

Научная статья

УДК [574.587:582.26]/(265.5)

DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-917-934

EDN: YNEQQY



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МАКРОБЕНТОСА ТВЕРДЫХ ГРУНТОВ
ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛИ НЕКОТОРЫХ РАЙОНОВ
АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА, ПОДВЕРГШИХСЯ ВЛИЯНИЮ
ВРЕДНОСНОГО ЦВЕТЕНИЯ ВОДОРΟΣЛЕЙ ОСЕНЬЮ 2020 Г.,
ЧЕРЕЗ ГОД ПОСЛЕ ПРИРОДНОЙ КАТАСТРОФЫ

Ю.А. Галышева, В.А. Чиченко, В.Е. Метревели*

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

Аннотация. Изложены результаты количественной водолазной съемки макробентоса, выполненной в разных частях Авачинского залива в октябре 2021 г. — через год после вредоносного цветения водорослей и массового замора гидробионтов, отмеченного в нескольких районах прибрежной морской зоны юго-востока Камчатки. Обследован горизонт глубин 4–14 м. Идентифицировано 92 вида, средняя биомасса макробентоса составила $2768,7 \pm 2115,4$ г/м², плотность поселения макрозообентоса — $2449,9 \pm 1502,1$ экз./м². Выявленная нами структура обилия подтвердила результаты исследования камчатских ученых весной 2021 г. Коллегами было установлено, а нашими результатами подтверждено значительное сокращение числа видов и биомассы губок, актиний, брюхоногих моллюсков, иглокожих и асцидий. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что в октябре 2021 г. доля указанных групп в биомассе макробентоса твердых грунтов составляла не более 1–2 %. Массовая гибель морских донных организмов, зафиксированная осенью 2020 г., отразилась на структуре донного населения Авачинского залива, в котором произошла существенная перестройка. В октябре 2021 г. доминирующие позиции по числу видов и обилию занимали двустворчатые моллюски, полихеты, а также красные и бурые водоросли. Доминирующий статус тихоокеанской мидии *Mytilus trossulus*, отмечаемый многократно ранее, сохранился. Субдоминантами по биомассе являлись *Hedophyllum bongardianum*, *Thalassiophyllum clathrus* (Ochrophyta), *Schisobranchia insignis* (Polychaeta) и *Ptilota asplenoides* (Rhodophyta). По сравнению с 2020 г. отмечено увеличение обилия амфипод и десятиногих ракообразных.

Ключевые слова: макробентос, макрозообентос, макрофитобентос, Авачинский залив, количественная оценка, донные сообщества

Для цитирования: Галышева Ю.А., Чиченко В.А., Метревели В.Е. Оценка состояния макробентоса твердых грунтов верхней сублиторали некоторых районов Авачинского залива, подвергшихся влиянию вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г., через год после природной катастрофы // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 4. — С. 917–934. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-917-934. EDN: YNEQQY.

* Галышева Юлия Александровна, кандидат биологических наук, доцент, заведующая кафедрой, galysheva.yua@dvfu.ru, ORCID 0000-0001-8054-972X; Чиченко Вероника Александровна, студентка, chichenko.va@dvfu.ru, ORCID 0009-0005-0782-3493; Метревели Вадим Евгеньевич, аспирант, ассистент кафедры, metreveli.ve@dvfu.ru, ORCID 0000-0003-0050-843X.

© Галышева Ю.А., Чиченко В.А., Метревели В.Е., 2024

**Assessment of the state for macrobenthos on solid grounds
in the upper sublittoral in certain areas of Avachinsky Bay impacted
by harmful algal bloom in autumn 2020, a year after the natural disaster**

Yulia A. Galysheva*, Veronica A. Chichenko, Vadim E. Metreveli*****

*—*** 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

** student, chichenko.va@dvfu.ru, ORCID 0009-0005-0782-3493

*** postgraduate student, assistant, metreveli.ve@dvfu.ru, ORCID 0000-0003-0050-843X

Abstract. Results of a quantitative diving survey of macrobenthos in the Avachinsky Bay at southeastern Kamchatka in October 2021 are presented. The survey was conducted in a year after the harmful algal bloom (HAB) with mass death of marine organisms in certain areas of the coastal zone. The depth range of 4–14 m was surveyed. In total, 92 species of macrobenthos were identified, the average biomass of macrobenthos was assessed in 2768.7 ± 2115.4 g/m², and the average abundance — in 2449.9 ± 1502.1 ind./m². The species structure of macrobenthos was similar to the results of survey conducted by Kamchatka researchers in the spring of 2021. Significant reduction in the number of species and biomass was detected then for sponges, anemones, gastropods, echinoderms and ascidia and confirmed again by our data. In October 2021, the portion of these taxonomic groups in the total biomass of macrobenthos on solid soils did not exceed 1–2 % that is evident consequence of significant changes in structure of the bottom community caused by mass death of benthic organisms during HAB in the fall of 2020. A year after the HAB, bivalves and polychaetes, as well as red and brown algae occupied the dominant positions in the community in terms of the species number and abundance, whereas pacific mussel *Mytilus trossulus* dominated by biomass (this species was dominant before the natural disaster and preserved this position) and subdominants were *Hedophyllum bongardianum*, *Thalassiophyllum clathrus* (Ochrophyta), *Schisobranchia insignis* (Polychaeta) and *Ptilota asplenoides* (Rhodophyta). Increasing in abundance of Amphipoda and Decapoda crustaceans was noted in 2021 relative to 2020.

Keywords: macrobenthos, macrozoobenthos, macrophytobenthos, Avacha Bay, quantitative assessment, bottom communities

For citation: Galysheva Yu.A., Chichenko V.A., Metreveli V.E. Assessment of the state for macrobenthos on solid grounds in the upper sublittoral in certain areas of Avachinsky Bay impacted by harmful algal bloom in autumn 2020, a year after the natural disaster, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 4, pp. 917–934. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-917-934. EDN: YHEQQY.

Введение

В последние десятилетия наблюдается тревожная тенденция увеличения случаев вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) в разных частях Мирового океана [Fukuyo et al., 2002; Fu et al., 2012; Griffith, Gobler, 2020; Hallegraeff et al., 2021; Kuroda et al., 2021]. Резкий рост числа микроводорослей в акватории способен критически снизить уровень растворенного кислорода в результате бактериального разложения отмерших клеток самих микроводорослей и их метаболитов и вызвать явления замора (асфиксии и сероводородно-аммиачного отравления) гидробионтов [Жирмунский, Коновалова, 1982; Bondur et al., 2021; Khesina et al., 2021]. Это явление — глобальная проблема, которая вызывает различные негативные последствия для морских экосистем, аквакультуры, рыболовства, экономики, а также здоровья и благополучия человека [Bates et al., 1991; Kazmi et al., 2022]. Прибрежная морская зона п-ова Камчатка — богатейший в отношении морского макробентоса район дальневосточных морей России [Шунтов, 2001]. Осенью 2020 г. в районе юго-восточного побережья Камчатки было зафиксировано обширное по зоне распространения ВЦВ, сопровождавшееся массовой гибелью донных беспозвоночных и привлечение широкое внимание общественности [Токранов и др., 2021, 2024; Khesina et al., 2021; Данилин и др., 2022, 2023; Orlova et al., 2022; Коростелев и др., 2023; Самаян и др., 2023; Токранов, 2024].

Причиной массового замора обитателей прибрежной зоны юго-востока Камчатки осенью 2020 г. признано массовое развитие динофлагелляты *Karenia selliformis* A.J.Haywood, K.A.Steidinger & L.MacKenzie, 2004, не только достигшей чрезвычайно высокой численности клеток в указанный период, но и продуцирующей опасный для организмов токсин [Orlova et al., 2022]. Таким образом, на сегодняшний день контроль экологического состояния данного района прибрежной морской части является одной из наиболее важных задач при рассмотрении экологической безопасности и развития Камчатского региона. Индикатором экологического благополучия прибрежных экосистем можно считать бентосные сообщества [Мощенко и др., 2022, 2023].

В связи с этим цель работы — охарактеризовать состав, показатели обилия и структуры макробентоса твердых грунтов верхней сублиторали некоторых районов Авачинского залива через год после ВЦВ осенью 2020 г. и дать оценку выявленным изменениям его благополучия.

