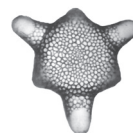


Научная статья / Original article

УДК 581.526.325(265.52)

doi:10.15853/2072-8212.2024.74.63-82

EDN: AMREBT



РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ КОМПЛЕКСА ВРЕДНОСНОГО «ЦВЕТЕНИЯ» И УСЛОВИЙ ИХ ОБИТАНИЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА И РЕКРЕАЦИОННОЙ АКВАТОРИИ АВАЧИНСКОЙ ГУБЫ (ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) В 2024 Г.

Лепская Екатерина Викторовна[✉], Тепнин Олег Борисович, Походина Мария
Александровна, Коломейцев Владимир Викторович, Морозов Тарас Борисович

Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии (КамчатНИРО), Петропавловск-Камчатский, Россия, e.lepskaya@kamniro.vniro.ru[✉]

Аннотация. В 2024 г. получены данные о видовом составе и количественных характеристиках микроводорослей комплекса ВЦВ не только в акватории стандартного разреза Авачинского залива, но и в бухтах южной части разреза и рекреационных акваториях, в том числе акватории будущего историческо-культурного кластера г. Петропавловска-Камчатского. Для выявления нормативных концентраций микроводорослей комплекса ВЦВ исследования необходимо продолжать, подключая изучение фикотоксинов как в культурах микроводорослей из Авачинской губы, так и в гидробионтах. Для этих же акваторий собран комплекс гидрологических данных, по которым выявлены особенности гидрологической обстановки района в период исследований.

Ключевые слова: микроводоросли комплекса ВЦВ, видовой состав, численность, распределение, условия среды обитания, Восточная Камчатка, Авачинский залив, рекреационные акватории

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Походина М.А., Коломейцев В.В., Морозов Т.Б. Результаты мониторинга микроводорослей комплекса вредоносного «цветения» и условий их обитания в прибрежной зоне Авачинского залива и рекреационной акватории Авачинской губы (Восточная Камчатка) в 2024 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2024. Вып. 74. С. 63–82. EDN: AMREBT. doi:10.15853/2072-8212.2024.74.63-82

RESULTS OF MONITORING OF HARMFUL MICROALGAE “BLOOM” COMPLEX AND CONDITIONS OF THEIR HABITAT IN THE COASTAL ZONE OF THE AVACHINSKY GULF AND RECREATIONAL WATERS OF AVACHA BAY (EAST KAMCHATKA) IN 2024

Ekaterina V. Lepskaya[✉], Oleg B. Tepnin, Maria A. Pohodina, Vladimir V. Kolomeytsev,
Taras B. Morozov

Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO),
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, e.lepskaya@kamniro.vniro.ru[✉]

Abstract. In 2024, data on the species composition and quantitative characteristics of the HAB microalgae complex were obtained not only from standard transects in the Avachinsky Gulf, but also from the bays in the southern part of the transect and from recreational waters, including in vicinity of historical and expected tourist cluster of Petropavlovsk-Kamchatsky. The studies on identification of normative concentrations of the HAB microalgae complex should be continued, including phycotoxin studies both in microalgae samples from Avacha Bay and in hydrobionts. A complex of hydrological data was obtained to describe habitat specifics in examined area during the period of research.

Keywords: HAB microalgae complex, species composition, abundance, distribution, habitat conditions, East Kamchatka, Avachinsky Gulf, recreational waters

Funding. The study was not sponsored.

For citation: Lepskaya E.V., Tepnin O.B., Pokhodina M.A., Kolomeytsev V.V., Morozov T.B. Results of monitoring of harmful microalgae “bloom” complex and conditions of their habitat in the coastal zone of the Avachinsky Gulf and recreational waters of Avacha Bay (East Kamchatka) in 2024 // The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean. 2024. Vol. 74. P. 63–82. (In Russ.) EDN: AMREBT. doi:10.15853/2072-8212.2024.74.63-82

Шельф Восточной Камчатки является дальневосточным промысловым районом, где сосредоточен основной запас восточнокамчатского минтая (Ильин и др., 2014), ведется добыча камбал, терпуга (Золотов и др., 2012), тихоокеанских лососей, любительский вылов крабов, морских ежей (натурные наблюдения авторов в Авачинской губе в 2024 г.), поэтому сохранение его биопродуктивности — основополагающая задача. С другой стороны, в перечень приоритетных направлений устойчивого социально-экономического развития Камчатского края включено такое направление, как туризм и соответственно становление рекреационной структуры, основная часть которой сконцентрирована на восточном камчатском берегу (Постановление..., 2022).

