

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ФИТОПЛАНКТОНА ПОВЕРХНОСТНОГО И ПРИДОННОГО СЛОЕВ АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2025 ГОДА

Л. В. Курбанова

Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация
kurbanovakftig@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты гидробиологического мониторинга фитопланктона Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка), проведённого в апреле, мае и июле 2025 года. Материалом для исследования послужили 19 проб, отобранных на трёх станциях из поверхностного и придонного слоёв воды. Обработка проб выполнялась методом световой микроскопии с использованием камеры Седжвика – Рафтера для количественного учёта клеток. В ходе камеральной обработки идентифицирован 51 таксон микроводорослей, среди которых доминирующей группой по видовому разнообразию являлись диатомовые (35 таксонов). Установлена чёткая сезонная смена доминантного комплекса: в апреле–мае абсолютное преобладание принадлежало диатомовым водорослям *Detonula confervacea* (Cleve) Gran, *Thalassiosira nordenskoldii* Cleve и *Skeletonema spp.*, тогда как в июле в поверхностном горизонте зафиксировано монодоминантное цветение потенциально токсичной динофлагеллаты *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech с максимальной численностью 15,9 млн кл./л, сопровождавшееся неоновой биолюминесценцией. Выявлены значительные различия в количественных показателях между поверхностным и придонным горизонтами: в мае *Skeletonema spp.* достигали максимальных концентраций в придонном слое (до 7,7 млн кл./л), тогда как в июле доминирование *A. tamarense* было характерно исключительно для поверхностного слоя, что, вероятно, связано с различиями в температуре, освещённости и содержании биогенных элементов на разных глубинах. Установлен обратный градиент концентрации токсичных видов от эвтрофируемой кутовой части акватории к горлу губы, что может свидетельствовать о неоднородности гидрологических и трофических условий в пределах исследованной акватории.

Высокая динамичность фитопланктона Авачинской губы требует усиления мониторинга токсичных динофлагеллат рода *Alexandrium*, в связи с их потенциальной опасностью для морских организмов и человека. Регулярные наблюдения позволят прогнозировать риски «цветений» в рекреационно значимых районах Камчатки.

Цель исследования – сравнительный анализ сезонной динамики и структуры фитопланктона в поверхностном и придонном слоях Авачинской губы весной–летом 2025 года.

Ключевые слова: фитопланктон, Авачинская губа, видовой состав, видовая структура, диатомовые, динофлагеллаты, «красные приливы», ВЦВ.

Финансирование. Работа подготовлена в рамках выполнения проектов «Структурно-функциональная организация, динамика и продуктивность наземных и прибрежных экосистем на Дальнем Востоке РФ. Разработка научных основ и экономических инструментов устойчивого природопользования» (Рег. № 124012700496-4) и «Исследование и сохранение уникального морского биоразнообразия Камчатки» (Рег. № 124093000049-8).

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотрудникам КФ ТИГ ДВО РАН д.б.н. Коростелеву С.Г., к.б.н. Данилину Д.Д., лаборанту Власову Т.В., а также руководству ООО «Подводсервис» и экипажу судна «Ларус» за содействие в организации сбора проб.

Для цитирования: Курбанова Л.В. Сезонная динамика фитопланктона поверхностного и придонного слоев Авачинской губы (Юго-Восточная Камчатка) в весенне-летний период 2025 года. *Вестник СВФУ*. 2026;(3): 57-68. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-57-68

SEASONAL DYNAMICS OF PHYTOPLANKTON IN THE SURFACE AND BOTTOM LAYERS OF AVACHA BAY (SOUTHEASTERN KAMCHATKA) DURING SPRING–SUMMER PERIOD OF 2025

Lidiya V. Kurbanova

Kamchatka Branch of the Pacific Institute of Geography,
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation
kurbanovakftig@mail.ru

Abstract. This article presents the results of hydrobiological monitoring of phytoplankton in Avacha Bay (Southeastern Kamchatka), conducted in April, May, and July 2025. The study material comprised 19 samples collected at three stations from the surface and bottom water layers. Sample processing was performed using light microscopy with a Sedgwick–Rafter counting chamber for quantitative cell enumeration. During the laboratory analysis, 51 taxa of microalgae were identified, among which diatoms constituted the dominant group in terms of species diversity (35 taxa). A clear seasonal succession of the dominant complex was established: in April–May, absolute predominance belonged to the diatoms *Detonula confervacea* (Cleve) Gran, *Thalassiosira nordenskoldii* Cleve, and *Skeletonema spp.*, whereas in July, a monodominant bloom of the potentially toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech was recorded in the surface horizon, with a maximum abundance of 15.9 million cells/L, accompanied by neon bioluminescence. Significant differences in quantitative parameters between the surface and bottom horizons were revealed: in May, *Skeletonema spp.* reached maximum concentrations in the bottom layer (up to 7.7 million cells/L), while in July, the dominance of *A. tamarense* was characteristic exclusively of the surface layer, which is likely associated with differences in temperature, illumination, and nutrient content at different depths. An inverse gradient of toxic species concentration from the eutrophied inner part of the water area toward the mouth of the bay was established, which may indicate heterogeneity of hydrological and trophic conditions within the studied water area.

The high dynamism of phytoplankton in Avacha Bay necessitates enhanced monitoring of toxic dinoflagellates of the genus *Alexandrium*, due to their potential danger to marine organisms and humans. Regular observations will enable the prediction of bloom risks in recreationally significant areas of Kamchatka.

Objective of the study – a comparative analysis of the seasonal dynamics and structure of phytoplankton in the surface and bottom layers of Avacha Bay during spring–summer 2025.

Keywords: phytoplankton, Avacha Bay, species composition, species structure, diatoms, dinoflagellates, red tides, HABs

Funding. The work was prepared within the framework of the projects “Structural-functional organization, dynamics and productivity of terrestrial and coastal ecosystems in the Russian Far East. Development of scientific foundations and economic instruments for sustainable nature management” (Reg. No. 124012700496-4) and “Research and conservation of the unique marine biodiversity of Kamchatka” (Reg. No. 124093000049-8).