Материалы и методы

Отбор проб макробентоса проведен в период с 5 по 13 октября 2021 г. на десяти станциях в различных частях Авачинского залива в районах, подвергшихся в 2020 г. массовому цветению микроводорослей. В число районов исследования вошли бухты Лиственничная, Вилючинская, Спасения, Малая Лагерная, а также мыс Налычева и о. Крашенинникова (рис. 1, табл. 1). Выполнен водолазами с борта парусной яхты «Iron Lady» с учетных площадок в 1 м^2 в трех повторностях на каждой станции. Параллельно проводилась подводная фотофиксация мест отбора и макробентоса. Собранный материал доставлен на борт яхты в питомцах с ячейей 0,5–1,0 мм. Первичную обработку бентоса вели на борту судна. Из проб отбирали водоросли-макрофиты, разбирали по видам, взвешивали, образцы неидентифицированных видов закладывали в гербарий для дальнейшего их определения.

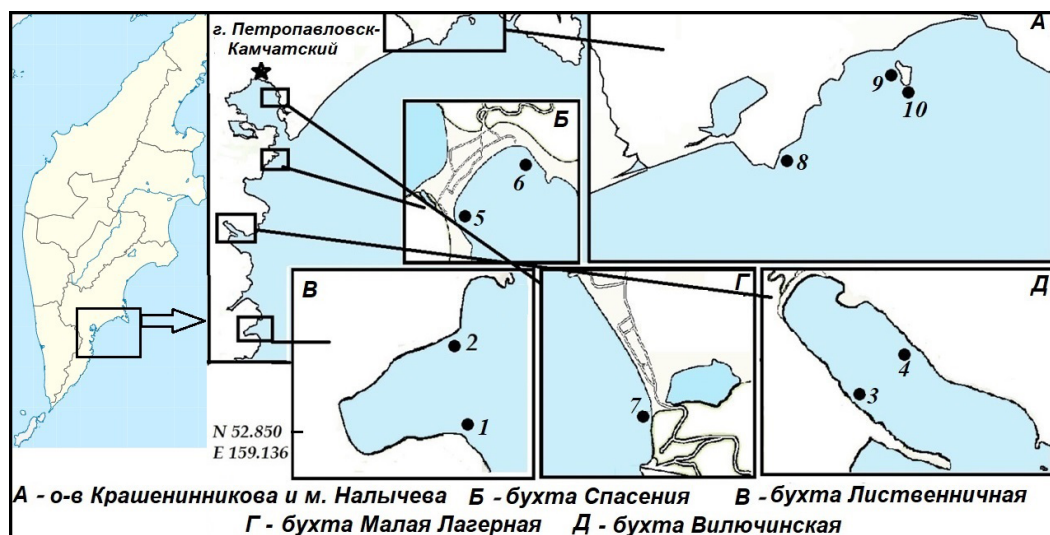


Рис. 1. Карта-схема расположения станций отбора проб макробентоса в Авачинском заливе: 1–10 см. в табл. 1

Fig. 1. Scheme of samplings in the Avachinsky Bay: 1–10 see Table 1

Зообентос и смыв с водорослей пропускали через систему гидробиологических сит с наименьшей ячейей 1 мм, фиксировали 4 %-ным формалином и вместе с гербарием перевозили во Владивосток. Дальнейшая идентификация, количественные оценки и обобщение данных проведены в лабораториях Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана ДВФУ. Взвешивание осуществлено на электронных весах с точностью $\pm 0,1$ г. Всего отобрано и обработано 30 количественных проб макробентоса.

Таблица 1

Характеристики станций отбора проб макробентоса

Table 1

Characteristics of macrobenthos sampling stations

№ станции	Район	Координаты	Глубина, м	Грунт
1	Бухта Лиственничная	52°22'441N 158°32'974E	5	Валун
2	Бухта Лиственничная	52°22'837N 158°53'695E	6	Скала
3	Бухта Вилючинская	52°37'095N 158°26'653E	6	Скала, гравий, ракуша
4	Бухта Вилючинская	52°37'949N 158°27'407E	4	Валун, песок, ракуша
5	Бухта Спасения	52°82'407N 158°59'972E	7	Валун
6	Бухта Спасения	52°82'862N 158°60'564E	4	Валун
7	Бухта Малая Лагерная	52°93'290N 158°68'754E	4	Скала
8	Мыс Налычева	53°09'865N 159°24'311E	7	Песок, валун
9	О. Крашенинникова	53°12'960N 159°32'046E	10	Скала
10	О. Крашенинникова	53°12'464N 159°32'870E	14	Скала

Для идентификации основных групп животных использовали атласы [Надточий, Прокопенко, 2006; Атлас..., 2010а–в, 2016; Слизкин, 2010; Лутаенко, Волвенко, 2022]. Систематическая принадлежность видов проверена по международной базе данных WoRMS.

Результаты и их обсуждение

Всего в составе морского макробентоса верхних горизонтов шельфовой зоны обследованных районов юго-востока Камчатки в результате съемки первой половины октября 2021 г. выявлено 92 вида из 16 таксономических групп ранга не ниже отряда. В таксономической структуре донного населения по числу видов преобладают красные и бурые водоросли, десятиногие ракообразные, полихеты, двустворчатые и брюхоногие моллюски (рис. 2).

На эти шесть групп приходится суммарно 73 вида, или 79,4 % общего видового богатства. Доля макрофитов в общем видовом списке составляет 54,3 %, макрозообентоса — 45,7 %.

Видовое обилие макробентоса (число видов на станцию) варьировало от 12 до 33. Максимальное видовое разнообразие отмечено в бухтах Лиственничная и Вилючинская, а также в районе о. Крашенинникова (ст. 1, 2, 3, 4, 9, 10) (рис. 3). Средний показатель общего видового обилия макробентоса составляет 23,8 ± 8,4 вида (табл. 2). В составе проб, наиболее богатых водорослями, обнаружены многочисленные амфиподы и мальки рыб, которые нами обозначены как «смыв», отнесены к обитателям пелагиали водорослевого пояса и исключены из подсчета показателей собственно донных организмов. Видовое обилие в пробах «смыва» водорослевого пояса варьировало от 3 до 10 видов на станцию.

По частоте встречаемости (отношению числа проб, в которых встречался вид, к общему числу проб) в макробентосе доминируют 11 наиболее распространенных видов, имеющих этот показатель более 40 %: красные водоросли *Ptilota asplenioides* (92,31 %),

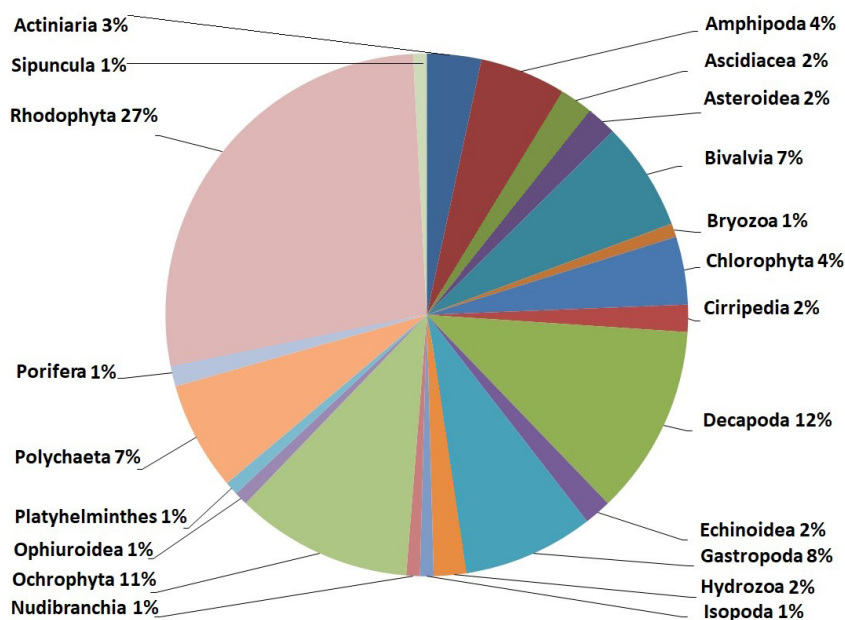


Рис. 2. Таксономическая структура видового богатства макробентоса твердых грунтов Авачинского залива в октябре 2021 г.

