

Научная статья

УДК 574.587(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-881-904

EDN: VLREST



**МАКРОБЕНТОС СУБЛИТОРАЛИ БУХТ АСТАФЬЕВА
И СРЕДНЯЯ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ
(ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ МОРСКОЙ БИОСФЕРНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ ЗАПОВЕДНИК)**

Ю.А. Галышева¹, Е.Г. Сомова², А.А. Сомов^{3,1*}

¹ Дальневосточный федеральный университет,
690922, г. Владивосток, о. Русский, пос. Аякс, 10;

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Земля леопарда»,
690068, г. Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 127;

³ Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. Проведена оценка состава, обилия, структуры и распределения макробентоса в ландшафтно-экологических условиях бухт Астафьева и Средняя восточного участка Дальневосточного морского биосферного государственного природного заповедника. Выполнено ландшафтное профилирование и выделены основные типы ландшафтов. Проанализированы гранулометрический состав грунтов и содержание в них органического вещества. Всего в составе макробентоса обеих бухт обнаружено 77 видов. В эпибентосе отмечено 28 видов (сходство между бухтами по индексу Жаккара составляет 93 %), в составе инфауны выявлено 53 вида (сходство 23 %). Общими для категорий «эпибентос» и «инфауна» являются 4 вида беспозвоночных. Видовое богатство инфауны бухты Средней более чем в два раза выше, чем бухты Астафьева. Выявлено, что в расположенных рядом бухтах происходят разные экологические процессы в системе «дно–макробентос», оказывающие влияние на биологическое разнообразие, обилие и структуру населения мягких грунтов. Несмотря на геоморфологическую схожесть, более обогащенная органическим веществом донная среда бухты Астафьева оказалась беднее по таксономическому составу и обилию инфауны, чем среда бухты Средней. Залповое поступление в бухту Астафьева большого количества терригенного материала в период дождей и тайфунов с эродированной поверхности плато и склонов п-ова Гамова, подтверждающееся научными публикациями, дестабилизирует характеристики среды в экосистеме бухты, делая их более агрессивными, и препятствует формированию устойчивого в биологическом отношении, более разнообразного и обильного донного населения. В соседней бухте Средней, побережье которой не подвержено интенсивным эрозийным процессам, донные отложения формируются под влиянием морских процессов, а состав и структура

* Галышева Юлия Александровна, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой, galysheva.yua@dvfu.ru, ORCID 0000-0001-8054-972X; Сомова Евгения Геннадьевна, старший научный сотрудник, somovaevg@gmail.com, ORCID 0009-0001-0933-0562; Сомов Алексей Александрович, кандидат биологических наук, и.о. заведующего лабораторией; старший преподаватель, aleksejsomoff@gmail.com, ORCID 0000-0001-8459-0498.

макробентоса мягких грунтов отличаются большим биоразнообразием. Эпибентос же обеих акваторий характеризуется небольшими различиями видового богатства, высокой степенью схожести и представлен наиболее распространенными в зал. Петра Великого видами.

Ключевые слова: макробентос, эпибентос, инфауна, подводные ландшафты, донные отложения, биологическое разнообразие, экологическое благополучие, рекреационная экология, рекреационное воздействие, Дальневосточный морской биосферный заповедник

Для цитирования: Галышева Ю.А., Сомова Е.Г., Сомов А.А. Макробентос сублиторали бухт Астафьева и Средняя залива Петра Великого Японского моря (Дальневосточный морской биосферный государственный природный заповедник) // Изв. ТИПРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 881–904. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-881-904. EDN: VLREST.

Original article

Macrobenthos of the sublittoral in the Astafiev and Srednyaya Bights of Peter the Great Bay, Japan Sea (Far Eastern Marine Biosphere State Nature Reserve)

Yulia A. Galysheva*, Eugenia G. Somova, Aleksey A. Somov*****

* Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690922, Russia

** FSBI Land of the Leopard, 127, 100th anniversary of Vladivostok Ave., Vladivostok, 690068, Russia

*** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia; Far Eastern Federal University, Ajax Bay, 10, Vladivostok, 690922, Russia

* Ph.D., assistant professor, head of department, galysheva.yua@dvfu.ru, ORCID 0000-0001-8054-972X

** senior researcher, somovaevg@gmail.com, ORCID 0009-0001-0933-0562

*** Ph.D., acting head of laboratory; senior lecturer, alekseysomoff@gmail.com, ORCID 0000-0001-8459-0498

Abstract. Species composition, abundance, ecological structure and spatial distribution of macrobenthos are considered in landscape and ecological conditions of the Astafiev and Srednyaya Bights in the eastern part of the Far Eastern Marine Biosphere State Nature Reserve. The main types of landscapes are identified on the data of landscape profiling. Granulometric composition of soils and organic matter content in the bottom sediments are analyzed. A total of 77 species are found in the macrobenthos of both bights. There are 28 species of epibenthos (similarity between bights by Jaccard index is 93 %) and 53 species of infauna (similarity 23 %), including 4 species common for both biotopes. Different ecological processes in the bottom-macrobenthos system occur in these nearby bights that affects biological diversity, abundance and structure of soft-soil benthos. Despite geomorphological similarity of the bights, the bottom environment in the Astafiev Bight is more enriched in organic matter, but taxonomic composition and abundance of infauna is poorer there. Bulk release of terrigenous matter from the eroded shore of Gamov Peninsula to this bight after rains destabilizes and jeopardizes its bottom environments and prevents formation of biologically stable, diverse and abundant benthos. In the neighbor Srednyaya Bight with a less erosive coastline, the bottom sediments are formed by marine processes mostly, so the macrobenthos on soft soils is distinguished there by great biodiversity. The epibenthos in both bights has no such differences and is represented by the most common species for Peter the Great Bay.

Keywords: macrobenthos, epibenthos, infauna, underwater landscape, bottom sediments, biological diversity, ecological well-being, recreational ecology, recreational impact, Far Eastern Marine Biosphere Reserve

For citation: Galysheva Yu.A., Somova E.G., Somov A.A. Macrobenthos of the sublittoral in the Astafiev and Srednyaya Bights of Peter the Great Bay, Japan Sea (Far Eastern Marine Biosphere State Nature Reserve), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 881–904. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-881-904. EDN: VLREST.

Введение

В настоящее время только один заповедник в России является морским — это Дальневосточный морской биосферный государственный природный заповедник (ДВМБГЗ).

Богатство биоты Дальневосточного морского заповедника насчитывает 5710 видов животных и растений из шести царств [Кепель, 2019]. Видовое разнообразие морских сообществ, населяющих заповедник, самое богатое среди всех морей России. Морская биота ДВМБГЗ включает в список более 1200 видов животных и растений, среди которых встречаются бореальные и субтропические виды. Основное богатство заповедника — морские беспозвоночные животные, в том числе 450 видов ракообразных, 114 видов двустворчатых [Лебедев, 2015a] и 151 вид брюхоногих моллюсков [Лебедев, 2015b], 30 видов иглокожих [Дальневосточный морской заповедник..., 2004]. В состав донных сообществ морского заповедника входят такие ценные виды, как дальневосточный трепанг *Apostichopus japonicus* Selenka, 1867, гигантский осьминог *Enteroctopus dofleini* (Wülker, 1910), гребешок приморский *Mizuhopecten yessoensis* (Jay, 1857) и др.

Активные исследования морской флоры и фауны ДВМБГЗ начались с 1979 г. после установления режима постоянной охраны. В 1980–1987 гг. на акватории морского заповедника (южный и восточный районы) была проведена бентосная дночерпательная съемка, заложены станции для сезонного и многолетнего мониторинга [Озолиньш, 2004]. Исследованы трофические группировки макробентоса. Составлены первые списки видов двустворчатых и брюхоногих моллюсков, актиний, равноногих ракообразных, многочетинковых червей, амфипод и рыб [Гульбина, Кепель, 2020].

В период с 1990 по 2000 г. исследована и описана пространственная структура сообществ мягких грунтов в районе о. Фурунгельма [Озолиньш, Некрасова, 2003]. Лабораторией экологии бентоса Института биологии моря ДВО РАН в 2006–2013 гг. на акватории ДВМБГЗ проведены дночерпательные работы [Латыпов, 2013; Латыпов, 2013]. Уделялось внимание появлению новых редких, в том числе чужеродных, видов, фиксируемых на акватории заповедника [Баранов и др., 2013; Кепель, 2013; Ивин и др., 2014].

В 2013–2018 гг. проведено картографирование подводных ландшафтов и массовых видов гидробионтов с применением ГИС-технологий [Жариков, Лысенко, 2016; Жариков и др., 2017, 2018; Лысенко и др., 2018]. В.М. Шулькиным с соавторами [2024] оценены запас углерода в биоценозе *Zostera marina* и ее количественные параметры в бухте Средней восточного участка ДВМБГЗ.

Как особо охраняемая природная территория, заповедник наряду с традиционными задачами охраны и инвентаризации природных объектов занимается развитием экологического туризма. Для ДВМБГЗ эта задача формируется с учетом особенностей природно-территориального расположения заповедника и социально-экономического развития региона. Самой посещаемой территорией является п-ов Гамова, восточная часть побережья которого — охранный зона ДВМБГЗ. В августе на полуострове отдыхают до 30 тыс. туристов, а в целом за теплый рекреационный сезон до 0,5 млн человек [Сазыкин и др., 2021].

Законный и незаконный антропогенный пресс создал необходимость актуализировать данные о морской биоте начиная с наиболее популярной у туристов бухты Астафьева, на берегу которой вплотную к ее охранный зоне расположен кемпинг. Находящаяся рядом бухта Средняя полностью закрыта от посетителей и может быть использована в качестве фонового района для оценки влияния антропогенного пресса на бухту Астафьева.

Большая часть научных работ, касающихся макробентоса ДВМБГЗ, затрагивает южный участок заповедника. Публикаций, детально описывающих таксономический состав и пространственное распределение количественных характеристик макробентоса в бухтах Астафьева и Средняя, не выявлено. Опубликованные работы по этим бухтам описывают распределение лишь отдельных ценных видов макробентоса [Жариков, Лысенко, 2016; Жариков и др., 2018; Лысенко и др., 2018; Шулькин и др., 2024], а также выявление чужеродных видов планктона и бентоса [Ивин и др., 2014].

Цель настоящего исследования — охарактеризовать видовой состав, обилие и распределение макробентоса в ландшафтно-экологических условиях в бухтах Астафьева и Средняя Дальневосточного морского биосферного государственного природного заповедника на современном этапе.

Материалы и методы

Исследования проведены в июле и октябре 2022 г. на акваториях восточного участка ДВМБГЗ в бухтах Астафьева и Средняя (рис. 1). Подводные работы выполнены легководолазным способом в зоне сублиторали, в диапазоне глубины 2–19 м. Погружения осуществлялись с моторного катера. На трансектах, перпендикулярных по отношению к берегу (шесть трансект в каждой бухте), а также на одной станции в центральной части котловин бухт осуществлено ландшафтное профилирование. Произведены подводная фото- и видеофиксация основных бентем (донных ландшафтов) и эпибентоса в их пределах. Длина каждой конкретной трансекты определялась конечным типом подводного ландшафта, встречаемым вдоль профиля, т.е. наиболее глубоководным ландшафтом в пределах пространства бухты. Для фиксации координат перехода одного ландшафта в другой водолаз выпускал сигнальный буй, координата расположения которого на поверхности воды фиксировалась с GPS подходящего в точку выброса катера. Присутствует ошибка измерения (в пределах небольшого сноса концевой фала). Видеозапись сделана с помощью камеры GoPro, фотофиксация — путем выделения стоп-кадров. Для проведения количественной оценки плотности поселения эпибентоса и соотнесения с площадью дна использована мерная рейка длиной 1 м с ценой деления 10 см. Пробы инфауны отобраны водолазным зубчатым дночерпателем (площадь захвата 0,025 м²) на каждой трансекте в пределах ландшафтов с мягким грунтом (рис. 1) в трехкратной повторности. Координаты точек отбора инфауны фиксировали GPS.