Acknowledgments. The authors express their gratitude to employees of the Kamchatka Branch of the Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Biol.) S.G. Korostelev, Cand. Sci. (Biol.) D.D. Danilin, laboratory assistant T.V. Vlasov, as well as to the management of LLC “Podvodremservis” and the crew of the vessel “Larus” for their assistance in organizing sample collection.

For citation: Kurbanova L.V. Seasonal dynamics of phytoplankton in the surface and bottom layers of Avacha Bay (Southeastern Kamchatka) during spring–summer period of 2025. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2026;(3): 57-68. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-57-68

Введение

Авачинская губа представляет собой одну из наиболее значимых прибрежных акваторий юго-восточной Камчатки, играющую важную роль в рекреационной и рыбохозяйственной сферах. В последние десятилетия возрастающая антропогенная нагрузка, связанная с развитием портовой инфраструктуры, промышленных предприятий и сбросом сточных вод, приводит к усилению эвтрофикации прибрежных вод [15]. Согласно данным Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды в Камчатском крае в 2024 году», основными источниками загрязнения Авачинской губы являются неочищенные хозяйственно-бытовые стоки Петропавловск-Камчатской агломерации, а также производственные сбросы предприятий жилищно-коммунального и энергетического комплекса; в акватории губы фиксируется хроническое загрязнение нефтепродуктами, фенолами, детергентами, соединениями железа, фосфатами и солями тяжелых металлов [16].

В этих условиях одной из ключевых задач гидробиологического мониторинга является своевременное выявление и прогнозирование негативных изменений в морских экосистемах, в том числе связанных с массовым развитием фитопланктона.

Фитопланктон, являясь основным продуцентом органического вещества в морских экосистемах, выступает важнейшим индикатором состояния водной среды. Его видовой состав, количественное развитие и сезонная динамика чутко реагируют на изменения гидрологических, гидрохимических и трофических условий. Особое внимание исследователей привлекают виды, способные вызывать вредоносное цветение водорослей (ВЦВ), сопровождающееся гибелью гидробионтов. На Камчатке случаи массового развития токсичных динофлагеллят и диатомовых водорослей регистрируются с нарастающей частотой [14], что определяет актуальность регулярного мониторинга фитопланктона в Авачинской губе.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ сезонной динамики и структурных характеристик фитопланктона поверхностного и придонного слоёв Авачинской губы в весенне-летний период 2025 года. В задачи исследования входили: 1) определение таксономического состава и видового богатства фитопланктона; 2) выявление доминирующих видов и их сезонной смены в разных горизонтах; 3) оценка количественных показателей численности основных таксономических групп; 4) анализ вертикальных различий в структуре сообщества между поверхностным и придонным слоями; 5) мониторинг представителей комплекса ВЦВ и оценка рисков развития токсичных «красных приливов» в рекреационной зоне Камчатки.

Особый интерес в работе уделяется потенциально опасным видам фитопланктона, включая *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech, *Pseudo-nitzschia seriata* (Cleve) H. Peragallo, *Akashiwo sanguinea* (K. Hirasaka) Gert Hansen & Moestrup и *Karenia mikimotoi* (Miyake & Kominami ex Oda) Gert Hansen & Moestrup, а также массовому развитию инфузории *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Hamburger & Buddenbrock, вызывающей нетоксичное окрашивание воды. Полученные данные позволят расширить существующие представления о структурно-функциональной организации фитопланктонного сообщества Авачинской губы.

Материалы и методы

Материалом для исследований послужили сборы гидробиологической съемки, выполненной в Авачинской губе в апреле, мае и июле 2025 г. в середине каждого месяца с трех станций (рис.). Масштаб 1:50 000 по параллели 52°. Станция 1 – 53.0011045 N, 158.636227 E, станция 2 – 52.9519881 N, 158.622448 E, станция 3 – 52.9 N, 158.683 E.

Программа мониторинга оказалась неполной: июньская съемка не состоялась из-за закрытия акватории для гражданских судов, а осенние наблюдения (сентябрь – ноябрь) были отменены по техническим причинам. В итоговую выборку вошли 19 проб, собранных на трех станциях в указанные месяцы. Для сбора проб в поверхностном и придонном слоях был использован батометр Молчанова ГР-18.

