

УДК 574.587:594.1

ОСОБЕННОСТИ АЛЛОМЕТРИЧЕСКОГО РОСТА И СТРУКТУРЫ ПОСЕЛЕНИЙ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ *MYA ARENARIA LINNAEUS, 1758* НА ЛИТОРАЛИ МУРМАНСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

© 2025 г. О. В. Смолькова

ФГБУН Мурманский морской биологический институт РАН,

ул. Владимирская, 17, Мурманск, 183010 Россия

E-mail: sm.olj@mail.ru

Поступила в редакцию: 17.07.2024 г.

После доработки 14.10.2024 г.

Принята к публикации 14.10.2024 г.

Представлены результаты исследования биологии двусторчатого моллюска *Mya arenaria* на литорали Мурманского побережья Баренцева моря. Поселения представлены моллюсками с длиной раковины от 15.5 до 84.2 мм в возрасте от 3 до 10 лет, с превалированием средних возрастных групп (6–8 лет). Установлено, что грунт в исследованных районах сложен разнозернистыми песками с различной долей примеси как крупных гравийных фракций (до 62.5%), так и мелких алевритовых и пелитовых фракций (до 74.6%). Исследована зависимость формы раковины мий от типа грунта. Наибольшие размеры и массу тела имели моллюски на илистом песке с содержанием пелитовых фракций от 4.7 до 7.0%. Выявлено снижение значений коэффициентов аллометрического роста с изменением типа грунта в направлении песок—илистый песок—песчанистый ил.

Ключевые слова: *Mya arenaria*, плотность, биомасса, размерная и возрастная структура, аллометрический рост, донные отложения, литораль, Баренцево море

DOI: 10.31857/S1026347025050105

Двусторчатые моллюски — одна из наиболее важных групп животных в донных биоценозах северных морей. В Баренцевом море они составляют основу бентоса континентального шельфа, достигая до 40% общей биомассы (Денисенко, Денисенко, 2021). В прибрежных сообществах двусторчатые моллюски являются одной из доминирующих групп в литоральных биоценозах (Наумов, 2001), а также служат кормовой базой для многих промысловых видов рыб (Алимов, 1981). Благодаря своей фильтрационной активности они вносят существенный вклад в трансформацию вещества, участвуют в круговороте биогенных элементов, способны накапливать различные токсины (Алимов, 1969; Алимов и др., 1979; Наумов, 2006; Loo, Rosenberg, 1996).

К числу важных компонентов прибрежных сообществ Мурманского побережья Баренцева моря относятся двусторчатые моллюски бореального происхождения *Mya arenaria* Linnaeus, 1758, закапывающиеся в грунт на глубину до 40 см (Свешников, 1963; Pfitzenmeyer, Droebeck, 1963, 1967). Ареал обитания вида занимает прибрежные умеренные воды северной части Атлантического и северо-восточную

часть Тихого океанов, а также моря Северного Ледовитого океана (Баренцево и Белое моря). Встречается на атлантическом и тихоокеанском побережьях Северной Америки, в Балтийском, Черном и Средиземном морях Восточной Атлантики (Голиков и др., 1985; Федяков, 1986; Carlton, 1992; Strasser, 1999; Wheaton, 2008; Zhang *et al.*, 2018). *M. arenaria* образует поселения на илистом песке, обычно с примесью гальки и гравия, на среднем и нижнем горизонтах литорали. Моллюски мии способны выдерживать изменения факторов среды в широких диапазонах (Свешников, 1963; Хлебович и др., 1979; Бергер, 1986; Vyers, 2007), что позволяет рассматривать их в качестве индикаторов для оценки влияния долговременных климатических изменений в Арктическом регионе. Важным фактором в расселении *M. arenaria* на литорали служит гранулометрический состав грунта (Свешников, 1963). Моллюск избегает сыпучих песчаных грунтов, предпочитая плотно слежавшиеся мелкопесчаные, илистые и глинистые грунты с большим содержанием алевропелитовых фракций (сильта). Отклонение параметров среды от оптимальных условий приводит к изменению

размеров и формы раковин (Хлопкова, 2019). Поэтому большой научный интерес представляет изучение относительного (аллометрического) роста различных частей тела моллюсков. Понимание характера изменчивости *M. arenaria* в онтогенезе и оценка влияния на них различных экологических факторов возможны при исследовании особенностей формообразования раковин в разных условиях среды. Изменения отношений морфометрических показателей, которые прослеживаются у большинства представителей двустворчатых моллюсков и у *M. arenaria* в том числе, отражают перестройки моррофизиологической организации моллюсков.

В задачи настоящей работы входило сравнительное изучение морфометрических характеристик роста двустворчатых моллюсков *M. arenaria*, обитающих на литорали в различных районах Мурманского побережья Баренцева моря, а также подробное описание донных отложений литорали в местах обитания моллюсков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Результаты представленной работы получены в ходе комплексной береговой экспедиции Мурманского морского биологического института РАН в 2021–2022 гг. Исследования проведены на мелководных участках Мурманского побережья Баренцева моря (рис. 1). Материалом для работы послужили пробы, собранные на литорали в устье р. Печенга (губа Печенга, Западный Мурман), в устье р. Териберка (губа Териберская, Восточный Мурман), на литорали губ Ваенга, Ретинская и Белокаменная (Кольский залив).

Для определения гранулометрического состава грунта литорали выполнено 6 разрезов в приливо-отливной зоне исследованных участков. Каждый разрез включал в себя 3 станции отбора проб, ориентированных по направлению от берега к урезу воды в отлив. Грунт отобран с помощью колонок с внутренним диаметром 7 см. Мощность вскрытой