Фотопробы, а также количественные пробы дночерпательного макробентоса обрабатывали в лабораториях Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана ДВФУ. При анализе фотопроб проводили учет различаемых на фото организмов макробентоса (идентифицировали, указывали плотность поселения). Дночерпательные пробы промывали от фиксатора (4 %-ного раствора формалина), просеивали через сито с наименьшей ячейей 0,5 мм, разбирали по группам, далее по видам. Учитывали массу и численность видов в пробе. Всего выполнено 14 трансект, проанализировано 14 видеороликов, 134 фотографии (стоп-кадров), 63 дночерпательные пробы. Все показатели приведены к 1 м². Систематическая принадлежность видов проверена по международной базе данных WoRMS. Для анализа сходства видового состава макробентоса использовали индекс Жаккара [Песенко, 1982]. Оценка биологического разнообразия проведена с применением индекса Шеннона [Лебедева и др., 1999].

Для анализа гранулометрического состава и содержания углерода грунт отбирали водолазным зубчатым дночерпателем. Гранулометрический состав донных отложений определяли методом пипетки в варианте Н.А. Качинского [1958]. Общее содержание органического углерода ($C_{\text{общ}}$) рассчитано по методу Тюрина в модификации CINAО [ГОСТ 26213-91].

Картографическая обработка проведена в ГИС QGIS 3.32.2, розы ветров и графики корреляционного анализа построены при помощи пакета ggplot2 и GGally в программной среде R версия 4.3.3. Канонический анализ соответствия (Canonical Correspondence Analysis — CCA) выполнен в программной среде PAST.

Для построения батиметрических профилей трансект была рассчитана цифровая модель поверхности дна бухт (QGIS) на основе данных о распределении изобат и точечных промеров глубин по данным штурманских навигационных карт (<https://navysoft.ru/chartindex/>) методом сплайн-интерполяции с помощью функции `v.surf.bspline` пакета GRASS. Далее на рассчитанную поверхность были наложены координаты трансект и

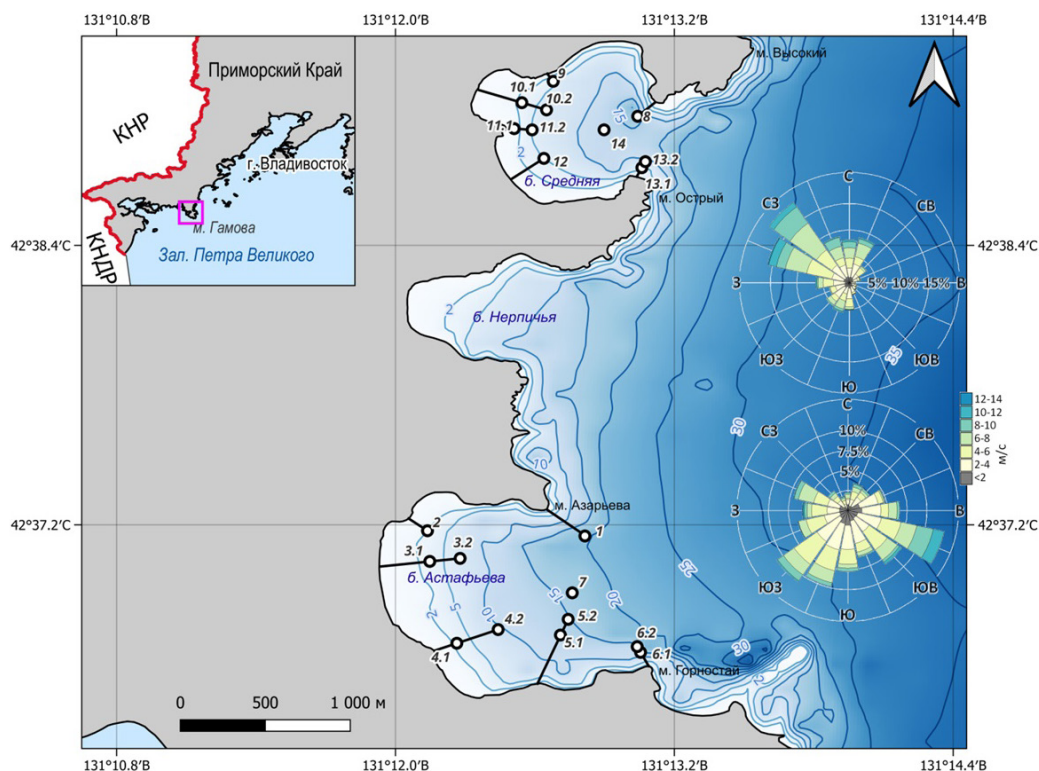


Рис. 1. Карта-схема района работ в бухтах Астафьева и Средняя: *прямые линии* — трансекты ландшафтно-макробентосной видеосъемки; *кружки* — точки отбора инфауны дночерпателем; *верхняя роза ветров* — за период с октября по апрель; *нижняя роза ветров* — с мая по сентябрь, данные <https://marine.copernicus.eu>

Fig. 1. Scheme of the study area in the Astafiev and Srednyaya Bights: *straight lines* — transects of landscape and macrobenthos video survey; *circles* — infauna samplings by bottom sampler; *upper wind rose* — winds in October-April; *lower wind rose* — winds in May-September (on the wind data from: <https://marine.copernicus.eu>)

получены данные о глубине на всем протяжении трансекты функцией *v.sample* пакета GRASS. Границы донных ландшафтов в пределах бухт определены с учетом данных о распределении ландшафтных зон в пределах трансект, рассчитанной модели поверхности дна, модели поверхности величины уклона дна (функция *Slope* пакета GDAL), а также спутниковых снимков бухт (Google Sattelite и Yandex Спутник).

Геоморфологическая типология изучаемых бухт приведена в соответствии с классификацией береговых систем В.С. Петренко и В.А. Мануйлова [1988]. Ветро-волновая нагрузка оценена в результате построения розы ветров. Выделение подводных ландшафтов произведено согласно классификации Атласа подводных ландшафтов Японского моря [Арзамасцев, Преображенский, 1990].

Результаты и их обсуждение

Ландшафтно-экологическая характеристика и параметры донных отложений

Согласно классификации и диагностическим признакам Атласа подводных ландшафтов Японского моря [Арзамасцев, Преображенский, 1990] в бухтах Астафьева и Средняя восточного участка ДВМБГЗ распространены 7 типов подводных ландшафтов (бентем): *саксозий*, *концизий*, *пельтий*, *фрактум*, *ареноид*, *сегетий* и *скатебра* (рис. 2). Наибольшее число типов ландшафтов (пять) выявлено на трансектах 6 у южного входного мыса в бухту Астафьева и 13 у южного входного мыса в бухту Среднюю (рис.

2). Минимальное число бентем формируется у внутренних мысов в северной части бухт (трансекта 2 в бухте Астафьева и трансекта 9 в бухте Средней), где концизий резко переходит в ареноид или skateбру.

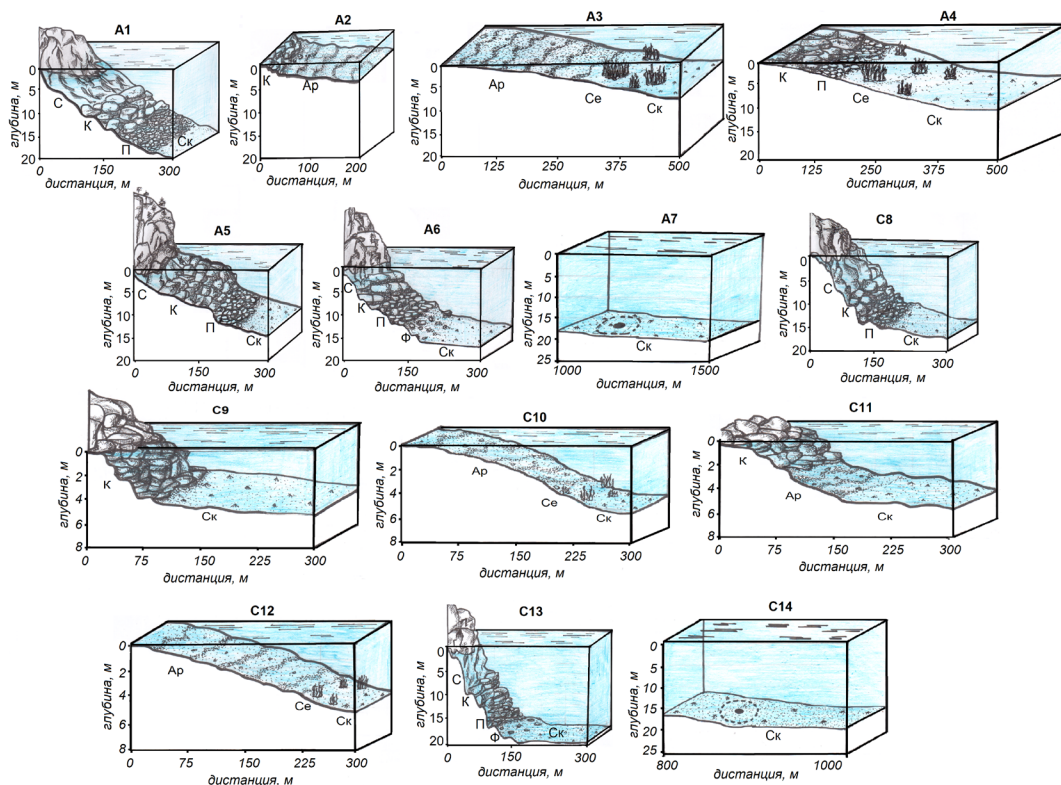


Рис. 2. Распределение подводных ландшафтов на профилях трансект в бухтах Астафьева и Средняя: A1...C14 — номера трансект в бухтах; буквы перед цифрой обозначают бухты Астафьева и Средняя. Названия ландшафтов: С — саксозий, К — концизий, П — пельтий, Ф — фразтум, Ск — skateбrra, Ар — ареноид, Се — сегетий

Fig. 2. Underwater landscapes on transects in the Astafiev and Srednyaya Bights: A1...C14 transects numbers with the letters A for Astafiev Bight and C for Srednyaya Bight. The landscapes: C — saxosium, K — concisium, П — peltium, Ф — fractum, Ск — skatebrra, Ар — arenoid, Се — segetium

Саксозий формируется у входных мысов в бухты, характеризуется резким свалом глубин и скалистым грунтом, который сам является уходящим под воду мысом (рис. 2). Глубина его распространения в бухтах составляет до 10 м.

Концизий (глыбовый навал) распространяется у входных мысов глубже саксозия или от самого уреза воды у мысов внутренней части бухт. Характерный пример ярко выражен на трансекте 2 в бухте Астафьева, где границы концизия четко очерчены песчаным ландшафтом с характерными волнообразными барханами — *ареноидом*. Ареноид залегает во внутренних частях бухт от уреза воды до глубины 5 м, соприкасаясь по периферии с глыбами концизия.

Производным от ареноида, прилегающим и перемежающимся с ним на глубине 3–7 м, является *сегетий*, в пределах которого на песчаном, песчано-илистом грунте распространены пояса и куртины зарослей морских трав (рис. 3). В бухтах Астафьева и Средняя это *Z. marina*.

Пельтий характеризуется мелкими валунами, между которыми встречаются небольшие одиночные глыбы и рассеянные насыпи гравия. В пределах бухт Астафьева и Средняя пельтий распространен в горизонте глубины 2–19 м. Наибольшая глубина его распространения прилегает к свалу входных мысов (трансекты 1, 6, 8, 13).

Фрактум представлен наиболее разнородным грунтом, в составе которого присутствуют гравий, раковина, мелкий песок, крупный и средний валун. Отмечен нами на трансекте 6 в бухте Астафьева на глубине 13–15 м (рис. 4) и трансекте 13 в бухте Средней на глубине 15–17 м.

