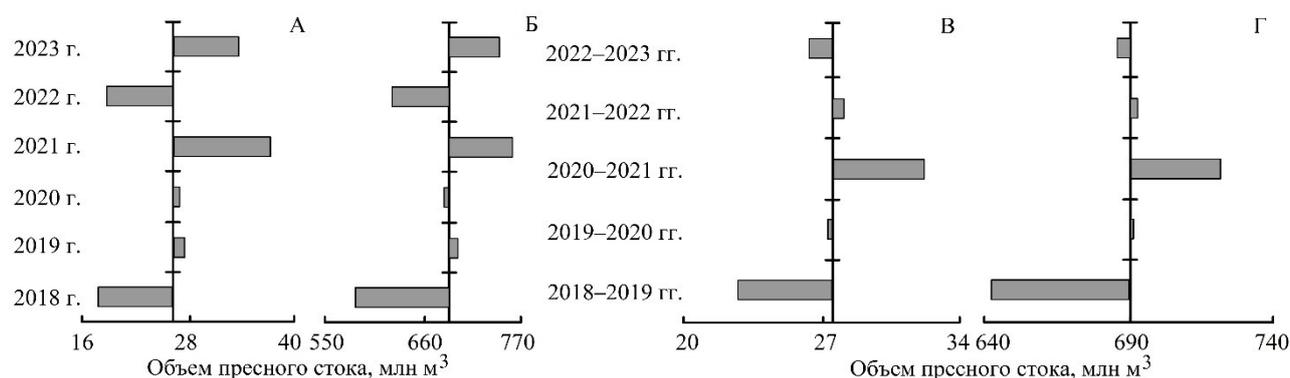


Рис. 3. Сток в теплый сезон года в губы Летняя (А, В) и Кереть (Б, Г):
 А, В – измеренный водный сток; Б, Г – водный сток осредненный по двум годам; шаг – один год
Fig. 3. Runoff in the warm season of the year: Letnyaya Bay (A, B), Keret Bay (B, G):
 A, B – measured water flow; B, G – water runoff averaged over two years; step one

В губу Кереть впадает четыре небольших ручья (три пересыхают в засушливые годы) и р. Кереть. В летнюю межень расход воды в ручьях изменяется от первых кубических метров до 2 тыс. м³ в сутки, в р. Кереть – от 3.1 до 7.4 млн м³ в сутки (в среднем 5.6±0.4 млн м³). В среднем за 2018–2023 гг. в теплый период года в губу поступило 0.68±0.03 км³ пресной воды (рис. 3Б). Наибольшее поступление пресных вод наблюдалось после весеннего паводка в мае – 7.2±0.5 млн м³ в сутки. В июне–сентябре пресный сток не превышал 5.3 млн м³ в сутки (в среднем от 4.2±0.6 до 4.8±0.4 тыс. м³). Сток в осеннее половодье (конец сентября–октябрь) был менее 6 млн м³ в сутки (в среднем 5.1±0.4 тыс. м³). Максимальный сток наблюдался в 2021 г. и составил 761 млн м³ за сезон, что почти на 10 % больше, чем среднемноголетний сток. Годовая вариация стока в теплый сезон года около 23 %, различия в стоке между 2018–2019 и 2022–2023 гг. – менее 7 % (рис. 3Г).

Несмотря на то, что пресный сток в губах Кереть и Летняя подвержен цикличности, следует признать, что он увеличился. Так в 2023 г., по сравнению 2018 г., объем пресного стока в губу Летняя увеличился на 15.9 млн м³ (на 47 %), в губу Кереть – на 147 млн м³ (на 26 %). В этих губах динамика поступления пресных вод в теплый сезон года схожа (рис. 3) и не отличается от динамики поступления пресных вод в другие исследованные губы Кандалакшского залива Белого моря (рис. 2). Минимальный сезонный сток наблюдался в 2018 и 2022 гг. (различия не превышают 7 %), максимальный сток – в 2021 и 2023 гг. (различия не превышают 9 %). Следовательно, можно с большой долей вероятности предположить, что на всем Карельском берегу пресный сток подвержен циклическим изменениям с небольшим увеличением общего объема материкового стока.

В целом с 2018 по 2023 гг. в данной части Карельского берега объем ручьевого стока увеличивался на 2–3 % в год, а речного стока – на 1–2 % в год.

Работа выполнена по теме «Структурно-динамические трансформации пелагических экосистем морских арктических бассейнов в условиях техногенных и естественных изменений среды» (№ госрегистрации 124013000709-9) в рамках государственного задания ММБИ РАН.

Список литературы

1. Гордеев В. В. Геохимия системы река–море. М.: И.П. Матушкина И. И., 2012. 452 с.
2. Изменения и изменчивость климата европейского Севера России и их влияние на водные объекты / Н. Н. Филатов, Л. Е. Назарова, А. П. Георгиев, А. В. Семенов, А. Р. Анциферова, В. Н. Ожигина, М. И. Богдан // Арктика. 2012. № 2(6). С. 80–94.
3. Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы / Под ред. член-корр. РАН Н. Н. Филатова. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2004. 224 с.

4. Митяев М. В., Герасимова М. В. Современные экзогенные процессы. Карельский берег Кандалакшского залива Белого моря. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. 102 с.
5. Митяев М. В., Герасимова М. В. Сток воды, взвешенных веществ и интенсивность эрозии (центральная часть Карельского побережья) // Изв. РАН. Сер. географическая. 2023. № 1. С. 179–191. DOI: 10.31857/S2587556623010120
6. Мониторинг приливоотливных обстановок в эстуариях Карельского побережья Белого моря / Ю. С. Долотов, Н. Н. Филатов, В. П. Шевченко, Н. Н. Немова, Н. А. Римский-Корсаков, Н. В. Денисенко, И. П. Кутчева, П. М. Бояринов, М. П. Петров, В. Х. Лифшиц, А. В. Платонов, Л. Л. Демина, В. И. Кухарев, В. Н. Коваленко, Р. Э. Здоровеннов, Т. Н. Ратькова, О. М. Сергеева, А. Н. Новигатский, Л. А. Паутова, К. В. Филиппева // Водн. ресурсы. 2005. Т. 32, № 6. С. 670–688.
7. Система Белого моря (природная среда водосбора Белого моря). М.: Научный мир, 2010. Т. I. 480 с.
8. On the dynamics of water and suspension in the Keret' River estuary (the Karelian coast of the White Sea) / Yu. S. Dolotov, V. N. Kovalenko, V. Kh. Lifshits, M. P. Petrov, A. V. Platonov, P. Prego, M. P. Rat'kova, N. N. Filatov, V. P. Shevchenko // Oceanology. 2002. Vol. 42, № 5. P. 731–740.

References

1. Gordeev V. V. *Geokhimiya sistemy reka–more* [Geochemistry of the river–sea system]. Moscow: Publ. Individual entrepreneur Matushkina I. I., 2012, 452 p. (In Russ.).
2. Filatov N. N., Nazarova L. E., Georgiev A. P., Semenov A. V., Antsiferova A. R., Ozhigina V. N., Bogdan M. I. *Izmeneniya i izmenchivost' klimata evropeyskogo Severa Rossii i ikh vliyanie na vodnye ob'ekty* [Changes and variability of climate in the European North of Russia and their impact on water bodies]. *Arktika* [Arctic], 2012, No. 2(6), pp. 80–94 (In Russ.).
3. *Klimat Karelii: izmenchivost' i vliyanie na vodnye ob'ekty i vodosbory* [Climate of Karelia: variability and impact on water bodies and catchments]. Petrozavodsk, Publ. KarSC RAS, 2004, 224 p. (In Russ.).
4. Mityaev M. V., Gerasimova M. V. *Sovremennye ekzogennyye protsessy. Karel'skiy bereg Kandalakshskogo zaliva Belogo morya* [Modern exogenous processes. Karelian coast of the Kandalaksha Bay of the White Sea]. Apatity, Publ. KSC RAS, 2010, 102 p. (In Russ.).
5. Mityaev M. V., Gerasimova M. V. *Stok vody, vzveshennykh veshchestv i intensivnost' erozii (central'naya chast' Karel'skogo poberezh'ya)* [Water flow, suspended solids and erosion intensity (central part of the Karelian coast)]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [Izvestia RAS, Geographical series], 2023, No. 1, pp. 179–191 (In Russ.). DOI: 10.31857/S2587556623010120
6. Dolotov Yu. S., Filatov N. N., Shevchenko V. P., Nemova N. N., Rimsky-Korsakov N. A., Denisenko N. V., Kutcheva I. P., Boyarinov P. M., Petrov M. P., Lifshits V. X., Platonov A. V., Demina L. L., Kukharev V. I., Kovalenko V. N., Zdorovenov R. E., Ratkova T. N., Sergeeva O. M., Novigatsky A. N., Pautova L. A., Filipeva K. V. *Monitoring prilivootlivnykh obstanovok v estuariyakh Karel'skogo poberezh'ya Belogo morya* [Monitoring tidal conditions in the estuaries of the Karelian coast of the White Sea]. *Vodnye resursy* [Water resources], 2005, Vol. 32, No. 6, pp. 670–688 (In Russ.).
7. *Sistema Belogo morya. Prirodnaya sreda vodosbora Belogo morya* [The White Sea system. Natural environment of the White Sea catchment area]. Moscow, Scientific World Publ. house, 2010, Vol. 1, 480 p. (In Russ.).
8. Dolotov Yu. S., Kovalenko V. N., Lifshits V. Kh., Petrov M. P., Platonov A. V., Prego P., Rat'kova M. P., Filatov N. N., Shevchenko V. P. On the dynamics of water and suspension in the Keret' River estuary (the Karelian coast of the White Sea). *Oceanology*, 2002, Vol. 42, No. 5, pp. 731–740.

Информация об авторах

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>

Information about the authors

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>

Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 25.03.2024; принята к публикации 02.04.2024.
The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 25.03.2024; accepted for publication 02.04.2024.

Научная статья
УДК 574.34
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.012

МЕГАБЕНТОС ЗАПАДНОГО ПРИБРЕЖЬЯ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ В ПРИЛОВАХ ДОННОГО ТРАЛА

Константин Константинович Москвин

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
tyash@yandex.ru

Аннотация

В августе 2023 г. в рамках морской экспедиции на НИС «Дальние Зеленцы» вдоль западного берега архипелага Новая Земля была проведена оценка видового разнообразия и биомассы мегабентоса в приловах донного трала. Идентифицированы представители 29 таксонов мегабентоса, относящихся к 6 типам. Наибольшее видовое разнообразие (20 видов) отмечено на севере побережья архипелага Новая Земля, где по биомассе доминировали морские ежи *Strongylocentrotus pallidus* – 237.1 кг/км². При продвижении с севера на юг отмечена тенденция к снижению в 5 раз видового разнообразия мегабентоса и сокращению средней биомассы организмов – от 17.2 до 0.47 кг/км². На севере района исследований выделена ассоциация морских ежей *S. pallidus* и офиур *Gorgonocephalus* sp. (доля по биомассе в приловах – 84 %), сменяемая к югу ассоциацией морских ежей *S. pallidus* и ракообразных *Chionoecetes opilio* (74.6 %). По результатам анализа избыточности RDA, влияние тралового промысла и тип водных масс оказывают наибольшее влияние на видовое разнообразие и биомассу мегабентических организмов. Интенсивность траления, тип водных масс, а также тип грунта объясняют 75 % наблюдаемой изменчивости указанных биологических параметров.

Ключевые слова:

мегабентос, биоразнообразие, Баренцево море, распределение видов, Crustacea, Echinodermata

Original article

MEGABENTHOS OF THE NOVAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO WEST COAST IN TRAWL BYCATCH

Konstantin K. Moskvina

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
tyash@yandex.ru

Abstract

As a part of a marine expedition on the R/V «Dalnye Zelentsy» along the western coast of the Novaya Zemlya archipelago, an assessment of megabenthic species diversity and biomass in bycatch of trawl was carried out in August 2023 specimens of 29 taxa belonging to 6 phyla were identified during the survey. The highest species diversity (20 species) was recorded in the northern coastal area of the Novaya Zemlya archipelago, where the dominant forms in terms of biomass were sea urchins *Strongylocentrotus pallidus* – 237.1 kg/km². A tendency for a 5-fold decrease in megabenthos species diversity and a decrease in the average biomass of organisms – from 17.2 to 0.47 kg/km² was detected with transition from north to south. The association of sea urchins *S. pallidus* and brittle stars *Gorgonocephalus* sp. (84 % biomass share of representatives in bycatch) is identified in the north of the study area, which is replaced by the association of sea urchins *S. pallidus* and crustaceans *Chionoecetes opilio* (74.6 %) when moving to the south. According to the results of the RDA analysis, the effects of trawl fishing and type of water mass have the greatest impact on species diversity and biomass of megabenthic organisms. Trawling intensity, type of water mass, and sediment characteristics explain 75 % of the observed variability in these biological parameters.

Keywords:

megabenthos, biodiversity, Barents Sea, species distribution, Crustacea, Echinodermata

Несмотря на то, что мегабентос является неотъемлемой составляющей придонных сообществ Баренцева моря, обеспечивающих значительный вклад в их общую биомассу, его мониторинг проводится не так часто. Это обусловлено рядом особенностей, связанных с орудиями лова, используемых при отборе проб. Чаще всего бентосные съемки проводятся посредством применения дночерпателей разной площади захвата, однако крупные придонные организмы, как правило, таким образом не улавливаются ввиду их сравнительно низкой плотности поселения. Поэтому для их вылова

применяются тралы и драги, позволяющие составить общие представления о видовом разнообразии, но не дающие достоверных результатов о показателях их численности и биомассы. Указанные количественные характеристики играют ведущую роль в оценке придонных сообществ, а потому применение дночерпателей, как правило, целесообразнее.

Однако исследования донных организмов крупных размеров могут быть проведены совместно с работами по оценке ихтиологических ресурсов в том или ином районе. При вылове рыбы с применением донных тралов возможен учет мегабентоса, поднимаемого в качестве прилова, непосредственно на борту судна. Данная практика позволяет составить приблизительное представление о плотности поселения и биомассе указанных организмов на площадь, определяемую продолжительностью траления, что, в свою очередь, открывает возможность мониторинга данных показателей за конкретный временной период в будущем.

Мегабентос Баренцева моря был изучен ранее (Mapping ..., 2010; Мегабентос ..., 2010; Распределение ..., 2012; Varents ..., 2020). Однако в последние годы отмечается увеличение интенсивности тралового промысла в районе исследований и распространение краба-стригуна *Chionoecetes opilio*. Эти обстоятельства могут оказывать влияние на состояние крупных придонных организмов. Цель данной работы – оценка современного состояния мегабентоса в районе западного побережья архипелага Новая Земля.

Указанный район исследований находится под влиянием прибрежной ветви теплого Новоземельского течения. На мелководье вблизи Северного острова Новой Земли преобладают глинистые илы, при переходе в южном направлении имеют место более твердые материалы в осадке, как правило, песчанистые илы с гравием. Кроме того, здесь отмечена зона повышенного содержания органического вещества (1.5–2.5 %), служащего источником пищи для всех организмов зообентоса (Денисенко, 2013). Донные сообщества побережья Новой Земли вносят весомый вклад (до 500 г/м²) в общее распределение биомассы по всему Баренцеву морю (Денисенко, 2013), что также обуславливает необходимость мониторинга в данном районе.