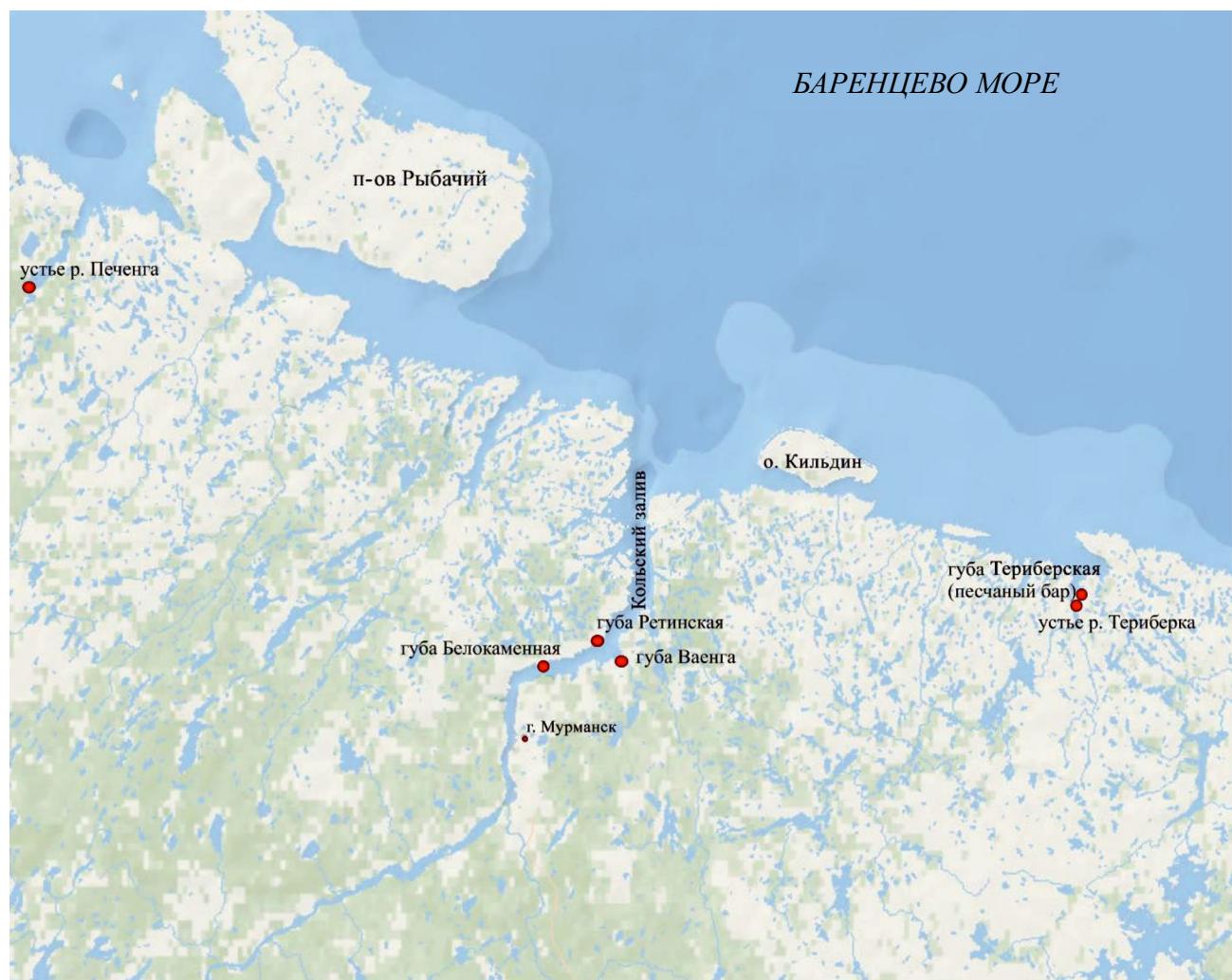


Рис. 1. Схема расположения районов исследований.

осадочной толщи на каждой точке составляла 20 см. В каждой колонке выделяли 3 горизонта 0–5, 5–10 и 10–20 см. Пробы обрабатывали при использовании гранулометрического анализа по методике, разработанной «ВНИИОкеангеология» (Андреева, Лапина, 1998), типы донных отложений выделяли согласно интерпретации М.В. Клёновой (1948). Всего было собрано, обработано и проанализировано 73 пробы донных отложений.

При биологическом анализе у каждого моллюска измеряли длину (L , мм), высоту (H , мм) и толщину раковины (D , мм) штангенциркулем с точностью до 0.01 мм (рис. 2).

Эти параметры использовали для вычисления коэффициентов удлинения (H/L) и выпуклости (D/L , D/H) раковины мии в процессе роста моллюсков. Одновременно с этим определяли общую (сырую) массу моллюска (W , г), массу раковины (W_r , г), мягких тканей (W_m , г) и сифона (W_s , г). Взвешивание производили на электронных весах с точностью до 0.01 г. после просушивания компонентов на фильтровальной бумаге. Возраст определяли по внешней морфологии раковины, подсчитывая годичные кольца, которые образуются при зимней остановке роста и которые представляют собой утолщенные линии нарастания (Haskin, 1954; Скарлато, 1990). Рассчитывали среднее значение (M , мм), стандартное отклонение ($\pm SD$) и коэффициенты вариации (CV, %). Всего за период исследований собрано и обработано 129 экз. *M. arenaria* (29 – в устье р. Териберка, 40 – в устье р. Печенга, 23 – в губе Белокаменная, 30 – в губе Ретинская, 7 – в губе Ваенга).

Связь изменений между различными частями тела мии исследовали, анализируя онтогенетические изменения раковин моллюсков, описываемых уравнением простой аллометрии (Алимов, 1981):

$$Y = a X^b$$

где X и Y – исследуемые параметры моллюсков; a , b – коэффициенты. Анализ выборки проведен

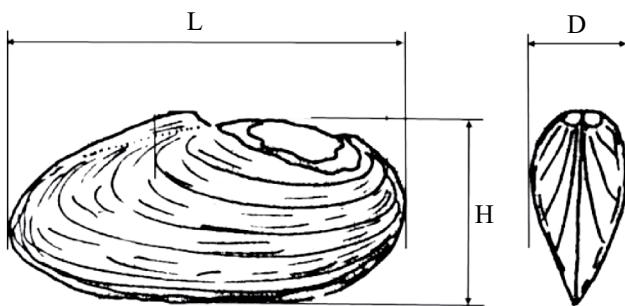


Рис. 2. Схема измерения (мм) раковины двустворчатых моллюсков (Наумов, 2006): L – длина, H – высота, D – толщина.

из совокупности, включающей особей различного размера и возраста. Данные проанализированы с помощью регрессионного анализа. Характер распределения количественных и размерных показателей оценен по критерию Колмогорова – Смирнова. Достоверность различий между средними определяли, используя индекс Уилкоксона – Манна – Уитни. Различия считали недостоверными при $p \geq 0.05$. Математические расчеты проведены с помощью программного пакета STATISTICA 10.0 и электронных таблиц MS Excel-2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гранулометрический состав грунта литорали исследованных районов. Губа Печенга, устье реки Печенга. Донные отложения в верхней части литорали устья р. Печенга по всей вскрытой осадочной толще представлены песками (табл. 1). В центральной части приливно-отливной зоны на глубине залегания 10 см песка отмечалась фракция илистого песка. На границе с сублиторалью во вскрытой осадочной толще выделяется 3 фракции донных отложений. Верхний горизонт до 5 см представлен песком со значительной примесью алеврита. Подстилающий слой до 10 см представлен песчанистым илом, который после 10 см сменяется илистым песком.