Скатебра — наиболее глубоководный ландшафт, выстилающий ложе обеих бухт, занимающий максимальные глубины — в пределах бухты Астафьева до 20 м, в бухте Средней — до 18 м (на выходе из бухт). Грунт сформирован заиленным алевритовым песком с биогенными включениями (битой ракушей).

Общее ландшафтное профилирование на трансектах (см. рис. 2) и анализ горизонтального пространственного распределения ландшафтов (рис. 4) дают понимание характерных особенностей подводной среды бухт. В целом, несмотря на меньшую площадь дна, общая конфигурация и геоморфология береговой и подводной зоны бухты Средней подобна таковой в бухте Астафьева, хотя вход в бухту более закрыт. Таким образом, горизонтальное распределение донных ландшафтов в обеих акваториях схоже.

Гранулометрический анализ выявил преобладание в донных отложениях обеих бухт псаммита мелкого (среднее содержание 73 %), псаммита среднего (16 %), а также алеврита (2 %). Преобладающую часть грунтов можно охарактеризовать как средне-мелкозернистые алевропсаммиты.

Содержание *органического углерода* выявлено в обеих бухтах в общем диапазоне концентраций 0,057–0,454 % (табл. 1). Среднее значение содержания углерода в донных отложениях бухты Средней (0,181 %) в полтора раза ниже, чем в бухте Астафьева (0,279 %).

Таблица 1
Гранулометрический состав и органическое вещество мягких осадков бухт Астафьева и Средняя, июль и октябрь 2022 г., %

Table 1
Granulometric composition and organic matter content for soft sediments in the Astafiev and Srednyaya Bights in July and October, 2022, %

Точки отбора (см. рис. 1)	Глубина, м	Содержание гранулометрических фракций, мм						K _{сорт}	C _{общ}
		1,0–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,010–0,005	0,005–0,001	Менее 0,001		
1	19	10,530	77,434	2,407	1,605	1,204	6,820	1,059	0,377
2	2	0,651	91,942	1,201	0,000	0,801	5,405	1,022	0,151
3.1	3	3,318	89,473	0,401	0,201	1,001	5,606	1,017	0,132
3.2	7	0,401	91,783	1,604	0,000	0,601	5,611	1,024	0,168
4.1	3	2,763	88,027	0,601	1,001	0,801	6,807	1,026	0,199
4.2	9	2,412	87,461	0,850	1,014	1,154	7,109	1,034	0,184
5.1	13	9,594	78,169	3,411	1,003	1,604	6,219	1,069	0,320
5.2	15	10,457	78,420	3,233	1,007	1,125	5,758	1,060	0,296
6.1	13	63,160	23,417	2,205	1,601	2,403	7,214	1,072	0,454
6.2	15	64,039	24,515	2,197	0,621	1,420	7,208	1,048	0,451
7	18	74,734	16,048	1,803	0,802	1,002	5,611	1,040	0,334
8	16	57,307	28,651	4,413	1,204	0,802	7,623	1,075	0,264
9	4	2,160	88,622	1,804	0,200	1,002	6,212	1,033	0,058
10.1	4	3,298	89,094	1,001	0,601	0,200	5,806	1,020	0,059
10.2	6	8,041	83,544	1,603	0,200	0,400	6,212	1,024	0,057
11.1	2	1,341	89,049	2,402	0,400	0,201	6,607	1,033	0,106
11.2	5	1,071	90,621	0,601	1,001	0,501	6,206	1,023	0,114
12	5	0,336	91,648	1,202	0,401	0,401	6,012	1,022	0,228
13.1	15	0,536	79,258	8,821	1,957	2,407	7,021	1,165	0,232
13.2	17	18,355	64,203	6,805	1,005	2,502	7,130	1,125	0,235
14	19	6,752	83,639	2,001	0,601	1,602	5,405	1,047	0,458

Примечание. K_{сорт} — коэффициент сортировки грунта.



Рис. 3. Типичный вид эпибентоса в ландшафтах бухт Астафьева и Средняя (номер соответствует трансекте)
Fig. 3. Typical view for epibenthos in the landscapes of Astafiev and Srednyaya Bights (numbers of transects are shown)

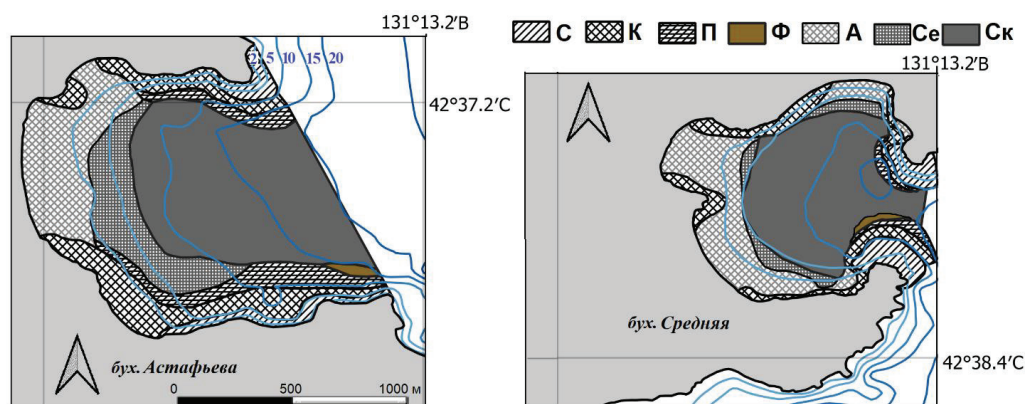


Рис. 4. Горизонтальное распределение подводных ландшафтов по площади дна бухт Астафьева и Средняя. Обозначения ландшафтов как на рис. 2; синими линиями указаны изобаты
Fig. 4. Spatial distribution of underwater landscapes in the Astafiev and Srednyaya Bights. The landscape types as at Fig. 2; blue lines show isobaths

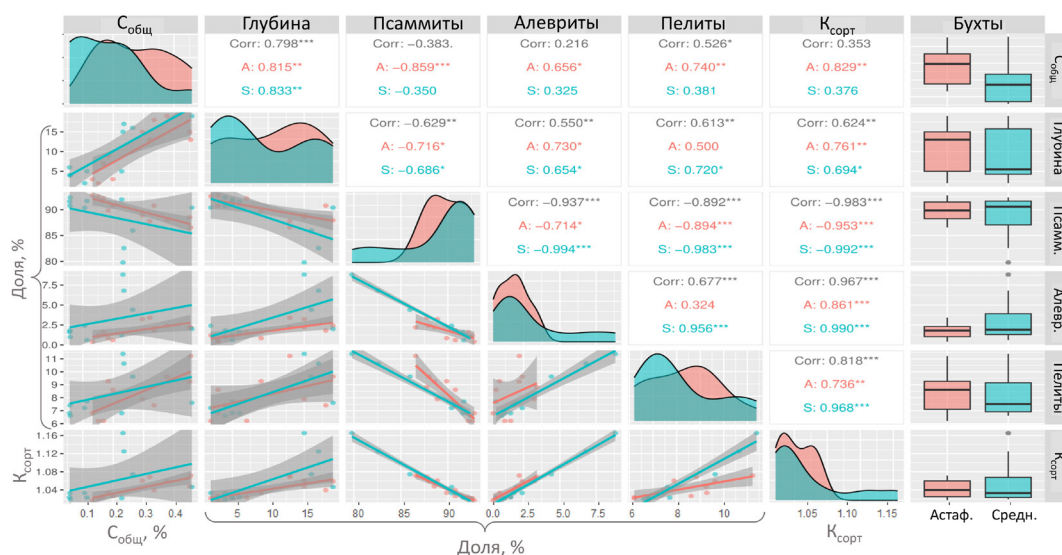


Рис. 5. Корреляционная матрица связи величины $C_{\text{общ}}$ с глубиной, содержанием основных фракций мягких осадков и коэффициентом сортировки грунта. Нижний треугольник матрицы показывает взаимную связь параметров в каждой бухте, верхний треугольник матрицы указывает величины коэффициентов корреляции Пирсона: $Corr$ — общий коэффициент корреляции; A — корреляция в бухте Астафьева (красный); S — корреляция в бухте Средней (зеленый). Диагональ матрицы указывает на статистическое распределение указанных параметров

Fig. 5. Correlation matrix for relationship between the carbon content ($C_{\text{общ}}$), portions of the main fractions in soft sediments, the sediment sorting coefficient, and the depth. The lower triangle of the matrix shows mutual relationship between the parameters in each bight, the upper triangle of the matrix indicates the Pearson correlation coefficients: the total correlation coefficient ($Corr$), the correlation for Astafiev Bight (S , red color), and the correlation for Srednyaya Bight (S , green color); diagonal of the matrix indicates statistical distribution of the parameters

Корреляционный анализ показал, что величина $C_{\text{общ}}$ нарастает с глубиной залегания донных осадков, увеличением вклада илистых фракций (алевриты, пелиты) и отрицательно связана с долей псаммитов в составе донных отложений обеих бухт (рис. 5). Наиболее сильная связь прослеживается между $C_{\text{общ}}$ и долей пелитов. Характерно, что для бухты Астафьева связь $C_{\text{общ}}$ с гранулометрическим составом грунта значительно сильнее, чем в бухте Средней.

Характеристика макробентоса

Общее видовое богатство макробентоса бухт Астафьева и Средняя по данным видеосъемки и дночерпательного отбора составляет не менее 77 видов, включая не определенные до уровня вида объекты (табл. 2). Несмотря на меньшую площадь по сравнению с бухтой Астафьева, бухта Средняя характеризуется большим числом зарегистрированных видов донных макроорганизмов (соответственно 47 и 66 видов). Общее видовое богатство макробентоса бухты Средней выше, чем бухты Астафьева, за счет большего числа видов инфауны.

Таблица 2

Таксономический состав макробентоса бухт Астафьева и Средняя зал. Петра Великого по данным съемки июля и октября 2022 г.

Table 2

Taxonomic composition of macrobenthos in the Astafiev and Srednyaya Bights by the data collected in July and October, 2022

№ п/п	Класс	Отряд	Семейство	Вид
Cnidaria				
1	Anthozoa	Actiniaria	Actiniidae	<i>Epiactes japonica</i>
2			Metridiidae	<i>Metridium senile</i>
3	Hydrozoa	Leptothecata	Campanulariidae	<i>Obelia longissima</i>
Nemertina				
4	Amopla	Heteronemertea	Lineidae	<i>Kulikovia torquatus</i>
5			Fam.	Gen. sp.
Sipuncula				
6	Phascolosomatidea	Phascolosomatiformes	Fam.	Gen. sp.
Annelida				
7	Polychaeta	Phyllodocida	Phyllodocidae	<i>Phyllodoce groenlandica</i>
8				Gen. sp.
9				<i>Eteone spetsbergensis bistriata</i>
10				<i>Eteone</i> sp.
11	Polychaeta	Phyllodocida	Glyceridae	<i>Glycera capitata</i>
12			<i>Glycera</i> sp.	
13			Goniadidae	<i>Glycinde armigera</i>
14			Polynoidae	<i>Harmothoe</i> sp.
15				Gen. sp.
16			Nereididae	<i>Nereis</i> sp.
17			Syllidae	Gen. sp.
18		Eunicida	Onuphidae	<i>Onuphis</i> sp.
19			Lumbrineridae	<i>Scoletoma</i> sp.
20		Orbiniida	Orbiniidae	<i>Scoloplos armiger</i>
21		Spionida	Spionidae	<i>Spiophanes</i> sp.
22				Gen. sp.
23		Opheliida	Scalibregmatidae	<i>Scalibregma inflatum</i>
24			<i>Scalibregma</i> sp.	
25			Opheliidae	<i>Ophelina acuminata</i>
26		Terebellida	Terebellidae	<i>Laphania boeckii</i>
27			Flabelligeridae	<i>Pherusa plumosa</i>
28			Pectinariidae	<i>Cistenides</i> sp.
29			Melinnidae	<i>Melinna elisabethae</i>
30			Ampharetidae	<i>Ampharete</i> sp.
31				Gen. sp.
32			Cirratulidae	<i>Aphelochaeta pacifica</i>
33		Sabellida	Sabellidae	Gen. sp.
34			Oweniidae	<i>Owenia fusiformis</i>