Материал и методы

Видовое разнообразие мегабентоса было исследовано в приловах донного трала (горизонтальное раскрытие – 12–14 м, вертикальное – 3.5–4.5 м, размер ячее в кутовой части мешка – 138 мм, ячей мелкочечной вставки – 12 мм), буксируемым со скоростью 3.2 узла в течение 30 мин. Площадь облова при проведении донной траловой съемки составила 0.039 км². Осуществлялся отбор бентосных организмов из улова, на борту судна проводилась их идентификация с использованием определителей (Дьяконов, 1949; Палубный ..., 2017) до возможного таксономического уровня, также определялась их биомасса. Для каждой станции были выделены доминирующие по биомассе таксоны. Показатели численности в данной работе не рассматривались, так как донный трал является качественным орудием лова, поэтому данный показатель в них можно оценить только приблизительно. Для оценки влияния биотических и абиотических факторов на биологические показатели мегабентоса был проведен кластерный анализ в программном обеспечении по обработке научных данных PAST с применением количественного индекса Брея-Кёртиса (алгоритм парного присоединения). С целью нормализации данные были преобразованы в вид $\log(x + 1)$, где x – биомасса. Проверка достоверности выделения групп станций осуществлялась с применением анализа соответствий (ANOSIM).

Для анализа тенденций в изменчивости биологических показателей под воздействием экологических (температуры, солености) и интегральных факторов (типы грунта и водных масс, глубины, интенсивности траления) на станциях был использован анализ избыточности (RDA). Сведения об интенсивности траления были взяты из публикации А. В. Голенкевича с соавторами (2022), где данная величина указана в процентах протраленного дна в 0.01-мильных (элементарных) квадратах. Оценивался отклик на показатели биомассы основных типов организмов – Arthropoda, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca, Porifera, зарегистрированных в приловах. Всего в Баренцевом море в рамках экспедиции в пределах побережья архипелага Новая Земля в августе было выполнено 15 донных тралений (рис. 1).

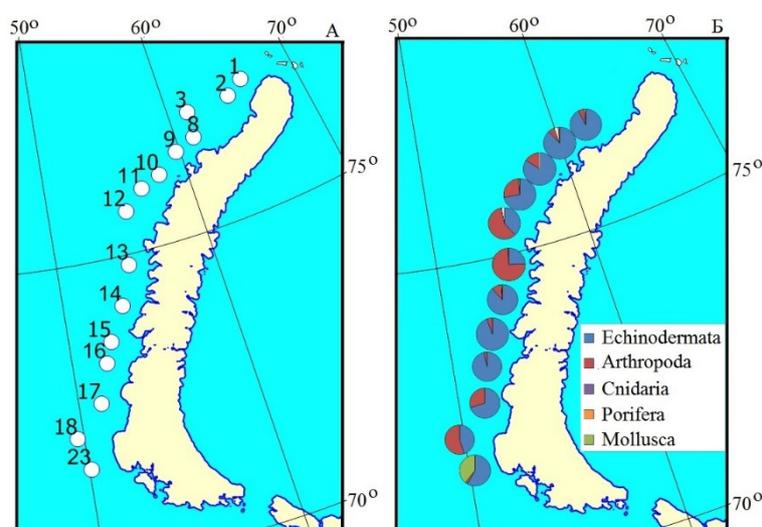


Рис. 1. Карта-схема района исследований в Баренцевом море в августе 2023 г.:

А – расположение станций отбора проб; Б – соотношение средних значений биомассы основных типов донных организмов

Fig. 1 Map-scheme of the study area in the Barents Sea in August 2023:

A – sampling station locations; Б – ratio of average biomass values of the main types of benthic organisms

Работы были начаты на севере архипелага в районе полуострова Литке и продолжены на станциях в направлении юга до полуострова Гусиная Земля (табл. 1). Диапазон глубин составил 73–159 м. Станции находились в пределах влияния двух типов водных масс.

Таблица 1

Характеристика района работ в августе 2023 г.

Table 1

Sampling area characteristics in August 2023

Станция	Дата	Координаты		Глубина	Т, °С	S, ‰	Тип водных масс
		начала/конца траления	широта				
1	25	77°10.5/77°11.3	66°05.1/66°08.9	89/73	-0.52	34.8	Баренцевоморские
2		77°00.0/76°59.2	64°39.9/64°34.0	140/140	-0.23	34.8	Баренцевоморские
3		76°59.4/76°59.5	61°28.0/61°20.7	137/137	0.39	34.8	Баренцевоморские
8	26	76°34.1/76°33.6	61°16.0/61°10.3	100/100	-0.53	34.7	Баренцевоморские
9		76°26.0/76°27.3	59°43.8/59°47.5	88/107	0.51	34.8	Баренцевоморские
10		76°08.8/76°10.2	58°06.9/58°11.2	92/100	-0.65	34.7	Баренцевоморские
11	27	76°00.8/75°59.7	56°41.2/56°36.8	98/102	-0.83	34.7	Баренцевоморские
12		75°42.5/75°41.9	55°15.9/55°15.0	105/100	-0.85	34.8	Баренцевоморские
13		74°49.9/74°48.6	54°36.3/54°35.4	140/132	1.65	34.8	Прибрежные новоземельские
14		74°11.0/74°09.6	53°36.9/53°35.4	159/153	1.25	34.8	Прибрежные новоземельские
15		73°38.2/73°36.8	52°30.6/52°28.8	87/87	1.19	34.7	Прибрежные новоземельские
16	28	73°18.2/73°16.8	51°59.3/51°57.0	89/93	1.43	34.7	Прибрежные новоземельские
17		72°39.2/72°37.8	51°14.3/51°12.5	101/100	1.86	34.7	Прибрежные новоземельские
18		72°08.1/72°06.6	49°38.7/49°39.7	116/115	1.69	34.8	Прибрежные новоземельские
23	29	71°36.1/71°34.9	50°07.6/50°04.6	120/120	0.88	34.7	Прибрежные новоземельские

Результаты

Представители зообентоса были отмечены на 12 из 15 станций, на станциях 1–3 они отсутствовали (табл. 2). Идентифицировано 29 таксонов мегабентоса, относящихся к 6 типам. Наибольшая частота встречаемости была характерна для морских ежей *Strongylocentrotus pallidus* (66.7 %) и *S. droebachiensis* (60 %), а также офиур рода *Gorgonocephalus* (60 %) и краба-стригуна *C. opilio* (60 %).

Таблица 2

Видовой состав зообентоса в уловах донного трала и частота встречаемости видов на станциях

Table 2

Zoobenthos species composition in bottom trawl catches and species frequency of occurrence at stations

Таксон	Станции												ЧВ, %
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	23	
Тип Annelida													
<i>Spiochaetopterus typicus</i>	–	–	+	–	–	+	+	–	–	–	–	–	20.0
Тип Arthropoda													
<i>Balanus balanus</i>	+	+	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	20.0
<i>Chionoecetes opilio</i>	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–	+	+	60.0
<i>Hyas araneus</i>	+	+	–	–	–	–	+	+	+	+	–	–	40.0
<i>Pagurus pubescens</i>	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.7
<i>Pandalus borealis</i>	+	+	–	+	–	–	+	+	–	–	–	–	33.3
<i>Sabinea septemcarinata</i>	+	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–	26.7
<i>Sclerocrangon boreas</i>	+	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	20.0
<i>Spirontocaris spinus</i>	+	+	–	+	–	–	–	+	–	–	–	–	26.7
Тип Cnidaria													
Hydroidea g. sp.	+	+	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–	26.7
<i>Hormanthia digitata</i>	+	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	13.3
<i>Hormanthia nodosa</i>	+	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	20.0
Тип Echinodermata													
<i>Crossaster papposus</i>	+	+	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	33.3
<i>Gorgonocephalus</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	–	+	–	–	60.0
<i>Heliometra glacialis</i>	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	13.3
<i>Ophiacantha bidentata</i>	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	6.7
<i>Ophiopholis aculeata</i>	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.7
<i>Ophiura sarsii</i>	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.7
<i>Pteraster obscurus</i>	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.7
<i>Solaster endeca</i>	–	–	–	–	–	+	+	–	–	–	–	–	13.3
<i>Solaster syrtensis</i>	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	6.7
<i>Stegophiura nodosa</i>	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6.7
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	+	+	+	+	+	–	–	+	+	+	+	–	60.0
<i>Strongylocentrotus pallidus</i>	+	+	+	+	+	+	–	+	+	+	+	–	66.7
<i>Urasterias lincki</i>	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	13.3
Тип Mollusca													
<i>Chlamys islandica</i>	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	+	13.3
Тип Porifera													
Всего	19	16	9	8	7	8	9	6	4	4	3	2	

ПРИМЕЧАНИЕ. ЧВ – частота встречаемости.

В направлении с севера на юг количество видов снижается в 5 раз, достигая минимальных значений вблизи полуострова Гусиная Земля (3 вида). В прилове по числу видов преобладают представители типов Echinodermata (8 видов) и Arthropoda (8 видов). Резкое снижение средней биомассы мегабентических организмов также отмечается при продвижении с севера на юг в прибрежье Новой Земли (рис. 2). На станциях преобладают представители типа Echinodermata, составляя до 94 % (ст. 15) организмов в тралах (рис. 1). Как правило, в данной группе наибольший вклад в биомассу в приловах обеспечивали морские ежи *S. pallidus* (237.1 кг/км²) и офиуры рода *Gorgonocephalus* (190.1 кг/км²). Максимальных показателей биомассы морские ежи достигали на севере архипелага Новая Земля, снижаясь к югу в 14 раз (17.43 кг/км²).

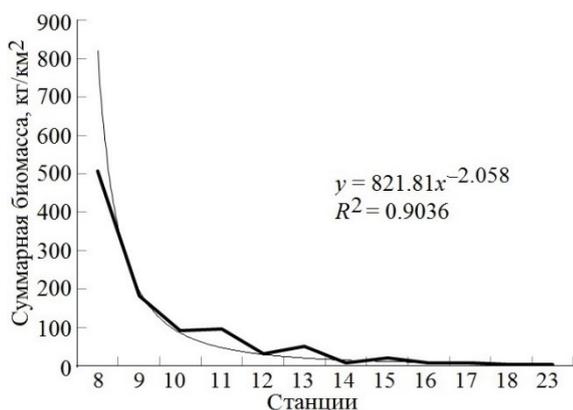


Рис. 2. Суммарная биомасса мегабентоса в районе исследований
Fig. 2. Total biomass of megabenthos in the study area

Анализ избыточности показал изменчивость биологических переменных по двум компонентам (рис. 3). Первый компонент, объясняющий 51.7 % изменчивости биологических параметров, демонстрирует общую тенденцию к переходу от станций, расположенных в районах меньшей интенсивности тралений и омываемых баренцевоморскими водными массами (станции 8–12),

к станциям, находящимся в зонах активного тралового промысла прибрежных новоземельских вод (станции 13–23). Второй компонент, объясняющий 13.6 % изменчивости, в основном коррелировал с типом грунта на исследованных станциях ($p = 0.031$). Интенсивность траления, тип водных масс и грунта объясняют 75 % наблюдаемой изменчивости указанных биологических переменных.

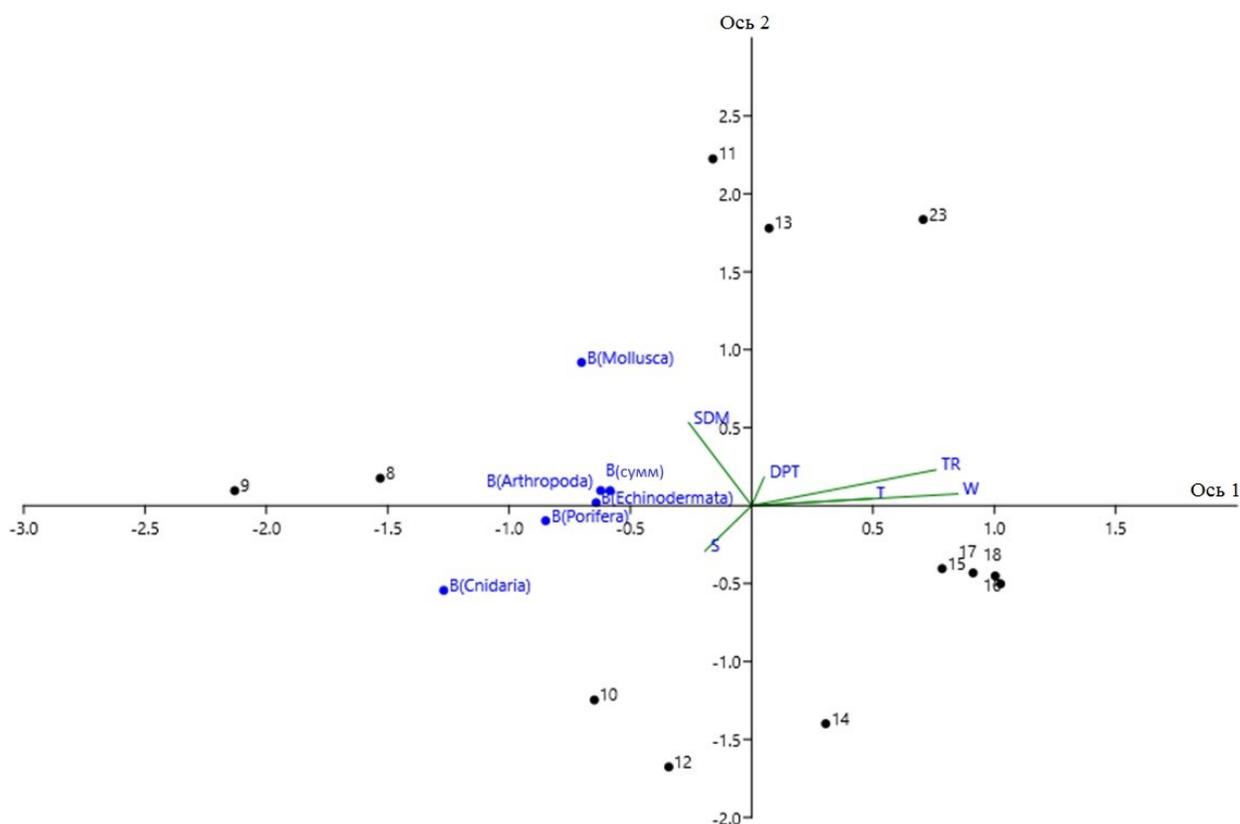


Рис. 3. Результаты анализа избыточности:

SDM – тип грунта, DPT – глубина, TR – интенсивность тралений, W – тип водных масс, T – температура, S – соленость, B – биомасса

Fig. 3. Redundancy analysis results:

SDM – sediment type, DPT – depth, TR – trawling intensity, W – water mass type, T – temperature, S – salinity, B – biomass

В результате кластерного анализа станции достоверно сгруппировались (ANOSIM, $p = 0.0039$) в две крупные ассоциации с доминирующими по биомассе видами (рис. 4). В первой (станции 8–13)

было зарегистрировано преобладание морских ежей *S. pallidus* и офиур *Gorgonocephalus* sp. – 84 % (доля по биомассе в прилогах). Вторая ассоциация представляет собой комбинацию доминирующих по биомассе морских ежей *S. pallidus* и десятиногих ракообразных *C. opilio* – 74.6 %. Отдельно была выделена ст. 14, где по биомассе доминировали морские звезды *S. endeca* – 58.4 %, зарегистрированные в больших количествах исключительно в данной точке.