Губа Териберская, бар между губой Корабельной и устьем реки Териберка. Донные отложения на литорали между губой Корабельной и устьем реки Териберка (песчаный бар) по всей вскрытой осадочной толще представлены песком, с преобладанием мелкопесчаной фракции, которая варьировала в пределах от 48.6% до 87.6% (табл. 1). Максимальная доля мелкозернистого песка отмечалась в верхней части литорали. На границе с сублиторалью (глубина залегания 10–20 см) доля мелкопесчаной фракции была минимальна.

Губа Териберская, устье реки Териберка. Донные отложения представлены разнозернистым песком, который на глубине залегания 10–20 см меняется гравием (табл. 1). Самой характерной особенностью данного района являлась пониженная соленость и сильные ее колебания в связи с приливо-отливной волной.

Кольский залив. Губа Ваенга. Грунт очень однообразен – крупные валуны, щебень, галька и небольшие участки литорали между валунами и камнями, сложенные глинистым илом с содержанием мелких пелитовых фракций до 75%. На границе с сублиторалью на глубине залегания 0–10 см грунт представлен песчанистым илом и илом. Отмечено содержание песчанистых фракций с размером частиц 0.25–0.1 мм (до 25%).

Самая северная точка, охваченная исследованиями в Кольском заливе, – губа Ретинская. Донные

Таблица 1. Состав донных отложений литорали в исследованных районах Мурманского побережья Баренцева моря

Район отбора проб	Слои грунта, см	Наименование и размеры фракций донных отложений, содержание в %							Тип грунта по Кленовой, 1948
		гравий	круп-ный песок	сред-ний песок	мелкий песок	круп-ный алеврит	мелкий алеврит	пелит	
		<1.0	1.0–0.5	0.5–0.25	0.25–0.1	0.1–0.05	0.05–0.01	>0.01	
Устье реки Печенга	0–5	2.3	8.9	40.1	28.3	13.5	4.0	2.8	Песок (среднезернистый)
	5–10	1.9	7.8	40.5	21.3	14.4	7.4	5.5	Илистый песок
	10–20	1.4	8.2	40.1	17.1	17.2	9.7	5.8	Илистый песок
Устье реки Териберка	0–5	11.6	26.6	40.9	14.2	4.5	0.5	1.6	Песок (разнозернистый)
	5–10	20.3	35.1	41.0	1.7	0.3	0.1	1.5	Песок (разнозернистый)
	10–20	45.5	24.9	21.8	5.0	1.5	0.2	1.1	Гравий и песок
Губа Териберская (песчаный бар)	0–5	6.5	10.6	8.0	68.4	3.6	0.1	1.8	Песок (мелкозернистый)
	5–10	6.1	14.3	11.9	63.2	2.3	0.1	2.2	Песок (мелкозернистый)
	10–20	4.5	11.8	14.9	65.0	2.2	0.1	1.4	Песок (мелкозернистый)
Губа Ретинская	0–5	3.0	1.6	1.7	15.1	34.3	14.9	29.5	Песчанистый ил (с примесью алеврита)
	5–10	9.9	1.7	1.5	9.8	23.9	21.3	31.9	Ил
	10–20	0.4	0.4	0.5	7.1	19.4	29.9	42.2	Ил
Губа Белокаменная	0–5	4.2	2.6	16.7	36.2	34.0	3.3	2.3	Песок (разнозернистый с примесью алеврита)
	5–10	4.6	2.8	8.2	37.7	33.1	8.0	5.6	Илистый песок
	10–20	0.4	1.1	2.0	25.8	38.0	16.3	16.7	Песчанистый ил (с примесью алеврита)
Губа Ваенга	0–5	3.9	3.0	3.8	11.2	10.4	15.7	52.1	Глинистый ил
	5–10	0.7	0.5	0.7	4.9	10.3	27.4	55.5	Глинистый ил
	10–20	0.4	0.3	0.2	0.5	2.4	25.2	71.1	Глинистый ил

отложения губы Ретинская представлены илом и песчанистым илом (табл. 1). Осадки верхнего горизонта литорали сложены преимущественно крупными алевритовыми и пелитовыми фракциями с примесью гравийного материала на глубине залегания 5–10 см до 27.9%. В среднем и нижнем горизонтах литорали отмечено максимальное содержание мелких алевритовых и пелитовых фракций (40–45%).

Кольский залив. Губа Белокаменная. Осадки верхней части литорали губы Белокаменная представлены песком, в основном мелкозернистым, с примесью алеврита до 34.1% (табл. 1). В верхней

и средней части среднего горизонта литорали верхний слой осадков представлен песком, нижний слой интерпретируются как илистый песок (содержание алевритовых фракций до 54%). На границе с сублиторалью выделяется 3 фракции донных отложений. Верхний слой – песок, ниже 5 см – илистый песок, ниже 10 см – ил с содержанием пелита 37.8%.

Плотность и биомасса поселений *Mya arenaria*. Значения показателей плотности и биомассы поселений *M. arenaria* изменились в зависимости от района обитания. Так, в устье р. Печенга средняя плотность поселения мии составляла 40.0 экз./м², в устье р. Териберка – 29.0 экз./м²,

биомасса моллюсков в этих районах составляла соответственно 878.3 и 472.1 г/м². В исследованных районах Кольского залива количественные показатели также отличались.

Поселение моллюсков на лitorали губы Белокаменная находилось в угнетенном состоянии. Здесь отмечена самая низкая плотность – 5 экз/м² и биомасса – 48 г/м². *M. arenaria* в губе Ваенга встречались только единично, плотность распределения в пересчете на метр квадратный не превышала 0.3±0.04 особей, при биомассе 0.13 г/м². Лitorаль песчаного бара губы Териберская подвержена интенсивному волновому влиянию и почти полностью безжизненна. Моллюски *Mya* в данной локации не встречены.

Размерная и возрастная структура поселений. Средние размеры моллюсков в исследованных районах варьировали от 43.4±15.2 мм на лitorали губы Белокаменная до 60.3±19.0 мм – в устье р. Печенга, при средней массе тела 10.0±8.9 и 22.0±14.9 г соответственно. Наибольшие размеры и массу тела имели моллюски, собранные в устье р. Печенга, наименьшие – в губе Белокаменная.

