

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

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

Алёна Эдуардовна Носкович

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

Аннотация

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

Ключевые слова:

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

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

Alena E. Noskovich

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

Abstract

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

Keywords:

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

Введение

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

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

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

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

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

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

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

Материал и методы

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

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

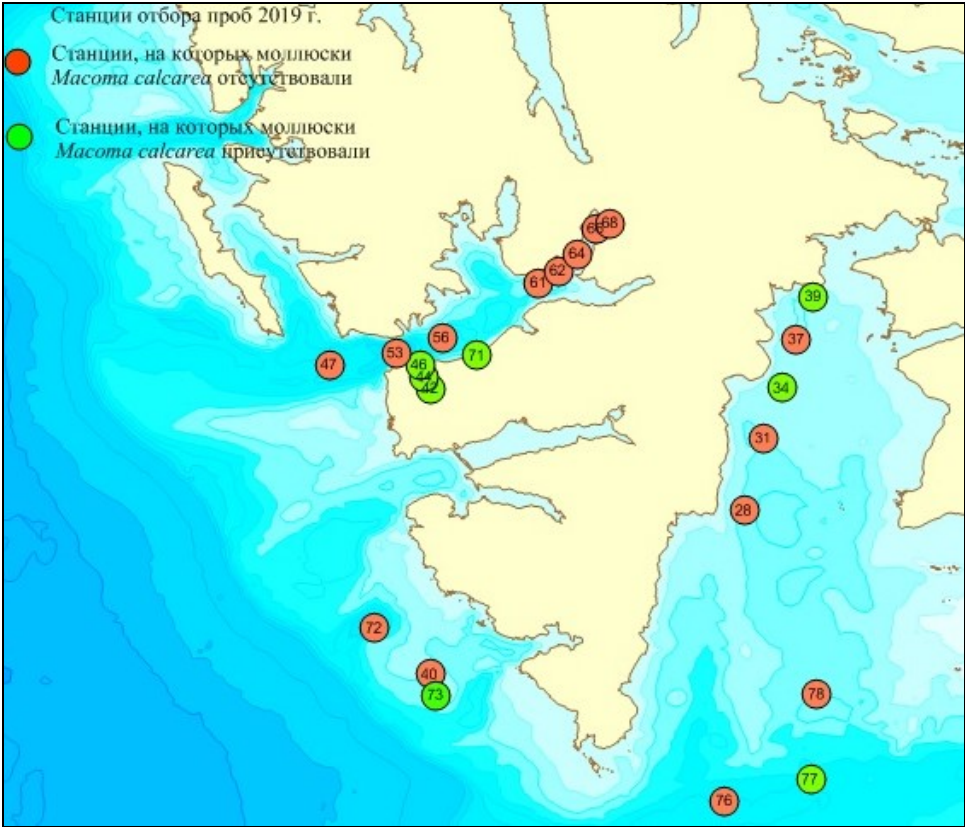


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб
Fig. 1. The map of the sampling sites

Таблица 1

Характеристика района отбора проб

Table 1

Characteristics of the sampling area

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

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

Таблица 2

Объем проанализированного материала и характеристика поселений *M. calcareo*

Table 2

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

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

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

У каждой особи измеряли длину раковины штангенциркулем с точностью до 0.1 мм, у мелких экземпляров – с помощью окулярной линейки бинокулярного микроскопа. Возрастные изменения длины тела оценивали по конечному размеру группы разновозрастных особей, а ежегодный прирост – по разнице смежных величин конечной длины раковины в последовательном ряду возрастов (Методы ..., 1990). При оценке скорости роста учитывались также и раковины немногочисленных мертвых особей.