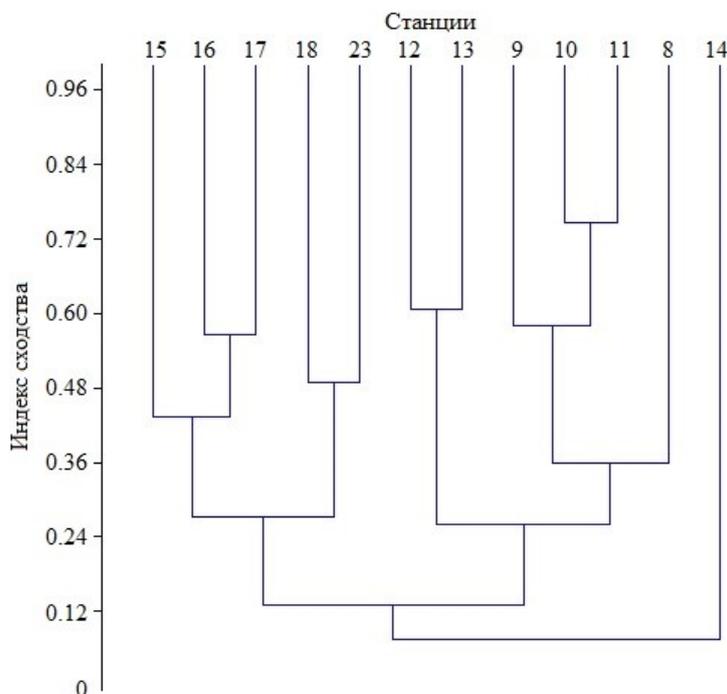


Рис. 4. Дендрограмма сходства видового разнообразия станций в районах исследований с применением несходства Брея-Кёртиса

Fig. 4. Species diversity dendrogram of similarity in the study areas using Bray-Curtis dissimilarity

Обсуждение

Работы по изучению мегабентоса в прибрежье Новой Земли, опубликованные в последние годы (Mapping ..., 2010; Мегабентос ..., 2010; Распределение ..., 2012; Varents ..., 2020), выполнены на материале, отобранном до 2017 г. С тех пор в указанном районе исследований увеличилась не только интенсивность тралений (Голенкевич и др., 2022), но и стал проводиться вылов краба-стригуна *C. opilio*. Анализ избыточности продемонстрировал сравнительно значительный коэффициент влияния интенсивности донных тралений (0.76 по оси 1) на показатели общей биомассы выделенных типов крупных придонных организмов. Второй фактор, оказывающий наибольшее воздействие (0.86 по оси 1) на изменчивость показателей, – тип водных масс. Данная характеристика является сравнительно постоянной и демонстрирует, скорее всего, изначальное, исторически сложившееся распределение организмов.

Обращают на себя изменения показателей мегабентоса по сравнению с таковыми в 2017 г. (Varents ..., 2020). Общее видовое разнообразие в наших исследованиях значительно ниже. Это может быть связано с отличиями в применяемых орудиях лова. Ячея донного трала, используемого нами, значительно шире (138 мм) таковой в работах прошлых лет (80 мм). Как следствие, мелкие организмы, такие как Annelida (был зарегистрирован лишь 1 вид) и Mollusca (1 вид) практически не улавливаются.

Несмотря на различия в размере ячеи, показатели средней биомассы мегабентических организмов на севере прибрежья архипелага (17.2 кг/км²) соответствуют зарегистрированным ранее (Zakharov et al., 2020). Это станции 8 и 9, расположенные за пределами систематической траловой

активности (Голенкевич и др., 2022), на которых было отмечено преобладание морских ежей *S. pallidus*. Однако на западе побережья архипелага, в районе повышенной траловой активности (станции 13–15), указанные показатели были значительно ниже (минимальное значение – 0.5 кг/км²). На остальных станциях полученные результаты при переходе с севера к югу соответствовали литературным данным (Zakharov et al., 2020).

На станциях 12 и 13 наибольшая доля в приловах принадлежит подвижным представителям типа Arthropoda (до 74 %). Это может быть объяснено повышенным воздействием орудий лова на субстрат и неспособности неподвижных и малоподвижных представителей мегабентоса к быстрому восстановлению своих поселений. Более того, данные станции расположены в районе теплого прибрежного Новоземельского течения, воздействие которого заканчивается севернее. Преимущественно в приловах были идентифицированы десятиногие ракообразные *C. opilio* (60 %) и *H. araneus* (33 %) (табл. 2). Краб-стригун является видом-вселенцем, впервые зарегистрированным в водах Баренцева моря в конце XX века (Краб-стригун ..., 2016). В силу сравнительно недавнего обнаружения представителей данного вида в северных водах необходимо проводить мониторинг их пространственного распределения, плотности поселения и биомассы. Особый интерес также представляют связанные с деятельностью краба-стригуна *C. opilio* экосистемные изменения.

На станции 23, расположенной вблизи Гусиной банки, в приловах значительно возросла доля моллюсков (39 %). Ввиду широкой ячеи сети трала, применяемого в наших исследованиях, особи моллюсков мелких размеров, как правило, не улавливались, поэтому в донных тралах были зарегистрированы лишь достаточно крупные представители *C. islandica*.

Заключение

В побережье архипелага Новая Земля идентифицированы представители 29 таксонов мегабентоса шести типов (Annelida, Arthropoda, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca, Porifera). Число видов и биомасса мегабентоса при продвижении с севера на юг в побережье архипелага Новая Земля значительно снижается. По-видимому, это обусловлено коммерческой деятельностью человека в побережье архипелага (в частности, интенсивностью траления при вылове рыб). Средние показатели биомассы основных типов животных на западе побережья архипелага Новая Земля ниже показателей, зафиксированных в работах прошлых лет.

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

Список литературы

1. Голенкевич А. В., Денисенко С. Г., Паиковский А. А. Некоторые особенности нецелевых траловых приловов основных групп мегабентоса в результате донного промысла в Баренцевом море в 2019–2021 гг. // Тезисы докладов Всероссийской конференции «Морская биология в 21 веке: систематика, генетика, экология морских организмов (памяти академика Олега Григорьевича Кусакина)», 20–23 сентября 2022 г. Владивосток: Национальный научный центр морской биологии им. А. В. Жирмунского ДВО РАН, 2022. С. 74–76.
2. Денисенко С. Г. Биоразнообразие и биоресурсы макробоентоса Баренцева моря: Структура и многолетние изменения. СПб.: Наука, 2013. 284 с.
3. Дьяконов А. М. Определитель иглокожих дальневосточных морей (Берингова, Охотского и Японского). Владивосток: Приморское краевое изд-во, 1949. 134 с.
4. Краб-стригун опилио *Chionoecetes opilio* в Баренцевом и Карском морях / Ред. Н. А. Стрелкова, И. Е. Манушин, А. М. Сенников. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2016. 242 с.
5. Мегабентос Баренцева моря / П. А. Любин, Н. А. Анисимова, Л. Л. Йоргенсен, И. Е. Манушин, Т. А. Прохорова, Д. В. Захаров, Н. Е. Журавлева, А. В. Голиков, А. Р. Мороз // 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. 192–199.

6. *Палубный* определитель основных групп мегабентоса Баренцева моря / Д. В. Захаров, Н. А. Стрелкова, И. Е. Манушин, О. Л. Зими́на, А. В. Голиков. Мурманск: WWF, 2017. 44 с.
7. *Распределение* ракообразных (Crustacea) в западной части Баренцева моря по данным траловых съемок в 2011 г. / О. С. Любина, О. Л. Зими́на, П. А. Любин, Л. Л. Йоргенсен // Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 1–3 ноября 2012 г.). Вып. 11. М.: ГЕОС, 2012. С. 154–160.
8. *Barents Sea megabenthos: spatial and temporal distribution and production* / D. V. Zakharov, L. L. Jorgensen, I. E. Manushin, N. A. Strelkova // *Mar. Biol. J.* 2020. Vol. 5(2). P. 19–37.
9. *Mapping and monitoring of benthos in the Barents Sea and Svalbard waters: Result from the joint Russian-Norwegian benthic programme 2006–2008* / N. A. Anisimova, L. L. Jorgensen, P. A. Lyubin, I. E. Manushin // *IMR-PINRO Joint Report Series*. Bergen: IMR/PINRO: 2010. 114 p.

References

1. Golenkevich A. V., Denisenko S. G., Pashkovskiy A. A. Nekotorye osobennosti netsel'evykh tralovykh prilovov osnovnykh grupp megabentosa v rezultate donnogo promysla v Barentsevom more v 2019–2021 gg. [Some specifics of non-target trawl bycatch of major megabenthos groups from bottom fisheries in the Barents Sea in 2019–2021]. *Tezisy докладov Vserossiyskoy konferentsii «Morskaya biologiya v 21 veke: sistematika, genetika, ekologiya morskikh organizmov (pamyati akademika Olega Grigor'evicha Kusakina)», 20–23 sentyabrya 2022 g.* [Abstracts of the All-Russian Conference «Marine Biology in the 21st Century: Systematics, Genetics, Ecology of Marine Organisms (in commemoration of the Academician Oleg G. Kussakin)», September 20–23, 2022]. Vladivostok, A. V. Zhirmunsky National Scientific Center for Marine Biology of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 2022, pp. 74–76 (In Russ.)
2. Denisenko S. G. *Bioraznoobrazie i bioresursy makrozoobentosa Barentseva morya: Struktura i mnogoletnie izmeneniya* [Biodiversity and bioresources of the Barents Sea macrozoobenthos: structure and multi-year changes]. Saint Petersburg, Nauka, 2013, 284 p. (In Russ.)
3. D'yakonov A. M. *Opredelitel' iglokozhhikh dalnevostochnykh morey (Beringova, Okhotskogo i Yaponskogo)* [Far Eastern seas (Bering, Okhotsk and Sea of Japan) echinoderms identification guide]. Vladivostok, Primorsky regional publ. house, 1949, 134 p. (In Russ.)
4. *Krab-strigun opilio Chionoecetes opilio v Barentsevom i Karskom moryakh* [*Chionoecetes opilio* in the Barents and Kara seas]. N. A. Strelkova, И. Е. Manyshin, A. M. Sennikov (Eds.). Murmansk, Publ. PINRO, 2016, 242 p. (In Russ.)
5. Lubin P. A., Anisimova N. A., Jorgensen L. L., Manushin I. E., Prokhorova T. A., Zakharov D. V., Zhuravleva N. E., Golikov A. V., Morov A. R. Megabenthos Barentseva morya [Megabenthos of the Barents Sea]. *Priroda shel'fa i arhipelagov evropeyskoy Arktiki. Kompleksnye issledovaniya prirody Shpitsbergena: Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Murmansk, 27–30 oktyabrya 2010 g.), Vypusk 10* [Nature of the shelf and archipelagos of the European Arctic. Complex investigations of the Svalbard Archipelago nature: Proceedings of the International Scientific Conference (Murmansk, October 27–30, 2010), iss. 10]. Moscow, GEOS, 2010, pp. 192–200 (In Russ.)
6. Zakharov D. V., Strelkova N. A., Manushin I. E., Zimina O. L., Golikov A. V. *Palubnyy opredelitel' osnovnykh grupp megabentosa Barentseva morya* [Main megabenthos groups of the Barents Sea deck identification guide]. Murmansk, WWF, 2017, 44 p. (In Russ.)
7. Lubina O. S., Zimina O. L., Lubin P. A., Jorgensen L. L. *Paspredelenie dekapod (Crustacea) v zapadnoy chasti Barentseva morya po dannym tralovykh s'emok v 2011 g.* [Distribution of Decapod crustaceans in the western part of the Barents Sea based on data from trawl survey of 2011 year]. *Kompleksnye issledovaniya prirody Shpitsbergena: Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (Murmansk, 1–3 noyabrya 2012 g.), Vypusk 11* [Complex investigations of the Svalbard Archipelago nature: Proceedings of the International Scientific Conference (Murmansk, November 1–3, 2012), iss. 11]. Moscow, GEOS, 2012, pp. 154–160 (In Russ.)

8. Zakharov D. V., Jorgensen L. L., Manushin I. E., Strelkova N. A. Barents Sea megabenthos: spatial and temporal distribution and production. *Mar. Biol. J.*, 2020, Vol. 5(2), pp. 19–37.
9. Anisimova N. A., Jorgensen L. L., Lyubin P. A., Manushin I. E. Mapping and monitoring of benthos in the Barents Sea and Svalbard waters: Result from the joint Russian-Norwegian benthic programme 2006–2008. *IMR-PINRO Joint Report Series*, Bergen, IMR/PINRO, 2010, 114 p.

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Статья поступила в редакцию 09.04.2024; одобрена после рецензирования 12.04.2024, принята к публикации 17.04.2024.
The article was submitted 09.04.2024; approved after reviewing 12.04.2024; accepted for publication 17.04.2024.

Научная статья
УДК 582.261/.2791
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.013

ЭПИФИТЫ *ASCOPHYLLUM NODOSUM* (PHAEOPHYCEAE) И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ХОЗЯИНА В ГУБЕ ТЕРИБЕРСКАЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

**Алексей Максимович Нерезенко¹, Софья Александровна Тупицына¹,
Светлана Владимировна Малавенда², Инна Валерьевна Рыжик²**

¹Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск, Россия
alexnerenzenko@gmail.com, valentinavigginn@gmail.com

²Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
malavenda@yandex.ru, alaria@yandex.ru

Аннотация

Исследован видовой состав, биомасса, встречаемость эпифитов и их расположение на талломе *Ascophyllum nodosum* в губе Териберская Баренцева моря. Изучено влияние эпифитов *Elachista fucicola* и *Vertebrata lanosa* на содержание метаболически важных веществ в талломе аскофиллума. Отмечено, что весной и осенью присутствие эпифитов на талломе *A. nodosum* не влияет на физиологическое состояние.

Ключевые слова:

фукоиды, эпифиты, *Elachista fucicola*, *Vertebrata lanosa*, полифенолы, маннит, пигменты, каталаза

Original article

EPIPHYTES OF *ASCOPHYLLUM NODOSUM* (PHAEOPHYCEAE) AND THEIR INFLUENCE ON THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF THE HOST IN THE TERIBERSKAYA BAY OF THE BARENTS SEA

Alexey M. Nerezenko¹, Sofia A. Tupitsyna¹, Svetlana V. Malavenda², Inna V. Ryzhik²

¹Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia
alexnerenzenko@gmail.com, valentinavigginn@gmail.com

²Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
malavenda@yandex.ru, alaria@yandex.ru

Abstract

The species composition, biomass, occurrence of epiphytes and their location on the *Ascophyllum nodosum* thallom in the Teriberskaya Bay of the Barents Sea were studied. The effect of epiphytes *Elachista fucicola* and *Vertebrata lanosa* on the content of metabolically important substances in the ascophyllum thallus has been studied. It was noted that in spring and autumn, the presence of epiphytes on the thallus of *A. nodosum* does not affect the physiological state.

Keywords:

fucoids, epiphytes, *Elachista fucicola*, *Vertebrata lanosa*, polyphenols, mannitol, pigments, catalase, species diversity, species composition, distribution

Введение

Бурая многолетняя водоросль *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis широко распространена на побережье Северной Атлантики и юга Баренцева и Карского морей. Это один из ключевых видов морских прибрежных экосистем, поскольку является доминирующим в сообществах водорослей, основным поставщиком органического вещества, формирует трехмерную структуру придонных сообществ (Climate ..., 2017). Промысловый вид, так как является источником ценных веществ для фармакологии и используется при производстве корма для домашних животных в некоторых странах (A concise ..., 2020). Изучение устойчивости к заселению эпифитами у промысловых водорослей активно ведется по всему миру. Эпифиты затеяют *A. nodosum*, но он успешно приспосабливается (Kraberg, Norton, 2007). Морские растения контролируют заселение организмов (эпибионтов) на своей поверхности различными способами. *Ascophyllum nodosum* сбрасывает остатки эпидермального материала, удаляя таким образом эпибионтов и подвергая незагрязненные поверхности новому циклу

колонизации (Halat et al., 2020). Верхняя часть эпидермального слоя клеток вместе с прикрепленными к ним эпибионтами отделяется от нижележащих клеток, обнажая их и делая доступными к заселению новыми поколениями эпифитов.

Считается, что неровности на поверхности способствуют закреплению *Vertebrata lanosa* (Rhodophyta), поскольку они нарушают обтекаемую форму слоевища хозяина, возможно создают гидродинамические условия, благоприятствующие заселению и выживанию спор (Pearson, Evans, 1990; Garbary et al., 1991; Garbary, Deckert, 2001; Kraberg, Norton, 2007). Наличие повреждений, трещинок на поверхности таллома создает защиту от движения воды и способствует закреплению осевших спор (Filion-Myklebust, Morton, 1981).