Отдельные поселения различались по размерно-возрастному составу моллюсков. Скопление *M. arenaria* в устье р. Териберка представлено моллюсками в возрасте от 4 до 9 лет (рис. 3). Основную долю составляли крупные моллюски мии в возрасте 6–8 лет с длиной раковины 50 мм и более (68.9 %). Моллюски младших возрастных групп (4–5 лет) составили 20.6%. Размеры особей варьировали от 15.5 до 84.2 мм при массе тела от 0.5 до 47.0 г.

Более широкий размерный и возрастной диапазон характерен для поселения моллюсков в устье р. Печенга, где встречались особи с длиной раковины от 15.5 до 84.2 мм в возрасте от 3 до 10 лет. Основную долю составляли крупные моллюски в возрасте 9–10 лет с длиной раковины 70 мм и более (47.5%) (рис. 3). Мии в возрасте 3–4 лет составляли 12.5%. Единично в выборке нами были отмечены особи в возрасте 5 лет (2.5%). Доля особей в возрасте 6–8 лет составляла 37.5% (рис. 3).

На лitorали губы Ретинская поселение представлено моллюсками в возрасте от 5 до 10 лет с длиной раковины от 30.5 до 80.0 мм (рис. 3). Основную долю (более 60%) составляли мии 6, 7, 8 лет с длиной раковины 50 мм и более.

Размерное распределение губы Белокаменная представлено двумя группами моллюсков – возрастом 3–5 лет с длиной раковины 10–30 мм (39%) и возрастом 6–8 лет с длиной раковины более 50 мм (47.7%) (рис. 3). Размер моллюсков составлял 43.4±15.2 мм, масса тела имела минимальные значения 10.0±8.9 г.

Аллометрический рост. Характер зависимости между основными линейными параметрами раковины двустворчатых моллюсков (соотношение

высота–длина, толщина–длина) хорошо описывается уравнением степенной зависимости.

Линии регрессии показали, что в онтогенезе высота и длина изученных раковин мий связаны между собой очень тесно ($r=0.95–0.99$). Коэффициент b уравнения аллометрии, рассчитанный для этих параметров, колебался в пределах от 0.9143 до 1.0283 (табл. 2). Подобный размах свидетельствует о том, что связь высоты раковины *M. arenaria* с ее длиной характеризуется в разной мере выраженной отрицательной аллометрией либо изометрией.

Анализ среднего значения индекса вытянутости (Н/L) показал, что он равен 0.584, т.е. высота составляла в среднем 58.4% от длины моллюска, со стандартным отклонением SD=0.014 и варьированием минимальных и максимальных значений в пределах 0.52–0.65. Так, в устье р. Печенга у мии при длине раковины 15.5 мм высота составляла 8.5 мм (55.0%), у моллюсков с длиной раковины 40–50 мм – до 60.5%, у самых крупных особей (80 мм и более) соотношение длина–высота не превышало 56%. Схожие соотношения имели моллюски, собранные в губе Белокаменная Кольского залива. Отношение высоты раковины к длине у *M. arenaria* в губе Ретинская составляло от 52 до 65%, у моллюсков в устье р. Териберка – 0.59 (59%).

Толщина раковины *M. arenaria* также тесно связана с ее длиной, как и высота (табл. 2). Коэффициент корреляции (r) варьировал в пределах от 0.89 до 0.98. Расчеты, проведенные для моллюсков из губы Белокаменная, показали, что взаимосвязь длины и толщины раковины характеризуется изометрией (коэффициент регрессии b несколько превышает 1). В остальных районах исследования изменения толщины раковины моллюсков относительно ее длины имели выраженную отрицательную аллометрию ($b<1$).

Анализ сагиттальной кривизны раковины (индекс D/L) в исследованных районах Мурманского побережья показал, что в среднем отношение толщины к длине составляло 0.373 (37.3%) со стандартным отклонением SD=0.013 и варьированием минимальных и максимальных значений в пределах 0.29–0.52. Эти данные сходны с материалами ранних исследований (Савчук, 1970; Смолькова, Мещеряков, 2022). Наиболее значимые отличия имели молодые моллюски из поселения на лitorали в устье р. Печенга где у *M. arenaria* при длине раковины 30 мм толщина ее составляла до 10 мм (34%), в остальных исследованных районах толщина раковины составляла до 44% относительно ее длины. У более крупных моллюсков с длиной раковины от 60 мм и более толщина в среднем была равна 23 мм и составляла до 40% относительно ее длины.

Различия формы раковины мий, обусловленные соотношением ее морфометрических показателей (длины, высоты и толщины), определяются значениями коэффициента a в уравнении

