



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский институт географии
Дальневосточного отделения Российской академии наук
Дальневосточный федеральный университет
Русское географическое общество
Президиум Дальневосточного отделения РАН

ГЕОСИСТЕМЫ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ: природные и социально-экономические факторы и структуры



Владивосток
2024

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский институт географии
Дальневосточного отделения Российской академии наук

Дальневосточный федеральный университет

Русское географическое общество

Президиум Дальневосточного отделения РАН

**ГЕОСИСТЕМЫ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ:
природные и социально-экономические
факторы и структуры**

Сборник научных статей

Редакторы

П.Я. Бакланов, *К.С. Ганзей, А.В. Мошков*

Владивосток
2024

**СОСТОЯНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ БИОТЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ И
СЕВЕРНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ СПУСТЯ ТРИ ГОДА ПОСЛЕ
ВРЕДНОСНОГО «ЦВЕТЕНИЯ» ВОДОРΟΣЛЕЙ ОСЕНЬЮ 2020 ГОДА**

**Токранов А.М., Бурдин А.М., Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г., Корнев С.И.,
Коростелев С.Г., Санамян К.Э., Санамян Н.П.,**

*Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии
наук, г. Петропавловск-Камчатский*

Аннотация. Результаты комплексных исследований, выполненных в прибрежье Юго-Восточной Камчатки и северных Курильских островов в 2021-2023 гг., свидетельствуют, что вредоносное «цветение» водорослей (ВЦВ) практически не оказало негативного воздействия на обитателей приливно-отливной зоны и водоросли-макрофиты. Однако ситуация с восстановлением видового разнообразия донных беспозвоночных в верхней сублиторали до настоящего времени принципиально не улучшилась. ВЦВ почти не повлияло на численность активно перемещающихся представителей ихтиофауны, но оказало косвенное воздействие на их батиметрическое распределение и состав сообщества рыб в зоне верхней сублиторали. Основной причиной снижения численности калана в прибрежье юга Камчатки и северных Курильских островов и, напротив, её увеличение в Кроноцком заливе, по-видимому, явилось сокращение в двух первых районах главных кормовых объектов этого вида – морских ежей и крупных двустворчатых моллюсков.

Ключевые слова: Южная Камчатка, Северные Курилы, литораль, верхняя сублитораль, вредоносное «цветение» водорослей, донные беспозвоночные, водоросли, рыбы, калан

**THE STATE OF THE COASTAL BIOTA OF SOUTHEASTERN KAMCHATKA AND
THE NORTHERN KURIL ISLANDS THREE YEARS AFTER THE HARMFUL ALGAE
BLOOM IN THE AUTUMN OF 2020**

**Tokranov A.M., Burdin A.V., Danilin D.D., Zhigadlova G.G., Korostelev S.G., Kornev S. I.,
Sanamyant K.E., Sanamyant N.P.**

*Kamchatka Branch of Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian
Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky*

Annotation. The results of comprehensive studies carried out in the coast of Southeastern Kamchatka and the northern Kuril Islands in 2021-2023 indicate that harmful algal blooms had virtually no negative impact on the inhabitants of the tidal zone and macrophyte algae. However, the situation with the restoration of species diversity of benthic invertebrates in the upper sublittoral has not improved. HCV had almost no effect on the number of actively moving representatives of the ichthyofauna, but had an indirect effect on their bathymetric distribution and the composition of the fish community in the upper sublittoral zone. The main reason for the decrease in the number of sea otter in the coast of the south of Kamchatka and the northern Kuril Islands, and, on the contrary, its increase in the Kronotsky Bay, apparently, was the reduction in the first two areas of the main feeding sites of this species - sea urchins and large bivalves.

Key words: Southern Kamchatka, Northern Kuriles, littoral, upper sublittoral, harmful "blooming" of algae, benthic invertebrates, algae, fish, sea otter

Введение. В конце сентября, первой половине октября 2020 г. в прибрежных водах Авачинского залива, юго-восточной и юго-западной Камчатки, а также с тихоокеанской стороны северных Курильских островов наблюдалась массовая гибель донных морских организмов в зоне верхней сублиторали. Специалисты различных российских исследовательских центров и природоохранных организаций после обстоятельного обследования прибрежной акватории пришли к заключению, что причина возникшей неблагоприятной экологической обстановки - природное явление, называемое «красным приливом» или вредоносным цветением водорослей (далее – ВЦВ), вызванное бурным развитием токсичных одноклеточных водорослей рода *Karenia* [1].