№ п/п	Класс	Отряд	Семейство	Вид
Mollusca				
35	Polyplacophora	Chitonida	Ischnochitonidae	<i>Ischnochiton hakodadensis</i>
36	Gastropoda	Docoglossa	Lottiidae	<i>Lottia</i> sp.
37				<i>Niveotectura pallida</i>
38		Asinobranchia	Trochidae	<i>Umbonium costatum</i>
39			Tegulidae	<i>Tegula rustica</i>
40		Trochida	Colloniidae	<i>Gigahomalopoma sangarense</i>
41		Cephalaspidea	Philinidae	<i>Philine</i> sp.
42		Littorinimorpha	Littorinidae	<i>Littorina squalida</i>
43		Aspidophora	Naticidae	<i>Cryptonatica janthostoma</i>
44		Hamiglossa	Muricidae	<i>Boreotrophon candelabrum</i>
45		Neogastropoda	Pseudomelatomidae	<i>Rhodopetoma erosa</i>
46	Bivalvia	Mytilida	Mytilidae	<i>Crenomytilus grayanus</i>
47		Ostreida	Ostreidae	<i>Magallana gigas</i>
48		Pectinida	Pectinidae	<i>Swiftopecten swiftii</i>
49				<i>Mizuchopecten yessoensis</i>
50		Cardiida	Tellinidae	<i>Megangulus luteus</i>
51		Venerida	Veneridae	<i>Ezocallista brevisiphonata</i>
52				<i>Leukoma euglipta</i>
53		Adapedonta	Pharidae	<i>Siliqua alta</i>
54	Myida	Mactridae	<i>Spisula sibyllae</i>	
Arthropoda				
55	Cirripedia (Subclassic)	Balanomorpha	Balanidae	<i>Balanus</i> sp.
56			Chthamaliidae	<i>Chthamalus dally</i>
57	Malacostraca	Decapoda	Paguridae	<i>Pagurus</i> sp.
58		Mysida	Mysidae	<i>Archaeomysis kokuboi</i>
Phoronida				
59			Phoronidae	Gen. sp.
Echinodermata				
60	Holoturoidea	Synallactida	Stichopodidae	<i>Apostichopus japonicus</i>
61	Echinoidea	Camarodonta	Strongylocentrotidae	<i>Strongylocentrotus intermedius</i>
62		Echinolampadacea	Scutellidae	<i>Mesocentrotus nudus</i>
63				<i>Scaphechinus mirabilis</i>
64		Spatangoida	Loveniidae	<i>Echinocardium cordatum</i>
65	Asteroidea	Valvatida	Asterinidae	<i>Patiria pectinifera</i>
66		Spinulosida	Echinasteridae	<i>Henricia hayashi</i>
67		Forcipulatida	Asteriidae	<i>Distolasterias nipon</i>
68				<i>Asterias amurensis</i>
69	Ophiuroidea	Amphilepidida	Amphiuridae	<i>Amphipholis kochi</i>
70		Ophiurida	Ophiuridae	<i>Ophiura sarsi</i>
71				<i>Ophiura</i> sp.
Chordata				
72	Ascidacea	Stolidobranchia	Pyuridae	<i>Halocynthia aurantium</i>
73				<i>Boltenia echinata</i>
74			Styelidae	<i>Pelonaia corrugata</i>
Ochrophyta				
75	Phaeophyceae	Desmarestiales	Desmarestiaceae	<i>Desmarestia viridis</i>

№ п/п	Класс	Отряд	Семейство	Вид
Rhodophyta				
76	Florideophyceae	Hapalidiales	Hapalidiaceae	<i>Boreolithothamnion phymatodeum</i>
Tracheophyta				
77	Magnoliopsida	Alismatales	Zosteraceae	<i>Zostera marina</i>

По данным видеосъемки в пределах бухт Астафьева и Средняя эпибентосом максимально богаты концизий и саксозий, локализованные у входных мысов и прилегающих к ним зон. Наибольшую долю по площади дна бухт имеют ареноид и skateбра, занимающие прибрежную, прилегающую к пляжу зону, а также центральную котловину бухты. В пределах этих ландшафтов, характеризующихся песчаными и песчано-илистыми грунтами, эпибентос отличается в целом достаточно сильной разреженностью, исключение составляют только плоские морские ежи *Scaphechinus mirabilis*.

Всего в эпибентосе обеих бухт зарегистрировано 28 видов. Видовое богатство в обследованных бухтах близко (табл. 3), а степень сходства видового состава по индексу Жаккара составляет около 93 %. Облик донного населения на твердых и смешанных грунтах формируют морская звезда *Patiria pectinifera* и морской еж *Mesocentrotus nudus*. Кроме того, массовыми по показателю плотности поселения являются усонogie ракообразные *Balanus* sp., брюхоногий моллюск *Tegula rustica*, двустворчатый моллюск *Crenomytilus grayanus* (рис. 5).

Следует отметить в период проведения исследований, как в июле, так и в октябре, практически полное отсутствие водорослевого пояса в зоне сублиторали обеих бухт, являющегося важным средообразующим компонентом в морских экосистемах. Исключение на твердых субстратах составляет красная корковая водоросль литотамнион бородавчатый *Boreolithothamnion phymatodeum*, плотно покрывающая подводные скалы, глыбы и валуны, а также единичные кустики бурой водоросли десмарестии зеленеющей *Desmarestia viridis*.

Таким образом, условия обитания макрозообентоса на твердых грунтах в пределах обследованных акваторий в горизонте сублиторали 1–15 м схожи и определяются прежде всего характером донных субстратов. Сообществообразующая роль фитобентоса минимальна. На мягких грунтах в мелководной зоне распространения песков вклад растительной составляющей донных сообществ и влияние растений на саму среду (местообитание) становится более существенным, чем на твердых, за счет формирования пояса и отдельных зарослей морской травы *Z. marina*.

В результате анализа дночерпательных проб на мягких грунтах в составе инфауны обнаружено суммарно 53 вида донных беспозвоночных. В бухте Астафьева определено 20 видов, в бухте Средней — 45 видов макробентоса (табл. 4). Степень сходства видового состава донной фауны мягких грунтов по индексу Жаккара составляет всего 23 %. Видовое богатство в бухте Средней более чем в два раза выше, чем в бухте Астафьева. Видовое разнообразие беспозвоночных на станциях отбора варьирует от 3 до 12 видов на станцию в бухте Астафьева и 3–21 — в бухте Средней. Расположенные рядом, схожие геоморфологически, а также по составу эпибентоса бухты Астафьева и Средняя существенно различаются по составу, характеристикам обилия и структуре инфауны. Общей чертой является доминирование по числу видов многощетинковых червей (рис. 6), однако количество выявленных таксономических групп донных беспозвоночных в бухте Средней гораздо выше.

Максимальная биомасса макробентоса мягких грунтов в бухте Астафьева не превышала 36,7 г/м², в то время как в бухте Средней этот показатель составил 312,54 г/м² (рис. 7–8). Средние значения биомассы также различались на один порядок (11,56 ± 7,27 г/м² в бухте Астафьева и 117,52 ± 95,85 г/м² в бухте Средней).

Таблица 3

Состав и плотность поселения эпибентоса бухт Астафьева и Средняя по результатам видеофиксации 2022 г.

Table 3

Species composition and distribution density of epibenthos in the Astafiev and Srednyaya Bights by results of video survey in 2022

№ п/п	Группа	Вид	N, экз./м ²	
			Бухта Астафьева	Бухта Средняя
1	Anthozoa	<i>E. japonica</i>	4,0 ± 2,6	3,8 ± 1,7
2		<i>M. senile</i>	1,8 ± 2,2	2,2 ± 1,2
3	Asteroidea	<i>A. amurensis</i>	0,6 ± 0,5	0,4 ± 0,2
4		<i>P. pectinifera</i>	7,2 ± 2,8	9,3 ± 2,6
5		<i>H. hayashi</i>	0,2 ± 0,4	0,1 ± 0,2
6		<i>D. nipon</i>	0,2 ± 0,4	0,4 ± 0,3
7	Ascidia	<i>H. aurantium</i>	0,2 ± 0,4	0,3 ± 0,2
8	Bivalvia	<i>E. brevisiphonata</i>	0,3 ± 0,6	–
9		<i>M. gigas</i>	0,2 ± 0,4	0,3 ± 0,2
10		<i>C. grayanus</i>	9,4 ± 7,0	12,2 ± 6,4
11		<i>M. yessoensis</i>	2,3 ± 5,7	1,8 ± 0,6
12		<i>S. swiftii</i>	0,2 ± 0,4	0,4 ± 0,2
13	Cirripedia	<i>Balanus</i> sp.	11,4 ± 6,9	8,6 ± 3,3
14	Echinoidea	<i>S. intermedius</i>	1,8 ± 0,9	3,0 ± 2,5
15		<i>M. nudus</i>	6,3 ± 2,3	3,2 ± 0,4
16		<i>S. mirabilis</i>	3,9 ± 3,1	8,6 ± 1,6
17	Gastropoda	<i>C. janthostoma</i>	0,2 ± 0,5	–
18		<i>G. sangarense</i>	2,5 ± 3,2	2,4 ± 1,5
19		<i>L. squalida</i>	10,7 ± 8,4	9,7 ± 4,3
20		<i>Lottia</i> sp.	6,2 ± 8,5	5,2 ± 2,6
21		<i>N. pallida</i>	0,4 ± 0,8	0,2 ± 0,4
22		<i>T. rustica</i>	11,2 ± 1,3	10,7 ± 4,5
23	Polyplacophora	<i>I. hakodadensis</i>	0,2 ± 0,1	0,3 ± 0,4
24	Holothuroidea	<i>A. japonicus</i>	0,2 ± 0,2	0,3 ± 0,2
25	Hydrozoa	<i>O. longissima</i>	+	+
26	Phaeophyceae	<i>D. viridis</i>	+	+
27	Florideophyceae	<i>B. phymatodeum</i>	+	+
28	Magnoliopsida	<i>Z. marina</i>	+	+

Примечание. «+» указывает на присутствие вида на фото и невозможность определить количество экземпляров/особей, так как это или колониальные животные (*O. longissimi*), или макрофиты, для которых дифференциация талломов на экземпляры/особи не принята.

Таблица 4

Состав и обилие макробентоса мягких грунтов бухт Астафьева и Средняя по результатам дночерпательного отбора 2022 г.