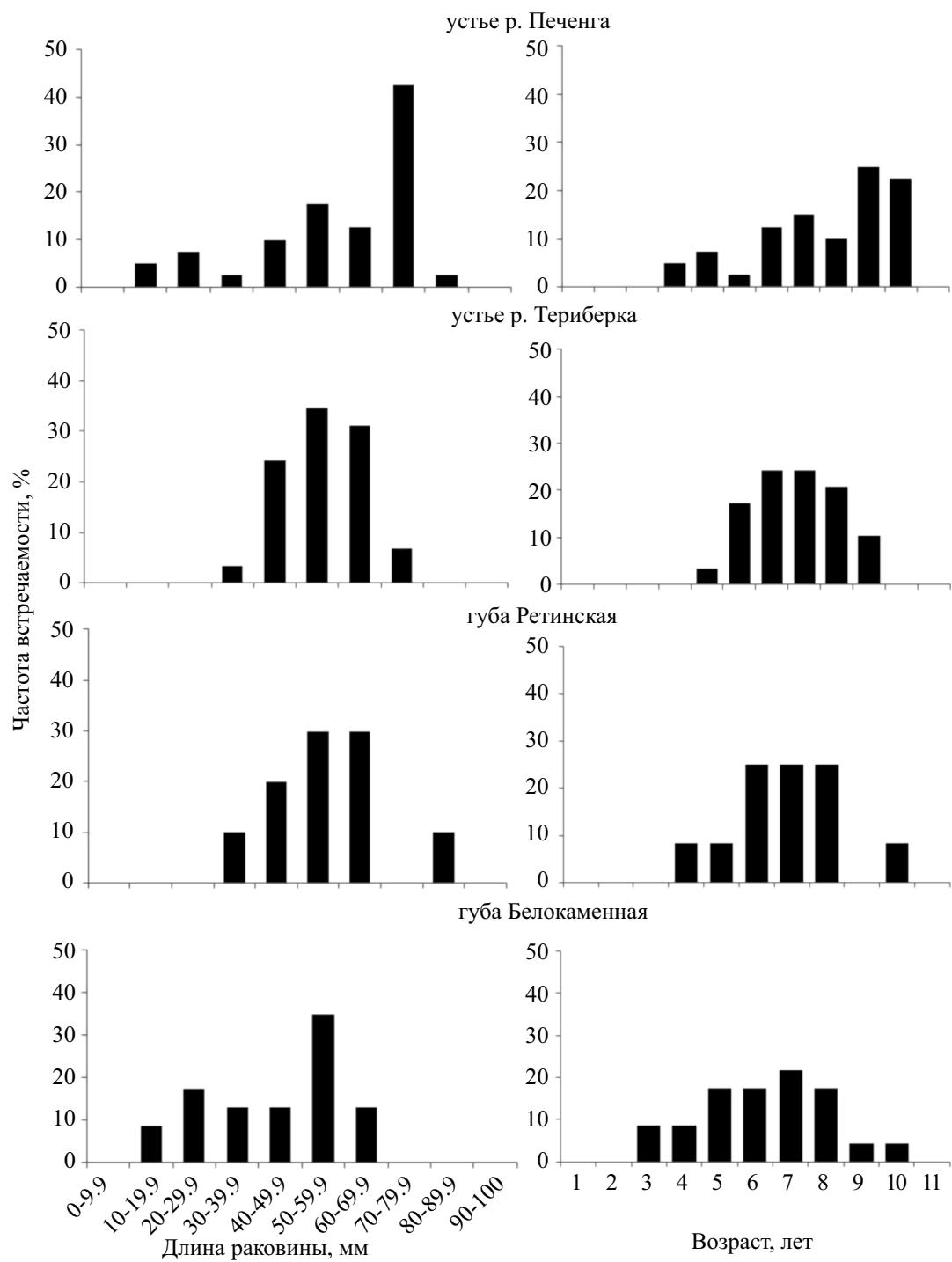


Рис. 3. Размерный и возрастной состав поселений *M. arenaria* в разных районах Мурманского побережья Баренцева моря.

простой аллометрии (рис. 4 а,б). Как видно на графике (рис. 4а), средние значения коэффициента a в уравнении $H=aL^b$ понижались с изменением типа грунта в направлении песок—илистый песок—песчанистый ил. Раковина мий, обитающих в песчаном грунте в устье р. Териберка, увеличивалась

в высоту относительно длины более интенсивно, чем у моллюсков с илистого грунта губы Ретинская, поэтому моллюски, выросшие в илистом грунте, имели более вытянутую форму раковины.

Анализ средних значений коэффициента a для соотношений длины и толщины раковины

Таблица 2. Коэффициенты уравнений, описывающих изменение в процессе онтогенеза пропорций раковины у *M. arenaria* в разных районах Мурманского побережья Баренцева моря ($p<0.05$)

Район исследования	Тип грунта	Коэффициенты		SEa	SEb	r
		a	b			
$H=aL^b$						
Устье реки Печенга	ИП	0.6210	0.9762	0.004	0.008	0.99
Устье реки Териберка	П	0.8257	0.9143	0.004	0.007	0.97
Губа Ретинская	ПИ	0.5304	1.0283	0.011	0.014	0.95
Губа Белокаменная	ИП	0.6365	0.9798	0.004	0.010	0.99
$D=aH^b$						
Устье реки Печенга	ИП	0.3919	0.9769	0.006	0.008	0.96
Устье реки Териберка	П	0.5750	0.8905	0.004	0.015	0.91
Губа Ретинская	ПИ	0.5275	0.9204	0.010	0.012	0.89
Губа Белокаменная	ИП	0.3160	1.0394	0.005	0.007	0.98

Примечание: П – песок, ПИ – песчанистый ил, ИП – илистый песок; a, b – коэффициенты уравнения аллометрии; SEa, SEb – стандартные ошибки a, b ; r – коэффициент корреляции.

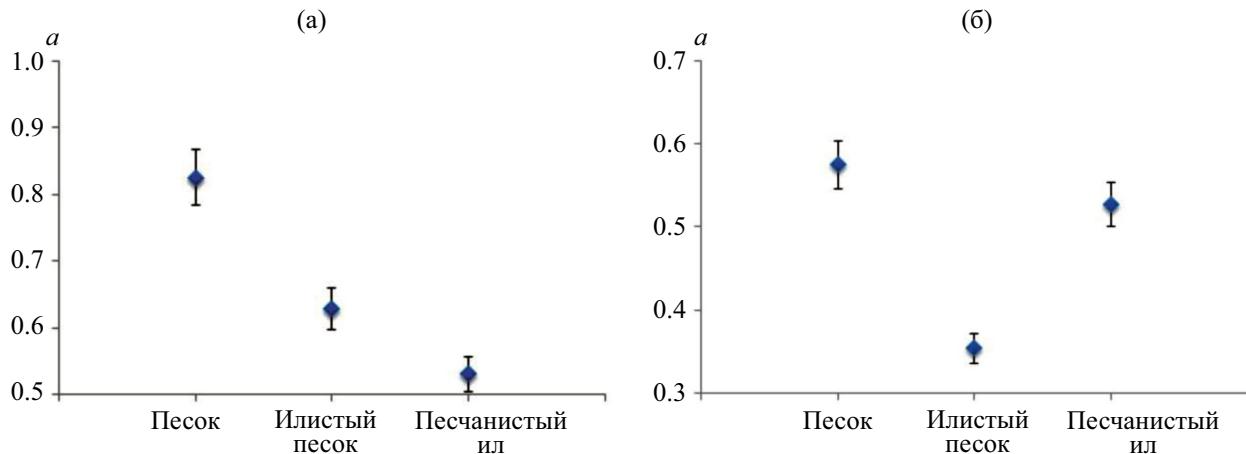


Рис. 4. Значения коэффициента a для соотношений длины и высоты (а), длины и толщины (б) раковины *M. arenaria*, обитающих на грунте разного типа.

не выявил достоверных различий у моллюсков, обитающих в разных районах исследования (рис. 4б). Так, моллюски, выросшие в песчаном грунте в устье р. Териберка, имели схожую толщину раковины с моллюсками, обитающими в песчанистом иле либо на литорали губы Белокаменная.