Исследованиями НИИ «Аэрокосмос» спутниковых данных температуры морской поверхности (ТМП) за 40-летний период и фотосинтетической активной радиации (ФАР) за последние 20 лет, показано, что в мае 2020 г. наблюдался рекордно высокий уровень ФАР, а в июле одно из самых высоких значений ТМП. Развитие явления ВЦВ подтверждается рекордно высокими значениями концентрации хлорофилла-а в сентябре-октябре 2020 г. за период 2000-2020 гг. [2-4]. Аналогичные выводы [5] были сделаны и при анализе ВЦВ у южных Курильских островов и о-ва Хоккайдо в 2021 г.

Кроме высоких температур и солнечной радиации для вспышки развития водорослей необходим высокий уровень биогенных элементов в поверхностном слое. Возможны три их источника, смыв с прибрежных территорий во время прохождения мощных циклонов, один из которых наблюдался в августе 2020 г., подъем богатых биогенами глубинных вод в результате апвеллинга и выпадение вулканического пепла в результате непрекращающегося с 1996 г. извержения вулкана Карымский.

Материалы и методы. В 2021-2023 гг. в рамках комплексной межведомственной программы «Экологическая безопасность Камчатки: изучение и мониторинг опасных природных явлений и антропогенных воздействий» сотрудники КФ ТИГ ДВО РАН проводили изучение последствий воздействия на прибрежную биоту вредоносного «цветения» водорослей (ВЦВ) осенью 2020 г.

За три года выполнено 19 судовых выходов для обследования прибрежной зоны юго-восточной Камчатки от бух. Бараньей на севере до бух. Вестник на юге, во время которых водолазами исследованы отдельные участки верхней сублиторали; проведено 16 контрольных удебных обловов рыб на глубинах от 4 до 40 м и 5 количественных бентосных съёмок в бух. Вилючинской. Кроме того, в период с апреля по сентябрь выполнено 65 обследований приливно-отливной зоны северо-восточной части Авачинской губы, бухт Безымянной и Вилючинской, а также о-вов Старичков и Крашенинникова, в прибрежных водах которого осенью 2020 г. отмечена массовая гибель донных организмов (рис. 1).

Результаты и их обсуждение. Результаты проведённых в 2021-2023 гг. исследований по оценке последствий воздействия ВЦВ на прибрежную биоту юго-восточной Камчатки свидетельствуют, что на видовой состав и численность обитателей литорали, оно оказалась значительно меньшим, чем на гидробионты верхней сублиторали. На обследованных участках приливно-отливной зоны Авачинской губы и о-ва Крашенинникова встречались достаточно плотные поселения тихоокеанской мидии разного возраста и усонюгих раков, в отливных лужах под камнями – типичные для данного биотопа различные представители беспозвоночных (многощетинковые черви, равноногие, разноногие ракообразные и раки-отшельники, брюхоногие моллюски и др.), а также особи бурого морского петушка в возрасте от сеголетков (0+) до 7 лет. Установлено, что прямого негативного воздействия на видовой состав и обилие водорослей-макрофитов в прибрежье юго-восточной Камчатки ВЦВ также не оказало.

На глубинах же от 4-5 до 18 м произошло сильное обеднение фауны, из состава которой выпали не только отдельные виды, но и целые группы животных. В частности, почти полностью погибли губки и многолетние колонии мягких кораллов, а также более половины всех видов актиний. Сильно пострадали моллюски: некоторые виды не найдены,

другие встречались единично или очень редко. Не обнаружена половина из ранее зарегистрированных здесь видов морских звезд, численность оставшихся сильно снизилась, также резко сократилась и численность офиур; исчезли крупные морские ежи, остались мелкие, до 3-4 см в диаметре. Меньше негативное воздействие сказалось на гидроидах, сидячих многощетинковых червях.