В исследованиях на побережье Канады *V. lanosa* была отмечена на талломе *A. nodosum*, но в основном в его средней части, *Elachista fucicola* и *Pylaiella littoralis* встречались у молодых особей, непосредственно возле апикальных элементов таллома (Longtin, Scrosati, 2009).

Негативного воздействия эпифитов на *A. nodosum* на данный момент не выявлено, более того, облигатный эпифит *V. lanosa* стимулирует рост аскофиллума (Garbary et al., 2005). В местах проникновения ризоидов *V. lanosa* в слоевище *A. nodosum* наблюдается локализованный некроз клеток аскофиллума, прилегающие клетки становятся темно пигментированными (Garbary et al., 2005). Поскольку эпифиты – это организмы, которые растут непосредственно на поверхности водорослей и снижают доступ солнечного света к клеткам под ними, это может уменьшить продуктивность фотосинтеза. Эпифиты также могут конкурировать с водорослями за питательные вещества, что может привести к еще большему стрессу для аскофиллума (Characteristics ... 2020).

Для понимания характера взаимодействия традиционно используются вещества-маркеры физиологического состояния. У фукусовых таковыми являются маннит и фотосинтетические пигменты, показателями наличия стресса могут служить изменения активности каталазы и содержания полифенолов.

Полифенолы представляют собой группу органических соединений, содержащихся в водорослях. Они известны своими антиоксидантными свойствами, которые могут помочь защитить клетки от повреждений. У водорослей полифенолы играют решающую роль в защите организма от стрессовых факторов окружающей среды, таких как ультрафиолетовое излучение, высокая соленость и изменения температуры. Также считается, что полифенолы участвуют в строительстве клеточных стенок (Dunn et al., 2008). Эпифиты могут влиять на активность каталазы, конкурируя за такие ресурсы как свет и питательные вещества, вызывая повреждение поверхности талломов они выделяют внутрь организма вещества, которые могут нарушить метаболизм клетки хозяина (Dunn et al., 2008). Эпифиты потенциально способны частично блокировать доступ к солнечному свету клеткам хозяина, на которых прикреплены. Это может сказаться на процессе фотосинтеза для организма-хозяина (Dunn et al., 2008).

Каталаза – это фермент, который помогает расщеплять перекись водорода на воду и кислород. В водорослях каталаза играет решающую роль в защите их от окислительного стресса, вызванного факторами окружающей среды, такими как яркий свет, высокая температура и загрязняющие вещества (Шахматова, Мильчакова, 2009).

Маннит является одним из первичных продуктов фотосинтеза, выполняет функцию запасного вещества и участвует в процессах синтеза полисахаридов (Барашков, 1972).

Цель данных исследований – описание распределения водорослей, эпифитно произрастающих на *A. nodosum* на Мурманском побережье Баренцева моря, и оценка влияния эпифитов *E. fucicola* и *V. lanosa* на метаболизм *A. nodosum* путем сравнительного анализа содержания маннита, полифенолов, пигментов и каталазы.

Материал и методы

Объектом исследования послужили талломы *A. nodosum*, собранные в губе Териберская 09.09.2022 г. и 18.05.2023 г. на литорали (69°10'32,100" с. ш. и 35°10'33,908" в. д.; рис. 1). Район исследований выбран как наиболее благоприятный для роста аскофиллума на основании данных по его распределению в губе Териберская.



Рис. 1. Карта-схема района отбора проб
Fig. 1. Schematic map sampling area

Определяли видовой состав, биомассу, встречаемость эпифитов и их расположение на талломе. Возраст *A. nodosum* вычисляли по количеству рядов пузырей на ведущей оси слоевища (один ряд пузырей в год, начиная со второго года жизни) (Шошина, Аверинцева, 1994). Оценивали биомассу *A. nodosum*. Видовую идентификацию проводили с использованием полевого атласа (Растения ..., 2016) и определителей (Виноградова, 1979; Перестенко, 1980). Всего обследовано 50 талломов *A. nodosum*, из них 16 с эпифитами.

Клеточное строение изучали с помощью микроскопов Микмед-6 (вариант 7) и МСП-2 (вариант 2СД). Микроснимки получены цифровыми камерами МС-12 и МС-3.1 с использованием программы МСview.

Для оценки физиологического состояния были отобраны непосредственно на литорали губы Териберская образцы (кусочки талломов *A. nodosum*) в зоне прикрепления эпифитов *E. fucicola* и *V. lanosa*, а также апикальных, средних и базальных частях талломов. Пробы были сразу заморожены в жидком азоте.

В ходе работы измеряли следующие показатели: содержание полифенолов (Ивантер, Коросов, 2003), активность каталазы (Сиренко и др., 1975), содержание маннита (Метод ..., 1988), концентрацию фотосинтетических пигментов (Облучинская 2008). Определение абсолютно сухой массы образцов проводилось согласно общепринятой методике (Seely et al., 1972). Статистическая обработка выполнена в Excel. Рассчитывали среднее значение биомассы и доверительный интервал. Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента. Проверку на нормальность не проводили (Водоросли ..., 2004).

Результаты и обсуждение

Всего при исследовании талломов аскофиллума было выявлено 9 видов эпифитов:

Класс Phaeophyceae
Порядок Ectocarpales
Семейство Chordariaceae Greville, 1830

Elachista fucicola (Velley) Areschoug, 1842
Leathesia marina (Lyngbye) Decaisne, 1842
Fosliea griffithsiana (Le Jolis) Hagen ex Athanasiadis, 2021
Семейство Acinetosporaceae Hamel ex J. Feldmann, 1937
Pylaiella littoralis (Linnaeus) Kjellman nom. cons., 1872
Pylaiella varia Kjellman, 1883
Класс Florideophyceae
Порядок Acrochaetales
Семейство Acrochaetiaceae Melchior
Род *Acrochaetium* Nägeli, 1858
Acrochaetium sp.
Порядок Ceramiales
Семейство Rhodomelaceae Horaninow, 1847
Vertebrata lanosa (Linnaeus) T. A. Christensen 1967
Класс Ulvophyceae
Порядок Ulotrichales
Семейство Ulotrichaceae Kützing, 1843
Ulothrix implexa [Kützing] Kützing, 1849
Порядок Cladophorales
Семейство Cladophoraceae Wille, 1884
Rhizoclonium riparium Kützing, 1843.

Наибольшая встречаемость выявлена у *E. fucicola* (81.25 %) и *Leathesia marina* (43.75 %). Прочие виды были отмечены единично. Наибольшая биомасса также отмечена у *E. fucicola* и *L. marina* – 0.5 ± 0.5 г/м².

Биомасса эпифитов составила менее 1 г/м², что является незначительным по сравнению с биомассой самого аскофиллума – 14920 ± 593 г/м².

Большая часть эпифитов приурочена к ветвям возрастом более одного года (рис. 2). Было замечено, что число талломов эпифитов на ветвях возрастом более 2 лет не связано напрямую с количеством видов. Наиболее богаты по видовому разнообразию молодые участки талломов (не более года). На отдельных талломах эпифиты встречались как на молодых, так и на старых его участках (2–3 года), но в таких случаях на апикальных участках встречалась преимущественно лишь *E. fucicola* (8 %).

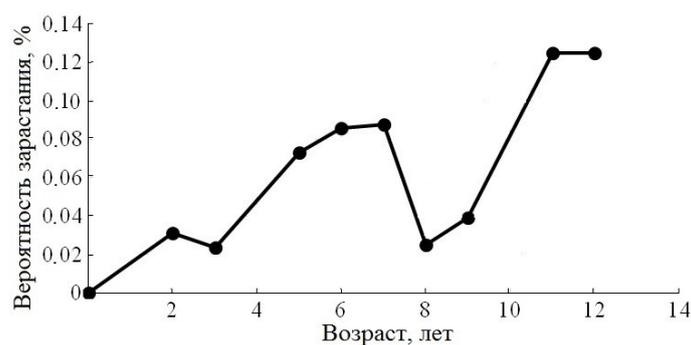


Рис. 2. Встречаемость эпифитов в зависимости от возраста таллома

Fig. 2. The occurrence of epiphytes depending on the age of the thallus

Поскольку самыми густо заселенными являлись участки ветвей возрастом более года, можно предположить, что это связано с большей вероятностью появления физических повреждений, на месте которых и могли произрастать эпифиты, что согласуется с литературными данными (Pearson, Evans, 1990; Garbary et al., 1991; Garbary, Deckert, 2001; Kraberg, Norton, 2007).

Для оценки характера взаимодействия видов рассматривались места прикрепления эпифитов. Исследование проникновения клеток эпифита в ткани методом световой микроскопии выявило, что у *E. fucicola* клетки проникают в срединный слой аскофиллума (рис. 3), а у других видов взаимодействие происходит на уровне корового слоя фукоидов. Полученные данные согласуются с литературными сведениями (у *E. fucicola* и *V. lanosa* клетки проникают до срединного слоя; Garbary, Deckert, 2001).

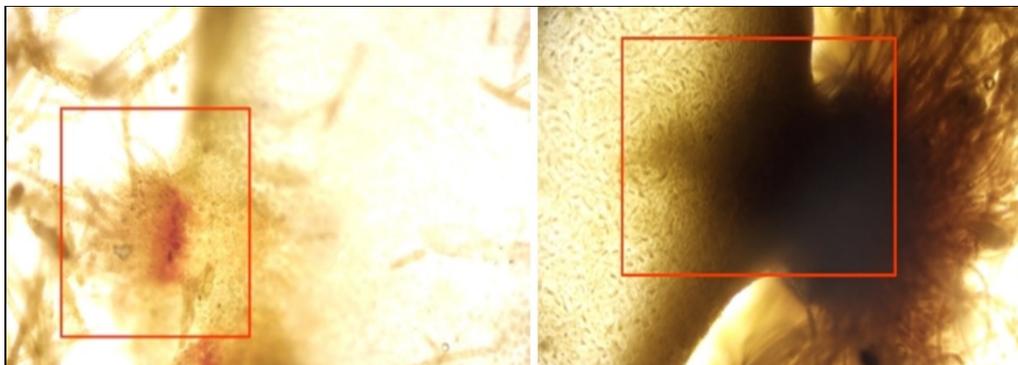


Рис. 3. Область проникновения *E. fucicola* на месте прикрепления в средний слой аскофиллума
Fig. 3. The penetration area of *E. fucicola* at the site of attachment to the middle layer of ascophyllum

Анализ содержания полифенолов на участках *A. nodosum* с эпифитами и без таковых показал их повышенную концентрацию в зоне прикрепления *V. lanosa*. (рис. 4). По содержанию маннита на разных участках таллома *A. nodosum* не было отмечено существенных различий между участками с *E. fucicola* и при их отсутствии (рис. 5). В зонах прикрепления *E. fucicola* концентрация каталазы не отличалась от таковой свободных от эпифитов участков (рис. 5).

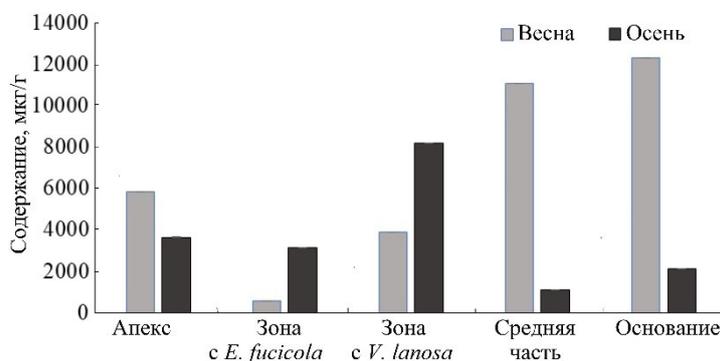


Рис. 4. Содержание полифенолов в разных участках таллома *A. nodosum*
Fig. 4. The content of polyphenols in different areas of the *A. nodosum* thallus

В зонах прикрепления эпифитов концентрация пигментов (хлорофилл *a*; хлорофилл *c*; смесь каротиноидов, включая фукоксантин) в талломе *A. nodosum* не отличалась от остальных его частей за исключением зоны с *V. lanosa* в весенний период (рис. 6). Существенно выше содержание пигментов в средней части по сравнению с апикальной и нижней, что соответствует литературным данным (Deckert, Garbary, 2005).

Содержание пигментов и полифенолов в эпифитах показано на рис. 7. Отмечена разница в содержании. Существенно выше показатели у *E. fucicola*, чем у *V. lanosa*.

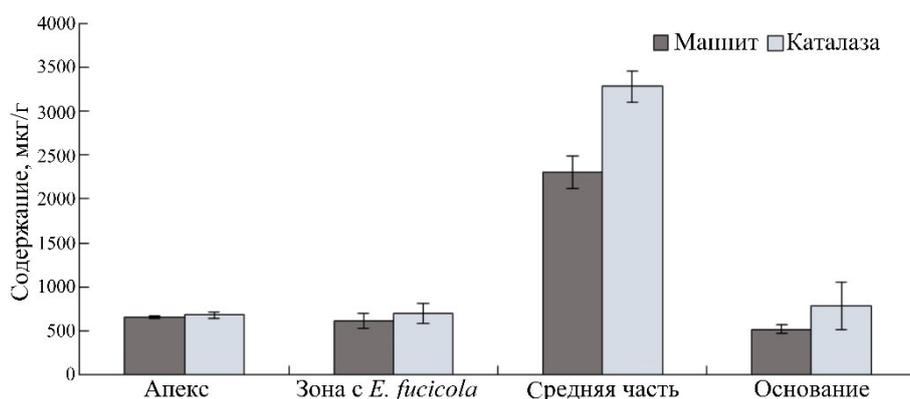


Рис. 5. Содержание маннита и активность каталазы в разных участках таллома *A. nodosum*
Fig. 5. Mannit concentration and catalase activity at different sites of the *A. nodosum* thallus

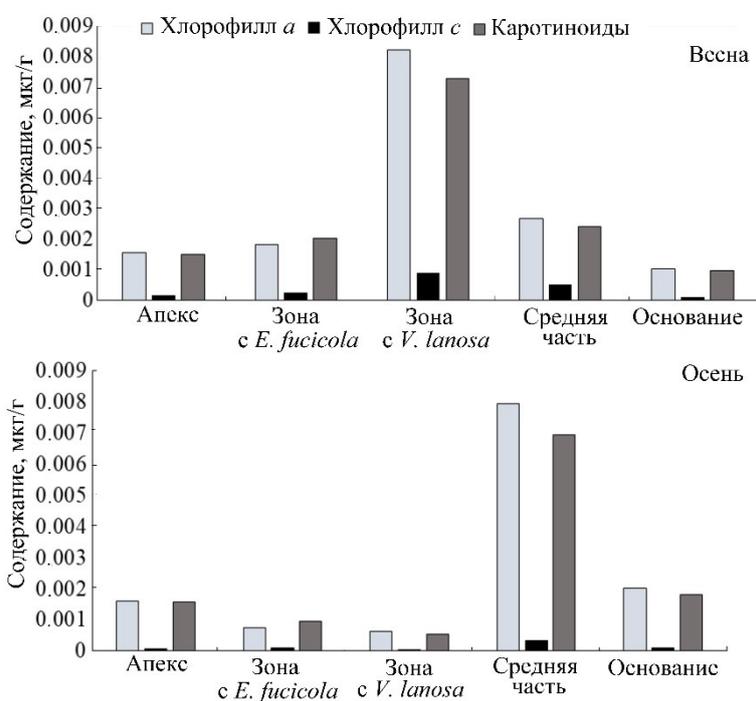


Рис. 6. Распределение пигментов весной и осенью по таллосу *A. nodosum*
Fig. 6. Distribution of pigments in spring and autumn by *A. nodosum* thallus

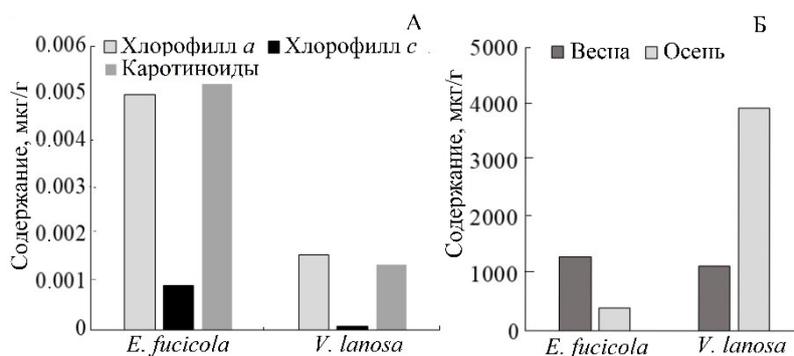


Рис. 7. Содержание пигментов (А) и полифенолов (Б) в эпифитах *E. fucicola* и *V. lanosa*
Fig. 7. The content of pigments (А) and polyphenols (Б) in epiphytes of *E. fucicola* and *V. lanosa*

Статистический анализ не подтвердил достоверность повышения содержания полифенолов в зоне прикрепления *V. lanosa*. Известно, что *V. lanosa* внедряется в таллом аскофиллума с минимальными повреждениями, в то время как *E. fucicola* вызывает некоторые негативные реакции (Garbary et al., 2005; Deckert, Garbary, 2005). Несколько повышенное содержание полифенолов в весеннее время в зоне прикрепления *V. lanosa*, вероятно, связано с активным ростом и делением клеток аскофиллума.