Устойчивое социально-экономическое развитие приморского города (и Петропавловск-Камчатский — не исключение) предполагает постоянный мониторинг качества прибрежной среды, которая при сочетании ряда условий может негативно влиять на здоровье населения. К числу неблагоприятных факторов относится такое природное явление, как вредоносное «цветение» водорослей (ВЦВ), или «красные приливы». У берегов Восточной Камчатки явление ВЦВ не частое, но регулярное, и вызывается как представителями давно известных таксонов, например, диатомовыми рода *Pseudonitzschia* и динофлагеллятами рода *Alexandrium*, так и новых для прикамчатских акваторий: например, динофлагеллятами рода *Karenia* (Коновалова, 1995, 1998, 1999; Орлова, 2005; Селина и др., 2006; Лепская, 2008; Лепская и др., 2014; Лепская, Коломейцев, 2021; Konovalova, 1993; Lepskaya et al., 2018; Orlova et al., 2022).

Известно, что съедобные моллюски из Авачинской губы, например мидии, накапливают в тканях фикотоксины, в частности домоевую кислоту (Стоник и др., 2023), что не исключает подобное накопление в тканях и других гидробионтов, употребляемых в пищу человеком. В прибрежных водах у восточного камчатского берега отмечен ряд таксонов динофлагеллят, которые до настоящего времени не формировали вредоносные «цветения», но будучи включенными в пищевые сети, могут представлять потенциальную опасность при потреблении морепродуктов (Andersen, 1996; Anderson et al., 2022). К таким таксонам относятся, например, динофлагелляты рода *Dinophysis*.

Несмотря на регистрируемые случаи ВЦВ, мониторинг этого явления у берегов Камчатки

до 2021 г. не проводили. «Цветение» восточнокамчатской акватории в 2020 г., вызванное динофлагеллятами рода *Karenia* и приведшее к массовой гибели донных беспозвоночных и рыб (Лепская и др., 2021; Orlova et al., 2022), вызвало широкий общественный резонанс и показало актуальность мониторинга ВЦВ и факторов среды обитания микроводорослей этого комплекса у берегов Камчатки.

Цель настоящей работы — предоставить данные мониторинга ВЦВ и условий среды их обитания в 2024 г. у восточного берега Камчатки, включая рекреационные акватории, на которые в настоящее время направлено пристальное внимание Правительства Камчатского края в плане развития туристической деятельности, на текущий момент — приоритетного направления экономического развития Камчатки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для выполнения работ послужили данные по таксономическому составу и численности микроводорослей комплекса ВЦВ, а также данные гидрологических съемок и данные по биогенному фону, полученные в 2024 г.

Съемки провели в Авачинском заливе на стандартном вдольбереговом разрезе из 15 станций в июле, августе и сентябре (рис. 1). В октябре съемка проведена по усеченной программе, по 4 основным станциям разреза в центральной и открытой частях залива (ст. 1, 2, 3, 10), для которых имеются данные сентября, октября 2020 г.

Дополнительно провели исследование микроводорослей комплекса ВЦВ и гидрологических условий в августе и сентябре в южных бухтах Авачинского залива: Жировая, Вилучинская (акватория проектируемого всесезонного туристического комплекса «Три вулкана»), Саранная (акватория проектируемого карбонового полигона) (рис. 1), а в марте, апреле и летом — в рекреационных акваториях (рис. 1).