Рис. 1. Места водолазных обследований, контрольных удебных обловов рыб и литоральных сборов в Авачинском заливе в апреле-сентябре 2021-2023 гг.

При этом, увеличилась численность ставромедуз, форонид, амфипод (морских козочек и бокоплавов), раков-отшельников. На освобожденных от обрастателей (губки, колониальные асцидии) поверхностях валунов и скал появились мелкие домики баянусов и розовые точки кораллиновых инкрустирующих водорослей.

Таким образом, в меньшей степени пострадали беспозвоночные, зарывающиеся в грунт или скрывающиеся в своих защитных убежищах, например, колонии трубчатых многощетинковых червей. Негативное явление вызвало гибель малоподвижных или прячущихся в расщелинах подводных скал гидробионтов, но наибольшее воздействие оно оказало на животных, обитающих на открытой поверхности подводных камней. Неблагоприятные экологические условия практически не повлияли на жизнедеятельность активно перемещающихся донных беспозвоночных (крабы), рыб (терпуги, рогатковые, широколобый окунь) и морских млекопитающих (тюлень ларга, сивуч, калан), способных избегать участков прибрежной акватории с неблагоприятной средой обитания.

Обобщение результатов наблюдений 2021-2023 гг. с помощью легководолазного снаряжения и подводной фототехники за состоянием бентосных сообществ после ВЦВ

осенью 2020 г. свидетельствует, что до настоящего времени ситуация с восстановлением видового разнообразия донных беспозвоночных в верхней сублиторали юго-восточной Камчатки принципиально не улучшилась. Выжившие представители гидробионтов заселяют подводные валуны и скалы, а при наличии кормовой базы (увеличения органической взвеси и детрита) и снижения пресса хищников, восстанавливают численность, в то время как, большинство других видов в прибрежье пока не обнаружены. Менее половины из уцелевших после ВЦВ видов сегодня достаточно обычны, остальные же редки или единичны, а потому их дальнейшая выживаемость остаётся под вопросом, а внутривидовое разнообразие, по-видимому, снизится (рис. 2). На освободившемся субстрате идут начальные стадии сукцессии - поверхности заселяют пелагические личинки и споры быстрорастущих сессильных видов.