Table 4

Species composition and abundance of macrobenthos on soft soils in the Astafiev and Srednyaya Bights by the data of samplings with bottom sampler in 2022

№ п/п	Группа	Вид	Бухта Астафьева			Бухта Средняя		
			Число видов	В, г/м ² ± ср. откл.	N, экз./м ² ± ср. откл.	Число видов	В, г/м ² ± ср. откл.	N, экз./м ² ± ср. откл.
1	Ascidia	<i>B. echinata</i>				0,13	0,30 ± 0,91	7,62 ± 20,16
2		<i>P. corrugata</i>				0,13	0,21 ± 0,61	1,67 ± 4,71
3	Asteroidea	<i>P. pectinifera</i>	0,2	1,38 ± 3,08	0,20 ± 0,45	0,13	0,68 ± 1,94	0,13 ± 0,35
4	Bivalvia	<i>M. luteus</i>				0,25	9,37 ± 25,68	0,25 ± 0,46
5		<i>Leukoma</i> sp.				0,13	6,53 ± 18,49	0,13 ± 0,35
6		<i>S. alta</i>				0,13	0,46 ± 1,31	0,13 ± 0,35

Окончание табл. 4
Table 4 finished

№ п/п	Группа	Вид	Бухта Астафьева			Бухта Средняя		
			Число видов	В, г/м ² ± ср. откл.	N, экз./м ² ± ср. откл.	Число видов	В, г/м ² ± ср. откл.	N, экз./м ² ± ср. откл.
7	Bivalvia	<i>S. sibyllae</i>	0,4	32,74 ± 23,15	0,63 ± 0,74	0,50	86,65 ± 64,65	0,63 ± 0,46
8	Decapoda	<i>Pagurus</i> sp.				0,13	0,01 ± 0,03	0,13 ± 0,35
9	Echinoi- dea	<i>E. cordatum</i>	0,4	5,26 ± 7,23	0,60 ± 0,89			
10		<i>S. mirabilis</i>				0,13	1,05 ± 2,97	0,13 ± 0,35
11		<i>R. erosa</i>				0,13	0,05 ± 0,14	0,25 ± 0,71
12	Gastro- poda	<i>B. candelab- rum</i>				0,13	0,48 ± 1,34	0,13 ± 0,35
13		<i>C. janthostoma</i>				0,13	4,28 ± 12,13	0,13 ± 0,35
14		<i>G. sangarense</i>				0,13	0,01 ± 0,03	0,13 ± 0,35
15		<i>U. costatum</i>				0,13	0,20 ± 0,57	0,25 ± 0,71
16	Mysidacea	<i>A. kokuboi</i>				0,38	0,05 ± 0,08	5,00 ± 6,90
17	Nemertea	Nemertea				0,63	0,47 ± 0,72	10,00 ± 9,43
18	Gastropoda	<i>Philina</i> sp.				0,13	0,01 ± 0,03	0,13 ± 0,35
19	Ophiuroi- dea	<i>O. sarsi</i>				0,25	0,34 ± 0,95	1,75 ± 4,56
20		<i>Ophiura</i> sp.				0,13	0,08 ± 0,24	1,67 ± 4,71
21		<i>A. kochii</i>				0,13	0,01 ± 0,03	0,13 ± 0,35
22	Phoronida	Phoronida				0,38	1,53 ± 2,84	120,00 ± 79,36
23	Polychaeta	<i>Ampharete</i> sp.	0,4	0,04 ± 0,06	5,32 ± 7,28			
24		Ampharetidae	0,2	0,05 ± 0,12	2,67 ± 5,96			
25		<i>A. pacifica</i>	0,2	0,02 ± 0,42	2,67 ± 5,96	0,38	0,56 ± 1,52	11,67 ± 23,03
26		<i>Cistenides</i> sp.				0,13	1,85 ± 5,23	1,67 ± 4,71
27		<i>E. spetsbergen- sis</i>	0,2	0,07 ± 0,15	5,34 ± 11,93	0,38	0,16 ± 0,29	6,67 ± 10,08
28		<i>Eteone</i> sp.	0,2	0,01 ± 0,02	2,67 ± 5,96			
29		<i>G. capitata</i>	0,4	0,21 ± 0,35	21,34 ± 40,66	0,38	0,22 ± 0,30	13,34 ± 18,86
30		<i>Glycera</i> sp.				0,50	2,48 ± 2,92	6,67 ± 7,13
31		<i>G. armigera</i>	0,4	0,46 ± 0,97	24,00 ± 46,57	0,50	0,44 ± 0,55	38,34 ± 57,21
32		<i>Harmathoe</i> sp.				0,13	0,01 ± 0,04	1,67 ± 4,71
33		<i>L. boeckii</i>				0,13	0,09 ± 0,28	5,00 ± 14,14
34		Maldanidae	0,2	0,01 ± 0,02	2,67 ± 5,96			
35		<i>M. elisabethae</i>				0,13	0,16 ± 0,47	1,67 ± 4,71
36		<i>Nereis</i> sp.				0,13	0,02 ± 0,05	1,67 ± 4,71
37		<i>Onuphis</i> sp.				0,13	0,32 ± 0,90	1,67 ± 4,71
38		<i>O. acuminata</i>	0,2	0,03 ± 0,06	2,67 ± 5,96			
39		<i>O. fusiformis</i>				0,13	0,09 ± 0,28	1,67 ± 4,71
40		<i>Ph. plumosa</i>				0,13	0,52 ± 1,46	1,67 ± 4,71
41		<i>Ph. groenlan- dica</i>	0,2	1,07 ± 2,39	2,67 ± 5,96	0,13	0,01 ± 0,02	1,67 ± 4,71
42		Phyllodocidae				0,13	0,01 ± 0,01	3,34 ± 9,43
43		Polydoridae	0,4	0,09 ± 0,18	16,00 ± 28,90	0,13	0,05 ± 0,14	5,00 ± 14,14
44		Polynoidae				0,13	0,02 ± 0,05	1,67 ± 4,71
45		Sabellidae	0,2	0,37 ± 0,85	24,00 ± 53,66			
46		<i>S. inflatum</i>				0,38	1,05 ± 2,21	31,67 ± 69,44
47		<i>Scalibregma</i> sp.	0,2	0,08 ± 0,18	5,34 ± 11,92			
48		<i>Scoletoma</i> sp.	0,8	4,17 ± 7,25	93,34 ± 121,84	0,50	1,49 ± 2,63	31,67 ± 50,87
49		<i>S. armiger</i>	0,2	0,43 ± 0,95	16,00 ± 35,78	0,75	1,06 ± 1,46	46,67 ± 53,81
50		<i>Sphiophanes</i> sp.	0,4	0,23 ± 0,47	45,34 ± 87,23	0,88	0,91 ± 1,42	260,00 ± 194,70
51		Spionidae	0,8	0,22 ± 0,19	13,33 ± 9,43	0,38	0,45 ± 0,84	45,00 ± 92,08
52		Syllidae				0,13	0,01 ± 0,01	1,67 ± 4,71
53	Sipuncula	Gen. sp.				0,13	0,22 ± 0,61	1,67 ± 4,71

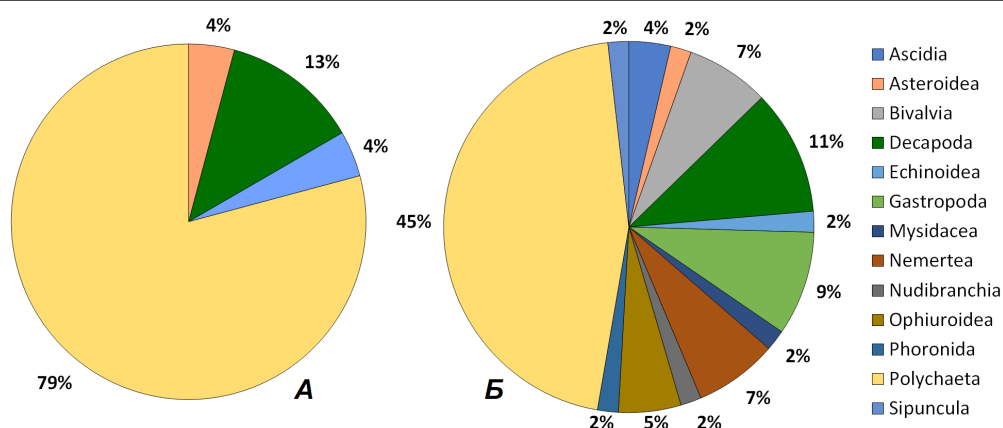


Рис. 6. Соотношение таксономических групп в общем видовом богатстве макробентоса мягких грунтов бухт Астафьева (А) и Средняя (Б)

Fig. 6. Ratio of taxonomic groups in the total species richness of macrobenthos on soft bottom sediments in the Astafiev (A) and Srednyaya (B) Bights

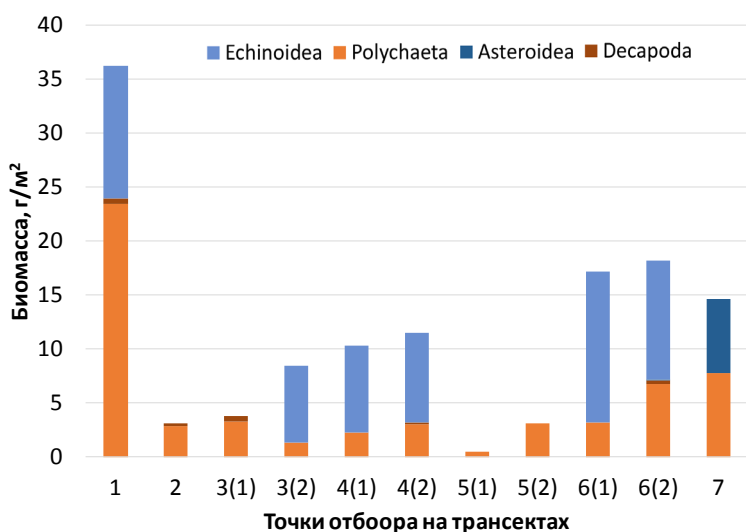


Рис. 7. Соотношение значений биомассы таксономических групп макробентоса мягких грунтов на станциях отбора проб в бухте Астафьева

Fig. 7. Biomass of macrobenthos on soft bottom sediments in samples from the Astafiev Bight, by taxonomic groups

Максимальный показатель биомассы в бухте Астафьева имеют плоский морской еж *S. mirabilis* и многощетинковые черви. В бухте Средней максимум биомассы формирует двустворчатый моллюск *Spisula sibyllae*. В целом в бухте Астафьева только группа Echinoidea (морские ежи) превосходит по биомассе данную группу бухты Средней. Остальные таксономические группы в бухте Астафьева существенно уступают таковым в бухте Средней или вообще не были выявлены в пробах периода исследований (рис. 9).

По плотности поселения в обеих акваториях над остальными таксонами существенно доминируют многощетинковые черви (рис. 10). В бухте Астафьева полихеты суммарно имеют показатель плотности поселения около 280 экз./м², в бухте Средней — более 500 экз./м². В обеих акваториях в составе группы многощетинковых червей доминируют *Scalibregma inflatum*, *Spiophanes* sp., *Scoletoma* sp., *Scoloplos armiger* — организмы-индикаторы чистых вод [Белан, 2001]. Кроме того, в бухте Средней в массе обнаружены форониды (более 100 экз./м²), формирующие скопления своих домиков-трубок на заиленных песках в пределах бентомы сегетий.

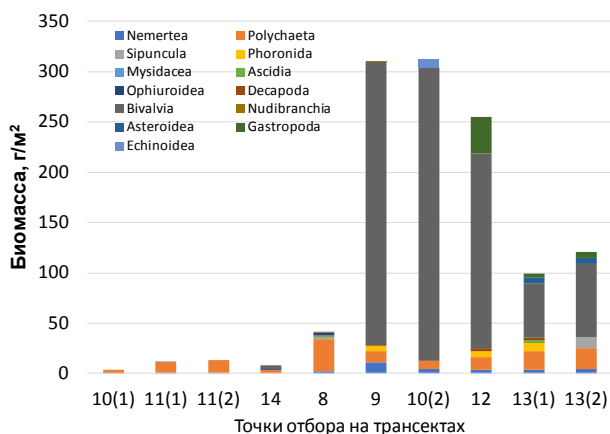


Рис. 8. Соотношение значений биомассы таксономических групп макробентоса мягких грунтов на станциях отбора проб в бухте Средней

Fig. 8. Biomass of macrobenthos on soft bottom sediments in samples from the Srednyaya Bight, by taxonomic groups

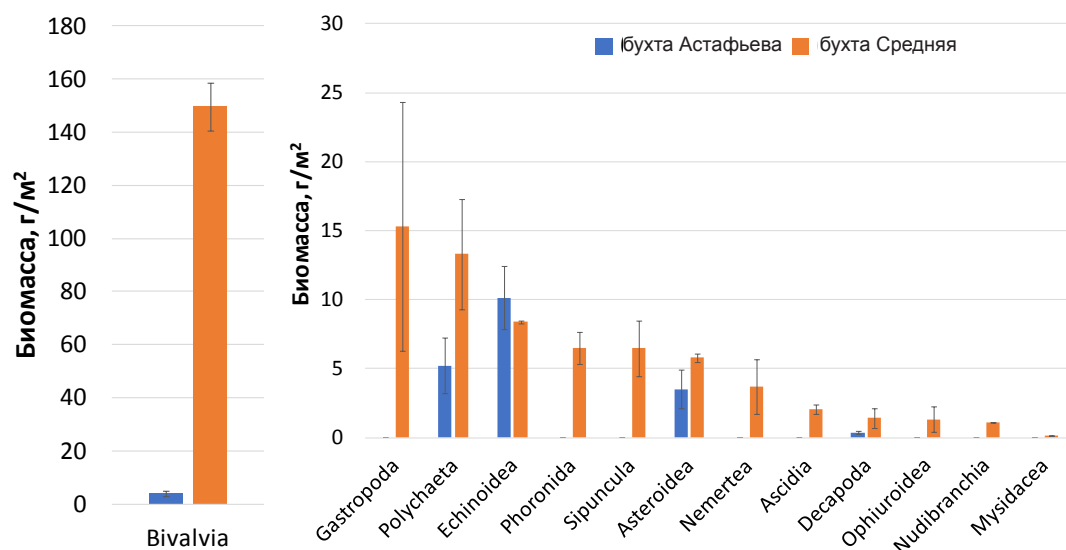


Рис. 9. Средние значения биомассы таксономических групп макробентоса мягких грунтов бухт Астафьева и Средняя (размах — среднее отклонение)

Fig. 9. Mean biomass of macrobenthos on soft bottom sediments in the Astafiev and Srednyaya Bights (range and standard deviation in brackets), by taxonomic groups

Остальные таксоны в пределах как бухты Астафьева, так и бухты Средней имели показатель плотности поселения макробентоса, исчисляемый в основном единицами, реже десятками экземпляров на квадратный метр.