Выводы

1. В губе Териберская в 2022 г. было выявлено 9 видов, произрастающих эпифитно на *A. nodosum*, среди которых большинство видов относится к порядку Ectocarpales.

2. Биомасса эпифитов составляла менее 1 г/м², при биомассе *A. nodosum* более 14 кг/м².

3. *Elachista fucicola* и *V. lanosa* оказывают только локальное затеняющее воздействие на *A. nodosum* в месте прикрепления эпифита в весенний период.

4. Можно предположить, что весной имеет место небольшой раневой стресс, вызванный механическим повреждением тканей растущим эпифитом, поскольку увеличено содержание полифенолов.

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

Список литературы

1. Барашков Г. К. Сравнительная биохимия водорослей. М., Пищевая пром-сть, 1972. 336 с.
2. Виноградова К. Л. Определитель водорослей дальневосточных морей СССР. Зеленые водоросли. Л.: Наука, 1979. 147 с.
3. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. ГОСТ 26185-84. Введен 01.01.85. М.: Изд-во стандартов, 2004. 34 с.
4. Ивантер Э. В., Коросов А. В. Введение в количественную биологию. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2003. 304 с.
5. Метод определения активности каталазы / М. А. Корольюк, Л. И. Иванова, И. Г. Майорова, В. Е. Токарев // Лабораторное дело. 1988. № 1. С. 16–19.
6. Облучинская Е. Д. Сравнительное исследование бурых водорослей Баренцева моря // Прикладная биохимия и микробиология. 2008. Т. 44, № 3. С. 337–342.
7. Перестенко Л. П. Водоросли залива Петра Великого. Л.: Наука, 1980. 231 с.
8. Растения и лишайники Мурманского побережья Баренцева моря (полевой атлас) / Е. Ф. Марковская, С. В. Малавенда, И. В. Рыжик, Л. А. Сергиенко, А. В. Сони́на, А. А. Стародубцева, Г. М. Воскобойников. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2016. 191 с. URL: <http://elibrary.petrstu.ru/books/27455>
9. Сиренко Л. А., Сакевич А. И., Осипович Л. Ф. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. Киев: Наук. думка, 1975. 247 с.
10. Шахматова О. А., Мильчакова Н. А. Активность каталазы черноморских видов *Cystoseira* C. Ag. в различных экологических условиях // Альгология. 2009. Т. 19, № 1. С. 34–46.
11. Шошина Е. В., Аверинцева С. Г. Распределение водорослей в губе Ярнышной Баренцева моря // Гидробиологические исследования в заливах и бухтах северных морей России. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. С. 38–61.
12. A concise review of the brown macroalga *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis / L. Pereira, L. Morrison, P. S. Shukla, A. T. Critchley // J. Appl. Phycol. 2020. Vol. 32. P. 3561–3584. URL: <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02246-6>
13. Characteristics of polyphenolic content in brown algae of the Pacific Coast of Russia / N. M. Aminina, E. P. Karaulova, T. I. Vishnevskaya, E. V. Yakush, Yeon-Kye Kim, Ki-Ho Nam, Kwang-Tae Son // Molecules. 2020. Vol. 25, № 17. P. 3909. URL: <https://doi.org/10.3390/molecules25173909>

14. *Climate change stimulates the growth of the intertidal macroalgae *Ascophyllum nodosum* near the northern distribution limit* / N. Marbà, D. Krause-Jensen, B. Olesen, P. B. Christensen, A. Merzouk, J. Rodrigues, S. Wegeberg, R. T. Wilce // *Ambio*. 2017. Vol. 46. P. 119–131.
15. *Deckert R. J., Garbary D. J. Ascophyllum and its symbionts. VIII. Interactions among Ascophyllum nodosum (Phaeophyceae), Mycophycias ascophylli (Ascomycetes) and Elachista fucicola (Phaeophyceae)* // *Algae*. 2005. Vol. 20, № 4. P. 363–368.
16. *Dunn A. E., Dobberfuhr D. R., Casamatta D. A. A survey of algal epiphytes from Vallisneria americana Michx. (Hydrocharitaceae) in the Lower St. Johns River, Florida* // *Southeastern Naturalist*. 2008. Vol. 7, № 2. P. 229–244.
17. *Filion-Myklebust C., Norton T. Epidermis shedding in the brown seaweed Ascophyllum nodosum (L.) Le Jolis and its ecological significance* // *Mar. Biol. Lett.* 1981. Vol. 2. P. 45–51.
18. *Garbary D., Deckert R. Three part harmony – Ascophyllum and its symbionts* // *Symbiosis: Mechanisms and model systems*. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands, 2001. P. 309–321. DOI: 10.1007/0-306-48173-1_19
19. *Garbary D., Burke J., Tian L. The Ascophyllum/Polysiphonia/Mycosphaerella symbiosis. II. Aspects of the ecology and distribution of Polysiphonia lanosa in Nova Scotia* // *Bot. Mar.* 1991. Vol. 34. P. 391–401.
20. *Garbary D. J., Deckert R. J., Hubbard C. B. Ascophyllum and its symbionts. VII. Three-way interactions among Ascophyllum nodosum (Phaeophyceae), Mycophycias ascophylli (Ascomycetes) and Vertebrata lanosa (Rhodophyta)* // *Algae*. 2005. Vol. 20, № 4. P. 353–361.
21. *Halat L., Galway M. E., Garbary D. J. Cell wall structural changes lead to separation and shedding of biofouled epidermal cell wall layers by the brown alga Ascophyllum nodosum* // *Protoplasma*. 2020. Vol. 257, № 5. P. 1319–1331.
22. *Kraberg A. C., Norton T. A. Effect of epiphytism on reproductive and vegetative lateral formation in the brown, intertidal seaweed Ascophyllum nodosum (Phaeophyceae)* // *Phycol. Res.* 2007. Vol. 55, № 1. P. 17–24.
23. *Longtin C. M., Scrosati R. Distribution of algal epiphytes across environmental gradient scales: intertidal elevation, host canopies, and host fronds* // *J. Phycol.* 2009. Vol. 45, № 4. P. 820–827. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2009.00710.x>
24. *Pearson G., Evans L. Settlement and survival of Polysiphonia lanosa (Ceramiales) spores on Ascophyllum nodosum and Fucus vesiculosus (Fucales)* // *J. Phycol.* 1990. Vol. 26. P. 597–603.
25. *Seely G. R., Duncan M. J., Vidaver W. E. Preparative and analytical extraction of pigments from brown algae with dimethyl sulfoxide* // *Mar. Biol.* 1972. Vol. 12. P. 184–188. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00350754>

References

1. Barashkov G. K. *Sravnitel'naya biokhimiya vodorosley* [Comparative biochemistry of algae]. Moscow, Food industry, 1972, 336 p. (In Russ.).
2. Vinogradova K. L. *Opredelitel' vodorosley dal'nevostochnykh morey SSSR. Zelenye vodorosli* [Key to algae of the Far Eastern seas of the USSR. Green algae]. Leningrad, Nauka, 1979, 147 p. (In Russ.).
3. *Vodorosli morskikh, travy morskije i produkty ikh pererabotki. Metody analiza. GOST 26185-84. Vveden 01.01.85* [Seaweeds, sea grasses and products of their processing. Analysis methods. GOST 26185-84. Introduced 01.01.85]. Moscow, Publ. house of standards, 2004, 34 p. (In Russ.).
4. Ivanter E. V., Korosov A. V. *Vvedenie v kolichestvennyu biologiyu* [Introduction to quantitative biology]. Petrozavodsk, Publ. PetrGU, 2003, 304 p. (In Russ.).
5. Korolyuk M. A., Ivanova L. I., Mayorova I. G., Tokarev V. T. *Metod opredeleniya aktivnosti katalazy* [Method for determining the activity of catalase]. *Laboratornoe delo* [Laboratory business], 1988, No. 1, pp. 16–19 (In Russ.).
6. Obluchinskaya E. D. *Sravnitel'noe issledovanie burykh vodorosley Barentseva morya* [Comparative study of brown algae in the Barents Sea]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied Biochemistry and Microbiology], 2008, Vol. 44, No. 3, pp. 337–342 (In Russ.).

7. Perestenko L. P. *Vodorosli zaliva Petra Velikogo* [Algae of Peter the Great Bay]. Leningrad, Nauka, 1980, 231 p. (In Russ.).
8. Markovskaya E. F., Malavenda S. V., Ryzhik I. V., Sergienko L. A., Sonina A. V., Starodubtseva A. A., Voskoboinikov G. M. *Rasteniya i lichayniki Murmanskogo poberezh'ya Barentseva morya (polevoy atlas)* [Plants and lichens of the Murmansk coast of the Barents Sea (field atlas)]. Petrozavodsk, Publ. PetrGU, 2015, 191 p. (In Russ.). Available at: <http://elibrary.petsu.ru/books/27455>
9. Sirenko L. A., Sakevich A. I., Osipovich L. F. *Metody fiziologo-biokhimicheskogo issledovaniya vodorosley v gidrobiologicheskoy praktike* [Methods of physiological and biochemical study of algae in hydrobiological practice]. Kiev, Naukova dumka, 1975, 247 p. (In Russ.).
10. Shakhmatova O. A., Milchakova N. A. Aktivnost' katalazy chernomorskikh vidov *Cystoseira* C. Ag. v razlichnykh ekologicheskikh usloviyakh [Catalase activity of the Black Sea species *Cystoseira* C. Ag. in various environmental conditions]. *Algologia* [Algology], 2009, Vol. 9, No. 1, pp. 34–46 (In Russ.).
11. Shoshina E. V., Averintseva S. G. Raspredelenie vodorosley v gube Yarnyshnoy Barentseva morya [Distribution of algae in the Yarnyshnaya Bay of the Barents Sea]. *Gidrobiologicheskie issledovaniya v zalivakh i bukhtakh severnykh morey Rossii* [Hydrobiological research in the bays and bays of the northern seas of Russia]. Apatity, Publ. KSC RAS, 1994, pp. 38–61 (In Russ.).
12. Pereira L., Morrison L., Shukla P. S., Critchley A. T. A concise review of the brown macroalga *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis. *J. Appl. Phycol.*, 2020, Vol. 32, pp. 3561–3584. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02246-6>
13. Aminina N. M., Karaulova E. P., Vishnevskaya T. I., Yakush E. V., Yeon-Kye Kim, Ki-Ho Nam, Kwang-Tae Son. Characteristics of polyphenolic content in brown algae of the Pacific Coast of Russia. *Molecules*, 2020, Vol. 25, No. 17, pp. 3909. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules25173909>
14. Marbà N., Krause-Jensen D., Olesen B., Christensen P. B., Merzouk A., Rodrigues J., Wegeberg S., Wilce R. T. Climate change stimulates the growth of the intertidal macroalgae *Ascophyllum nodosum* near the northern distribution limit. *Ambio*, 2017, Vol. 46, pp. 119–131.
15. Deckert R. J., Garbary D. J. *Ascophyllum* and its symbionts. VIII. Interactions among *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyceae), *Mycophycias ascophylli* (Ascomycetes) and *Elachista fucicola* (Phaeophyceae). *Algae*, 2005, Vol. 20, No. 4, pp. 363–368.
16. Dunn A. E., Dobberfuhl D. R., Casamatta D. A. A survey of algal epiphytes from *Vallisneria americana* Michx. (Hydrocharitaceae) in the Lower St. Johns River, Florida. *Southeastern Naturalist*, 2008, Vol. 7, No. 2, pp. 229–244.
17. Filion-Myklebust C., Norton T. Epidermis shedding in the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (L.) Le Jolis and its ecological significance. *Mar. Biol. Lett.*, 1981, Vol. 2, pp. 45–51.
18. Garbary D., Deckert R. Three part harmony – *Ascophyllum* and its symbionts. *Symbiosis: Mechanisms and model systems*. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands, 2001, pp. 309–321. DOI: 10.1007/0-306-48173-1_19
19. Garbary D., Burke J., Tian L. The *Ascophyllum/Polysiphonia/Mycosphaerella* symbiosis. II. Aspects of the ecology and distribution of *Polysiphonia lanosa* in Nova Scotia. *Bot. Mar.*, 1991, Vol. 34, pp. 391–401.
20. Garbary D. J., Deckert R. J., Hubbard C. B. *Ascophyllum* and its symbionts. VII. Three-way interactions among *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyceae), *Mycophycias ascophylli* (Ascomycetes) and *Vertebrata lanosa* (Rhodophyta). *Algae*, 2005, Vol. 20, No. 4, pp. 353–361.
21. Halat L., Galway M. E., Garbary D. J. Cell wall structural changes lead to separation and shedding of biofouled epidermal cell wall layers by the brown alga *Ascophyllum nodosum*. *Protoplasma*, 2020, Vol. 257, No. 5, pp. 1319–1331.
22. Kraberg A. C., Norton T. A. Effect of epiphytism on reproductive and vegetative lateral formation in the brown, intertidal seaweed *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyceae). *Phycol. Res.*, 2007, Vol. 55, No. 1, pp. 17–24.
23. Longtin C. M., Scrosati R. Distribution of algal epiphytes across environmental gradient scales: intertidal elevation, host canopies, and host fronds. *J. Phycol.*, 2009, Vol. 45, No. 4, pp. 820–827. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2009.00710.x>

24. Pearson G., Evans L. Settlement and survival of *Polysiphonia lanosa* (Ceramiales) spores on *Ascophyllum nodosum* and *Fucus vesiculosus* (Fucales). J. Phycol., 1990, Vol. 26, pp. 597– 603.
25. Seely G. R., Duncan M. J., Vidaver W. E. Preparative and analytical extraction of pigments from brown algae with dimethyl sulfoxide. Mar. Biol., 1972, Vol. 12, pp. 184–188. Available at: <https://doi.org/10.1007/bf00350754>

Информация об авторах

Алексей Максимович Нерезенко – студент, <https://orcid.org/0009-0005-4560-3571>

Софья Александровна Тупицына – студент, <https://orcid.org/0009-0003-3131-6411>

Малавенда Светлана Владимировна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-8314-3255>

Инна Валерьевна Рыжик – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-3874-2379>

Information about the authors

Alexey M. Nerezenko – student, <https://orcid.org/0009-0005-4560-3571>

Sofia A. Tupitsyna – student, <https://orcid.org/0009-0003-3131-6411>

Svetlana V. Malavenda – PhD (Biology), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-8314-3255>

Inna V. Ryzhik – PhD (Biology), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-3874-2379>

Статья поступила в редакцию 02.05.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 23.05.2024.
The article was submitted 02.05.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 23.05.2024.