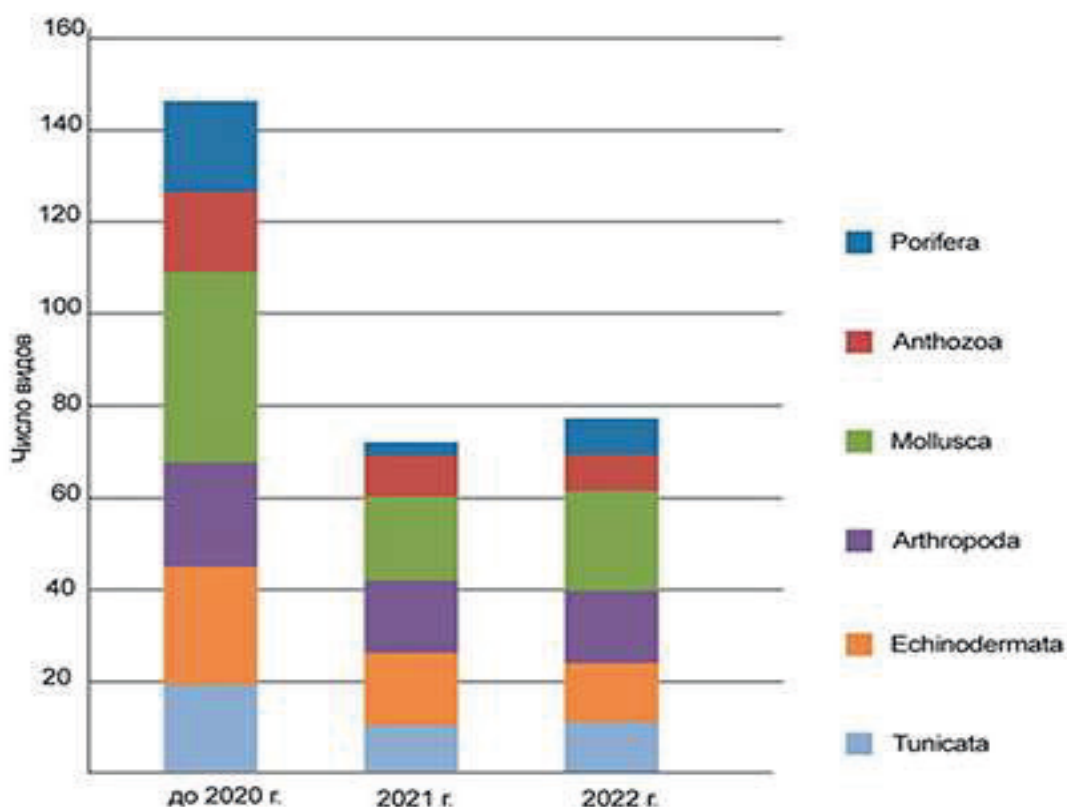


Рис. 2. Количество видов основных таксонов, найденных до ВЦВ 2020 г. и в 2021-2022 гг. [6].

Итоги выполненных весной и осенью 2021-2023 гг. в бухте Вилючинской учётных бентосных съёмок позволяют сделать вывод, что, хотя постепенно происходит восстановление характерных для предшествующего ВЦВ периода параметров донного сообщества, и растут показатели общей биомассы различных групп водорослей и беспозвоночных, значительную их долю составляют организмы обрастатели, практически недоступные как кормовые объекты для рыб и хищных гидробионтов (рис. 3).

Массовая гибель осенью 2020 г. во время ВЦВ покрывающих донный субстрат верхней сублиторали (глубины 5-20 м) беспозвоночных (губок, гидроидов, мшанок и др.), использующихся хищниками-засадчиками (керчаки рода *Myoxocephalus*, волосатый бычок и др.) или бентоихтиофагами (получешуйники рода *Nemilepidotus*) для маскировки во время добычи пищи, а мелкими видами и молодью рыб сем. рогатковых, липаровых, маслюковых и др. – в качестве убежища, лишила их такой возможности [7]. Поэтому первые были

вынуждены сместиться на глубины свыше 30-40 м, где, возможно, бентосные организмы в меньшей степени подверглись воздействию ВЦВ, а вторые – на галечно-валунные участки литорали, где наличие камней и пояса водорослей-макрофитов обеспечивает им укрытие от хищников (рис. 4).