Fig. 2. Taxonomic structure of macrobenthos on solid soils in the Avachinsky Bay in October 2021

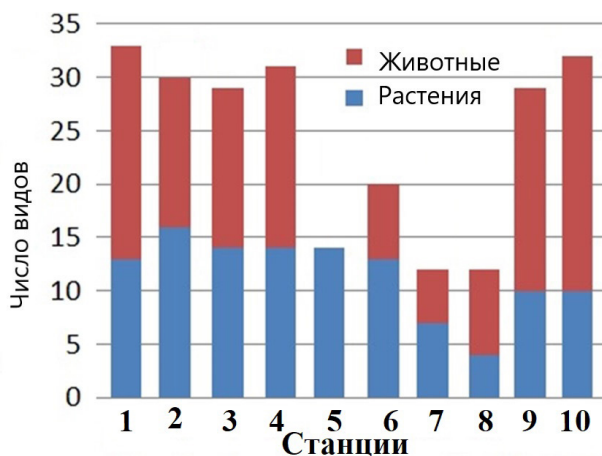


Рис. 3. Распределение видового разнообразия макробентоса на станциях отбора проб

Fig. 3. Species diversity of macrobenthos in the Avachinsky Bay in October 2021, by sampling stations

Phycodrys riggii (61,54 %) и *Odonthalia kamtschatica* (53,85 %), двустворчатые моллюски *Mytilus trossulus* (76,92 %) и *Hiatella arctica* (53,85 %), бурые водоросли *Hedophyllum bongardianum* (69,23 %), *Thalassiophyllum clathrus* (46,15 %) и *Alaria marginata* (46,15 %), зеленая водоросль *Ulva fenestrata* (53,85 %), волосатый пятиугольный краб *Telmessus cheiragonus* (46,15 %) и изопода *Idotea aleutica* (46,15 %). Указанные 11 видов составляли «ядро населения» макробентоса твердых грунтов в горизонте глубин до 14 м. На долю «ядра» приходилось 9 % общего видового богатства, 91 % видов составляли «аспект разнообразия».

Средний по обследованному району показатель биомассы составил $2768,7 \pm \pm 2115,4$ г/м², варьируя от 1491,8 до 7120,8 г/м². В общую биомассу наибольший вклад вносят бурые водоросли, двустворчатые моллюски, красные водоросли и полихеты (рис. 4). Доля губок, актиний, брюхоногих моллюсков, иглокожих и асцидий по данным выполненной нами съемки составляла 1–2 % в каждой из групп. Доля Echinoidea (морских ежей) была ничтожно мала и достигала не более 0,1 %, составляя в среднем для обследованного района 2,85 г/м².

Таблица 2
Показатели обилия макробентоса на станциях отбора проб в октябре 2021 г.
Table 2
Abundance of macrobenthos in the Avachinsky Bay in October 2021, by sampling stations

№ станции	Район, глубина, грунт	ЧВ _р	ЧВ _ж	ЧВ _{общ}	Б _р	Б _ж	Б _{общ}	ПП _ж
1	Бухта Лиственничная, 5 м, валун	13	20	33	1707,1 ± 988,9	70,7 ± 52,4	1777,8 ± 1071,4	254,7 ± 179,6
2	Бухта Лиственничная, 6 м, скала	16	14	30	1631,6 ± 1218,7	191,1 ± 84,1	1822,7 ± 856,9	2589,4 ± 1689,5
3	Бухта Вилучинская, 6 м, валун, ракуша	14	15	29	1260,8 ± 1219,4	231,7 ± 158,2	1492,5 ± 1377,5	268,4 ± 213,5
4	Бухта Вилучинская, 4 м, валун, ракуша	14	17	31	1795,5 ± 1539,1	86,1 ± 56,7	1881,6 ± 1635,5	806,3 ± 698,2
5	Бухта Спасения, 7 м, валун	14	0	14	1853,3 ± 918,7	0	1857,3 ± 918,7	0
6	Бухта Спасения, 4 м, валун	13	7	20	1715,6 ± 1272,4	425,8 ± 227,3	2141,4 ± 1478,6	161,8 ± 75,2
7	Бухта Малая Лагерная, 4 м, скала, риф	7	5	12	652,4 ± 521,8	1476,3 ± 642,8	2128,7 ± 1025,2	174,8 ± 83,7
8	Район мыса Налычева, 8 м, песок, камни	4	8	12	1301,4 ± 1131,9	3777,5 ± 2106,7	5078,9 ± 3238,7	3507,1 ± 2646,4
9	Район о. Крашенинникова, 10 м, скала	10	19	29	933,3 ± 313,8	624,4 ± 393,6	1557,7 ± 1206,8	1591,8 ± 1547,5
10	Район о. Крашенинникова, 14 м, скала	10	22	32	797,7 ± 639,8	6323,1 ± 4681,9	7120,8 ± 5421,8	10561,3 ± 7918,4
Ср. знач.		11,5 ± 3,5	12,3 ± 7,1	23,8 ± 8,4	1345,4 ± 350,4	1423,3 ± 2346,6	2768,7 ± 2115,4	2449,9 ± 1502,1

Примечание. Здесь и далее: ЧВ — число видов (растений, животных, общее); Б — средняя биомасса (растений, животных, общая) ± ср. откл. г/м²; ПП_ж — плотность поселения животных, экз./м².

Средняя плотность поселения макрозообентоса составляла 2449,9 ± 1502,1 экз./м² (табл. 2, рис. 5). Максимальные значения этого показателя выявлены в районе бухты Лиственничной (ст. 2), о. Крашенинникова (ст. 9) и мыса Налычева (ст. 8). Абсолютный максимум (без учета «смыва» водорослевого пояса) — более 10500 экз./м² (ст. 10). Эти колоссальные значения формировали плотные и обильные поселения тихоокеанской мидии *M. trossulus*, к которой в подводной части о. Крашенинникова добавлялись также скопления трубчатой сидячей полихеты *Schizobranchia insignis*.

Следует отметить, что в водорослевом поясе на ст. 2, 4, 9 и 10 обитает большое количество мелких амфипод (преимущественно капреллид), формирующих высокие значения плотности поселения (табл. 2). Схожая картина доминирования в общем обилии (плотности поселения) амфипод и десятиногих ракообразных была зафиксирована также камчатскими исследователями, проводившими оценку восстановления макробентоса после ВЦВ 2020 г. в бухте Вилучинской [Токранов и др., 2024].

Для тридцати наиболее массовых по показателям обилия видов (биомасса более 1 г/м²) были рассчитаны средние для всего обследованного района показатели (табл. 3). Суммарно на данные виды приходится 60 % средней биомассы всего макробентоса. В целом можно заключить, что макробентос обследованных районов по показателям обилия в октябре 2021 г. относился преимущественно к мидийно-водорослевому сообществу.