Научная статья
УДК 591.1:591.16
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.014

ПОЛОВАЯ СТРУКТУРА ПОСЕЛЕНИЙ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *MACOMA CALCAREA* (GMELIN, 1791) В РАЙОНАХ С РАЗНЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ

Алёна Эдуардовна Носкович

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

Аннотация

Изучено влияние изменений условий окружающей среды на репродуктивные циклы донных организмов (половую структуру, размер наступления половой зрелости, стадии зрелости гонад, размеры ооцитов) двустворчатого моллюска *Macoma calcaria* в западной части архипелага Шпицберген (залив Грэн-фьорд) и восточной части Баренцева моря (прибрежье архипелага Новая Земля). В поселении *M. calcaria* в более тепловодном заливе Грэн-фьорд наблюдались интенсивные репродуктивные процессы. В этом районе самки достигают половой зрелости при меньшей длине раковины, чем самцы и особи из других районов Баренцева моря; по соотношению полов самки доминируют над самцами, отмечено большое количество молоди. Самки на стадии нереста обнаружены только у Новой Земли. Диаметр ооцитов варьировал от 30 до 200 мкм в зависимости от стадии зрелости. У моллюсков *M. calcaria* период размножения растянут во времени в обоих районах исследований.

Ключевые слова:

двустворчатый моллюск, *Macoma calcaria*, особенности размножения, залив Грэн-фьорд, прибрежье архипелага Новая Земля

Original article

SEXUAL STRUCTURE OF SETTLEMENTS OF THE BIVALVE MOLLUSKS *MACOMA CALCAREA* (GMELIN, 1791) IN AREAS WITH DIFFERENT HYDROLOGICAL REGIMES

Alena E. Noskovich

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

Abstract

The influence of changes in environmental conditions on the reproductive cycles of benthic organisms (sexual structure, size of puberty, stages of gonad maturity, oocyte size) of the bivalve mollusk *Macoma calcaria* in the western part of the Spitsbergen archipelago (Grenfjord Bay) and the eastern part of the Barents Sea (coastal archipelago) was studied (New Earth). In a settlement of *M. calcaria* in the warmer waters of Grenfjord, intensive reproductive processes were observed. In this area, females reach sexual maturity with a shorter shell length than males and individuals from other areas of the Barents Sea; In terms of sex ratio, females dominate over males, and a large number of juveniles are noted. Females at the spawning stage were found only near Novaya Zemlya. The diameter of the oocytes varied from 30 to 200 μm depending on the stage of maturity. In the mollusks *M. calcaria*, the breeding season is extended in time in both study areas.

Keywords:

bivalve, *Macoma calcaria*, reproduction features, Grenfjord Bay, coast of the Novaya Zemlya archipelago

Введение

Арктические морские экосистемы претерпевают серьезные быстрые изменения в связи с климатическими трансформациями. Сведений о влиянии данных изменений на репродуктивные циклы животных крайне мало (Invariont ..., 2021). На примере одного из массовых видов двустворчатых моллюсков – *Macoma calcaria* – рассмотрим, влияют ли совокупные эффекты потепления на репродуктивные процессы у донных двустворчатых моллюсков.

Данный вид может прекрасно выступать в качестве модельного объекта, так как он является достаточно широко распространенным во всех северных морях России (Наумов, 2006). В некоторых

донных биоценозах он нередко доминирует по биомассе, которая может достигать до 1000 г/м^2 , и на мягких грунтах образует поселения с высокой плотностью – до 500 экз/м^2 (Федяков, 1986; Denisenko, 2004; Наумов, 2006; Distribution ..., 2019). *Macoma calcareea* способна переносить сильные колебания солености и температуры воды (Цыганкова, Гусев, 2006).

Для исследования половой структуры поселений *M. calcareea* были выбраны два района – залив Грён-фьорд (Grønfjorden, западное побережье архипелага Шпицберген) и побережье архипелага Новая Земля (восточная часть Баренцева моря). Воды этих районов значительно различаются между собой по гидрологическому режиму. Придонные слои вод у Новой Земли являются более холодными, годовая изменчивость придонной температуры и солености воды незначительна. В заливе Грён-фьорд наблюдаются более мягкие и теплые условия обитания, но более изменчивые, по сравнению с побережьем Новой Земли, где условия более стабильны (Система ..., 2021).

Такие особенности гидрологического режима водных масс, а также недостаточность сведений о биологии данного вида моллюсков определили интерес к исследованию в этих районах. Цель данной работы – изучить особенности размножения двустворчатых моллюсков *M. calcareea* в районах с разным гидрологическим режимом.

Материал и методы

Материал собран сотрудниками Мурманского морского биологического института РАН в нескольких морских экспедициях на НИС «Дальние Зеленцы». Пробы были взяты в августе 2006 г. и сентябре 2007 г. у побережья архипелага Новая Земля (восточная часть Баренцева моря), а также в заливе Грён-фьорд (о. Западный Шпицберген) в ноябре–декабре 2015 г. и июне–июле 2019 г. (рис. 1, табл. 1). Некоторые аспекты биологии этого вида моллюсков уже были рассмотрены нами ранее (Носкович, 2021а,б, 2022). В данной работе мы даем информацию по станциям у Новой Земли, которые не были рассмотрены ранее, а также дополняем сведения о репродуктивной биологии моллюсков в заливе Грён-фьорд.

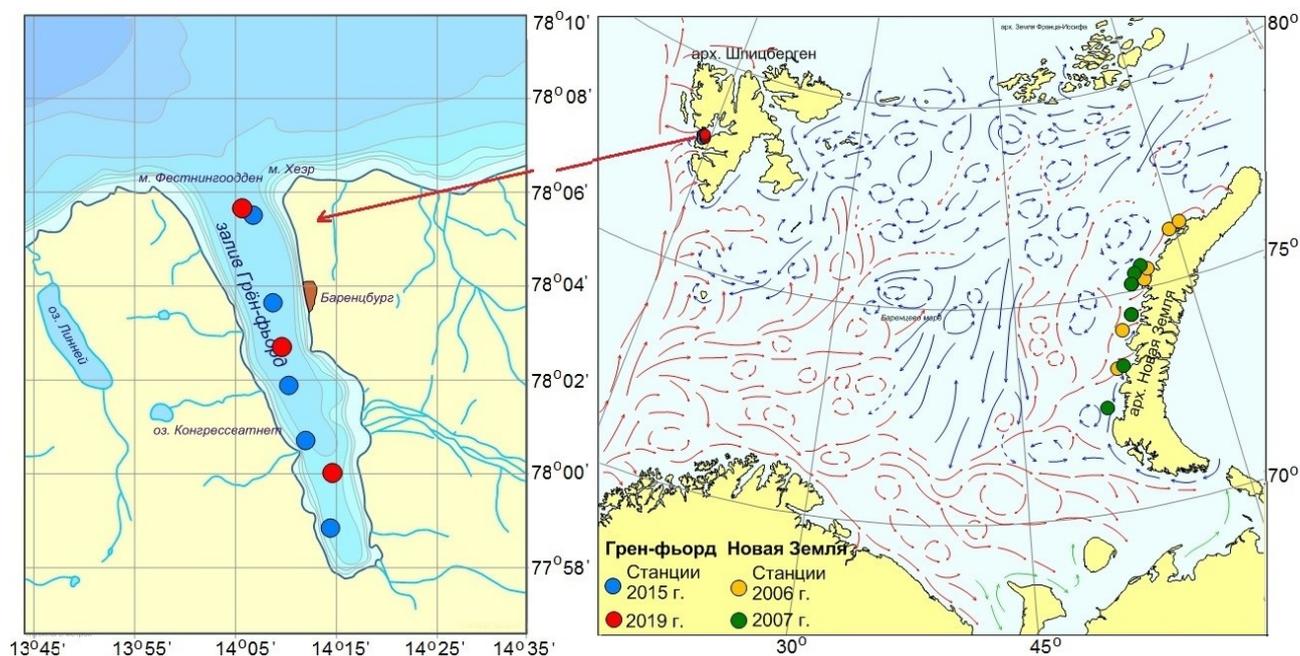


Рис. 1. Карта-схема районов отбора проб
Fig. 1. Schematic map of sampling areas

Таблица 1

Характеристика районов отбора проб

Table 1

Characteristics of the sampling areas

Район	Период	Станция	Глубина, м	Температура, °С	Соленость, ‰	
Залив Грён-фьорд	Ноябрь–декабрь 2015 г.	47	123.0	4.2	34.7	
		49	139.0	4.7	34.8	
		50	128.0	4.4	34.7	
		51	87.0	3.4	34.5	
	Июнь–июль 2019 г.	42	71.0	3.4	34.9	
		44	141.0	2.6	34.9	
		46	137.0	2.7	34.9	
		Прибрежье арх. Новая Земля Август 2006 г.	19	60.0	−0.4	34.7
			20	161.0	0.5	34.8
			21	134.0	0.2	34.8
22	197.0		−1.8	35.2		
23	154.0		−1.5	34.9		
24	149.0		−0.7	34.8		
25	106.0		−1.1	34.9		
Сентябрь 2007 г.	26	80.0	0.05	34.9		
	54	165.0	0.7	34.8		
	55	159.0	0.8	34.8		
	56	203.0	−1.3	34.8		
	57	130.0	1.2	34.9		
	59	65.0	0.6	34.6		
	61	79.0	1.3	34.8		

Пробы отбирали с помощью дночерпателя ван-Вина (площадь захвата 0.1 м²) в трехкратной повторности, затем промывали через сито с размером ячеек 0.5 и 0.7 мм и фиксировали 4 %-м раствором формалина. Далее рассортированные пробы переводили в 75 %-й раствор этилового спирта, после чего исследовали под стереомикроскопом Motic-400K на наличие *M. calcarea*.

У каждой особи измеряли длину раковины штангенциркулем с точностью до 0.1 мм, у мелких экземпляров – с помощью окулярной линейки бинокулярного микроскопа. Возраст определяли по внешней морфологии раковины.

Пол и стадии гаметогенеза моллюсков определяли под микроскопом Микмед-6 по числу, строению и размерам половых клеток в гонадах. Диаметр ооцитов измеряли с помощью окулярной линейки. Если при вскрытии моллюска гонады отсутствовали, то данный моллюск считали неполовозрелым.

Стадии зрелости гонад анализировали только у самок. Основные этапы гаметогенеза оценивали по Чипперфильду (Chipperfield, 1953):

I стадия – начало гаметогенеза (на препарате различимы мелкие ооциты);

II стадия – активный гаметогенез (преобладают крупные прикрепленные ооциты);

III стадия – преднерестовая (многочисленные крупные свободнолежащие ооциты, готовые к вымету);

IV стадия – нерестовая (редкие невыметанные зрелые гаметы);

V стадия – посленерестовая (половые клетки на препаратах гонад не видны).

Все гистологические препараты были сфотографированы при ув. 100, изучено 688 моллюсков.

Для сравнения выборок по размерному составу использовали *t*-критерий Стьюдента (уровень значимости $p < 0.05$), так как выборка имела нормальное распределение, а по возрастному составу, для ненормального распределения моллюсков, использовали непараметрический критерий Манна-Уитни (уровень значимости $p \leq 0.05$). Соответствие соотношения половозрелых и неполовозрелых особей, а также полов проверяли на основе критерия χ^2 (уровень значимости $p \leq 0.05$). Все статистические расчеты выполнены в программе Past 4.13.

Результаты и обсуждение

Численность моллюсков *M. calcareus* в заливе Грэн-фьорд в среднем оказалась выше, чем у берегов Новой Земли, а биомасса в обоих районах схожа (рис. 2). Однако средняя масса моллюсков поселения у Новой Земли выше.

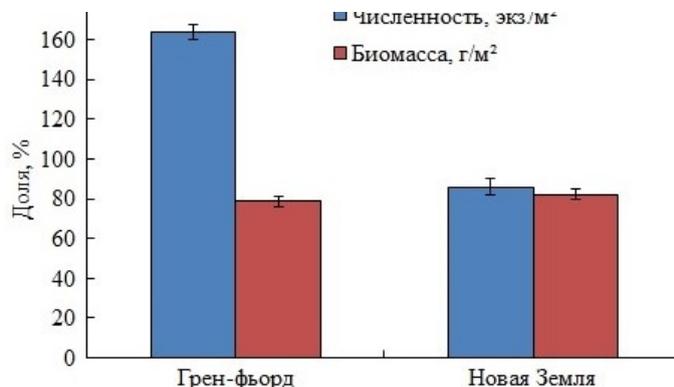


Рис. 2. Средняя численность и биомасса *M. calcareus* в районах исследований (указана ошибка среднего)
Fig. 2. Average numbers and biomass of *M. calcareus* in the study areas (mean error indicated)

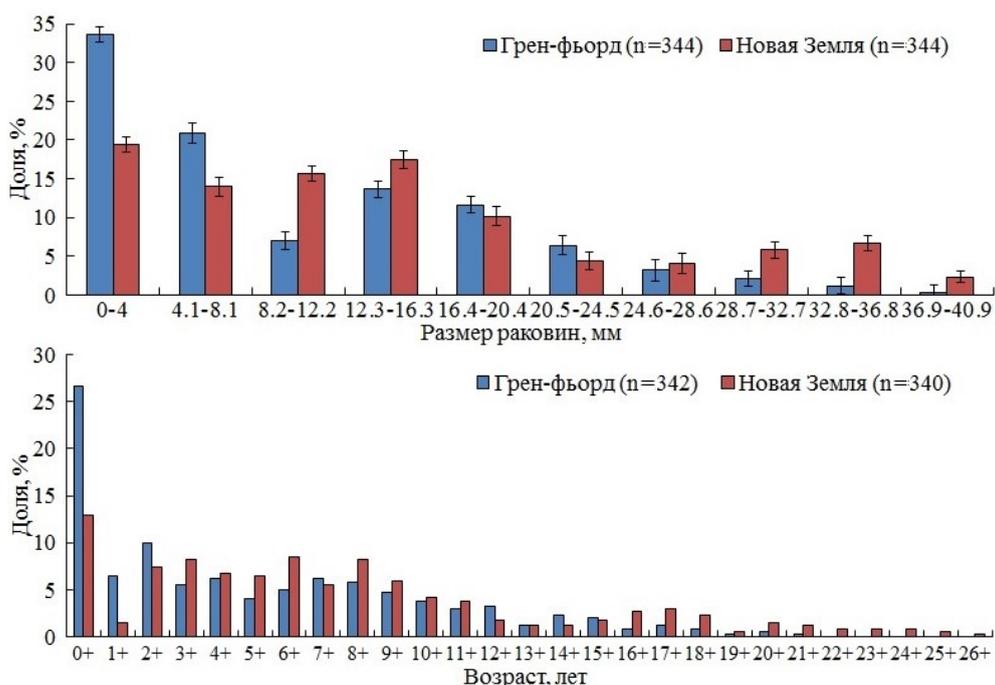


Рис. 3. Размерно-возрастной состав поселений *M. calcareus*
Fig. 3. Size and age composition of *M. calcareus* settlements

В заливе Грэн-фьорд и у берегов Новой Земли были обнаружены моллюски *M. calcareus* разных размерных рядов, с преимущественным доминированием молоди. Большой процент крупных особей *M. calcareus* встречен у Новой Земли (рис. 3). Максимальные размеры раковины моллюсков в прибрежье архипелага Новая Земля составляли 39.2 мм, а в заливе Грэн-фьорд – 39.5 мм. Размерная структура моллюсков в этих районах достоверно не различается (t -критерий Стьюдента – $t = 0$, $t_{кр} = 2.1$, $t < t_{кр}$). Возрастная структура особей *M. calcareus* также достоверно не различалась (критерий Манна-

Уитни – $U = 287.5$, $p = 0.85$, $p \leq 0.05$). В возрастных рядах не отмечено пропусков, что свидетельствует о ежегодном пополнении молодью. Наибольшая продолжительность жизни моллюсков отмечена у Новой Земли – 26 лет (рис. 3).