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

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

Результаты и обсуждение

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

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

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

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

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

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

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

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

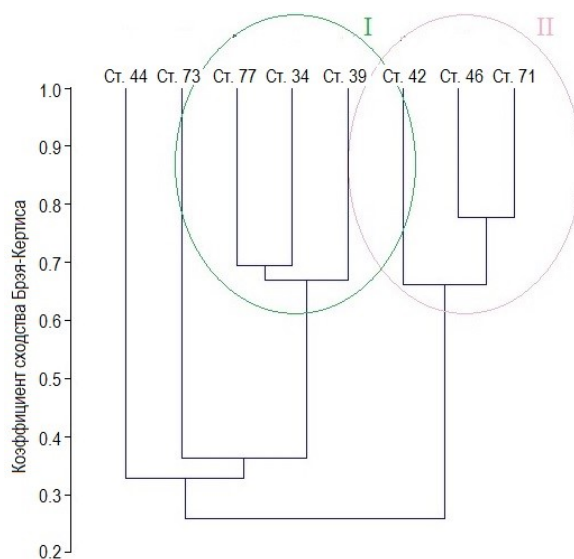


Рис. 2. Дендрограмма сходства станций по обилию и размерно-возрастной структуре *M. calcareus*

Fig. 2. Dendrogram of similarity of stations in abundance and size-age structure *M. calcareus*

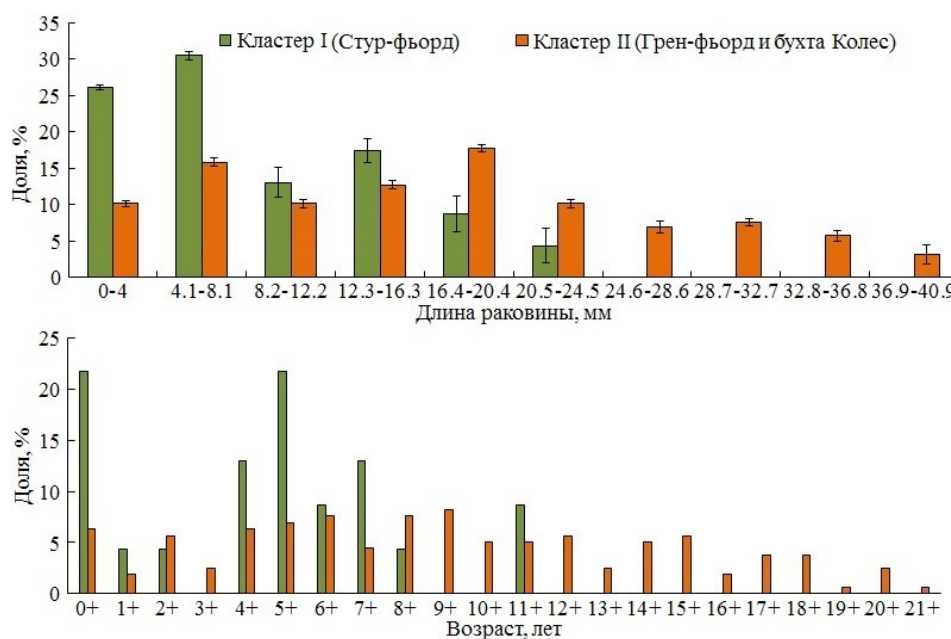


Рис. 3. Размерно-возрастной состав поселений *M. calcaria*

Fig. 3. Size and age composition of the *M. calcaria* settlements

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

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

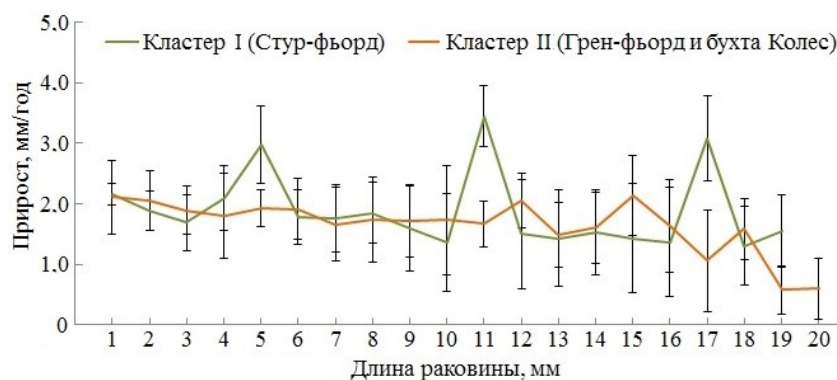


Рис. 4. Ежегодный прирост длины раковины у разновозрастных моллюсков *M. calcaria*