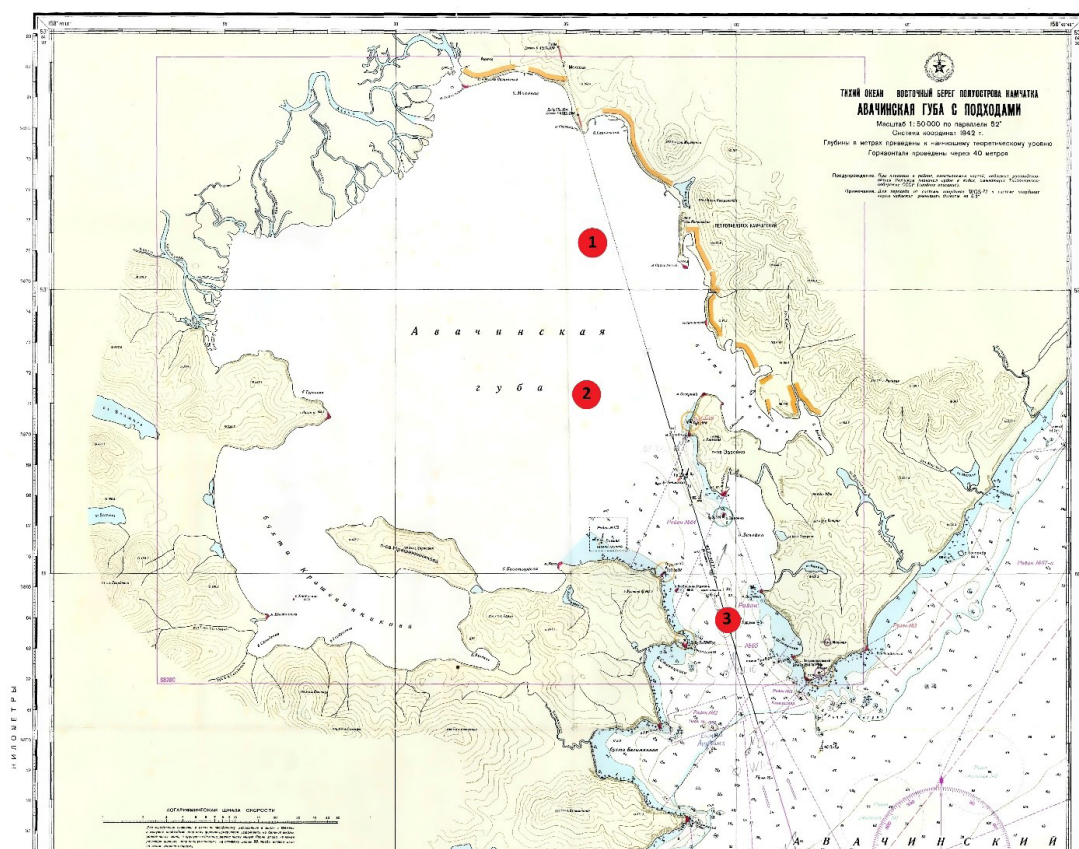


Рис. Карта районов сбора материала фитопланктона (в апреле, мае и июле 2025 г.)
Масштаб 1:50 000 по параллели 52 °

Fig. Map of phytoplankton collection areas (in April, May, and July 2025)
Scale 1:50,000 along the 52° parallel

Камеральную обработку проб проводили в лаборатории гидробиологии КФ ТИГ ДВО РАН с помощью микроскопа «VanGuard» 1113 AMH и Olympus BX53 с цифровой фотокамерой Olympus DP73 с программным обеспечением Cell Sens Standard (Olympus, Japan) при увеличениях 20x, 40x и 100x. Обработка включала в себя определение видового состава и количественный подсчет микроводорослей. Организмы подсчитывали в счётной камере Седжвика-Рафтера (объем 1 мл). Пробы были зафиксированы с помощью 40 %-ного нейтрализованного формальдегида. Для определения таксономического состава фитопланктона использовали различные атласы и определители микроводорослей [1-13]. Параллельно с отбором гидробиологических проб на каждой станции выполнялись измерения температуры и солености воды. Измерения проводились с помощью многопараметрического зонда AquaRead AP-2000.

Результаты

В ходе лабораторного анализа в составе фитопланктона, проведенного в апреле, мае и июле выявлено 51 таксон микроводорослей. Доминирующей группой по видовому разнообразию являлись диатомовые водоросли (Bacillariophyta), которые составили 35 таксонов. 11 таксонов были представлены динофитовыми водорослями (Dinophyta). Вклад остальных отделов оказался незначительным: золотистые (Chrysophyta) и зелёные (Chlorophyta) водоросли насчитывали по 2 таксона каждый, а эвгленовые (Euglenophyta), зелёные (в другом аспекте классификации) и криптофитовые (Cryptophyta) – по одному таксону.

В апреле 2025 года исследование фитопланктона на трех станциях показало, что основу сообщества составляли диатомовые водоросли (24 вида). При этом динофлагелляты не были обнаружены. Золотистые водоросли встречались крайне редко и были представлены лишь одним видом *Ebria tripartita* (Schumann) Lemmermann.

В апреле в поверхностном слое воды на станции 1, при температуре 2°C и солености 15‰, обнаружено значительное преобладание диатомовых водорослей. Среди них особенно выделялись: 1. *Detonula confervacea* (Cleve) Gran: численность этого вида составила 2 190 000 кл./л, что соответствует 59,4 % от общего количества. 2. *Thalassiosira nordenskoldii* Cleve: с численностью 547 000 кл./л (14,8 %). 3. *Skeletonema complex*: доля составила 500 000 кл./л (13,6 %). Также была обнаружена диатомея *Pseudo-nitzschia seriata* (Cleve) H.Peragallo потенциально токсичный представитель комплекса ВЦВ, с численностью 428 000 кл./л. (11,6 %). Остальные виды имели незначительную долю, менее 1 %. Кроме того, в поверхностном слое воды была обнаружена инфузория *Mesodinium rubrum* Lohmann, 1908, вызывающая «Красный прилив» в Авачинской губе. Численность этого вида составила 452 000 кл./л. В ходе регулярных наблюдений за количеством клеток этого вида в пробах воды мы обнаружили, что их количество может значительно варьироваться даже в течение одной календарной недели. Например, 12.04.2025 года в районе мыса Сигнальный, расположенного в центре города Петропавловск-Камчатский, мы зафиксировали 452 тыс. кл./л. Однако уже через шесть дней, т.е. 18 апреля, количество клеток в этом районе сократилось в два раза и составило всего 224 тыс. кл./л. В то же время в бухте Сероглазка на следующий день, 19 апреля, количество клеток увеличилось до 7 млн 545 тыс. кл./литр, что в 33 раза больше, чем около мыса Сигнальный. Наибольшее количество клеток *M. rubrum* было обнаружено 28 апреля 2025 г. в районе Морского вокзала, где оно достигло 9 млн 954 тыс. кл./литр [14].

В придонном слое этой же станции, где температура составляла 1°С, а соленость – 25‰, структура сообщества значительно отличалась. Здесь доминировали следующие виды: *Th. nordenskoldii* – 651 000 кл./л (42,26 %), *P. seriata* – 295 000 (19,5 %), *Skeletonema complex* – 265 000 кл./л (17,2 %), *D. confervacea* – 212 000 кл./л. (13,76 %). Примечательной особенностью придонного слоя было присутствие диатомеи *Thalassiosira gravida* Cleve, численность которой достигала 90 000 кл./л. (5,84 %). Следует отметить, что в поверхностных пробах этот вид не был обнаружен.