Камчатские исследователи выявили снижение почти в 2 раза общего разнообразия видов макробентоса прибрежных вод юга Камчатки (165 видов макрозообентоса фиксировалось авторами до ВЦВ осенью 2020 г. и 87 видов по данным съемки весны 2021 г.) относительно предыдущих лет было [Данилин и др., 2022, 2023; Коростелев и

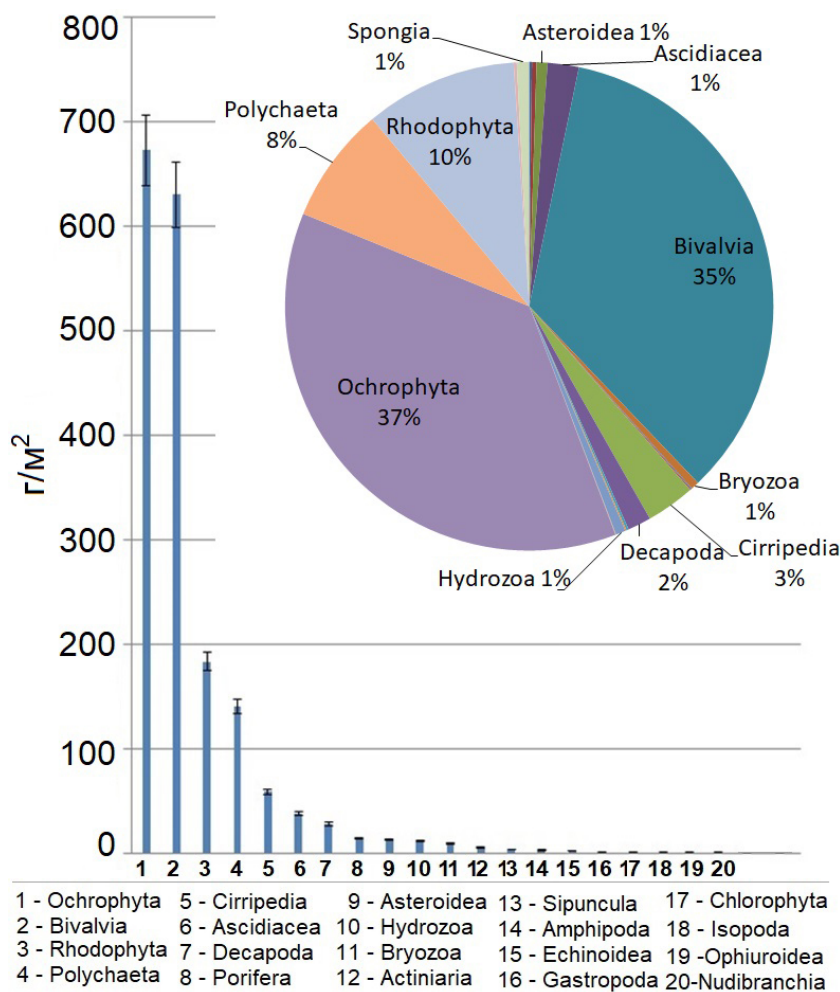


Рис. 4. Значения и доля разных таксономических групп в общей средней биомассе макробентоса твердых грунтов

Fig. 4. Biomass of certain taxonomic groups and their portions in the total biomass of macrobenthos on solid soils in the Avachinsky Bay in October 2021

др., 2023; Санамян и др., 2023; Токранов и др., 2024]. При этом к числу наиболее массовых до ВЦВ таксонов они относили иглокожих Echinodermata и моллюсков Mollusca. После ВЦВ, весной 2021 г., иглокожие уже не фиксировались коллегами как наиболее многочисленный таксон. Выполненная нами количественная съемка октября 2021 г. подтвердила результаты, зафиксированные полугодом ранее [Санамян и др., 2023]: иглокожие в пробах практически отсутствовали, а наиболее часто встречающимися и многочисленными по числу видов являлись группы Mollusca и Arthropoda.

По данным Н.П. Санамян с соавторами [2023] в группе двустворчатых моллюсков Bivalvia после ВЦВ 2020 г. в верхней сублиторали Авачинского залива *M. trossulus* остался наиболее массовым видом. Наша съемка зафиксировала такой же результат (рис. 6).

Сильно пострадали брюхоногие моллюски Gastropoda. По данным камчатских исследователей количество их видов уже весной 2021 г. сократилось почти в 2 раза. Наиболее массовый ранее вид *Cryptonatica janthostoma* в указанный период встречался единично [Санамян и др., 2023]. Экспедиция ИМО ДВФУ в октябре 2021 г. высокого обилия брюхоногих моллюсков также не обнаружила, были встречены единичные экземпляры *C. janthostoma* и *Nucella* sp. биомассой, не превышающей 1 г/м².

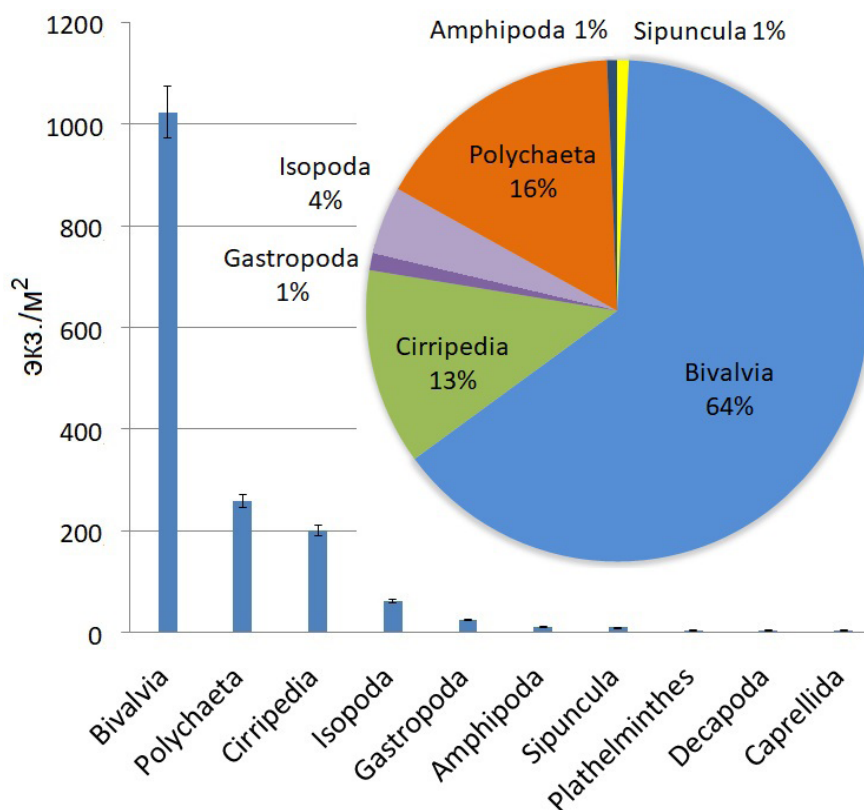


Рис. 5. Значения и доля разных таксономических групп в общей средней плотности поселения макробентоса твердых грунтов

Fig. 5. Mean abundance of certain taxonomic groups and their portions in the total number of macrobenthos on solid soils in the Avachinsky Bay in October 2021



Рис. 6. Поселения *M. trossulus* в районе о. Крашенинникова (ст. 10, данные съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.)

Fig. 6. Settlements of *M. trossulus* at Krashenninnikov Island (station 10) in the Avachinsky Bay in October 2021

По нашим данным, наиболее массовый вид седиментарных многощетинковых червей *S. insignis* практически не пострадал. В районе о. Крашенинникова и мыса Налычева осенью 2021 г. были распространены крупные колонии этих многощетинковых червей (рис. 7).

По данным Н.П. Самаян с соавторами [2023] весной 2021 г. в составе макробентоса и придонном горизонте выявлялись массовые скопления амфипод, которые,

Таблица 3

Средние биомасса (г/м²) и плотность поселения (экз./м²) наиболее массовых видов макробентоса по данным съемки октября 2021 г.

Table 3

Mean biomass (g/m²) and abundance (ind./m²) for the mass species of macrobenthos on solid soils in the Avachinsky Bay in October 2021