Высота и толщина раковины *M. arenaria* тесно связаны не только с длиной, но и между собой. Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о достаточно высокой степени зависимости толщины

раковины моллюска от ее высоты ($r=0.88-0.99$). Коэффициент b , рассчитанный для этих параметров, колебался в пределах от 0.9107 до 1.0594. Связь толщины раковины моллюсков с высотой характеризовалась разной степенью отрицательной аллометрии либо изометрией. Так, например, у моллюсков, обитающих на литорали в устье р. Печенга и губы Белокаменная, толщина раковины относительно ее высоты увеличивалась в процессе роста более интенсивно, чем у моллюсков из других

исследованных районов (табл. 2). У некоторых особей мий из устья р. Печенга толщина раковины приближалась к ее высоте (индекс D/H=0.967).

Анализ фронтальной кривизны раковины (индекс D/H) в исследованных районах показал, что в среднем отношение толщины к длине составляло 0.634 (63.4%) со стандартным отклонением SD=0,011 и варьированием минимальных и максимальных значений в пределах 0.51–0,97. Средние значения индекса D/H у мий, обитающих на илистом песке губы Белокаменная, составляли 0.619 ± 0.035 , на песчаном грунте в устье р. Териберка – 0.634 ± 0.041 . У моллюсков из биотопа губы Ретинская, где донные отложения представлены песчанистым илом, индекс составлял 0.647 ± 0.011 .

Изучение отношений между весовыми параметрами моллюсков и анализ относительного роста массы мягких тканей (W_m), массы сифона (W_s) и раковины (W_r) от общей массы целого моллюска (W) в исследуемых районах представляет особый интерес для решения ряда практических задач и оценки возможности использования *M. arenaria* в марикультуре. Наибольшая массовая доля раковины отмечена у моллюсков из губы Ретинская (55%), наименьшая – у мий из губы Белокаменная и устья р. Печенга (38%). Относительная масса раковины у моллюсков из устья р. Териберка составляла 39%. Средняя масса мягких тканей составляла от 44 % относительно общей массы при изменчивости от 33 до 51%. Наибольшая относительная масса мягких тканей отмечена у *M. arenaria* устьевых участков р. Териберка и р. Печенга (50%), минимальная – у моллюсков в губе Белокаменная (33%). Масса сифона составляла 21% от общей массы тела.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Количественные и морфометрические характеристики поселений моллюсков *M. arenaria* в разных районах Мурманского побережья Баренцева моря разнообразны. Наиболее высокие показатели обилия получены для поселений в устье р. Печенга и в губе Ретинская. Несколько меньшая плотность поселений моллюсков отмечена на литорали в устье р. Териберка. Показатели обилия моллюсков *M. arenaria* в указанных районах сопоставимы с количественными характеристиками моллюсков из других районов Баренцева моря (Смолькова, Мещеряков, 2022, 2023). Схожие показатели численности отмечались в Белом море (Smolkova, 2021), в Тауйской губе Охотского моря (Жарников, 2020), в Керченском проливе и северо-западной части Черного моря (Иванов, Синегуб, 2007). Наименьшая плотность поселений наблюдалась на литорали губы Белокаменная и на мелководных участках в губе Ваенга. Отмечено

абсолютное отсутствие моллюсков на литорали песчаного бара губы Териберская.

Размерно-возрастной состав исследованных поселений Мурманского побережья представлен особями размером от 15.5 до 84.2 мм в возрасте от 3 до 10 лет с превалированием средних возрастных групп (6–8 лет) с частотой встречаемости от 53 до 67% в разных районах исследования.

При изучении размерно-весовых характеристик установлено, что наибольшие размеры и максимальную массу тела имеют моллюски на илистом песке литорали в устье р. Печенга, в то время как на илистом песке губы Белокаменная поселение моллюсков характеризовалось наименьшими морфометрическими и весовыми показателями. Анализ донных отложений данного района показал, что содержание в грунте мелких пелитовых фракций составляло до 30% в слое 10–20 см нижнего горизонта литорали. Это практически в 2 раза больше, чем в районе р. Печенга и, скорее всего, негативно отражается на жизнедеятельности моллюсков *M. arenaria*. Для грунта устья р. Печенга доля пелитовых фракций не превышает 16%. Известно, что моллюски *M. arenaria* испытывают угнетение на заиленных эвтрофированных участках литорали, негативно отражающееся на их жизнедеятельности (Winther, Gray, 1985). Подвижные слои грунта препятствуют формированию неоплывающих норок, что приводит к гибели моллюсков. В литературе отмечается сильная обратная зависимость между содержанием в грунте мелких алевритовых и пелитовых фракций и плотностью поселения моллюсков (Смолькова, Мещеряков, 2022). Кроме того, в настоящее время акватория губы Белокаменная испытывает повышенный антропогенный пресс, в ней отмечена сильная эвтрофикация и загрязнение воды, грунта и макроводорослей (Ильин и др., 2022), что, вероятно, влияет на плотность поселения *M. arenaria*.

Анализ аллометрического роста различных частей тела моллюсков *M. arenaria* на литорали Мурманского побережья Баренцева моря показывает способность двустворчатых моллюсков изменять в онтогенезе форму своей раковины, адаптируясь к определенным условиям окружающей среды.

Пропорции раковины у моллюсков *Mya arenaria* в различных районах Мурманского побережья Баренцева моря изменяются с разной интенсивностью (табл. 2). В зависимости от величины углового коэффициента *b* встречается изометрический рост (*b*=1), положительная (*b*>1) или отрицательная (*b*<1) аллометрия, что в целом характерно для двустворчатых моллюсков (Зотин, 2009; Селин, 2010) и, в частности, для *M. arenaria* (Савчук, 1970; Золотницкий, Сытник, 2020; Смолькова, Мещеряков, 2022, 2023).

Формообразование раковины у *M. arenaria*, обитающих на литорали губы Белокаменная

и в устье р. Печенга, где донные отложения представлены илистым песком, происходит по принципу слабой отрицательной аллометрии (табл. 2). Нарастание длины раковины происходит быстрее, чем увеличение высоты, поэтому раковина имеет вытянутую форму. Схожий рост раковин наблюдается и у моллюсков, собранных на песчаной лitorали в устье р. Териберка. Однако увеличение длины раковины относительно высоты интенсивнее, чем у *M. arenaria* из других исследованных районов, что, вероятнее всего, отражает особенности гранулометрического состава донных отложений. Расчеты, проведенные для моллюсков из губы Ретинская, показали, что взаимосвязь длины и высоты раковины характеризуется изометрией ($b=1,0283$).