Поверхностный слой станции 2 при температуре 2,2°C и солености 18‰, характеризовался видовым богатством, аналогичным таковому на станции 1, и комплексом доминирующих видов: *D. confervacea* – 204 000 кл./л. (31,75 %), *Skeletonema complex* – 160 000 кл./л (24, 90 %), *P. seriata* – 133 000 (20,7 %), *Leptocylindrus danicus* Cleve – 107 000 кл./л (16, 65 %), *Th. nordenskoldii* – 18 000 кл./л (2,80 %) и *P. pungens* – 9 000 кл./л (1,4 %).

В апреле на второй станции Авачинской губы был проверен трёхслойный отбор проб: на поверхности, в промежуточном слое (на половине общей глубины) и у дна. Полученные результаты показали гомогенное распределение фитопланктона по глубине. Видовой состав и количество доминирующих видов в среднем слое существенно не отличались от тех, что были обнаружены на поверхности и у дна. Основу сообщества составляли: *D. confervacea* – 350 000 кл./л. (37,55 %), *P. seriata* – 266 000 (28,54 %), *Skeletonema complex* – 80 000 кл./л (8,58 %), *Thalassiosira pacifica* Gran & Angst – 56 000 кл./л (6, 01 %), *Th. nordenskoldii* – 117 000 кл./л (12,55 %). В промежуточном слое, при температуре 1,1 °С и солености 25‰, наблюдалось лишь незначительное увеличение относительной численности *Th. gravida* в среднем слое (61 тыс. кл./л; 6,5 %) по сравнению с 0,62 % на поверхности и 0,09 % у дна. По интегральным показателям средний слой проявлял большее сходство с придонным. Результаты исследования показали, что нет необходимости отбирать пробы в среднем слое воды на мелководных акваториях. Двухслойная схема мониторинга (поверхность и дно) эффективно отражала вертикальное распределение фитопланктона. Сравнительный анализ данных, полученных из трёх

горизонтов, показал, что средний слой не добавляет значимой информации к данным, полученным из придонного слоя.

Придонный горизонт второй станции при температуре 0,2 °C и солености 26‰ имел состав и преобладающую структуру, сходные с поверхностными. Ведущими видами были *D. confervacea* – 350 000 кл./л. (37,55 %), *Th. nordenskoldii* – 117 000 кл./л. (12,55 %), *P. seriata* – 266 000 кл./л. (28,54 %), *Skeletonema complex* – 80 000 кл./л. (8,58 %), *Th. pacifica* присутствовала в количестве 56 000 кл./л. (6,01 %).

На станции 3 в Авачинской губе были обнаружены значительные различия в структуре фитопланктона. В поверхностном слое воды, при температуре 1,9 °C и солености 22‰, абсолютным доминантом выступала *Skeletonema complex* с численностью 1 283 000 кл./л. (41,93 %). Далее следовали *P. seriata* (522 000 кл./л., 17,06 %), *D. confervacea* (463 000 кл./л., 15,13 %), *Th. nordenskoldii* 447 000 кл./л. (14,61 %) и *Th. gravida* (299 000 кл./л., 9,77 %).

В придонном слое воды, при температуре 0,2 °C и солености 27‰, структура доминирования была иной: *D. confervacea* (97 000 кл./л., 31,18 %), *Th. nordenskoldii* (85 000 кл./л., 27,32 %), *P. seriata* (77 000 кл./л., 24,75 %), *Skeletonema complex* (48 000 кл./л., 15,43 %). Эти данные свидетельствуют о ярко выраженной вертикальной дифференциации сообщества фитопланктона на данной станции в период отбора проб.

В мае 2025 года на всех трех станциях основу фитопланктонного сообщества составляли диатомовые водоросли (Bacillariophyta). Таксономическое разнообразие было представлено 19 видами диатомей, 8 видами динофитовых (Dinophyta), а также единичными представителями отделов Chrysophyta, Cryptophyta и Chlorophyta.

В апреле, в утренние часы (07:00), был проведен анализ проб воды. Он позволили выявить четкую картину суточной вертикальной миграции фитопланктона. Наиболее ярко эта миграция проявлялась у вида *M. rubrum*, численность которого достигала своего максимума в придонном слое. Интересно, что общая численность фитопланктона в поверхностном слое воды в это время была значительно ниже, чем в придонном, что свидетельствует о концентрации организмов у дна в утренние часы.

К маю интенсивность развития *M. rubrum* значительно снизилась, численность уменьшилась примерно в три раза и составила 3 млн 136 тыс. кл./л. В последующие дни цветение прекратилось, и в пробах этот вид отмечался лишь эпизодически. Это согласуется с литературными данными о сезонной динамике данного вида в этом регионе [14]. Однако, как и в апреле, в мае в сообществе продолжали доминировать диатомовые водоросли. Это свидетельствует о стабильности таксономической структуры фитопланктона на протяжении всего исследуемого периода.

В мае на всех трех станциях и в обоих исследованных горизонтах доминировал комплекс *Skeletonema spp.* Абсолютная численность и относительное обилие этого вида сильно зависели от гидрологических условий и глубины отбора проб.

На станции 1 в поверхностном слое, где температура составляла 5,8 °C, а соленость 16‰, количество *Skeletonema spp.* достигало 5 600 кл./л., что соответствует 76,71 % от общего числа клеток в образце. В придонном слое, где температура была ниже (3,6 °C), а соленость выше (27‰), численность этого комплекса увеличилась на три порядка, достигая 5 289 000 кл./л. – 94,35 %.

На станции 2 в поверхностном слое (6,2 °C, 16‰) была зарегистрирована минимальная за весь период наблюдений численность *Skeletonema spp.* – 4 300 кл./л. (37,06 %). Однако в придонном слое (3,6 °C, 26‰) был отмечен абсолютный максимум для всего массива данных: 7 686 000 кл./л. (89,96 %).