№ п/п	Группа	Вид	Биомасса	Плотность поселения
1	Bivalvia	<i>Mytilus trossulus</i>	621,7 ± 566,1	975,0 ± 1235,7
2	Ochrophyta	<i>Hedophyllum bongardianum</i>	435,4 ± 415,8	–
3	Polychaeta	<i>Schisobranchia insignis</i>	137,5 ± 132,8	122,8 ± 207,8
4	Rhodophyta	<i>Ptilota asplenoides</i>	130,9 ± 92,3	–
5	Ochrophyta	<i>Thalassiophyllum clathrus</i>	84,9 ± 75,9	–
6	Cirripedia	<i>Semibalanus cariosus</i>	56,7 ± 101,6	199,2 ± 367,0
7	Ochrophyta	<i>Saccharina gurjanovae</i>	51,8 ± 95,2	–
8	Ochrophyta	<i>Desmarestia intermedia</i>	49,2 ± 58,6	–
9	Ochrophyta	<i>Agarum clathratum</i>	44,7 ± 57,7	–
10	Rhodophyta	<i>Phycodrys riggii</i>	25,9 ± 39,1	–
11	Asteroidea	<i>Asterias rathbuni</i>	12,9 ± 22,3	0,6 ± 1,0
12	Hydrozoa	<i>Abietinaria annulata</i>	11,8 ± 16,0	–
13	Rhodophyta	<i>Devaleraea mollis</i>	11,1 ± 20,4	–
14	Decapoda	<i>Pagurus middendorffii</i>	10,3 ± 14,4	1,5 ± 2,1
15	Bryozoa	<i>Membranipora</i> sp.	9,8 ± 13,1	–
16	Ochrophyta	<i>Alaria marginata</i>	6,9 ± 11,5	–
17	Rhodophyta	<i>Odonthalia kamtschatica</i>	6,1 ± 8,1	–
18	Bivalvia	<i>Hiattella arctica</i>	6,0 ± 9,8	45,6 ± 68,6
19	Decapoda	<i>Telmessus cheiragonus</i>	5,1 ± 3,1	0,1 ± 0,2
20	Decapoda	<i>Scyra bidentata</i>	5,0 ± 7,7	0,6 ± 0,7
21	Rhodophyta	<i>Constantinea rosa-marina</i>	4,4 ± 8,2	–
22	Decapoda	<i>Chionoecetes opilio</i>	3,6 ± 6,2	0,2 ± 0,3
23	Decapoda	<i>Paralithodes brevipes</i>	2,8 ± 5,3	0,0 ± 0,0
24	Echinoidea	<i>Strongylocentrotus polyacanthus</i>	2,8 ± 4,8	0,2 ± 0,3
25	Bivalvia	<i>Mactromeris polynyma</i>	2,4 ± 4,4	2,5 ± 4,4
26	Rhodophyta	<i>Bossiella compressa</i>	1,9 ± 2,7	–
27	Decapoda	<i>Elassochirus gilli</i>	1,0 ± 1,9	0,4 ± 0,8
28	Chlorophyta	<i>Ulvaria splendens</i>	0,7 ± 1,2	–
29	Chlorophyta	<i>Ulva fenestrata</i>	0,6 ± 0,8	–
30	Isopoda	<i>Idotea aleutica</i>	0,5 ± 0,8	62,3 ± 96,0

Примечание. ± — среднее отклонение.

по их мнению, не пострадали вследствие ВЦВ, а обилие детрита, образовавшегося в результате гибели гидробионтов, наоборот, могло привести к увеличению их численности [Данилин и др., 2023]. В октябре 2021 г. нами также обнаружено очень большое количество разноногих ракообразных Amphipoda, обитающих в водорослевом поясе, в том числе большое количество морских козочек *Caprella* sp. (более 10 тыс. экз./м²) (табл. 3).

Кроме того, в ранних работах [Данилин и др., 2022, 2023; Коростелев и др., 2023; Санамян и др., 2023] и нашем исследовании отмечены высокая встречаемость и биомасса десятиногих ракообразных Decapoda. По мнению камчатских коллег [Данилин и др., 2023; Санамян и др., 2023], снижение пресса хищников и обилие освободившихся от погибших моллюсков раковин, а также возросшее количество детрита (в связи с массовым замором) способствовали увеличению численности этих ракообразных. По нашим данным доми-

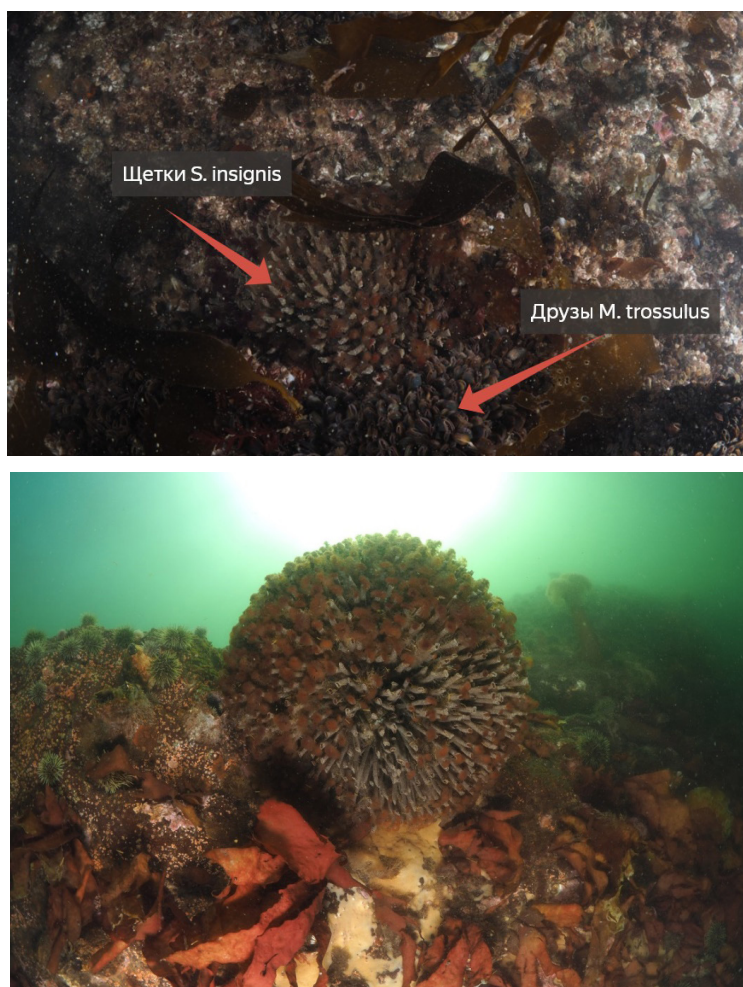


Рис. 7. Поселения *S. insignis* в районе о. Крашенинникова (вверху, ст. 9) и в бухте Малой Лагерной (внизу, ст. 7) по данным съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.

Fig. 7. Settlements of *S. insignis* at Krasheninnikov Island (station 9, **upper photo**) and in the Malaya Lagernaya Bay (station 7, **lower photo**) in the Avachinsky Bay in October 2021

нирующими видами Decapoda были *Pagurus middendorffii*, *Scyra bidentata*, *Elassochirus gilli*. Наиболее часто (встречаемость более 46 %) попадался волосатый пятиугольный краб *Telmessus cheiragonus* (рис. 8, 9). Из промысловых крабов в охваченной исследованиями прибрежной зоне встречались также краб-стригун *Chionoecetes opilio* и ювенильные экземпляры камчатского *Paralithodes camtschaticus* и колючего *P. brevipes* крабов. Таким образом, с учетом полученных ранее и наших данных группа ракообразных в целом не сильно пострадала в период и после ВЦВ 2020 г., а раки-отшельники, бокоплавы и морские козочки даже значительно увеличили свою численность.

По данным исследований весной 2021 г. сильно уменьшилась численность актиний Anthozoa, практически перестал встречаться самый массовый вид *Cnidopus japonicus* [Санамян и др., 2023]. Осенью 2021 г. в пробах, отобранных экспедицией ИМО ДВФУ, были обнаружены единичные экземпляры *C. japonicus*, а также *Urticina grebelny*. Исключение составляют зафиксированные нами в бухте Малой Лагерной скопления актинии *Metridium senile*, формирующей (рис. 10) довольно высокое обилие на валунах в горизонте глубин 3–4 м.

По материалам ранних исследований в группе асцидий Ascidiacea колониальные формы пострадали в меньшей степени, чем одиночные, однако общее видовое богатство



Рис. 8. Крабы-пауки на засыпанном детритом валуне в районе о. Крашенинникова (ст. 9, данные съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.)

Fig. 8. Spider crabs on a boulder filled with detritus at Krasheninnikov Island (station 9) in the Avachinsky Bay in October 2021



Рис. 9. Пятиугольный волосатый краб в районе о. Крашенинникова (ст. 10, данные съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.)

Fig. 9. Pentagonal hairy crab at Krasheninnikov Island (station 10) in the Avachinsky Bay in October 2021

сократилось практически вдвое [Санамян и др., 2023]. На обследованных нами станциях отбора проб были встречены только немногочисленные особи *Boltenia echinata* и *Aplidium* sp.