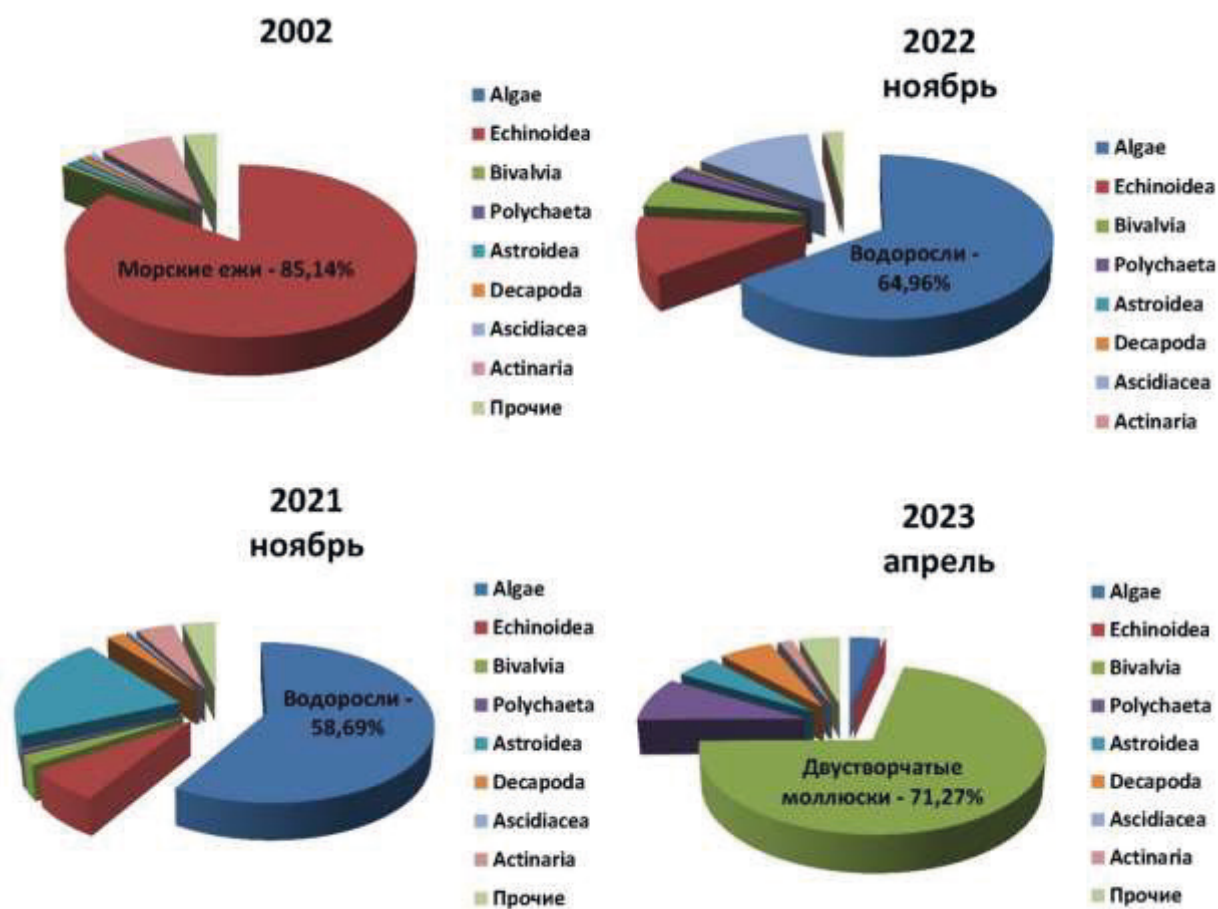


Рис. 3. Доля (в % по биомассе) представителей различных групп бентоса в разные годы на полигоне в бух. Вилючинской.