Анализ связи основных параметров макробентоса мягких грунтов с содержанием органического вещества показал заметно различающуюся картину их сопряженности для исследуемых бухт (рис. 11), что свидетельствует о разном характере пространственного распределения состава и обилия донных организмов в районах исследования. В бухте Средней с нарастанием содержания органического вещества увеличивается биологическое разнообразие макробентоса, определяемое числом видов и оцениваемое индексом Шеннона, и снижается плотность поселения макробентоса. В бухте Астафьева, наоборот, с увеличением значений $C_{\text{общ}}$ падает биологическое разнообразие и увеличиваются показатели обилия, т.е. проявляются признаки перестройки биоценоза, когда структура обилия определяется небольшим числом видов.

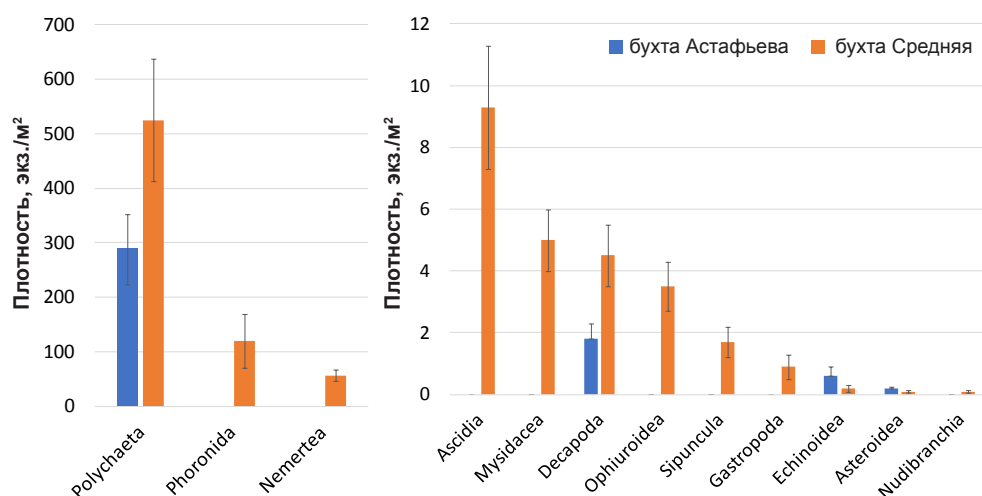


Рис. 10. Средние значения плотности поселения таксономических групп макробентоса мягких грунтов бухт Астафьева и Средняя (размах — среднее отклонение)

Fig. 10. Mean distribution density of mactobenthos settlement on soft bottom sediments in the Astafiev and Srednyaya Bights (range and standard deviation in brackets), by taxonomic groups

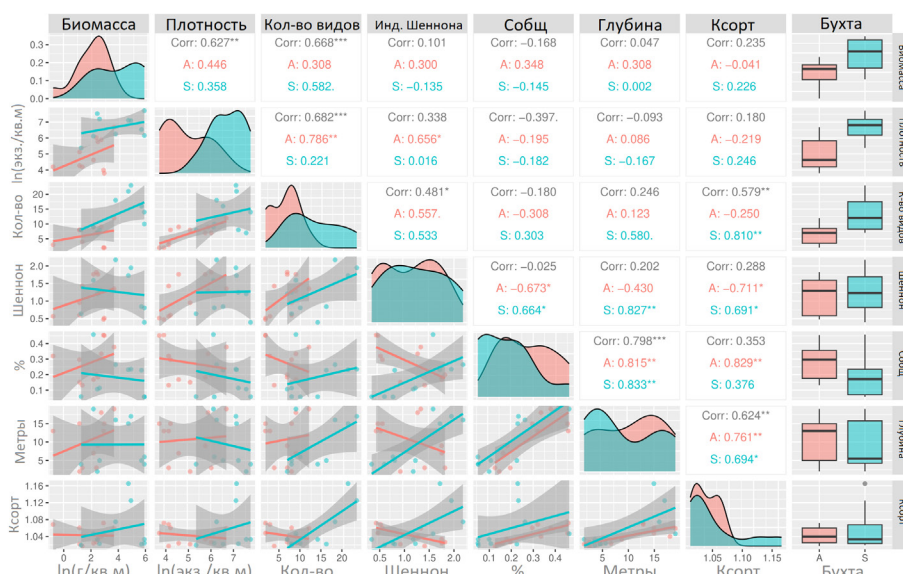


Рис. 11. Корреляционная матрица связи показателей обилия и видового разнообразия инфауны мягких грунтов бухт Астафьева и Средняя с содержанием органического вещества в грунте, глубиной и степенью сортированности гранулометрического состава ($K_{\text{сорт}}$). Значения биомассы и плотности поселения логарифмированы. Обозначения как на рис. 5

Fig. 11. Correlation matrix for relationship between the biomass and distribution density of infauna on soft bottom sediments in the Astafiev and Srednyaya Bights, the species diversity of the infauna, the organic matter content in the sediments, the grading degree of the granulometric composition of sediments ($K_{\text{сорт}}$), and the depth. Logarithmic scales for the biomass and distribution density. The legend as for Fig. 5

Канонический анализ соответствия (ССА-анализ) показал, что в обеих бухтах наиболее тесную связь с группой абиотических характеристик донной среды имеет показатель плотности поселения макробентоса (рис. 12). Остальные биологические характеристики донного макронаселения определяются измеренной нами группой экологических факторов в меньшей степени. Характер же взаимосвязи плотности поселения макробентоса с комплексом экологических параметров, характеризующих

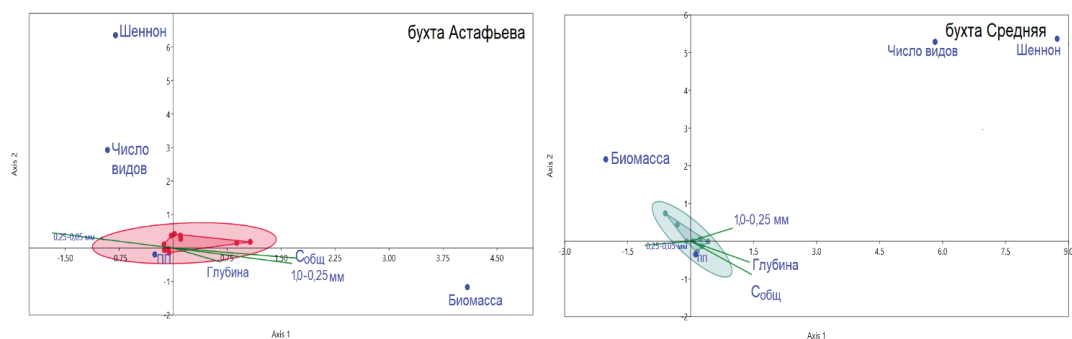


Рис. 12. Результаты CCA-анализа (Canonical Correspondence Analysis — CCA) характеристик донной среды и показателей макробентоса в бухтах Астафьева и Средняя

Fig. 12. Results of canonical correspondence analysis (CCA) of the bottom environment parameters and macrobenthos indicators for the Astafiev and Srednyaya Bights

условия обитания в двух изучаемых нами бухтах, существенно различается, что свидетельствует о разнице процессов, происходящих в системе «дно–макробентос».

Сопоставление особенностей среды и макробентоса в бухтах

По типу рельефа и береговой линии бухты Астафьева и Средняя относятся к полужакрытым отмелым береговым системам (риасам), входящим в фацию подводного берегового склона п-ова Гамова [Петренко, Мануйлов, 1988]. Форма рельефа дна и береговой линии в сочетании с ветро-волновой нагрузкой определяют гидродинамические условия в прибрежной зоне, а также условия осадконакопления, с которыми, в свою очередь, связана аккумуляция органического вещества в донных отложениях. Согласно розе ветров бухты Астафьева и Средняя находятся в одинаковых условиях ветро-волновой нагрузки и обе открыты разгону волны, формирующемуся в теплый период под воздействием ветров юго-восточных румбов (см. рис. 1). Однако бухта Средняя в силу более узкого входа имеет более выраженные геоморфологические условия для естественного осадконакопления и концентрирования в своей среде органического вещества. По этой причине мы ожидали обнаружить более высокие концентрации органического вещества в донных отложениях этой бухты по сравнению с бухтой Астафьева. Вопреки нашим ожиданиям, опирающимся на информацию о более закрытой конфигурации береговой линии и большим по сравнению с бухтой Астафьева водосборным бассейном бухты Средней [Хорошев и др., 2016], максимальное и среднее значение содержания углерода в ее донных отложениях оказалось в полтора раза ниже, чем в бухте Астафьева.

Происхождение донных отложений обеих бухт связано с поступлением терригенного материала с рельефа прибрежных террас и его измельчением в водной среде, а также с накоплением вносимых из открытой части залива частиц. Однако, несмотря на схожесть геоморфологических, гидродинамических условий и гранулометрическую схожесть, визуально мягкие грунты бухт контрастно различаются цветом: в бухте Астафьева прибрежные мелкозернистые пески имеют светлый, слегка желтовато-молочный оттенок, а в бухте Средней они серо-голубоватого цвета. Причина различий характеристик донных отложений изучаемых бухт, вероятнее всего, связана с интенсивным процессом эрозии почвенного покрова плато п-ова Гамова и частым сносом в бухту Астафьева значительного количества свежего терригенного материала, включающего органическое вещество деградированной почвы. Как известно, динамичные эрозионные процессы в береговой зоне в сочетании с высокой крутизной прибрежных склонов являются значимым фактором природной абразии и формирования донных субстратов морских экосистем [Лихт, 1993].

Естественный процесс поступления терригенных частиц и органического вещества усугубляется антропогенным усилением эрозийных процессов в результате многократно возросшего рекреационного пресса на п-ов Гамова, сопровождающегося активным использованием автомобильной техники (квадроциклы, мотоциклы, багги и др.), которая является наиболее негативным фактором рекреационного воздействия на почву [Meyer, 2002; Pickering et al., 2010]. Техника повышенной проходимости ввиду наличия выраженного протектора шин за короткий промежуток времени приводит к глубокому нарушению верхних слоев почвы, потере органического вещества, сносу минерального вещества [Meadows et al., 2008]. Подобные виды транспорта пользуются популярностью среди туристов п-ова Гамова.