На станции 3 в поверхностном слое (5,6 °C, 20‰) количество *Skeletonema spp.* составляло 27 300 кл./л. (62,47 %), а в придонном горизонте (4,2 °C, 26‰) – 1 154 000 кл./л. (79,59 %).

Таким образом, в ходе исследования выявлено постоянное увеличение как абсолютной, так и относительной численности комплекса *Skeletonema spp.* в придонном слое. В мае 2025 года

наибольшие скопления этого вида были обнаружены в зонах с более низкой температурой и повышенной солености в нижней части водной толщи.

Во всех пробах, взятых в мае, были обнаружены криптонады (Cryptophyceae). Ранее мы уже отмечали, что массовое развитие *M. rubrum* в Авачинской губе всегда сопровождается цветением криптонад [15]. Полученные в мае 2025 года данные подтверждают эту закономерность.

В поверхностном слое воды, помимо доминирующего комплекса *Skeletonema spp.*, обнаружен потенциально токсичный вид динофлагеллят – *Akashiwo sanguinea* (K.Hirasaka) Gert Hansen & Moestrup. Этот вид входит в состав комплекса вредоносных цветений водорослей (ВЦВ). Его максимальная численность была зафиксирована на станции 3 – 1 700 кл./л (3,89 %), тогда как на первых двух станциях она составляла 700 кл./л (9,59 % и 6,03 % соответственно). Несмотря на относительно невысокие количественные показатели, наличие этого вида свидетельствует о возможном риске возникновения неблагоприятных событий.

В поверхностном слое станции 1 обнаружено заметное доминирование церкозойного протиста *E. tripartita* – 1 000 кл./л (13,70 %). В придонном сообществе этой же станции вторым по значимости видом стала диатомея *Chaetoceros socialis* H.S.Lauder – 289 000 кл./л (5,16 %). На станции 2 этот вид отсутствовал. В итоге, на фоне общего преобладания комплекса *Skeletonema spp.*, были выявлены локальные виды-субдоминанты, которые отражают особенности условий в различных станциях отбора.

В поверхностном слое воды станции 2, помимо доминирующего комплекса, отмечено значительное количество следующих организмов: *E. tripartita* – 2 000 кл./л (17,24 %), диатомей *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky – 4 300 кл./л (14,66 %) и *Sundstroemia setigera* (Brightwell) Medlin in Medlin et al – 1 000 кл./л (8,62 %). Вид *Cocconeis sp.* был обнаружен только на этой станции с численностью 300 кл./л (2,59 %). Среди динофитовых, помимо *A. sanguinea* найдены: *Gymnodinium sp.* (300 кл./л, 2,59 %) и *Gyrodinium spirale* (Bergh) Kofoid & Swezy (1 000 кл./л, 8,62 %). В придонном слое второй станции присутствовали *Th. nordenskiöldii* (428 000 кл./л, 5,01 %) и *Ch. socialis* (400 000 кл./л, 4,68 %).

На станции 3 структура фитопланктона существенно различалась в зависимости от горизонта. В поверхностном слое преобладал комплекс *Skeletonema spp.* (27 300 кл./л, 62,47 %), а также значительную долю занимала *Th. nordenskiöldii* (10 700 кл./л, 24,49 %). Второстепенными компонентами сообщества были *E. tripartita* (1 700 кл./л, 3,89 %) и *A. sanguinea* (700 кл./л, 1,60 %). Придонный горизонт отличался низким видовым разнообразием, но высокой общей численностью, идентифицировано всего три таксона: комплекс *Skeletonema spp.* (1 154 000 кл./л, 79,59 %), *Ch. socialis* (208 000 кл./л, 14,35 %) и *Th. nordenskiöldii* (77 000 кл./л, 5,31 %). Особенностью этой станции было массовое присутствие мелких неидентифицированных гимнодиниумовых динофлагеллят. Для точного определения этих микроорганизмов требуется применение электронной микроскопии. Их учет в оценках общей численности и биомассы может быть важен для полной характеристики фитопланктонного сообщества.

В июне, по некоторым причинам, не удалось провести мониторинг, поэтому данные за этот месяц отсутствуют.

В июле же произошли значительные изменения в качественном составе фитопланктона. В поверхностном слое на станции 1, при температуре 13 °C и солености 20 ‰, наблюдалось практически моновидовое цветение потенциально токсичного динофлагеллята *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech. Численность этого вида достигла 136 000 кл./л, что составляло 99,42 % от общего количества клеток в воде. Придонный горизонт на той же станции, при температуре 4 °C и солености 28 ‰, имел совершенно иной состав. Здесь доминировал комплекс *Skeletonema spp.* (459 000 кл./л, 92,35 %), а второй по значимости была диатомовая водоросль *Chaetoceros compressus* Lauder (29 000 кл./л, 5,84 %). Таким образом, в июле на станции 1 была зафиксирована значительная пространственно-видовая сегрегация между горизонтами: в поверхностных водах преобладали динофлагелляты, а в придонных – диатомовые водоросли.

Сравнительный анализ качественного и количественного состава фитопланктона на двух станциях в акватории Авачинской губы, показал значительные различия в структуре доминирующих комплексов. На станции 2 в поверхностном слое, при температуре 14 °С и солености 15‰ наблюдалось заметное изменение состава сообщества по сравнению с фоновыми показателями на станции 1. В обоих горизонтах доминировал комплекс *Skeletonema spp.* Максимальные показатели обилия были зафиксированы в придонном слое, где температура составляла 9 °С, а соленость 26‰. Численность достигала 209 000 кл./л, что составляло 87,45 % от общей численности микроводорослей. В поверхностном слое концентрация *Skeletonema spp.* была несколько ниже, составляя 22 000 кл./л (94,42 %), что свидетельствует об абсолютном доминировании этого вида. Кроме того, отмечено статистически значимое преобладание церкозойных протистов *E. tripartita* с численностью 1 000 кл./л (4,29 %), а также динофлагеллят *Protoperidinium brevipes* (Paulsen, 1908) Balech – 300 кл./л (1,29 %).