Всего в 2024 г. на судах КамчатНИРО выполнено 4 комплексные съемки, включившие 52 гидрологические станции. Собрано и обработано 66 проб фитопланктона, 30 проб на биогенные элементы, выполнено 52 вертикальных зондирования толщи вод от поверхности до дна с определением давления (глубина), температуры, электропроводности (солености) с шагом по глубине в 0,5 м. Описание станций в Авачинском заливе и рекреационных акваторий приведено в таблице 1.

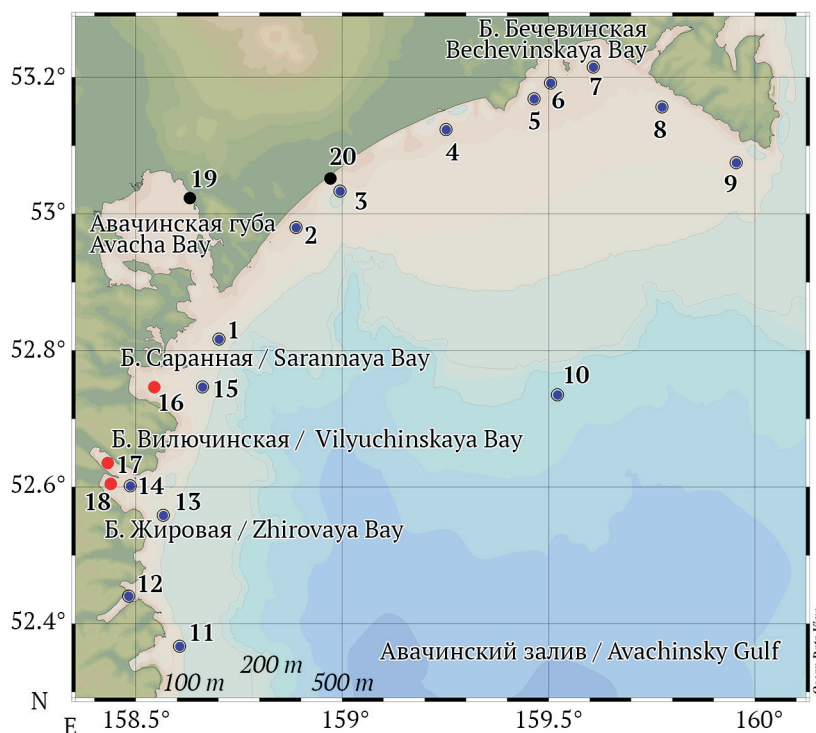


Рис. 1. Схема станций мониторинговых работ на акватории Авачинского залива, выполненных в 2024 г. (синие маркеры — вдольбереговой разрез; красные — южные бухты Авачинского залива; черные — рекреационные акватории)
Fig. 1. Scheme of monitoring stations in the waters of the Avachinsky Gulf examined in 2024 (blue markers — longshore transect; red markers — southern bays of the Avachinsky Gulf; black markers — recreational water areas)

Таблица 1. Координаты и описание станций мониторинга ВЦВ в Авачинском заливе и Авачинской губе в 2024 г.
Table 1. Coordinates and description of the HAB monitoring stations in the Avachinsky Gulf and Avacha Bay in 2024