По визуальным наблюдениям и литературным данным [Хорошев и др., 2016] растительный покров п-ова Гамова сильно деградирован и фрагментирован в результате наложения антропогенного воздействия на естественные процессы эрозии и выветривания. Плато полуострова исчерчено бесчисленными дорогами и промывными каньонами, растительность вытоптана и выжжена ежегодными пожарами, и лишь в северо-восточной части полуострова располагается прибрежный лесной массив, сдерживающий процесс деградации. Склоны именно этой части полуострова обращены к бухте Средней и прилегающим к ней районам. К бухтам Астафьева, Спасения, Орлинка, Теляковского подходят берега, растительный покров которых в значительной степени деградирован и на большей части территория представляет собой пронизанный каньонами песчаник. Как указывают специалисты [Хорошев и др., 2016], привлекательные для туризма сосновые редколесья и рододендрово-злаковые сообщества песчано-глинистого плато п-ова Гамова весьма уязвимы к антропогенным нагрузкам, усиливающим риск осыпания мелкозема в прибрежную зону. После дождей и тайфунов, таяния снега в воды прибрежной части указанных бухт поступает значительное количество песка, делающего кристально чистые морские воды мутными на продолжительное время [Лазарюк и др., 2021]. Поступление терригенного материала (частиц песка и мелкого гравия, а также сорбированного на них органического вещества) формирует в водной среде так называемую ресуспензию, меняющую физико-химические характеристики придонного слоя вод и поверхности донных отложений, негативно сказывающуюся на биологических процессах водоемов и стабильности их биоценозов [Мартынова, 2007]. Схожие явления нарушения стабильности донных сообществ и сокращения их биологического разнообразия выявляются при проведении дноуглубительных работ и дампинге извлеченного грунта [Жариков, 2013].

Вынос большой массы песчаного терригенного материала с п-ова Гамова и является, по нашему мнению, причиной, определяющей физические и геохимические характеристики морского грунта в бухте Астафьева и изменения стабильности донных отложений. В этом состоит специфика физико-химических условий среды, отличающих бухту Астафьева от бухты Средней. В бухте Средней, береговая зона которой более устойчива к эрозийным процессам по причине целостности растительного и почвенного покрова и отсутствия антропогенного пресса, характеристики донных отложений, по-видимому, определяются прежде всего морскими процессами.

В целом для обеих бухт характерен схожий и довольно бедный по числу видов состав организмов эпибентоса, обитающего на поверхности грунта и не образующего черт уникальности, т.е. сформированного самыми распространенными в зал. Петра Великого видами. Однако расположенные рядом, схожие геоморфологически, а также по составу эпибентоса бухты Астафьева и Средняя существенно различаются по составу, характеристикам обилия и структуре инфауны. Список выявленных видов инфауны бухты Астафьева вдвое меньше, чем в бухте Средней. Определяющее влияние на сокращение видового богатства инфауны бухты Астафьева, по нашему мнению, имеет снос большого объема терригенного материала, поступающего с эродированного плато п-ова Гамова в ее среду. Постоянно вносимый свежий терригенный снос меняет стабильность физико-химических условий донных отложений, делает их более агрессивными и обедняет видовое богатство и разнообразие инфауны мягких грунтов в прибрежных акваториях, прилегающих к эродированным склонам п-ова Гамова.

Таким образом, характерно различающиеся морфологически и физико-химически грунты исследуемых бухт и процессы их формирования (морской постепенный седиментагенез в бухте Средней и залповый снос большого объема терригенного материала в период ливней и тайфунов в бухте Астафьева) формируют разную по характеристикам и устойчивости среду обитания, что отражается на параметрах донного населения.

Заключение

В расположенных рядом бухтах Астафьева и Средняя выявляются разные экологические процессы в системе «дно–макробентос», оказывающие влияние на биологическое разнообразие, обилие и структуру населения мягких грунтов. Всего в составе макробентоса обеих бухт обнаружено 77 видов. В эпибентосе отмечено 28 видов (сходство между бухтами по индексу Жаккара составляет 93 %). Наиболее распространенными видами в эпибентосе являются *P. pectinifera*, *M. nudus*, *T. rustica*, *C. grayanus*. В составе инфауны выявлено 53 вида (сходство 23 %). Общими для категорий «эпибентос» и «инфауна» являются 4 вида беспозвоночных. Видовое богатство инфауны бухты Средней более чем в два раза выше, чем бухты Астафьева. Несмотря на геоморфологическую схожесть, идентичность донных ландшафтов и их распределения, более обогащенная органическим веществом донная среда бухты Астафьева оказалась беднее по таксономическому составу и обилию инфауны, чем в бухте Средней. Агрессивные условия залпового поступления большого количества терригенного материала в период дождей и тайфунов с эродированной поверхности плато и склонов п-ова Гамова в бухте Астафьева дестабилизируют характеристики среды в экосистеме бухты и препятствуют формированию устойчивого в биологическом отношении, более разнообразного и обильного донного населения. В соседней бухте Средней, побережье которой не подвержено интенсивным эрозийным процессам, характеристики донных отложений формируются под влиянием морских процессов, а состав, обилие и структура макробентоса мягких грунтов отличаются большим разнообразием и обилием. Эпибентос же обеих акваторий характеризуется небольшими различиями видового богатства и высокой степенью схожести.

Таким образом, в силу происходящих экологических процессов, выраженных в доминировании терригенного влияния, бухту Астафьева не следует принимать за эталонную акваторию, даже несмотря на вхождение ее в состав Дальневосточного морского биосферного заповедника. Экологические особенности условий, в которых находится бухта Астафьева (подверженность влиянию мощных эрозийных процессов, охвативших п-ов Гамова, усиленных негативным воздействием со стороны туризма и приводящих к сносу в бухту большого объема терригенного вещества), необходимо обязательно учитывать при охране ее биоресурсов и осуществлении природопользования в морской прибрежной зоне.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы с глубокой признательностью выражают благодарность ст.н.с. ДВНИГМИ к.б.н. Т.А. Белан за идентификацию видов многощетинковых червей; ведущему инженеру Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» ИМО ДВФУ Л.В. Сомовой за составление рисунков распределения ландшафтов на трансектах. Особую благодарность выражаем [А.А. Емельянову], с кем мы неизменно работали долгие годы, за проведение водолазных работ и одновременно скорбим в связи с его безвременным уходом.

The authors are deeply thankful to Dr. T.A. Belan, senior researcher of the Far Eastern Research Hydrometeorological Institute, for species identifying of polychaete worms and to L.V. Somova, leading engineer of Marine Ecology Department of FEFU, for drawings of the underwater landscapes distribution on transects. A special gratitude to diver [A.A. Yemelyanov], with whom we worked together for many years; we mourn his untimely death.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена в рамках совместной Программы НИР Института Мирового океана ДВФУ и ФГБУ «Земля леопарда», а также государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FZNS-2023-0019 «Оценка секвестрационного потенциала прибрежно-морских экосистем».

The study was conducted within the framework of the joint Research Program of the FEFU Institute of the World Ocean and the Federal State Budgetary Institution Land of Leopard and followed the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of Russia № FZNS-2023-0019 “Assessment of the sequestration potential of coastal marine ecosystems”.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Ю.А. Галышева осуществила планирование и реализацию экспедиционных работ, обработку проб донных отложений, макробентоса и фотопроб, идентификацию видов макробентоса и анализ количественных данных по его обилию. Е.Г. Сомова провела анализ научных публикаций по рекреационной деградации прибрежно-растительных сообществ и выделение подводных ландшафтов. А.А. Сомов произвел картографические работы, математическое моделирование и статистическую обработку данных, построение розы ветров и анализ геоморфологического и гидрологического режима района исследования. Обработка данных, обсуждение результатов исследования, подготовка статьи — совместно.

Yu.A. Galysheva were responsible for planning and implementation of expedition researches, processing samples of bottom sediments, macrobenthos and photoprobes, identifying of macrobenthos species, and analysis of quantitative data on macrobenthos abundance. E.G. Somova analyzed scientific publications on recreational degradation of coastal plant communities and allocation of underwater landscapes. A.A. Somov made mapping, mathematical modeling and statistical data processing, drew wind roses, and analyzed geomorphology and oceanographic regime of the study area. The data were collected and processed, the research results were discussed, and the manuscript was written and illustrated by two authors jointly.

Список литературы

Арзамасцев И.С., Преображенский Б.В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. — М. : Наука, 1990. — 224 с.

Баранов А.Ю., Левенец И.Р., Овсянникова И.И., Лебедев Е.Б. Водоросли-макрофиты и усоногие раки в эпibiозе гребешка в юго-западной части зал. Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 175. — С. 254–262.

Белан Т.А. Особенности обилия и видового состава бентоса в условиях загрязнения (залив Петра Великого, Японское море) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВНИГМИ, 2001. — 27 с.

Гульбина А.А., Кепель А.А. Дальневосточный морской заповедник: со дня основания до наших дней // Вестн. ДВО РАН. — 2020. — № 2(210). — С. 5–18. DOI: 10.37102/08697698.2020.210.2.001.

Дальневосточный морской биосферный заповедник / ред. А.Н. Тюрин, А.Л. Дроздов. — Владивосток : Дальнаука, 2004. — Т. 2 : Биота. — 848 с.

Жариков В.В. Влияние дампинга на геоэкологическое состояние залива Находка // География и природные ресурсы. — 2013. — № 4. — С. 37–45.

Жариков В.В., Базаров К.Ю., Егидарев Е.Г. Использование данных дистанционного зондирования при картографировании подводных ландшафтов бухты Средней (залив Петра

Великого, Японское море) // География и природные ресурсы. — 2017. — № 2. — С. 190–198. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(190-198).

Жариков В.В., Базаров К.Ю., Егидарев Е.Г., Лебедев А.М. Использование данных LANDSAT для картографирования высшей водной растительности Дальневосточного морского заповедника // Океанол. — 2018. — Т. 58, № 3. — С. 521–531. DOI: 10.7868/S0030157418030164.

Жариков В.В., Лысенко В.Н. Распределение эпифауны макробентоса в Дальневосточном морском заповеднике ДВО РАН по материалам дистанционной подводной видеосъемки // Биол. моря. — 2016. — Т. 42, № 3. — С. 231–240.

Ивин В.В., Звягинцев А.Ю., Кашин И.А. Мониторинг и контроль чужеродных видов в морских и островных особо охраняемых природных территориях на примере Дальневосточного морского государственного природного биосферного заповедника // Рос. журн. биол. инвазий. — 2014. — Т. 7, № 2. — С. 47–79.

Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения : моногр. — М. : АН СССР, 1958. — 193 с.

Кепель А.А. Итоги изучения биологического разнообразия Дальневосточного морского заповедника // Морские особо охраняемые природные территории мира : сб. мат.-лов Междунар. науч.-практ. конф. — Владивосток : ДВФУ, 2019. — С. 33–34.

Кепель А.А. Результаты мониторинга чужеродных видов на литорали и в обрастании плавника в Дальневосточном морском биосферном заповеднике ДВО РАН // 10-я Дальневост. конф. по заповедному делу : мат.-лы конф. — Благовещенск : БГПУ, 2013. — С. 153–155.

Лазарюк А.Ю., Радовец А.В., Христофорова Н.К. Влияние тайфуна Майсак на экологическую ситуацию в материковых прибрежьях Дальневосточного морского заповедника в сентябре 2020 г. (Приморский край, Россия) // Биота и среда природных территорий. — 2021. — № 4. — С. 85–101. DOI: 10.37102/2782-1978_2021_4_4.

Латыпов Ю.Я. Заповедная акватория в заливе Петра Великого // Наука в России. — 2013. — № 4(196). — С. 87–92.

Лебедев Е.Б. Двустворчатые моллюски (Mollusca, Bivalvia) Дальневосточного морского заповедника // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. — 2015а. — № 1. — С. 32–53.