Однако наиболее интересным результатом стало обнаружение вертикальной стратификации токсичного вида *A. tamarense*. Этот таксон отсутствовал в пробах поверхностной воды, но его численность в придонном слое достигала 30 000 кл./л, что соответствовало 12,55 % от общей численности сообщества в данном горизонте.

Станция 3, расположенная в горле Авачинской губы, по своим структурно-функциональным характеристикам фитопланктонного сообщества была очень похожа на станцию 2. Во всей толще воды доминировал комплекс *Skeletonema spp.*, который являлся абсолютным доминантом. В поверхностном слое, при температуре 14 °С и солености 20 ‰, его численность достигала 1 734 000 кл./л (99,87 %). В придонном слое этот показатель был равен 417 000 кл./л, что соответствовало 98,12 % от общей численности. В отличие от высокого уровня развития диатомового комплекса, численность потенциально токсичных динофлагеллят *A. tamarense* оказалась крайне низкой. В придонном слое станции 3, при температуре 10 °С и солености 26 ‰, этот вид составлял лишь 300 кл./л, что соответствовало 0,007 % от общей численности сообщества. Этот показатель значительно уступал величинам, зарегистрированным в кутовой части Авачинской губы. Пространственное распределение *A. tamarense* в толще воды станции 3 было очень неравномерным. Количество водорослей вида *A. tamarense* в Авачинской губе зависело от расстояния до эвтрофируемой акватории. Максимальная концентрация токсичных клеток наблюдалась во внутренней части губы, где визуально заметно окрашивание поверхностных вод, характерное для периода «красного прилива». В то же время в горловом участке, где происходит интенсивный водообмен с морем, количество возбудителей цветения было минимальным. Этот градиент концентраций указывает на то, что очаг токсичного цветения расположен непосредственно в зоне с высоким уровнем эвтрофикации Авачинской губы.

В июле 2025 года жители Петропавловска-Камчатского стали свидетелями интересного природного явления – неоновое свечения акватории Авачинской губы. Свечение было особенно заметно при прямом контакте с водой. Причиной этого явления стало массовое размножение динофлагеллят, которые в настоящее время относят к комплексу видов под условным названием «Атама», название происходит от видового названия *Alexandrium tamarense*. Виды динофлагеллят комплекса «Атама» известны своей способностью к биолюминесценции и токсичностью. Их обильное цветение нельзя считать безопасным явлением [14]. Динофлагелляты (Dinophyta) привлекают особое внимание в экологических исследованиях из-за их способности вызвать цветение воды и синтезировать опасные токсины. Поэтому мониторинг этой группы микроводорослей в Авачинской губе имеет важное практическое значение для оценки и прогнозирования экологических рисков. Чтобы более подробно исследовать механизмы и последствия этого красного прилива, в дополнение к стандартной программе мониторинга была создана отдельная дополнительная станция для отбора проб [14].

В середине июля 2025 года в пробах воды из разных районов Авачинской губы обнаружено от 136 до 342 тыс. кл./л *A. tamarense*. В тот же день у острова Старичков и у мыса Опасный

в Авачинском заливе количество клеток достигло 1 млн и 447 тыс. кл./литр, соответственно. На следующий день, 16 июля 2025 года, в районе мыса Сигнальный зафиксировано 3 млн 272 тыс. кл./л *A. tamarense*, что в 24 раза превышало показатели предыдущего дня (136 тыс. кл./л). Однако самое большое количество клеток *A. tamarense* было зарегистрировано в районе Морского вокзала 17 июля 2025 года – 15 млн 954 тыс. кл./л. Уже через два дня это количество уменьшилось более чем на 80 %. В последующие дни интенсивность цветения то увеличивалась, то снова спадала. В последний день июля мы обнаружили *A. tamarense* в количестве 7 тыс. 500 кл./л. Тем не менее уже через месяц, 31 августа 2025 года в районе Морского вокзала было зафиксировано 1 млн 772 тыс. кл./л, что свидетельствует о возобновлении цветения *A. tamarense* [14].

Таблица

Распределение доминирующих видов фитопланктона и гидрологические параметры по станциям в весенне-летний период 2025 года

Table

Distribution of dominant phytoplankton species and hydrological parameters by stations in spring and summer

№ станции	Месяц	Горизонт	Температура (°C)	Солёность (‰)	Доминант
1	Апрель	Поверхностный слой	2,0	15	<i>Detonula confervacea</i>
		Придонный слой	1,0	25	<i>Thalassiosira nordenskoldii</i>
2		Поверхностный слой	2,2	18	<i>Detonula confervacea</i>
		Промежуточный слой	1,1	25	
		Придонный слой	0,2	26	
3		Поверхностный слой	1,9	22	<i>Skeletonema complex</i>
		Придонный слой	0,2	27	<i>Detonula confervacea</i>
1	Май	Поверхностный слой	5,8	16	<i>Skeletonema complex</i>
		Придонный слой	3,6	27	
		2	Поверхностный слой	6,2	
Придонный слой			3,6	26	
3		Поверхностный слой	5,6	20	
		Придонный слой	4,2	26	
1	Июль	Поверхностный слой	13,0	20	<i>Alexandrium tamarense</i>
		Придонный слой	4,0	28	<i>Skeletonema complex</i>
		2	Поверхностный слой	14,0	
Придонный слой			9,0	26	
3		Поверхностный слой	14,0	20	
		Придонный слой	10,0	26	

Заключение

За период исследований идентифицирован 51 таксон микроводорослей. На протяжении всего периода доминировали диатомовые водоросли (Bacillariophyta), составляющие 35 таксонов. Также были представлены динофитовые (Dinophyta) – 11 таксонов, золотистые (Chrysophyta) и зелёные (Chlorophyta) водоросли – по 2 таксона каждая, а эвгленовые (Euglenophyta) и криптофитовые (Cryptophyta) – по одному таксону. В апреле в пробах не было обнаружено ни одного

вида динофлагеллят. Их активное развитие начиналось с мая и достигло пика в июле. В этот период была выявлена сезонная смена доминантов: в апреле–мае абсолютное большинство составляли диатомовые комплексы, такие как *D. confervacea*, *Th. nordenskoldii*, *Skeletonema spp.* Однако в июле в поверхностных горизонтах произошло монодоминантное цветение потенциально токсичной динофлагелляты *A. tamarense*.