Губки Porifera, по данным камчатских исследователей [Токранов и др., 2021, 2024; Данилин и др., 2022, 2023; Коростелев и др., 2023; Санамян и др., 2023], после ВЦВ 2020 г. погибли практически полностью и весной 2021 г. в пробах встречались единично. В пробах, собранных экспедицией ИМО ДВФУ, редким (встречаемость 3–10 %) отмечен вид *Halichondria panicea*, который до 2020 г. фиксировался камчатскими коллегами как самый массовый и ландшафтообразующий.



Рис. 10. Скопления молоди многоиглового морского ежа *Strongylocentrotus polyacanthus* и актиний на твердых субстратах в бухте Малой Лагерной (ст. 7, данные съемки ДВФУ, октябрь 2021)
Fig. 10. Aggregations of juvenile sea urchin *Strongylocentrotus polyacanthus* and sea anemones on solid soils in the Malaya Lagerneya Bay (Station 7) in the Avachinsky Bay in October 2021

В целом наши сборы подтвердили количественные оценки ученых Камчатского филиала ТИГ ДВО РАН, обследовавших прибрежную зону юго-восточной Камчатки и пришедших к выводу, что ВЦВ 2020 г. оказало наиболее неблагоприятное воздействие на численность и состав бентоса в горизонте глубин 6–18 м (<https://kamchatinfo.com/news/ecology/detail/46668/>). По данным камчатских коллег в более мелководном горизонте глубиной менее 6 м плотные поселения *M. trossulus* и усконогих раков семейства

Balanidae после ВЦВ не прекратили своего существования. В отливных лужах под камнями встречались типичные для этого биотопа представители Sipunculida, Isopoda, Amphipoda и Gastropoda, а также особи бурого морского петушка *Alectrias alectrolophus* [Данилин и др., 2021, 2022, 2023].

Наша оценка состояния макробентоса в октябре 2021 г. также подтвердила его более благополучное состояние на глубинах менее 5–6 м. Именно на глубине 4 м на ст. 7 в бухте Малой Лагерной нами обнаружено скопление молоди многоиглового морского ежа *S. polyacanthus* и поселения актиний на валунах (рис. 10). По данным проведенной нами в октябре 2021 г. водолазной съемки во всем охваченном нашими исследованиями горизонте глубин (4–14 м) водорослевый пояс твердых грунтов сублиторали Авачинского залива был достаточно обилен (рис. 11). В бухтах Вилучинской и Лиственничной выявлены высокие значения биомассы и разнообразия водорослей-макрофитов.



Рис. 11. Обрастание твердого субстрата в бухте Вилучинской бурой водорослью *Thalassiosiphonum clathrus* и красными водорослями (ст. 4, данные съемки ИМО ДВФУ, октябрь 2021 г.)

Fig. 11. Fouling of a solid substrate in the Vilyuchinskaya Bay with brown algae *Thalassiosiphonum clathrus* and red algae (station 4) in the Avachinsky Bay in October 2021

Таким образом, мелководная зона, характеризующаяся активной гидродинамикой, вероятно, не концентрировала в своей водной массе токсины фитопланктона и не испытывала нехватки растворенного кислорода, сопровождающего цветение, вследствие чего морские животные — обитатели горизонта активного перемешивания вод — в период ВЦВ выжили [Токранов, 2024]. Наибольшее влияние ВЦВ оказало на прикрепленные к субстрату группы организмов (актинии, асцидии, губки, усногие раки) и медленно передвигающихся гидробионтов (морские звезды, морские ежи, брюхоногие моллюски).

Заключение

Полученные нами сведения указывают на то, что макробентос твердых грунтов верхней сублиторали Авачинского залива осенью 2021 г. представлял собой главным образом мидийно-водорослевое сообщество. Статус *M. trossulus* как широко распространенного доминирующего в прикамчатских водах моллюска сохранился. Доминирование иглокожих на прикамчатском мелководье в октябре 2021 г. не подтверждено. Echinodermata в пробах были представлены малым числом видов, имели низкую

встречаемость и крайне низкие показатели обилия (за исключением мелководной ст. 7 в бухте Малой Лагерной).

Сравнительный анализ состояния макробентоса до и после ВЦВ по сведениям из литературных источников и нашим данным показал существенное обеднение видового богатства в зоне верхней сублиторали в горизонте глубже 6 м. В наибольшей степени сократилось разнообразие и обилие губок, актиний, брюхоногих моллюсков, иглокожих и асцидий. Донное население самых верхних горизонтов мельче отметки 6 м в период ВЦВ не пострадало. После ВЦВ в сублиторали значительно увеличилась численность амфипод и раков-отшельников, что связано с обилием детрита и уменьшением пресса хищников. Пояс макрофитов не пострадал.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность ст.н.с. НИЦМБ ДВО РАН к.б.н. А.В. Скрипцовой, за определение видов водорослей, а также А.И. Кобезовой за участие в лабораторной обработке проб макробентоса.

The authors express their gratitude to Dr. A.V. Skriptsova (Scientific Research Center of Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Ac. Sci.) for the species identification of algae and to A.I. Kobezova for her assistance in laboratory processing of macrobenthos samples.

Финансирование работы (FUNDING)

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2024-0037 «Комплексный экологический мониторинг прибрежных морских и наземных экосистем Камчатки».

The study was conducted with support of the Ministry of Science and Higher Education of Russia, project № FZNS-2024-0037 (Integrated environmental monitoring of coastal marine and terrestrial ecosystems of Kamchatka).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

В ходе исследования не проводились эксперименты с животными. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The study does not include experiments with animals conducted by any author. The authors declare that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Ю.А. Галышева участвовала в экспедиционных работах, первичной обработке проб на борту судна, идентификации видов макрозообентоса и анализе количественных данных. В.А. Чиченко принимала участие в лабораторном анализе проб макробентоса, цифровой и графической обработке данных, В.Е. Метревели осуществлял лабораторную обработку проб макробентоса, проверку актуального систематического положения по электронной базе данных, поиск и анализ литературы. Обработка данных, обсуждение результатов исследования, подготовка статьи — совместно.

Yu.A. Galysheva — sampling in marine expedition, onboard primary processing of samples, identification of macrozoobenthos species, data analysis; V.A. Chichenko — laboratory analysis of macrobenthos samples, digital and graphical data processing; V.E. Metreveli — laboratory processing of macrobenthos samples, checking the current systematic position of macrobenthos species, analysis of scientific literature. The data were collected and processed, the research results were discussed, and the manuscript was written and illustrated by two authors jointly.

Список литературы

Атлас двустворчатых моллюсков дальневосточных морей России / сост. С.В. Явнов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Владивосток : Русский Остров, 2016. — 272 с.

Атлас иглокожих и асцидий дальневосточных морей России / С.В. Явнов ; под ред. В.А. Ракова. — Владивосток : Русский Остров, 2010а. — 240 с.

Атлас кишечнорастных дальневосточных морей России / С.В. Явнов ; под ред. В.И. Чучукало. — Владивосток : Русский Остров, 2010б. — 168 с.

Атлас морских звезд дальневосточных морей России / С.В. Явнов ; под ред. В.А. Ракова. — Владивосток : Русский Остров, 2010в. — 240 с.

Данилин Д.Д., Будникова Л.Л., Сахаровский С. И. и др. Предварительные результаты обследования литоральной зоны Южно-Камчатского природного парка // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : мат-лы 22-й междунар. науч. конф. — Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс, 2021. — С. 184–189. DOI: 10.53657/9785961004038_184.

Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г., Коростелев С.Г. и др. Динамика бентосных сообществ верхней сублиторали Юго-Восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей (ВЦВ) осенью 2020 г. // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные, природно-ресурсные и социально-экономические структуры : сб. науч. ст. — Владивосток : ТИГ ДВО РАН, 2023. — С. 23–27. DOI: 10.35735/9785604844175_23.

Данилин Д.Д., Коростелев С.Г., Жигадлова Г.Г. и др. Результаты изучения восстановительного потенциала прибрежных экосистем Восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года // Россия в Десятилетии ООН наук об океане : тез. докл. на Первой Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Россия в Десятилетии ООН наук об океане». — М. : РТУ МИРЭА, 2022. — С. 225–228.