Лебедев Е.Б. Брюхоногие моллюски (Mollusca, Gastropoda) Дальневосточного морского заповедника (залив Петра Великого, Японское море) // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. — 2015б. — № 1. — С. 54–86.

Лебедева Н.В., Дроздов Н.Н., Криволицкий Д.А. Биоразнообразие и методы его оценки : учеб. пособие. — М. : МГУ, 1999. — 94 с.

Лихт Ф.Р. Современное приконтинентальное осадкообразование и реконструкции однотипных обстановок в геологическом прошлом Азии : моногр. — Владивосток : Дальнаука, 1993. — 240 с.

Лысенко В.Н., Жариков В.В., Лебедев А.М. Современное состояние поселений дальневосточного трепанга *Apostichopus japonicus* (Selenka, 1867) в Дальневосточном морском заповеднике // Биол. моря. — 2018. — Т. 44, № 2. — С. 134–140.

Мартынова М.В. Влияние взмучивания донных отложений на экосистемы водоемов // География и природные ресурсы. — 2007. — № 4. — С. 38–42.

Озолиньш А.В. Исследования сублиторали заповедника: история, методика, результаты // Дальневосточный морской биосферный заповедник / отв. ред. А.Н. Тюрин. — Владивосток : Дальнаука, 2004. — Т. 1 : Исследования. — С. 373–394.

Озолиньш А.В., Некрасова М.И. Формирование пространственной структуры сообществ мягких грунтов у острова Фуругельма (Японское море) // Океанол. — 2003. — Т. 43, № 1. — С. 89–96.

Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях : моногр. — М. : Наука, 1982. — 287 с.

Петренко В.С., Мануйлов В.А. Физическая география залива Петра Великого : моногр. — Владивосток : ДВГУ, 1988. — 147 с.

Сазыкин А.М., Сомова Е.Г., Широкова А.В., Кияницин В.В. Ландшафтное обоснование устойчивой рекреационной деятельности на территории туристского кластера «Гамовский» (Приморский край) // Рекреационная география и тренды развития туризма : мат.-лы 3-й междунар. науч.-практ. конф. — Иркутск : ИГ СО РАН, 2021. — С. 277–281.

Хорошев А.В., Чижова В.П., Чубарь Е.А. и др. Ландшафтно-экологические основания планирования рекреационных нагрузок в охранной зоне Дальневосточного морского заповедника // Проблемы региональной экологии. — 2016. — № 1. — С. 81–86.

Шулькин В.М., Жариков В.В., Лебедев А.М., Базаров К.Ю. Углерод в экосистеме *Zostera marina* Linnaeus, 1753 на песчаных грунтах бухты Средняя (залив Петра Великого,

Японское море) по данным полевых наблюдений // Морской биологический журнал. — 2024. — № 9, № 2. — С. 98–114. DOI: 10.21072/mbj.2024.09.2.07.

Latypov Yu.Ya. Macrozoobenthos soft soils of the Far Eastern Marine Biosphere Reserve // J. Environ. Ecol. — 2013. — Vol. 4, № 1. — P. 40–51. DOI: 10.5296/jee.v4i1.2944.

Meadows D., Foltz R.B., Geehan N. Effects of All-Terrain Vehicles on Forest Lands and Grasslands. — San Dimas : San Dimas technology and development center, 2008. — 124 p.

Meyer K.G. Managing Degraded Off-Highway Vehicle Trails in Wet, Unstable, and Sensitive Environments. — Missoula : Missoula technology and development center, 2002. — 55 p.

Pickering C.M., Hill W., Newsome D., Leung Y-F. Comparing hiking, mountain biking and horse riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America // J. Environ. Management. — 2010. — Vol. 91. — P. 551–562.

References

Azramastsev, I.S. and Preobrazhensky, B.V., *Atlas podvodnykh landshaftov Yaponskogo morya* (Atlas of Underwater Landscapes in the Sea of Japan), Moscow: Nauka, 1990.

Baranov, A.Yu., Levenets, I.R., Ovsyannikova, I.I., and Lebedev, E.B., Macroalgae and cirrepedes in epibiosis of *Mizuhopecten yessoensis* in the southwestern part of Peter the great Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 175, pp. 254–262.

Belan, T.A., Patterns of abundance and species composition of benthos exposed to pollution conditions (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevostochnyy regional'nyy nauchno-issledovatel'. gidrometeorologich. institut, 2001.

Gulbina, A.A. and Kepel, A.A., Far Eastern Marine Reserve: from the day it was founded to the present, *Vestn. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2020, no. 2(210), pp. 5–18. doi 10.37102/08697698.2020.210.2.001

Dal'nevostochnyy morskoy biosfernyy zapovednik. Biota (Far-Eastern Marine Biospherical Reserve. Biota), Tyurin, A.N., Drozdov, A.L., eds, Vladivostok: Dal'nauka, 2004, vol. 2.

Zharikov, V.V., Influence of dumping upon the geocological state of Nakhodka Bay, *Geography and Natural Resources*, 2013, vol. 34, no. 4, pp. 331–338. doi 10.1134/S1875372813040057

Zharikov, V.V., Bazarov, K.Y., and Egidarev, E.G., Use of remotely sensed data in mapping underwater landscapes of Srednyaya Bay (Peter the Great Gulf, Sea of Japan), *Geography and Natural Resources*, 2017, vol. 38, no. 2, pp. 188–195. doi 10.1134/S187537281702010X

Zharikov, V.V., Bazarov, K.Y., Egidarev, E.G., and Lebedev, A.M., Application of LANDSAT data for mapping higher aquatic vegetation of the Far East Marine Reserve, *Oceanology*, 2018, vol. 58, no. 3, pp. 487–496. doi 10.1134/S0001437018030207

Zharikov, V.V. and Lysenko, V.N., The distribution of macrobenthic epifauna in the Far Eastern Marine Reserve based on remote underwater video data, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2016, vol. 42, no. 3, pp. 266–275.

Ivin, V.V., Zvyagintsev, A.Yu., and Kashin, I.A., Monitoring and control of alien species in marine and insular specially protected areas by the example of the Far East Marine State Natural Biosphere Reserve, *Russian Journal of Biological Invasions*, 2014, vol. 7, no. 2, pp. 47–49.

Kachinskiy, N.A., *Mekhanicheskiy i mikroagregatnyy sostav pochvy, metody yego izucheniya* (Mechanical and microaggregate composition of soil, methods of its study), Moscow: Akad. Nauk SSSR, 1958.

Kepel, A.A., Results of studying the biological diversity of the Far Eastern Marine Reserve, in *Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Morskiye osobo okhranyayemyye prirodnyye territorii mira"* (Intern. Sci.-Pract. Conf. "Marine specially protected natural areas of the world"), Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2019, pp. 33–34.

Kepel, A.A., Results of monitoring of alien species in the littoral zone and in fin fouling in the Far Eastern Marine Biosphere Reserve FEB RAS, in *X Far-Eastern Conference on Nature Conservation Problems: materials of a conference*, Blagoveshchensk: BSPU-Press, 2013.

Lazaryuk, A.Yu., Radovets, A.V., and Khristoforova, N.K., Environmental impact of Typhoon Maysak on the mainland coast of the Far Eastern Marine Biosphere Reserve in september 2020 (Primorsky Krai, Russia), *Biota i sreda prirodnikh territoriy*, 2021, no. 4, pp. 85–101. doi 10.37102/2782-1978_2021_4_4

Latypov, Yu.Ya., Protected water area in Peter the Great Bay, *Nauka v Rossii*, 2013, no. 4(196), pp. 87–92.

Lebedev, E.B., Bivalve mollusks (Mollusca, Bivalvia) of the Far Eastern Marine Reserve (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Biodiversity and Environment of Far East Reserves*, 2015, no. 1, pp. 32–53.

Lebedev, E.B., Martynov, A.V., and Korshunova, T.A., Gastropod mollusks (Mollusca, Gastropoda) of the Far Eastern Marine Reserve (Russia), *Biodiversity and Environment of Far East Reserves*, 2015, no. 1, pp. 54–86.

Lebedeva, N.V., Drozdov, N.N., and Krivolutskiy, D.A., *Bioraznoobrazie i metody yego otsenki* (Biodiversity and methods for its assessment), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1999.

Likht, F.R., *Sovremennoye prikontinental'noye osadkoobrazovaniye i rekonstruktsii odnotipnykh obstanovok v geologicheskom proshlom Azii* (Modern continental sedimentation and reconstructions of similar environments in the geological past of Asia), Vladivostok: Dal'nauka, 1993.

Lysenko, V.N., Zharikov, V.V., and Lebedev, A.M., Current status of populations of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka, 1867) in the Far Eastern Marine Reserve, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2018, vol. 44, no. 2, pp. 164–171.

Martynova, M.V., Influence of the stirring-up of bottom sediments on the ecosystems of water bodies, *Geografiya i prirodnyye resursy*, 2007, no. 4, pp. 38–42.

Ozolinsh, A.V., Research of the subtidal reserve: history, methodology, results, in *Far-Eastern Marine Biospherical Reserve. Research activities*, Tyurin, A.N., ed., Vladivostok: Dal'nauka, 2004, vol. 1, pp. 373–394.

Ozolin'sh, A.V. and Nekrasova, M.I., The Forming of spatial structure of the soft bottom communities around Furugel'm Island (Sea of Japan), *Oceanology*, 2003, vol. 43, no. 1, pp. 83–90.

Pesenko, Yu.A., *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* (Principles and methods of quantitative analysis in faunal studies), Moscow: Nauka, 1982.

Petrenko, V.S., and Manuylov, V.A., *Fizicheskaya geografiya zaliva Petra Velikogo* (Physical geography of Peter the Great Bay), Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ, 1988.

Sazykin, A.M., Somova, E.G., Shirokova, A.V., and Kiyanitsin, V.V., Landscape justification for sustainable recreational activities on the territory of the Gamovsky tourist cluster (Primorsky Territory), in *Mater. 3-y mezhdunar. nauchno-prakt. konf. "Rekreatsionnaya Geografiya i trendy razvitiya turizma"* (Materials of the 3rd Int. Sci. Pract. Conf. "Recreational geography and tourism development trends"), Irkutsk: Institut geografii imeni V.B. Sochavy SO RAN Irkutsk, 2021, pp. 277–281.

Khoroshev, A.V., Chizhova, V.P., Chubar', E.A., Gulbina, A.A., and Malyutin, A.N., Landscape-ecological rationales for planning recreational loads in the buffer zone of the Far-Eastern Marine Nature Reserve, *Problemy regional'noy ekologii*, 2016, no. 1, pp. 81–86.

Shulkin, V., Zharikov, V., Lebedev, A., and Bazarov, K., Assessment of carbon stock in the *Zostera marina* Linnaeus, 1753 ecosystem on sandy sediments of the Srednyaya Bight (Peter the Great Bay, the Sea of Japan) based on field observations, *Morskoy biologicheskiy zhurnal*, 2024, vol. 9, no. 2, pp. 98–114. doi 10.21072/mbj.2024.09.2.07

Latypov, Yu.Ya., Macrozoobenthos soft soils of the Far Eastern Marine Biosphere Reserve, *J. Environ. Ecol.*, 2013, vol. 4, no. 1, pp. 40–51. doi 10.5296/jee.v4i1.2944

Meadows, D., Foltz, R.B., and Geehan, N., *Effects of All Terrain Vehicles on Forest Lands and Grasslands*, San Dimas: San Dimas technology and development center, 2008.

Meyer, K.G., *Managing Degraded Off-Highway Vehicle Trails in Wet, Unstable, and Sensitive Environments*, Missoula: Missoula technology and development center, 2002.

Pickering, C.M., Hill, W., Newsome, D., and Leung, Y-F., Comparing hiking, mountain biking and horse riding impacts on vegetation and soils in Australia and the United States of America, *J. Environ. Management*, 2010, vol. 91, pp. 551–562.

Поступила в редакцию 17.10.2024 г.

После доработки 26.11.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 17.10.2024; approved after reviewing 26.11.2024;
accepted for publication 10.12.2024*