В апреле вертикальная структура была относительно однородной. Анализ трехслойного профиля на станции 2 (поверхность – 7 м – дно) показал, что двухуровневая схема (поверхность и дно) достаточно точно описывает распределение организмов. Промежуточный горизонт не дает значимой дополнительной информации.

В мае замечена устойчивая тенденция к концентрации комплекса *Skeletonema spp.* в придонном слое. Доля этого вида в придонном сообществе достигала 79,6–94,4 % при максимальной зарегистрированной численности 7 686 000 кл./л (станция 2). В то же время в поверхностном горизонте она варьировалась от 37,1 % до 76,7 %, а абсолютная численность была ниже на два-три порядка.

В июле, напротив, замечена сильная вертикальная дифференциация. На станции 1 *A. tamarense* преобладал в поверхностном слое (136 000 кл./л, 99,42 %), в то время как в придонном слое абсолютное большинство занимали диатомовые водоросли (*Skeletonema spp.* 459 000 кл./л, 92,35 %). Эти данные свидетельствуют о том, что по мере сезонного прогревания воды меняются факторы, которые регулируют вертикальное распределение организмов.

Анализ распространения *A. tamarense* в пространстве показал, что его численность уменьшается по мере удаления от кутовой части губы к горловому участку. Наиболее высокие концентрации этого вида наблюдались во внутренней акватории, где в июле отмечалось визуальное окрашивание воды («красный прилив») и неоновое свечение. В горле Авачинской губы (станция 3) количество *A. tamarense* в придонном слое составляло всего 300 кл./л (0,007 %), что на порядок ниже, чем в вершине губы. Этот градиент ясно свидетельствует о том, что очаг токсичного цветения находится в высокоэвтрофной внутренней зоне, в то время как мористые участки испытывают наименьшую нагрузку.

В апреле количество клеток *M. rubrum* менялось в десятки раз в течение нескольких суток: от 224 тыс. кл./л до 7 млн 545 тыс. кл./л и 9 млн 954 тыс. кл./л. В июле похожая картина наблюдалась для *A. tamarense*: за одни сутки численность этого вида возрастала в 24 раза (от 136 тыс. до 3 млн 272 тыс. кл./л), достигая максимума в 15 млн 954 тыс. кл./л 17 июля 2025 года. После этого следовал резкий спад. Однако через месяц, 31 августа 2025 года, была зафиксирована новая вспышка численности (1 млн 772 тыс. кл./л).

В мае отмечено заметное присутствие церкозойных протистов *E. tripartita* (до 2 000 кл./л, 17,24 % на ст. 2) и субдоминантов *Ch. socialis*, *Th. Nitzschoides* и *Cocconeis sp.*, что указывает на неоднородность условий. Наличие потенциально токсичной динофлагелляты *A. sanguinea* (до 1 700 кл./л, 3,89 %) в мае свидетельствует о расширении комплекса ВЦВ в акватории губы.

В период с апреля по июль 2025 года в пробах фитопланктона были обнаружены следующие виды водорослей, относящихся к комплексу «ВЦВ»: (диатомовые) *P. pungens*, *P. seriata*, *Skeletonema spp.* (динофлагелляты) *A. sanguinea*, *A. tamarense*, *K. mikimotoi*.

Для уменьшения масштабов и периодичности «цветений» в Авачинской губе необходимо регулярно проводить мониторинг планктонных сообществ, снижать техногенную нагрузку на акваторию и устанавливать современные очистные сооружения.

Литература

1. Орлова Т.Ю., Селина М.С., Стоник И.В., Морозова Т.В., Бегун А.А., Лепская Е.В. Фитопланктон прибрежных вод Камчатки и сопредельных акваторий. Владивосток: Изд-во «ЛИТ»; 2024:184.

2. Гогорев Р.М., Орлова Т.Ю., Шевченко О.Г., Стоник И.В. Диатомовые водоросли России и сопредельных стран: Ископаемые и современные. Т. II, вып. 4. Под ред. Н.И. Стрельниковой. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та; 2006: 180.
3. Коновалова Г.В. Динофлагелляты (Dinophyta) дальневосточных морей России и сопредельных акваторий Тихого океана. Владивосток: Дальнаука; 1998:300.
4. Коновалова Г.В., Орлова Т.Ю., Паутова Л.А. Атлас фитопланктона Японского моря. Л.: Наука; 1989:160.
5. Коновалова Г.В., Селина М.С. Динофитовые водоросли (Dinophyta). Владивосток: Дальнаука; 2010: 362.
6. Глезер З.И., Макарова И.В., Моисеева А.И., Николаев В.А. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. II, вып. 1. Л.: Наука; 1988:116.
7. Макарова И.В., Стрельникова Н.И., Козыренко Т.Ф., Гладенков А.Ю., Жаковщикова Т.К., Казарина Г.Х., Николаев В.А., Потапова М.Г. Диатомовые водоросли России и сопредельных стран. Ископаемые и современные. Т. II, вып. 3. СПб.: С.-Пб. ун-т; 2002:112.
8. Шевченко О.Г., Орлова Т.Ю., Стоник И.В. Биота российских вод Японского моря. Т. 11. Диатомовые водоросли порядка Chaetocerotales. Под ред. А.В. Адрианова. Владивосток: Дальнаука; 2014:247.
9. Коновалова Г.В., Селина М.С. Биота российских вод Японского моря. Т. 8. Динофитовые водоросли (Dinophyta). Под ред. А.В. Адрианова. Владивосток: Дальнаука; 2010: 352.
10. Коновалова Г.В. Планктонная флора прибрежных вод Восточной Камчатки. Жгутиковые водоросли. Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский: Камч. печатн. двор; 2004. Вып. VI:131–182.
11. Коновалова Г.В. Планктонная флора прибрежных вод Восточной Камчатки. Жгутиковые водоросли. II. Труды Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Петропавловск-Камчатский: Камч. печатн. двор; 2006. Вып. V:8–23.
12. Коновалова Г.В. «Красные приливы» у Восточной Камчатки (Атлас-справочник). Петропавловск-Камчатский: Камчат; 1995:56.
13. Курбанова Л.В., Коростелев С.Г., Ключкова Т.А. Видовой состав «красных приливов» в прибрежных водах Камчатки в весенний и летний периоды 2025 года. В кн.: *Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Сборник научных статей по материалам XXVI Всероссийской научной конференции (Петропавловск-Камчатский, 12–13 ноября 2025 г.)*. Петропавловск-Камчатский; М.: Изд-во Центра охраны дикой природы; 2025:215–220.
14. Курбанова Л.В., Ключкова Т.А. Цветение фито- и зоопланктона в Авачинской губе (Юго-восточная Камчатка) в 2024 году. Седьмая национальная (всероссийская) научно-техническая конференция. Петропавловск-Камчатский; 2025:157-163. DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-35750-2025-1-157-163>
15. Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2024 году. Петропавловск-Камчатский: Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края; 2025:397.