В Грэн-фьорде и у берегов Новой Земли достоверно доминировали половозрелые особи ($\chi^2 = 16.9$, $p < 0.0001$; $\chi^2 = 11.5$, $p = 0.0006$). В осенние и зимние месяцы наблюдалось большое количество неполовозрелых моллюсков (рис. 4). В заливе Грэн-фьорд отмечено незначимое преобладание самок над самцами ($\chi^2 = 0.04$, $p = 0.83$), а у Новой Земли, наоборот, самцов ($\chi^2 = 0.56$, $p = 0.45$) (рис. 4). Размеры раковины самок в прибрежье архипелага Новая Земля варьировали от 5.4 до 39.2 мм, а самцов – от 7.1 до 38.7 мм, в заливе Грэн-фьорд были зарегистрированы самки с длиной раковины от 4.1 до 39.5 мм и самцы с размерами от 4.4 до 28.5 мм.

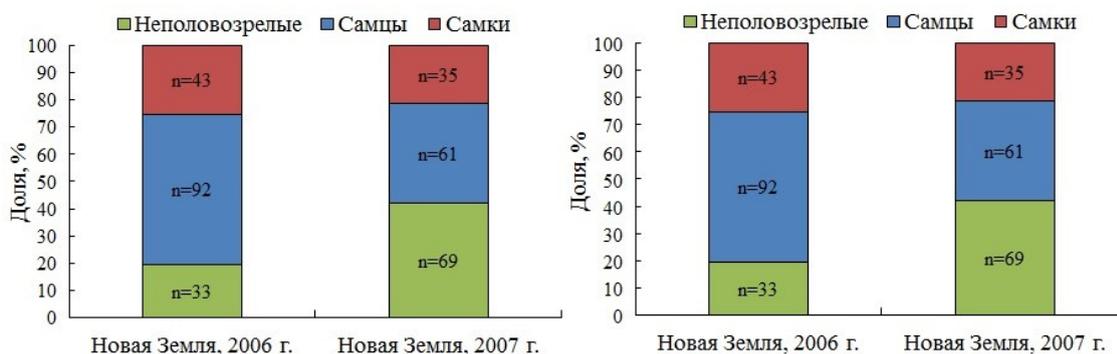


Рис. 4. Соотношение половозрелых и неполовозрелых особей и полов
Fig. 4. The ratio of sexually mature and immature individuals and sexes

В Грэн-фьорде у моллюсков наступление половой зрелости отмечается при меньшей длине раковины и более молодом возрасте, чем у архипелага Новая Земля (табл. 2). Самки достигают половой зрелости при меньшей длине раковины, чем самцы в обоих районах исследований (табл. 2). Популяция *M. calcareus* с преобладанием самок в более теплом заливе Грэн-фьорд, меньшими размерами наступления половой зрелости, а также большим количеством молодежи при высокой плотности свидетельствует об интенсивных репродуктивных процессах в данном поселении. Для сравнения – в заливе Диско (западное побережье Гренландии) было обнаружено сбалансированное соотношение полов, но менее благоприятные условия обитания в этом районе также привели к более позднему созреванию (минимальный размер зрелого моллюска 9 мм) (Petersen, 1978).

Таблица 2

Размеры и возраст наступления половой зрелости у *M. calcareus* в районах исследований

Table 2

Size and age at sexual maturity in *M. calcareus* in study areas

Район исследований	Размеры наступления половой зрелости, мм		Возраст наступления половой зрелости, год
	самцы	самки	
Залив Грэн-фьорд	4.4	4.1	2
Прибрежье архипелага Новая Земля	7.1	5.4	3

В заливе Грэн-фьорд в зимние месяцы большее количество самок находилось на начальной стадии гаметогенеза, а в летние – преобладали самки в активной фазе (рис. 5). Размеры ооцитов в зависимости от стадии варьировали от 30 до 160 мкм. У берегов Новой Земли в августе большинство самок находилось в активной фазе, а в сентябре – в преднерестовой стадии. Только в этом районе у самок отмечается стадия нереста (рис. 5). Размеры ооцитов в целом варьировали от 30 до 200 мкм.

Известно, что в прибрежье Гренландии и западной части Балтийского моря размеры зрелых яйцеклеток моллюсков *M. calcarea* составляли 95 мкм (Ockelmann, 1958; Oertzen, 1972), что гораздо меньше размеров яйцеклеток особей из Белого моря – 200 мкм (Наумов, 2006).

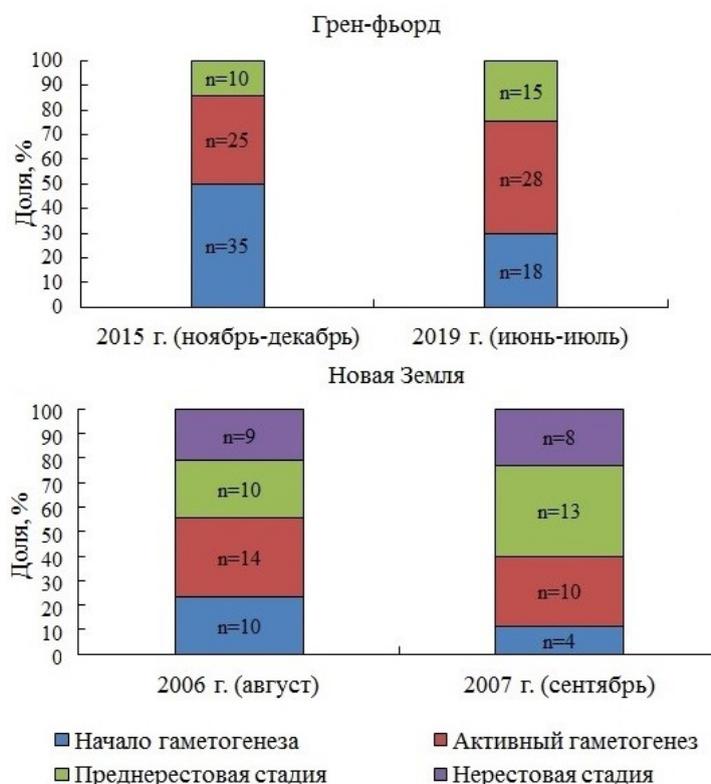


Рис. 5. Стадии гаметогенеза у самок *M. calcaree* в разные сезоны
Fig. 5. Stages of gametogenesis in *M. calcaree* females in different seasons

У моллюсков *M. calcaree* в обоих районах исследований период размножения растянут во времени, он может проходить как в осенние, так и в летние месяцы. Известно, что в Балтийском море личинки *M. calcaree* оседают в зимние и весенние месяцы (Oertzen, 1972). В водах Гренландии в периоды с очень низкой температурой воды (-1.7°C) моллюски размножаются не каждый год, а личинки не оседают, однако при наступлении благоприятных температурных условий возможны две волны нереста: в марте–апреле и июле–августе (Ockelmann, 1958).

Закключение

В обоих районах исследований размножение *M. calcaree* характеризуется довольно равномерным пополнением и выживаемостью молоди, однако в Грэн-фьорде, более тепловодном районе, репродуктивные процессы протекают более интенсивно, нежели в прибрежье Новой Земли. Наибольшая численность особей *M. calcaree* отмечена в заливе Грэн-фьорд, однако биомасса схожа в обоих районах. В выборках размерно-возрастная структура моллюсков статистически не различается, она представлена разными размерными и возрастными классами и относительно большим количеством молоди. В обоих районах исследований преобладали половозрелые особи. Соотношение полов в заливе Грэн-фьорд смещено в сторону самок, а у берегов Новой Земли – самцов. Половая зрелость у моллюсков *M. calcaree* в заливе Грэн-фьорд наступает при меньших размерах раковины и в более раннем возрасте (с двух лет), чем у особей в прибрежье Новой Земли. У моллюсков *M. calcaree* период размножения растянут во времени в обоих районах. Самки на стадии нереста отмечены только у берегов Новой Земли.

Таким образом, полученные результаты позволяют прогнозировать как изменится популяция *M. calcarea* в холодноводных районах обитания если потепление в арктических морях продолжится. Поселение *M. calcarea* у берегов Новой Земли может стать более многочисленным, с большим количеством молоди, а размножение будет происходить более интенсивно и число самок возрастет.

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

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

Список литературы

1. Наумов А. Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. СПб.: Изд. Зоол. ин-та РАН, 2006. 367 с.
2. Носкович А. Э. Пространственное распределение, рост и размножение двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) у берегов Новой Земли // Биол. моря. 2021а. Т. 47, № 1. С. 45–53.
3. Носкович А. Э. Особенности распределения и биологии двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) в заливе Грён-фьорд (архипелаг Шпицберген) // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2021б. Т. 3, № 12. Сер. Океанология. Вып. 9. С. 97–105. DOI: 10.37614/2307-5252.2021.3.9.013
4. 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. DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.007
5. Система Баренцева моря / Под ред. акад. А. П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. 672 с.
6. Федяков В. В. Закономерности распределения моллюсков Белого моря. Л.: Изд. Зоол. ин-та АН СССР, 1986. 125 с.
7. Цыганкова А. В., Гусев Е. А. Палеоэкологическая характеристика плейстоценовых двустворчатых моллюсков Енисейского залива. Современная палеонтология: классические и новейшие методы // Тезисы докладов III Всероссийской научной школы молодых ученых-палеонтологов, 3–5 октября 2006 г. М., 2006. С. 72–75.
8. Chipperfield P. W. Observation on the breeding and settlement of *Mytilus edulis* (L.) in the British waters // J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 1953. Vol. 32, № 2. P. 449–476.
9. Denisenko S. G. Structurally-functional characteristics of the Barents Sea zoobenthos // Zoological sessions (Annual reports 2004). Proc. of Zool. Inst. 2004. Vol. 300. P. 43–52.
10. Distribution and growth of bivalve molluscs *Serripes groenlandicus* (Mohr) and *Macoma calcarea* (Gmelin) in the Pechora Sea / A. V. Gerasimova, N. A. Filippova, K. N. Lisitsyna, D. V. Ikishina, N. V. Maximovich, A. A. Filippov // Polar Biol. 2019. Vol. 42, № 9. P. 1685–1702.
11. Invariant gametogenic response of dominant infaunal bivalves from the Arctic under ambient and near-future climate change conditions / A. J. Reed, J. A. Godbold, M. Solan, L. J. Grange // Front. Mar. Sci., 25 February 2021. Sec. Global Change and the Future Ocean, Vol. 8. 2021. Article: 576746. P. 1–13. DOI: 10.3389/fmars.2021.576746
12. Ockelmann W. K. The zoology of East Greenland: Marine Lamellibranchiata // Medd. Groenl. 1958. Vol. 122, № 4. 256 p.
13. Oertzen J.-A. Cycles and rates of reproduction of six Baltic Sea bivalves of different zoogeographical origin // Mar. Biol. 1972. Vol. 14. P. 143–149.
14. Petersen G. H. Life cycles and population dynamics of marine benthic bivalves from the Disko Bugt area of West Greenland // Ophelia. 1978. Vol. 17, № 1. P. 95–120.

References

1. Naumov A. D. *Dvustvorchatye mollyuski Belogo morya. Opyt ekologo-faunisticheskogo analiza* [Bivalves of the White Sea. The experience of ecological and faunal analysis]. Saint Petersburg, Zoological Institute RAS, 2006, 367 p. (In Russ.).

2. Noskovich A. E. Prostranstvennoe raspredelenie, rost i razmnozhenie dvustvorchatogo mollyuska *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) u beregov Novoy Zemli [Spatial distribution, growth and reproduction of the bivalve mollusk *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) off the coast of Novaya Zemlya]. *Biologiya morya* [Russian J. Mar. Biol.], 2021, Vol. 47, No. 1, pp. 45–53 (In Russ.).
3. Noskovich A. E. Osobennosti raspredeleniya i biologii dvustvorchatogo mollyuska *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) v zalive Gryen-f'ord (arkhipelag Shpitsbergen) [Distribution and biology of the bivalve mollusk *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) in the Gulf of Grenfjord (Svalbard Archipelago)]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, Seriya Okeanologiya, vypusk 9* [Transactions of the Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 9], 2021, Vol. 3, No. 12, pp. 97–105 (In Russ.). DOI: 10.37614/2307-5252.2021.3.9.013
4. Noskovich A. E. Osobennosti biologii dvustvorchatogo mollyuska *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) iz f'ordov Zapadnogo Shpitsbergena [Peculiarities of biology of the bivalve mollusk *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) from the fjords of Western Spitsbergen]. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, Seriya Okeanologiya, vypusk 10* [Transactions Kola Science Centre of the RAS. Oceanology, series 10], 2022, Vol. 13, No. 4, pp. 67–77 (In Russ.). DOI: 10.37614/2307-5252.2022.4.10.007
5. *Sistema Barentseva morya* [Barents Sea system]. Moscow, GEOS, 2021, 672 p. (In Russ.).
6. Fedyakov V. V. *Zakonomernosti raspredeleniya mollyuskov Belogo morya* [Patterns of distribution of White Sea mollusks]. Leningrad, Zoological Institute of Academy of Science USSR, 1986, 125 p. (In Russ.).
7. Tsygankova A. V., Gusev E. A. Paleoekologicheskaya kharakteristika pleystocenovyykh dvustvorchatykh mollyuskov Eniseyskogo zaliva. *Sovremennaya paleontologiya: klassicheskie i noveyshie metody* [Paleoecological characteristics of Pleistocene bivalves of the Yenisei Bay. Modern paleontology: classical and modern methods]. *Tezisy dokladov tret'ey Vserossiyskoy nauchnoy shkoly molodykh uchenykh-paleontologov (g. Moskva, 3–5 oktyabrya 2006 g.)* [Abstracts of the III All-Russian Scientific School of Young Paleontologists]. Moscow, 2006, pp. 72–75 (In Russ.).
8. Chipperfield P. W. Observation on the breeding and settlement of *Mytilus edulis* (L.) in the British waters. *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 1953, Vol. 32, No. 2, pp. 449–476.
9. Denisenko S. G. Structurally-functional characteristics of the Barents Sea zoobenthos. *Proc. Zool. Inst. Russ. Acad. Sci.*, 2004, Vol. 300, pp. 43–52.
10. Gerasimova A. V., Filippova N. A., Lisitsyna K. N., Filippov A. A., Nikishina D. V., Maximovich N. V. Distribution and growth of bivalve molluscs *Serripes groenlandicus* (Mohr) and *Macoma calcarea* (Gmelin) in the Pechora Sea. *Polar Biol.*, 2019, Vol. 42, No. 9, pp. 1685–1702.
11. Reed A. J., Godbold J. A., Solan M., Grange L. J. Invariant gametogenic response of dominant infaunal bivalves from the arctic under ambient and near-future climate change conditions. *Front. Mar. Sci., Sec. Global Change and the Future Ocean*, 2021, Vol. 8, Article: 576746, pp. 1–13. DOI: 10.3389/fmars.2021.576746
12. Ockelmann W. K. The zoology of East Greenland: Marine Lamellibranchiata. *Medd. Grøn.*, 1958, Vol. 122, No. 4, 256 pp.
13. Oertzen J.-A. Cycles and rates of reproduction of six Baltic Sea bivalves of different zoogeographical origin. *Mar. Biol.*, 1972, Vol. 14, pp. 143–149.
14. Petersen G. H. Life cycles and population dynamics of marine benthic bivalves from the Disko Bugt area of West Greenland. *Ophelia*, 1978, Vol. 17, No. 1, pp. 95–120.