Анализ соотношения D/L в различных районах Мурманского побережья показал, что адаптивный характер отмеченных особенностей морфологии раковины проявляется в отсутствии необходимости сопротивляться воздействию динамичной внешней среды и противостоять гидродинамическому воздействию водных масс. Это обусловлено тем, что моллюски живут в грунте, где воздействие течений и волновых нагонов минимально и нет необходимости сопротивляться подвижной внешней среде. Полученные данные согласуются с результатами исследований, проведенных для моллюсков *M. arenaria* северо-западной части Черного моря (Савчук, 1976) и южной части Азовского моря (Золотницкий, Сытник, 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные исследования позволили получить информацию о современном состоянии поселений двустворчатых моллюсков *M. arenaria* на лitorали Мурманского побережья Баренцева моря и охарактеризовать некоторые особенности относительного роста моллюсков *M. Arenaria*. Установлено, что донные отложения в исследованных районах представлены разнозернистыми песками с различной долей примеси как крупных гравийных фракций (до 62.5%), так и мелких алевритовых и пелитовых фракций (до 74.6%). С использованием подробного гранулометрического анализа грунта выявлена зависимость изменения формы раковины моллюсков от характера грунта и показано, что значения коэффициентов аллометрического роста снижаются с изменением типа донных отложений в направлении песок–илистый песок–песчанистый ил.

Полученные результаты о биологии *M. arenaria* на мелководных участках исследованного побережья Баренцева моря в дальнейшем могут служить основой для мониторинга возможных изменений, вызванных антропогенным воздействием

или климатическими флуктуациями. Кроме того, с помощью выводов об особенностях аллометрического роста *M. arenaria* можно решать практические задачи, связанные с использованием этого вида в марикультуре.

БЛАГОДАРНОСТИ

Выражаю большую благодарность ведущему научному сотруднику лаборатории орнитологии и паразитологии ММБИ РАН, к.б.н. Куклиной М.М. за всестороннюю помошь при работе над статьей.

Выражаю благодарность сотрудникам лаборатории океанографии и радиоэкологии ММБИ РАН, а именно заведующему лабораторией, к.г.н. Ильину Г.В. и старшему научному сотруднику, к.г.н. Мещерякову Н.И. за квалифицированную помошь при планировании и проведении работы по сбору, обработке и анализу проб донных осадков в исследованных районах.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках темы НИР ММБИ РАН № 9-22-01 (1.6.16) «Донные биоценозы Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных вод в современных условиях» № госрегистрации 122020900044-2 (FMEE-2022-0001).

БИОЭТИКА

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алимов А.Ф. Некоторые общие закономерности фильтрации у двустворчатых моллюсков // Журнал общей биологии, 1969. Т. 30, № 5. С. 621–631.
 Алимов А.Ф., Бульон В.В., Гутальмахер Б.Л., Иванова И.Б. Применение биологических и экологических показателей для определения степени загрязнения природных вод // Водные ресурсы, 1979. Т. 6, № 5. С. 137–150.
 Алимов А.Ф. Функциональная экология пресноводных двустворчатых моллюсков // Труды Зоол. ин-та АН СССР. Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1981. Т. 96. С. 137–154.
 Андреева И.А., Лапина Н.Н. Методика гранулометрического анализа донных осадков Мирового океана и геологическая интерпретация результатов лабораторного изучения вещественного состава осадков. Изд. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. 45 с.