Жирмунский А.В., Коновалова Г.В. «Красные приливы» в заливе Петра Великого Японского моря // Биол. моря. — 1982. — № 5. — С. 3–6.

Коростелев С.Г., Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г. и др. Сукцессия прибрежных сообществ гидробионтов, вызванная вредоносным цветением водорослей в 2020 году в тихоокеанских водах Камчатки и северных Курильских островов // Морские экспедиционные исследования России в 2022 году : тез. докл. конф. «Итоги экспедиционных исследований в 2022 году в Мировом океане, внутренних водах, на архипелаге Шпицберген и полуострове Камчатка». — М. : РТУ МИРЭА, 2023. — С. 299–304.

Лутасенко К.А., Волвенко И.Е. Малый атлас двусторчатых моллюсков залива Петра Великого (Японское море). — Владивосток : ДВФУ, 2022. — 140 с.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Распределение и классификация макрозообентоса залива Петра Великого Японского моря по отношению к загрязнению донных отложений // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 3. — С. 623–639. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-623-639. EDN: FZIAEB.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Сообщества макрозообентоса рыхлых грунтов прибрежных акваторий открытой части залива Петра Великого Японского моря и их экологическое состояние // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 3. — С. 581–600. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-581-600. EDN: ZEVAIV.

Надточий В.А., Прокопенко К.М. Атлас брюхоногих моллюсков дальневосточных морей России (Сем. Buccinidae). — Владивосток : ТИНРО-центр, 2006. — 190 с.

Санамян Н.П., Коробок А.В., Санамян К.Э. Качественная оценка последствий влияния вредоносного цветения водорослей осенью 2020 года у побережья юго-восточной Камчатки (Северо-Западная Пацифика) на мелководные бентосные сообщества // Вестн. КамчатГТУ. — 2023. — № 63. — С. 22–44. DOI: 10.17217/2079-0333-2023-63-22-44.

Слизкин А.Г. Атлас-определитель крабов и креветок дальневосточных морей России. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2010. — 256 с.

Токранов А.М. Современный состав сообщества рыб галечно-валунных участков приливо-отливной зоны Авачинского залива (Юго-Восточная Камчатка) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. — 2024. — № 3. — С. 64–73. DOI: 10.34078/1814-0998-2024-3-64-73.

Токранов А.М., Бурдин А.М., Данилин Д.Д. и др. Состояние прибрежной биоты Юго-Восточной Камчатки и северных Курильских островов спустя три года после вредоносного «цветения» водорослей осенью 2020 года // Геосистемы Северо-Восточной Азии: природные и социально-экономические факторы и структуры : сб. науч. статей. — Владивосток : ТИГ ДВО РАН, 2024. — С. 95–101. DOI: 10.35735/9785604968338_95.

Токранов А.М., Данилин Д. Д., Жигадлова Г.Г. и др. Оценка воздействия возникшей осенью 2020 г. у берегов Камчатки неблагоприятной экологической обстановки на представителей различных групп гидробионтов // Морские исследования и образование (MARESEDU-2021) : тр. 10-й Междунар. науч.-практ. конф. — Тверь : ПолиПРЕСС, 2021. — Т. 2. — С. 93–96.

Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России : моногр. — Владивосток : ТИПРО-центр, 2001. — Т. 1. — 580 с.

Bates S.S., de Freitas A.S.W., Milley J.E. et al. Controls on Domoic Acid Production by the Diatom *Nitzschia pungens* f. *multiseries* in Culture: Nutrients and Irradiance // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* — 1991. — Vol. 48. — P. 1136–1144.

Bondur V.G., Zamshin V.V., Chvertkova O.I. et al. Detection and Analysis of the Causes of Intensive Harmful Algal Bloom in Kamchatka Based on Satellite Data // *J. Mar. Sci. Engineering.* — 2021. — Vol. 9(10). — P. 1092. DOI: 10.3390/jmse9101092.

Fu F.X., Tatters A.O., Hutchins D.A. Global change and the future of harmful algal blooms in the ocean // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 2012. — Vol. 470. — P. 207–233. DOI: 10.3354/meps10047.

Fukuyo Y., Imai I., Kodama M., Tamai K. Red tides and other harmful algal blooms in Japan // *Harmful Algal Blooms in the PICES Region of the North Pacific : PICES Sci. Rep.* — 2002. — № 23. — P. 7–20.

Griffith A.W., Gobler C.J. Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems // *Harmful Algae.* — 2020. — Vol. 91. — P. 101590. DOI: 10.1016/j.hal.2019.03.008.

Hallegraeff G.M., Enevoldsen H.O., Zingone A. Global harmful algal bloom status reporting // *Harmful Algae.* — 2021. — Vol. 102. — P. 101992. DOI: 10.1016/j.hal.2021.101992.

Kazmi S.S., Yapa N., Karunarathna S.C., Suwannarach N. Perceived Intensification in Harmful Algal Blooms Is a Wave of Cumulative Threat to the Aquatic Ecosystems // *Biology.* — 2022. — Vol. 11(6). — P. 852. DOI: 10.3390/biology11060852.

Khesina Z.B., Karnaeva A.E., Pytskii I.S., Buryak A.K. The mysterious mass death of marine organisms on the Kamchatka Peninsula: A consequence of a technogenic impact on the environment or a natural phenomenon? // *Mar. Pollut. Bull.* — 2021. — Vol. 166(10). — P. 112175. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2021.112175.

Kuroda H., Azumaya T., Setou T., Hasegawa N. Unprecedented Outbreak of Harmful Algae in Pacific Coastal Waters off Southeast Hokkaido, Japan, during Late Summer 2021 after Record-Breaking Marine Heatwaves // *J. Mar. Sci. Engineering.* 2021. — Vol. 9(12). — P. 1335. DOI: 10.3390/jmse9121335.

Orlova T.Y., Aleksanin A.I., Lepskaya E.V. et al. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020 // *Harmful Algae.* — 2022. — Vol. 120. — P. 102337. DOI: 10.1016/j.hal.2022.102337.

References

Yavnov, S.V., *Atlas dvustvorchatykh mollyuskov dal'nevostochnykh morei Rossii* (Atlas of Bivalves from the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2016, 2nd ed.

Yavnov, S.V., *Atlas iglokozhih i astsidiy dal'nevostochnykh morey Rossii* (Atlas of echinoderms and ascidians of the Far Eastern seas of Russia), Rakov, V.A., ed., Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2010.

Yavnov, S.V., *Atlas kishechnopolostnykh dal'nevostochnykh morey Rossii* (Atlas of the coelenterates of the Far Eastern seas of Russia), Chuchukalo, V.I., ed., Vladivostok: Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2010.

Yavnov, S.V., *Atlas morskikh zvezd dal'nevostochnykh morey Rossii* (Atlas of sea stars of the Far Eastern seas of Russia), Rakov, V.A., ed., Vladivostok: Russkiy Ostrov, 2010.

Danilin, D.D., Budnikova, L.L., Sakharovsky S.I., Tokranov, A.M., Zhigadlova, G.G., Sanamyan, N.P., Sanamyan, K.E., and Ivanova, A.S., Preliminary results of the survey of the littoral zone of the South Kamchatka natural park, in *Mater. 22-y mezhdunar. nauch. konf "Sokhraneniye bioraznoobraziya Kamchatki i prilegayushchikh morey"* (Mater. of the 22nd Int. Sci. Conf. "Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas"), Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2021, pp. 184–189. doi 10.53657/9785961004038_184

Danilin, D.D., Zhigadlova, G.G., Korostelev, S.G., Sanamyan, K.E., Sanamyan, N.P., and Tokranov, A.M., dynamics of benthic communities of the upper sublittoral of South-Eastern Kamchatka after a harmful algal bloom (Hab) in the autumn of 2020, in *Sb. nauch. st. "Geosistemy Severo-Vostochnoy Azii: prirodnyye, prirodno-resursnyye i sotsial'no-ekonomicheskiye struktury"* (Sat. scientific Art. "Geosystems of North-East Asia: natural, natural resource and socio-economic structures"), Vladivostok: Tikhookean. Inst. Geogr. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2022, pp. 23–27. doi 10.35735/9785604844175_23

Danilin, D.D., Korostelev, S.G., Zhigadlova, G.G., Sanamyan, K.E., Sanamyan, N.P., and Tokranov, A.M., Results of a study of the restoration potential of coastal ecosystems in Eastern Kamchatka

after a harmful algal bloom in the fall of 2020, in *Tez. dokl. "Rossiya v Desyatiletii OON nauk ob okeane"* (Proc. All. "Russia in the UN Decade of Ocean Sciences"), Moscow: RTU MIREA, 2022, pp. 225–228.