References

1. Orlova T.Yu., Selina M.S., Stonik I.V., et al. *Phytoplankton of the coastal waters of Kamchatka and adjacent areas*. Vladivostok: LIT Publishing House; 2024:184 (in Russian).
2. Gogorev R.M., Orlova T.Yu., Shevchenko O.G., Stonik I.V. *Diatoms of Russia and adjacent countries: Fossil and modern*. Vol. II, Iss. 4. Ed. by N.I. Strelnikova. St. Petersburg: St. Petersburg University Press; 2006:180 (in Russian).
3. Konovalova G.V. *Dinoflagellates (Dinophyta) of the Far Eastern seas of Russia and adjacent waters of the Pacific Ocean*. Vladivostok: Dalnauka; 1998. 300 p. (in Russian).
4. Konovalova G.V., Orlova T.Yu., Pautova L.A. *Atlas of phytoplankton of the Sea of Japan*. Leningrad: Nauka; 1989:160 (in Russian).
5. Konovalova G.V., Selina M.S. *Dinophytic algae (Dinophyta)*. Vladivostok: Dalnauka; 2010:362 (in Russian).
6. Glezer Z.I., Makarova I.V., Moiseeva A.I., Nikolaev V.A. *Diatoms of the USSR: Fossil and modern*. Vol. II, Iss. 1. Leningrad: Nauka; 1988:116 (in Russian).
7. Makarova I.V., Strelnikova N.I., Kozыrenko T.F., et al. *Diatoms of Russia and adjacent countries. Fossil and modern*. Vol. II, Iss. 3. St. Petersburg: St. Petersburg University Press; 2002:112 (in Russian).

8. Shevchenko O.G., Orlova T.Yu., Stonik I.V. *Biota of Russian waters of the Sea of Japan. Vol. 11. Diatoms of the order Chaetocerotales*. Ed. by A.V. Adrianov. Vladivostok: Dalnauka; 2014:247 (in Russian).
9. Konovalova G.V., Selina M.S. *Biota of Russian waters of the Sea of Japan. Vol. 8. Dinophytic algae (Dinophyta)*. Ed. by A.V. Adrianov. Vladivostok: Dalnauka; 2010:352 (in Russian).
10. Konovalova G.V. Plankton flora of the coastal waters of Eastern Kamchatka. Flagellates. Proceedings of the Kamchatka Branch of the Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamch. pechatn. dvor; 2004. Iss. VI:131–182 (in Russian).
11. Konovalova G.V. Plankton flora of the coastal waters of Eastern Kamchatka. Flagellates. II. Proceedings of the Kamchatka Branch of the Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamch. pechatn. dvor; 2006. Iss. V:8–23 (in Russian).
12. Konovalova G.V. «Red tides» off Eastern Kamchatka (Atlas-reference book). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchat; 1995:56 (in Russian).
13. Kurbanova L.V., Korostelev S.G., Klochkova T.A. Species composition of «red tides» in the coastal waters of Kamchatka in spring and summer periods of 2025. In: *Conservation of biodiversity of Kamchatka and adjacent seas: Collection of scientific articles based on the materials of the XXVI All-Russian Scientific Conference*, Petropavlovsk-Kamchatsky, November 12–13, 2025. Petropavlovsk-Kamchatsky; Moscow: Center for Wildlife Conservation Publishing House; 2025:215–220 (in Russian).
14. Kurbanova L.V., Klochkova T.A. Phytoplankton and zooplankton bloom in Avacha Bay (Southeastern Kamchatka) in 2024. Seventh National (All-Russian) Scientific and Technical Conference. Petropavlovsk-Kamchatsky; 2025:157–163 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-35750-2025-1-157-163>.
15. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kamchatka Territory. Report on the State of the Environment in the Kamchatka Territory in 2024. Petropavlovsk-Kamchatsky: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Kamchatka Territory; 2025:397 (in Russian).

Сведения об авторе

КУРБАНОВА Лидия Витальевна – младший научный сотрудник, Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, ORCID: 0009-0007-6234-7949, SPIN-код: 4693-1399

About the author

Lidiya V. KURBANOVA – Junior Researcher, Kamchatka Branch of the Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation, ORCID: 0009-0007-6234-7949, SPIN: 4693-1399

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 04.08.2026

Поступила после рецензирования / Revised 07.09.2026

Принята к публикации / Accepted 21.09.2026