- Бергер В.Я.** Адаптации морских моллюсков к изменениям солености среды // Исследование фауны морей. Л: Наука, 1986. Т. 32, вып. 40, 214 с.
- Голиков А.Н., Скарлато О.А., Максимович Н.В., Матвеева Т.А., Федяков В.В.** Фауна и экология раковинных моллюсков губы Чупа Белого моря // Биоценозы губы Чупа Белого моря и их сезонная динамика. Сборник научных трудов, Л.: Наука, 1985. С. 185–229.
- Денисенко С.Г. Денисенко Н.В.** Зообентос Баренцева моря // Система Баренцева моря. М.: ООО «Издательство ГЕОС», 2021. С. 352–369.
[https://doi.org/10.29006/978-5-6045110-0-8/\(27\)](https://doi.org/10.29006/978-5-6045110-0-8/(27))
- Жарников В.С.** Влияние условий среды на пространственное распределение *Mya izenensis* (Bivalvia: Myidae) в разных районах Тауйской губы Охотского моря // Вестн. КамчатГТУ, 2020. № 51. С. 99–107.
<https://doi.org/10.17217/2079-0333-2020-51-99-107>
- Золотницкий А.П., Сытник Н.А.** Характеристика аллометрического роста песчаной ракушки мии (*Mya arenaria* Linnaeus, 1758) Южной части Азовского моря // Водные биоресурсы и среда обитания, 2020. Т. 3, № 3, С. 56–66.
- Зотин А.А.** Закономерности роста и энергетического обмена в онтогенезе моллюсков: автореф. дис. д-ра биол. наук. М., 2009. 30 с.
- Иванов Д.А., Синегуб И.А.** Трансформация биоценозов Керченского пролива после вселения хищного моллюска *Rapana thomasiana* и двустворчатых *Mya arenaria* и *Cunearca cornea* // Современные проблемы экологии азово-черноморского региона: материалы III Междунар. Конф. (Керчь, 10–11 октября 2007 г.). Керчь, 2007. С. 45–51.
- Ильин Г.В., Матишиов Г.Г., Усягина И.С., Валуйская Д.А.** Техногенные радионуклиды в прибрежной зоне Кольского полуострова // Тез. докл. II Междунар. научно-практ. конф. «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность». Севастополь, 2022. С. 220–221.
URL: https://conf.ibss-ras.ru/docs/conference_proceedings.pdf
- Клёнова М.Г.** Геология моря. М.: Учпедгиз, 1948. 182 с.
- Наумов А.Д.** Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа // Исследования фауны морей. Изд. СПб., 2006. Т. 59, вып. 67. С. 23–24.
- Савчук М.Я.** Распространение и некоторые особенности биологии двустворчатого моллюска *Mya arenaria* L. в прибрежном мелководье северо-западной части Черного моря и в лиманах // Океанология, 1970. Т. 10. Вып. 3. С. 521–528.
- Савчук М.Я.** Акклиматизация двустворчатого моллюска *Mya arenaria* в Черном море // Биология моря, 1976. № 6. С. 40–46.
- Свешников В.А.** Биоценотипические связи и условия существования некоторых кормовых беспозвоночных инфауны литорали Кандалакшского залива Белого моря // Труды Кандалакшского государственного заповедника. 1963. Вып. IV. Труды ББС МГУ. Т. II. С. 114–134.
- Селин Н.И.** Рост и продолжительность жизни двустворчатых моллюсков у северо-восточного побережья острова Сахалин // Биология моря, 2010. Т. 36, № 4. С. 265–273.
- Скарлато О.А.** Методы изучения двустворчатых моллюсков // Труды Зоологического института АН СССР, 1990. Т. 219. 208 с.
- Смолькова О.В., Мещеряков Н.И.** Биология двустворчатых моллюсков *Mya arenaria* (Linnaeus, 1758) губы Хлебная Кольского залива Баренцева моря // Труды Кольского научного центра РАН, 2022. Т. 13, № 4(10). С. 86–99.
<https://doi.org/10.37614/2307-5252.2022.4.10.009>
- Смолькова О.В. Мещеряков Н.И.** Двустворчатый моллюск *Mya arenaria* Linnaeus 1758 (семейство Myidae) на мелководных участках губ Зеленецкая и Ярнышная Баренцева моря. Особенности аллометрического роста // Зоологический журнал, 2023. Т. 102 № 2. С. 141–152.
<https://doi.org/10.31857/S0044513423010099>
- Федяков В.В.** Закономерности распределения моллюсков Белого моря. Л.: ЗИН, 1986. 125 с.
- Хлебович В.В., Станкевич А.Б.** Пределы ступенчатой адаптации *Macoma balthica*, *Mytilus edulis* и *Mya arenaria* из восточной части Балтийского моря // Моллюски. Основные результаты их изучения. Авторефераты докладов. Сборник 6. Л.: Наука, 1979. С. 42–43.
- Хлопкова М.В.** Аллометрический рост и продолжительность жизни двустворчатого моллюска *Diclidura barbottemarnyi* (Grimm, 1877) / М.В. Хлопкова // Вестник Дагестанского научного центра РАН, 2019, № 73. С. 20–25.
<https://doi.org/10.31029/vestdnc73/3>
- Byers, J.** Global Invasive Species Database (WWW Document). *Mya Arenaria* (Mollusc). 2007. URL. <http://issg.org/database/species/ecology.asp?si=1159&fr=1&sts=sss&lang=EN>
- Carlton G. T.** Introduced marine and estuarine mollusks of the North America: an-end-of-the-20-th-century perspective // J. Shell-life Res., 1992. Vol. 11. P. 489–505.
- Haskin H. H.** Age determination in mollusks // Transactions of the New Yom Academy of Science, 1954. V. 16. P. 300–304.
- Loo L.-O., Rosenberg R.** Production and energy budget in marine suspension feeding populations: *Mytilus edulis*, *Cerastoderma edule*, *Mya arenaria* and *Amphibira filiformis* // J. Sea Res., 1996. Vol. 35, P. 199–207.
- Naumov A. D.** Benthos. Ch. 4//White Sea. Ecology and environment. St. Petersburg–Tromso, 2001. P. 41–53.
- Pfitznermeyer H. T., Droebeck K. G.** Benthic survey for populations of soft-shelled clams *Mya arenaria* // Ches. Sci. 1963. Vol. 4, № 2, P. 67–74.
<https://doi.org/10.2307/1350824>

- Pfitzenmeyer H. T., Drobeck K.G. Some factors influencing reburrowing activity of soft-shell clam *Mya arenaria* // Ches Sci., 1967. Vol. 8, № 3, P. 193–199.
<https://doi.org/10.2307/1351384>
- Smolkova O. V. Linear growth and yield of bivalve mollusks *Mya arenaria* Linnaeus, 1758 in the conditions of the littoral of the Barents and White seas // *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East*: IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937. Article № 022078. P. 1–10.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/2/022078>
- Strasser M. *Mya arenaria* – an ancient invader of the North Sea coast // Helgolander Meeresuntersuchungen, 1999. Vol. 52. № 3–4. P. 309–324.
<https://doi.org/10.1007/BF02908905>
- Wheaton F.W., Schaffer G.U., Ingling A.L., Douglass L.W. Physical properties of soft shell clams, *Mya arenaria*, Aquacultural Engineering, 2008. Vol. 38. Issue 3. P. 181–188.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2008.03.002>
- Winther, U., Gray J.S. The biology of *Mya arenaria* (Bivalvia) in the eutrophic inner Oslofjord // *Sarsia*. 1985. Vol. 70. P. 1–9.
- Zhang J.L., Yurchenko O.V., Lutaenko K.A., Kalachev A.V., Nekhaev I.O., Aguilar R., Zhan Z.F., Ogburn M.B. A tale of two soft-shell clams: an integrative taxonomic analysis confirms *Mya japonica* as a valid species distinct from *Mya arenaria* (Bivalvia: Myidae) // *Zoological Journal of the Linnean Society*. 2018. Vol. 184, no. 3. P. 605–622.
<https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlx107>

Features of the allometric growth and settlement structure of soft-shell clam *Mya arenaria* Linnaeus, 1758 in the intertidal zone off the Murmansk coast of the Barents Sea

O. V. Smolkova

*Murmansk Marine Biological Institute, Russian Academy of Sciences,
Vladimirskaya street, 17, Murmansk, 183010 Russia
e-mail: sm.olj@mail.ru*

The paper provides the results of a study of the the soft-shell clam *Mya arenaria* biology in the intertidal zone of the Murmansk coast of the Barents Sea. Settlements are represented by the soft-shell clam with the shell length varying 15.5 to 84.2 mm and aged 3 to 10 years, with the prevalence of middle age groups (6–8 years). The study areas are found that the soil is composed of uneven-grained sands with a different proportions of admixture both large gravel fractions (up to 62.5%) and silty and pelitic fractions (up to 74.6%). Dependence of the shell shape on soil type was analyzed. Mollusks on silty sand with a content of pelite fractions from 4.7 to 7.0% had the largest body size and weight. A decrease in the values of the coefficients of allometric growth was revealed with a change in the type soil from sand to sandy silt.

Keywords: *Mya arenaria*, density, biomass, size and age structure, allometric growth, bottom sediments, intertidal zone, Barents Sea