Zhirumsky, A.V. and Konovalova, G.V., "Red tides" in Peter the Great Bay, Sea of Japan, *Russ. J. Mar. Biol.*, 1982, no. 5, pp. 3–6.

Korostelev, S.G., Danilin, D.D., Zhigadlova, G.G., Sanamyan, K.E., Sanamyan, N.P., and Tokranov, A.A., Succession of coastal aquatic communities caused by the 2020 harmful algal bloom in the Pacific waters of Kamchatka and the northern Kuril Islands, in *Tez. dokl. na Pervoy Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem «Rossiya v Desyatiletii OON nauk ob okeane»* "Itogi ekspeditsionnykh issledovaniy v 2022 godu v Mirovom okeane, vnutrennikh vodakh, na arhipelaghe Shpitsbergen i poluostrove Kamchatka" (Abstract report conf. «Results of expeditionary research in 2022 in the World Ocean, inland waters, the Spitsbergen archipelago and the Kamchatka Peninsula» "Marine expeditionary research in Russia in 2022"), Moscow: RTU MIREA, 2023, pp. 299–304.

Lutaenko, K.A. and Volvenko, I.E., *Atlas of Common Bivalve Mollusks of Peter the Great Bay* (Sea of Japan), Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2022.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., and Borisov, B.M., Distribution and classification of macrozoobenthos in Peter the Great Bay of Japan Sea in relation to contamination of bottom sediments, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 3, pp. 623–639. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-623-639. EDN: FMKCOF.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., and Borisov, B.M., Communities of macrozoobenthos on soft sediments in the coastal areas of open parts of Peter the Great Bay Japan Sea and their ecological status, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 3, pp. 581–600. doi 10.26428/1606-9919-2023-203-581-600. EDN: ZEVAIV.

Nadtochiy, V.A. and Prokopenko, K.M., *Atlas bryukhonogikh mollyuskov dal'nevostochnykh morey Rossii (Sem. Buccinidae)* (Atlas of gastropods of the Far Eastern seas of Russia (Fam. Buccinidae)), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2006.

Sanamyan, N.P., Korobok, A.V., and Sanamyan, K.E., Qualitative assessment of algae harmful bloom impact in autumn 2020 off the coast of south-eastern Kamchatka (North-West Pacific) on shallow-water benthic communities, *Vestn. Kamchatskogo Gos. Tekh. Univ.*, 2023, no. 63, pp. 22–44. doi 10.17217/2079-0333-2023-63-22-44

Slizkin, A.G., *Atlas-opredelitel' krabov i krevetok dal'nevostochnykh morey Rossii* (Atlas-determinant of crabs and shrimps of the Far Eastern seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2010.

Tokranov, A.M., Fish community composition in pebble-boulder areas of the Avacha Gulf intertidal zone (Southeastern Kamchatka), *Vestn. Sev.-Vost. Nauch. Tsentra, Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk*, 2024, no. 3, pp. 64–73. doi 10.34078/1814-0998-2024-3-64-73

Tokranov, A.M., Burdin, A.M., Danilin, D.D., Zhigadlova, G.G., Kornev, S.I., Korostelev, S.G., Sanamyan, K.E., and Sanamyan, N.P., The state of the coastal biota of South-Eastern Kamchatka and the northern Kuril Islands three years after the harmful algae bloom in the fall of 2020, in *Collection of scientific articles "Geosystems of North-East Asia: natural and socio-economic factors and structures"*, Vladivostok: Tikhookean. Inst. Geogr. Dal'nevost. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2024, pp. 95–101. doi 10.35735/9785604968338_95

Tokranov, A.M., Danilin, D.D., Zhigadlova, G.G., Sanamyan, K.E., Sanamyan, N.P., and Usatov I.A., Evaluation of the affect of negative ecological situation arisen near coasts of Kamchatka in autumn 2020 to different groups of hydrobionts, in *Tr. 10-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Morskiye issledovaniya i obrazovaniye (MARESEDU-2021)"* (Tr. 10th Int. scientific-practical conf. "Marine Research and Education (MARESEDU-2021)"), Tver: Polypress, 2021, vol. 2, pp. 93–96.

Shuntov, V.P., *Biologiya dal'nevostochnykh morei Rossii* (Biology of the Far Eastern Seas of Russia), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001, vol. 1.

Bates, S.S., de Freitas, A.S.W., Milley, J.E., Pocklington, R., Quilliam, M.A., Smith, J.G., and Worms, J., Controls on Domoic Acid Production by the Diatom *Nitzschia pungens* f. multiseries in Culture: Nutrients and Irradiance, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1991, vol. 48, pp. 1136–1144.

Bondur, V.G., Zamshin, V.V., Chvertkova, O.I., Matrosova, E.R., and Khodaeva, V.N., Detection and Analysis of the Causes of Intensive Harmful Algal Bloom in Kamchatka Based on Satellite Data, *J. Mar. Sci. Engineering*, 2021, vol. 9(10), pp. 1092. doi 10.3390/jmse9101092

Fu, F.X., Tatters, A.O., and Hutchins, D.A., Global change and the future of harmful algal blooms in the ocean, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 2012, vol. 470, pp. 207–233. doi 10.3354/meps10047

Fukuyo, Y., Imai, I., Kodama, M., and Tamai, K., Red tides and other harmful algal blooms in Japan, Harmful Algal Blooms in the PICES Region of the North Pacific., *PICES Sci. Rep.*, 2002, no. 23, pp. 7–20.

Griffith, A.W. and Gobler, C.J., Harmful algal blooms: A climate change co-stressor in marine and freshwater ecosystems, *Harmful Algae*, 2020, vol. 91, pp. 101590. doi 10.1016/j.hal.2019.03.008

Hallegraeff, G.M., Enevoldsen, H.O., and Zingone, A., Global harmful algal bloom status reporting, *Harmful Algae*, 2021, vol. 102, pp. 101992. doi 10.1016/j.hal.2021.101992

Kazmi, S.S., Yapa, N., Karunarathna, S.C., and Suwannarach, N., Perceived Intensification in Harmful Algal Blooms Is a Wave of Cumulative Threat to the Aquatic Ecosystems, *Biology*, 2022, vol. 11(6), pp. 852. doi 10.3390/biology11060852

Khesina, Z.B., Karnaeva, A.E., Pytskii, I.S., and Buryak, A.K., The mysterious mass death of marine organisms on the Kamchatka Peninsula: A consequence of a technogenic impact on the environment or a natural phenomenon?, *Mar. Pollut. Bull.*, 2021, vol. 166(10), pp. 112175. doi 10.1016/j.marpolbul.2021.112175

Kuroda, H., Azumaya, T., Setou, T., and Hasegawa, N., Unprecedented Outbreak of Harmful Algae in Pacific Coastal Waters off Southeast Hokkaido, Japan, during Late Summer 2021 after Record-Breaking Marine Heatwaves, *J. Mar. Sci. Engineering*, 2021, vol. 9(12), pp. 1335. doi 10.3390/jmse9121335

Orlova, T.Y., Aleksanin, A.I., Lepskaya, E.V., Efimova, K.V., Selina, M.S., Morozova, T.V., Stonik, I.V., Kachur, V.A., Karpenko, A.A., Vinnikov, K.A., Adrianov, A.V., and Iwataki, M., A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020, *Harmful Algae*, 2022, vol. 120, pp. 102337. doi 10.1016/j.hal.2022.102337

<https://kamchatinfo.com/news/ecology/detail/46668/>. Cited September 27, 2024.

Поступила в редакцию 21.10.2024 г.

После доработки 6.12.2024 г.

Принята к публикации 10.12.2024 г.

*The article was submitted 21.10.2024; approved after reviewing 6.12.2024;
accepted for publication 10.12.2024*