Fig. 4. Age-related variations in annual increase in shell length of clam

Заключение

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

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

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

Список литературы

1. Блошкина Е. В., Фильчук К. В. Современное состояние вод фьордов Западного Шпицбергена // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64, № 2. С. 125–140.
2. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 600 с.
3. Иванов Б. В., Священников П. Н. Климатическая система архипелага Шпицберген // Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: Сб. тез. Всерос. конф. с междунар. участием / Сост. С. В. Рябченко. Архангельск: ИД САФУ, 2014. С. 28–29.
4. Методы изучения двустворчатых моллюсков / Под ред. Г. Л. Шкорбатова, Я. И. Старобогатова // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1990. Т. 219. 208 с.
5. Мещеряков Н. И. Осадконакопление в проливе Стур-фьорд (архипелаг Шпицберген) в условиях изменения климата // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2020. Т. 5(11). Сер. Океанология. Вып. 8. С. 102–109.
6. Наумов А. Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. СПб.: Изд. Зоол. ин-та РАН, 2006. 367 с.
7. Носкович А. Э. Особенности биологии двустворчатого моллюска *Macoma calcarea* (Gmelin, 1791) из фьордов Западного Шпицбергена // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2022. Т. 4(13). Сер. Океанология. Вып. 4. С. 67–77.
8. Танцюра А. И. О течениях Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1959. Вып. 11. С. 35–54.
9. Тарасов Г. А., Хасанкаев В. Б., Матишов Г. Г. Осадочное вещество ледового транспорта на Баренцевоморском шельфе // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1998. С. 33–39.
10. Результаты комплексных океанографических исследований залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) летом 2006 г. / М. В. Третьяков, О. Ф. Голованов, А. К. Павлов, С. М. Пряников, Б. В. Иванов // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 7. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 164–177.
11. Система Баренцева моря / Под ред. акад. А. П. Лисицына. М.: ГЕОС, 2021. 672 с.
12. Borealization of the Arctic Ocean in response to anomalous advection from sub-arctic seas / I. V. Polyakov, M. B. Alkire, B. A. Bluhm, K. A. Brown, E. C. Carmack, M. Chierici, S. L. Danielson, I. Ellingsen, E. A. Ershova, K. Gårdfeldt et al. // Front. Mar. Sci. 2020. Vol. 7. Article 491. DOI: 10.3389/fmars.2020.00491
13. Physical manifestations and ecological implications of Arctic Atlantification / R. B. Ingvaldsen, K. M. Assmann, R. Primicerio, M. Fossheim, I. V. Polyakov, A. V. Dolgov // Nat. Rev. Earth Env. 2021. Vol. 2. P. 874–889.
14. The physical environment of Kongsfjorden–Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard / H. Svendsen, A. Beszczynska-Moller, J. O. Hagen, B. Lefauconnier, V. Tverberg, S. Gerland, J. B. Orbaek, K. Bischof, C. Papucci, M. Zajaczkowski, R. Azzolini, O. Bruland, C. Wiencke, J.-G. Winther, W. Dallmann // Polar Res. 2002. Vol. 21. P. 133–166.
15. Winkelmann D., Knies J. Recent distribution and accumulation of organic carbon on the continental margin west off Spitsbergen // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2005. Vol. 6, № 9. Article Q09012. DOI: 10.1029/2005GC000916

References

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

Информация об авторе

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

Information about the author

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

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