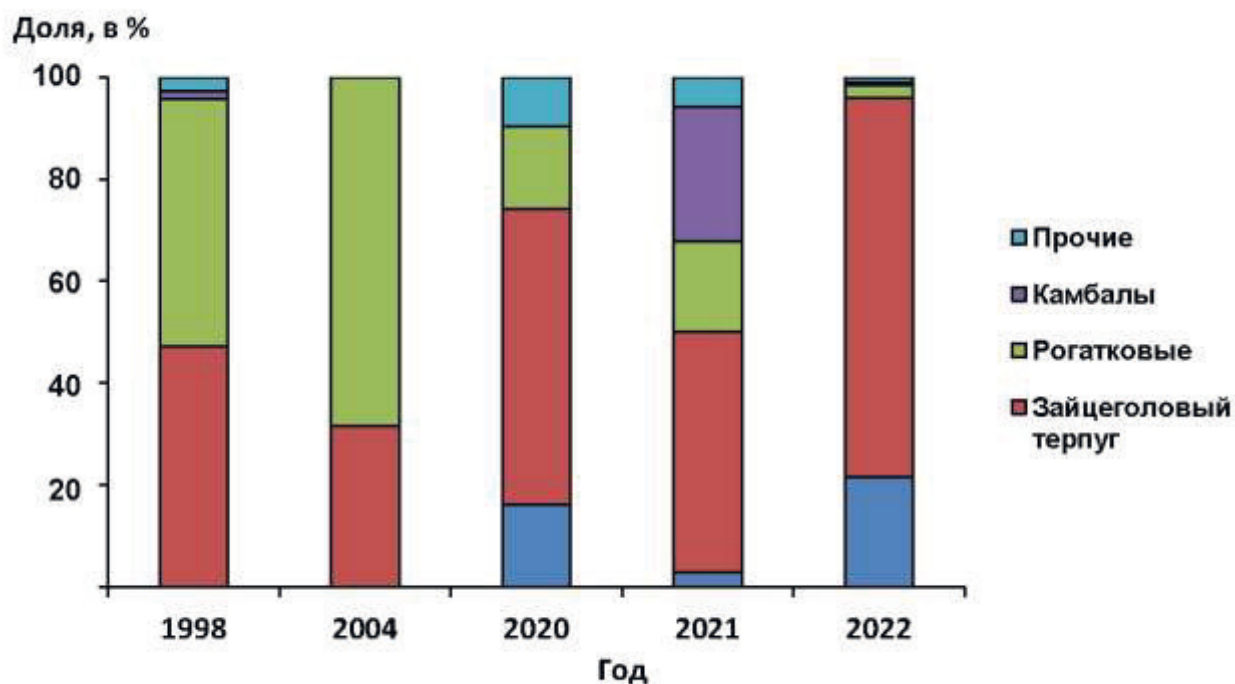


Рис. 4. Относительная численность различных видов рыб в прибрежной зоне о-ва Старичков в разные годы по данным контрольных удебных обловов.

В 2022 г. проведены учёты численности калана у юго-восточной Камчатки (совместно с сотрудниками Кроноцкого государственного заповедника), а в июне 2023 г. - в прибрежье о-вов Шумшу и Парамушир и выполнено обследование мелководья вокруг этих островов с помощью подводного дрона микро-ТНПА Chasing M2 для оценки распределения беспозвоночных организмов, служащих ему кормовыми объектами. В июле 2023 г. удалось повторить учёты калана в северной части Авачинского, а в августе – в южной части Кроноцкого залива.

По данным учётов калана, выявлена тенденция снижения его численности в прибрежье юга Камчатки и северных Курильских островов и, напротив, её увеличение в Кроноцком заливе. Можно предположить, что основной причиной явилось сокращение в двух первых районах главных кормовых объектов калана – морских ежей и крупных двустворчатых моллюсков, поскольку результаты оценки с помощью подводного дрона распределения этих беспозвоночных в прибрежье о-вов Шумшу и Парамушир в июне 2023 г., свидетельствуют, что их численность и биомасса с тихоокеанской стороны островов на глубинах менее 20 м остаются, по-прежнему, незначительными.

Выводы. В целом итоги исследований 2021-2023 гг. свидетельствуют, что процессы восстановления прибрежных экосистем после ВЦВ происходят очень медленно, в связи с чем, необходимо продолжение мониторинга донных сообществ верхней сублиторали юго-восточной Камчатки и северных Курильских островов.

Литература

1. 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., Iwataki M.A. massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the 315 Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020 // *Harmful Algae*. 2022. vol. 120. p. 102337. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102337>.

2. Бондур В.Г., Замшин В.В., Чверткова О.И. Исследование из космоса экологического происшествия у полуострова Камчатка в сентябре-октябре 2020 г., связанного с красным приливом // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. 2021. Т. 497. № 1. С. 83–90. <https://doi.org/10.31857/S2686739721030014>.
3. Bondur V., Zamshin V., Chvertkova O., Matrosova E., Khodaeva V. Detection and Analysis of the Causes of Intensive Harmful Algal Bloom in Kamchatka Based on Satellite Data // Journal of Marine Science and Engineering. 2021. vol. 9. № 10. p. 1–19. <https://doi.org/10.3390/jmse9101092>.
4. Бондур В.Г., Замшин В.В., Чверткова О.И., Матросова Е.Р., Ходаева В.Н. Анализ причин экологического происшествия на Камчатке осенью 2020 г., связанного с красным приливом, на основании космических данных // Исслед. Земли из космоса. 2021. № 3. С. 1–16. <https://doi.org/10.31857/S020596142103009X>.
5. Бондур В.Г., Замшин В.В., Чверткова О.И. Исследование спутниковыми методами естественных и антропогенных воздействий на прибрежные акватории дальневосточного региона России, включая Камчатку и Курильские острова // 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.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2023. С. 311-315.
6. 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 // Вестник КамчатГТУ. 2023. Вып. 63. С. 45-65 DOI: 10.17217/2079-0333-2023-63-22-44.
7. Токранов А.М. Состав прибрежной ихтиофауны юго-восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г. // Вестник КамчатГТУ. 2022. Вып. 59. С. 280-288. DOI: 10.17217/2079-0333-2022-59-38-48.