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 09.04.2024; одобрена после рецензирования 11.04.2024, принята к публикации 18.04.2024
The article was submitted 09.04.2024; approved after reviewing 11.04.2024; accepted for publication 18.04.2024

Научная статья
УДК 597.2/5 (268.52)
doi:10.37614/2949-1185.2024.3.3.015

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЫБ СЕМЕЙСТВА COTTIDAE В ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (К ЗАПАДУ ОТ О. ДОЛГИЙ)

Сергей Андреевич Чаус

Мурманский морской биологический институт Российской академии наук, г. Мурманск, Россия
deadw8@yandex.ru, chaus@mmbi.info

Аннотация

На основе материалов ихтиологических съемок, выполнявшихся в летний период 2010–2023 гг., показано распределение представителей семейства Cottidae в юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море). Доля рогатковых в уловах не превышала 1.7 %. Всего зарегистрировано 7 видов. Чаще других отмечались арктический шлемоносный бычок *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830) – 85 %, европейский керчак *Muohoscephalus scorpius* (Linnaeus, 1758) – 62 % и остроносый триглопс *Triglops pingelii* Reinhardt, 1837 – 46 %. Плотность распределения рыб данного семейства была неоднородной (1.2 – 757.6 экз/км², или 0.002–21.906 кг/км²).

Ключевые слова:

рыбы семейства Cottidae, арктический шлемоносный бычок, распределение, юго-восточная часть Баренцева моря

Original article

DISTRIBUTION OF COTTIDAE FISHES IN THE SOUTHEASTERN BARENTS SEA (WEST OF THE DOLGIY ISLAND)

Sergei A. Chaus

Murmansk Marine Biological Institute of Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia
deadw8@yandex.ru, chaus@mmbi.info

Abstract

The distribution of Cottidae species in the southwestern part of the Barents Sea (Pechora Sea) based on materials from ichthyological surveys carried out in the summer of 2010–2023 is shown. Cottidae species were maximum 1.7 % of the total catch. A total of 7 species have been noted. The most abundant Cottidae species in Pechora Sea is arctic staghorn sculpin *G. tricuspis* (85 % frequency of occurrence), shorthorn sculpin *M. scorpius* (62 %) and ribbed sculpin *T. pingelii* (46 %). Values of the total abundance of the Cottidae was diverse: 1.2 to 757.6 ind/km² and 0.002 to 21.906 kg/km².

Keywords:

Cottidae, arctic staghorn sculpin, distribution, Barents Sea

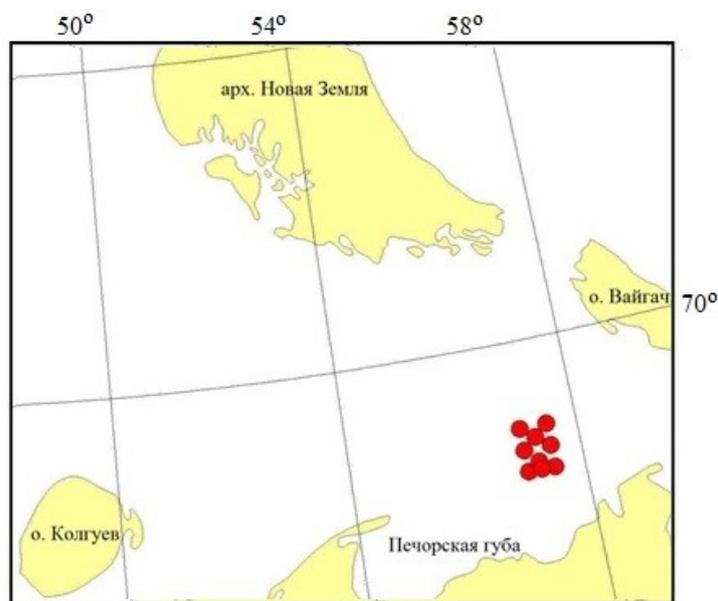
Введение

Семейство рогатковые (Cottidae) – одно из наиболее многочисленных в ихтиофауне Баренцева моря и насчитывает 14 видов (Андрияшев, 1954; Карамушко, 2005, 2008). Для акватории Печорского моря, которая по гидрологическому режиму отличается от остальной части Баренцева моря, данные о пространственном распределении и величине биомассы подробно проанализированы в литературе по промысловым видам рыб, в то время как информация о непромысловых видах отрывочна.

Материал и методы

Материал был получен в экспедициях Мурманского морского биологического института РАН и Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича. Работы выполнялись в Печорском море в летний период 2010–2023 гг. донными тралами модификаций: 1) чертеж № 2387 с ячеей 138 мм и мелкочечной вставкой 12 мм; горизонтальное раскрытие трала составляло 12–14 м, вертикальное – 3.5–4.5 м; скорость траления 2.5–3.3 узла в течение 20–30 мин – ММБИ РАН; 2) «ДТ 27.1/24.4» с ячеей 80 мм и вставкой 10 мм;

горизонтальное раскрытие трала 6–16 м, вертикальное – 3.0–3.9 м; скорость траления 3.0–3.5 узла в течение 20–30 мин – ПИНРО. Обработка материала проводилась по общепринятым ихтиологическим методикам (Правдин, 1966; Методическое ..., 1974; Инструкции ..., 2004). Карта района работ представлена на рисунке.



Район сбора материала в Печорском море
Survey area in the Pechora Sea

Расчет плотности распределения рыб без учета коэффициента уловистости проводился по формулам

$$P = \frac{B_{ул} \cdot 10^6}{DH},$$
$$P = \frac{N_{ул} \cdot 10^6}{DH},$$

где $B_{ул}$ – биомасса улова, кг/км²; $N_{ул}$ – численность, экз.; D – путь, пройденный тралом за одно траление (30 мин), км; H – ширина раскрытия трала (14 м).

Результаты и обсуждение

Доля непромысловых рыб в уловах в районе исследований не превышала 1.77 % (табл. 1), хотя ранее для Печорского моря были отмечены более высокие показатели – 10.6 % (Карамушко, 2005). Нами зарегистрированы 7 видов рыб семейства Cottidae: *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830); *Triglops pingelii* Reinhardt, 1837; *Myoxocephalus scorpius* (Linnaeus, 1758); *Artediellus atlanticus* Jordan & Evermann, 1898; *Triglops nybelini* Jensen, 1944; *Icelus spatula* Gilbert & Burke, 1912; *Myoxocephalus quadricornis* Linnaeus, 1758. Рогатковые часто составляли большую часть вылова непромысловых видов, а в 2019–2022 гг. являлись единственными в уловах. Непромысловые виды рыб в 2018 и 2023 гг. в уловах отсутствовали.

Плотность распределения рыб сем. Cottidae на акватории исследований составила от 1.2 до 757.6 экз/км² (0.002–21.906 кг/км²). Ее максимальное значение отмечено у арктического шлемоносного

бычка в 2013 г., в этом же году в целом для рыб сем. Cottidae также зарегистрированы максимальные средние показатели плотности распределения – 259.6 экз/км², или 4.68 кг/км² (табл. 2).

Таблица 1

**Доля непромысловых видов рыб в уловах
в юго-восточной части Баренцева моря в 2010–2023 гг., %**

Table 1

A percentage of non-target species in the southeastern Barents Sea in 2010–2023, %

Год	Доля непромысловых видов в общем улове	Доля рыб сем. Cottidae в улове непромысловых видов
2010	0.46	34.13
2011	0.12	87.10
2012	1.23	42.25
2013	1.48	79.68
2014	0.01	92.31
2015	0.19	58.12
2016	0.82	29.13
2017	1.77	93.68
2018	–	–
2019	0.59	100.0
2020	0.50	100.0
2021	0.27	100.0
2022	1.15	100.0
2023	–	–

Таблица 2

**Плотность распределения рыб сем. Cottidae в уловах
в юго-восточной части Баренцева моря в 2010–2017 и 2019–2022 гг.**

Table 2

**Values of the total abundance and biomass of Cottidae
fishes in the southeastern Barents Sea in 2010–2017 and 2019–2022**

Вид	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
<i>G. tricuspis</i>	67.0 (0.641)	211.4 (3.120)	50.5 (4.889)	757.6 (21.906)	9.4 (0.170)	67.0 (1.119)
<i>T. pingelii</i>	2.3 (0.067)	7.0 (0.125)	–	14.1 (0.376)	1.2 (0.023)	1.2 (0.048)
<i>M. scorpius</i>	–	1.2 (0.109)	200.9 (9.143)	7.0 (0.270)	–	–
<i>A. atlanticus</i>	–	1.2 (0.011)	2.3 (0.008)	–	–	–
<i>T. nybelini</i>	–	–	–	–	1.2 (0.023)	–
<i>I. spatula</i>	–	–	–	–	1.2 (0.002)	–
<i>M. quadricornis</i>	–	–	–	–	–	–

Окончание табл. 2

Вид	2016 г.	2017 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
<i>G. tricuspis</i>	118.6 (1.546)	314.8 (9.056)	3.5 (0.211)	7.0 (0.480)	–	12.9 (0.843)
<i>T. pingelii</i>	–	1.2 (0.023)	–	–	–	–
<i>M. scorpius</i>	–	12.9 (1.374)	1.2 (0.188)	2.0 (0.496)	1.8 (0.065)	7.0 (0.957)
<i>A. atlanticus</i>	–	–	–	–	–	–
<i>T. nybelini</i>	–	2.3 (0.082)	–	–	–	–
<i>I. spatula</i>	–	–	–	–	–	–
<i>M. quadricornis</i>	–	–	1.2 (0.188)	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. Цифры без скобок – плотность распределения по численности, экз/км²; цифры в скобках – плотность распределения по биомассе, кг/км².

Наиболее часто из сем. Cottidae в уловах встречался арктический шлемоносный бычок *G. tricuspis*. Он отмечен в 85 % случаев, максимальное количество пойманных особей – 645 (табл. 3). Также достаточно часто в уловах отмечались европейский керчак *M. scorpius* и остроносый триглопс

T. pingelii – 62 и 46 % поимок соответственно, однако вклад этих видов в общий улов минимален. Остальные виды рогатковых встречались редко, не более чем в 15 % случаев.

Таблица 3

**Численность и общая масса рыб сем. Cottidae в уловах
в юго-восточной части Баренцева моря в 2010–2017 и 2019–2022 гг.**

Table 3

**Number and total weight of Cottidae fishes
in the southeastern Barents Sea in 2010–2017 and 2019–2022**

Вид	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
<i>G. tricuspis</i>	57 (0.546)	180 (2.656)	43 (4.162)	645 (18.65)	8 (0.145)	57 (0.953)
<i>T. pingelii</i>	2 (0.057)	6 (0.106)	–	12 (0.32)	1 (0.02)	1 (0.041)
<i>M. scorpius</i>	–	1 (0.093)	171 (7.784)	6 (0.23)	–	–
<i>A. atlanticus</i>	–	1 (0.009)	2 (0.007)	–	–	–
<i>T. nybelini</i>	–	–	–	–	1 (0.02)	–
<i>I. spatula</i>	–	–	–	–	1 (0.002)	–
<i>M. quadricornis</i>	–	–	–	–	–	–

Окончание табл. 3

Вид	2016 г.	2017 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
<i>G. tricuspis</i>	101 (1.316)	268 (7.71)	3 (0.18)	6 (0.409)	–	11 (0.718)
<i>T. pingelii</i>	–	1 (0.02)	–	–	–	–
<i>M. scorpius</i>	–	11 (1.17)	1 (0.16)	2 (0.422)	1 (0.055)	6 (0.815)
<i>A. atlanticus</i>	–	–	–	–	–	–
<i>T. nybelini</i>	–	0.07 (2)	–	–	–	–
<i>I. spatula</i>	–	–	–	–	–	–
<i>M. quadricornis</i>	–	–	1 (0.16)	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. Цифры без скобок – численность, экз.; цифры в скобках – биомасса, кг.

В других районах юго-восточной части Баренцева моря (Чёшская губа, Печорский пролив, Печорская губа) среди рыб сем. Cottidae отмечается преобладание арктического шлемоносного бычка *G. tricuspis* и ледовитоморской рогатки *M. quadricornis*. Эти виды также не характеризовались высокими показателями биомассы и численности, однако были стабильными в период исследований 1980–2008 гг. (Чернова, 2000; Семушин и др., 2011).

Заключение

В результате проведенных исследований получены данные, характеризующие распределение рыб сем. Cottidae на исследуемой акватории. Доля рогатковых в общем улове не превышала 1.7 %. Наиболее часто встречающимся и массовым видом является арктический шлемоносный бычок *G. tricuspis*. Например, в 2013 г. его плотность распределения составила 757.6 экз/км² (21.906 кг/км²). В целом же значения плотности распределения рогатковых находились в диапазоне от 1.2 до 757.6 экз/км² (0.002–21.906 кг/км²).

Работа выполнена по теме «Экология рыб и биоразнообразие рыбной части сообществ арктических морей» (№ госрегистрации 124013000725-9) 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. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях европейского Севера и Северной Атлантики. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 300 с.
3. Карамушко О. В. Условия существования и некоторые закономерности формирования рыбных сообществ Баренцева моря // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2005. С. 279–284.

4. Карамушко О. В. Видовой состав и структура ихтиофауны Баренцева моря // *Вопр. ихтиологии*. 2008. Т. 48, № 3. С. 293–308.
5. *Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях*. М.: Наука, 1974. 254 с.
6. *Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб*. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
7. Семушин В. А., Шерстков В. С., Рухлова В. А. Видовой состав рыб траловых уловов в юго-восточной части Баренцева моря в 1980–2008 годах // *Вопр. ихтиологии*. 2011. Т. 51, № 6. С. 749–769.
8. Чернова Н. В. Рыбы Печорского моря и возможное воздействие на них нефтепромысла // *Биологические ресурсы побережья российской Арктики: Матер. к симпозиуму, Беломорск, 18–19 апреля 2001 г.* М.: Изд-во ВНИРО, 2000. С. 179–191.

References

1. Andriyashv A. P. *Ryby severnykh morey SSSR* [Fishes of the northern seas of the USSR]. Moscow, Leningrad, Publ. of the USSR Academy of Sciences, 1954, 566 p. (In Russ.).
2. *Instruktsii i metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke biologicheskoy informatsii v moryakh evropeyskogo Severa i Severnoy 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. of the VNIRO, 2004, 300 p. (In Russ.).
3. Karamushko O. V. *Usloviya sushchestvovaniya i nekotorye zakonomernosti formirovaniya rybnykh soobshchestv Barentseva morya* [Conditions of existence and some patterns of formation of fish communities in the Barents Sea]. *Fundamental'nye osnovy upravleniya biologicheskimi resursami* [Fundamentals of biological resource management]. Moscow, Comrade scientific ed. KMK, 2005, pp. 279–284 (In Russ.).
4. Karamushko O. V. *Vidovoy sostav i struktura ikhtiofauny Barentseva morya* [Species composition and structure of the ichthyofauna of the Barents Sea]. *Voprosy ikhtiologii* [Questions of ichthyology], 2008, Vol. 48, No. 3, pp. 293–308 (In Russ.).
5. *Metodicheskoe posobie po izucheniyu pitaniya i pishchevykh otnosheniy ryb v estestvennykh usloviyakh* [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.).
7. Semushin V. A., Sherstkov V. S., Ruhlova V. A. *Vidovoy sostav ryb tralovykh ulovov v yugo-vostochnoy chasti Barentseva morya v 1980–2008 godakh* [Species composition of fish from trawl catches in the southeastern part of the Barents Sea in 1980–2008]. *Voprosy ikhtiologii* [Questions of ichthyology], 2011, Vol. 51, No. 6, pp. 749–769 (In Russ.).
8. Chernova N. V. *Ryby Pechorskogo morya i vozmozhnoe vozdeystvie na nikh neftepromysla* [Fishes of the Pechora Sea and the possible impact of the oil production on them]. *Materialy Simposiума «Biologicheskie resursy pribrezh'ya Rossiyskoy Arktiki»* [Materials of the Symposium «Biological resources of the coastal zone of Russian Arctic»]. Moscow, Publ. of the VNIRO, 2000, pp. 179–191 (In Russ.).

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Статья поступила в редакцию 02.04.2024; одобрена после рецензирования 05.04.2024; принята к публикации 10.04.2024.
The article was submitted 02.04.2024; approved after reviewing 05.04.2024; accepted for publication 10.04.2024.