№ станции Station number	Long_dd	Lat_dd	Глубина, м Depth, m	Описание расположения станции Description of station site
Вдольбереговой разрез / Alongshore transect				
1	158,700	52,825	60–61	Вход в Авачинскую губу Entrance to Avacha Bay
2	158,8599	52,985	43,5–45	Авачинский залив / Avachinsky Gulf
3	158,956	53,025	29,5	Авачинский залив / Avachinsky Gulf
4	159,250	53,123	28	Устье р. Налычева / Mouth of the Nalycheva River
5	159,434	53,187	20,5	Мыс Налычева / Cape Nalycheva
6	159,535	53,212	22,5	К западу от о-ва Крашенинникова Westward from Krasheninnikov Island
7	159,557	53,215	25,5	К востоку от о-ва Крашенинникова Eastward from Krasheninnikov Island
8	159,690	53,208	46,5	Восточнее входа в бух. Бечевинскую Eastward from the entrance to Bechevinskaya Bay
9	159,962	53,068	58	Южнее м. Шипунского / Southward from Cape Shipunsky
10	159,536	52,851	535	Центральная часть Авачинского залива Central part of Avachinsky Gulf
11	158,593	52,358	87,0–97,5	Вход в бух. Лиственичную / Entrance to Listvenichnaya Bay
12	158,483	52,440	25,5	Вход в бух. Русскую / Entrance to Russkaya Bay
13	158,560	52,555	86,5–88,5	Вход в бух. Жировую / Entrance to Zhirovaya Bay
14	158,483	52,603	42–42	Вход в бух. Вилучинскую / Entrance to Vilyuchinskaya Bay
15	158,592	52,733	78–78,5	Вход в бух. Саранную / Entrance to Sarannaya Bay
Бухты Авачинского залива / Bays of the Avachinsky Gulf				
16	158,4967	52,7517	10,0–25,0	Авачинский залив, бух. Саранная, планируемый карбоновый полигон Avachinsky Gulf, Sarannaya Bay, planned carbon test site
17	158,4314	52,6333	7,0–25,0	Авачинский залив, бух. Вилучинская, акватория строительства всесезонного туристического комплекса «Три Вулкана» Avachinsky Gulf, Vilyuchinskaya Bay, construction area of the all-season tourist complex "Three Volcanoes"
18	158,4367	52,6017	18,0–39,0	Авачинский залив, бух. Жирова Avachinsky Gulf, Zhirovaya Bay
Рекреационные акватории / Recreational water areas				
19	158,6415	53,0232	0,6–0,8	Авачинская губа, центральная набережная возле строения ГИМС (Государственная инспекция по маломерным судам) Avacha Bay, central shoreline near the building of the State Inspectorate for Small-Sized Vessels
20	158,8569	52,9947	0,5–0,7	Авачинский залив, Халактырский пляж, акватория серферов Avachinsky Gulf, Khalaktyrsky beach, surfers' water area

Температуру и соленость воды на каждой станции вдольберегового разреза в Авачинском заливе измеряли гидрологическим зондирующим комплексом STD-48 (Sea&Sun, Германия) в диапазоне глубин от 0 до 500 м с вертикальным шагом в 0,5 м. Данные заносились в общую базу на основе OceanDataView (ODV 5.7.2, Schlitzer, Reiner, OceanDataView, <https://odv.awi.de>, 2024.). В бухтах Авачинского залива гидрологическое зондирование проведено зондом-профилографом CastAway-CTD (WSI USA) в сентябре.

В рекреационной акватории «центральная набережная», или ГИМС, температуру и соленость воды измеряли зондом-профилографом CastAway-CTD (WSI USA). В прибойной зоне Халактырского пляжа, в накате, измерение гидрологических параметров не проводили из соображений безопасности.

Пробы фитопланктона на полигоне в Авачинском заливе и в южных бухтах Авачинского залива (Жировая, Вилучинская, Саранная), а также в прибойной зоне Халактырского пляжа собраны из поверхностного водного слоя ведром и зафиксированы раствором Люголя. В рекреационной акватории ГИМС (ст. 19) пробы собраны в прибрежной прибойной зоне ведром емкостью 7 л, с дальнейшей фильтрацией указанного объема воды через планктонную сеть с размером ячеей 90 мкм.

Камеральную обработку проб фитопланктона провели с помощью микроскопа Olympus BX43F при 100-, 200- и 1000-кратных увеличениях. Обработка включала в себя определение видового состава и количественный подсчет микроводорослей комплекса ВЦВ в камере Седжвика–Рафтера (объем 1 мл). Для определения таксономического состава микроводорослей комплекса ВЦВ использовали атласы и определители (Коновалова, 1998; Коновалова, Селина, 2010; Identifying of marine phytoplankton, 1997), а также консультации с коллегами из ННЦМБ ДВО РАН. При выделении комплекса ВЦВ ориентировались на Протисты... (2011) и обзоры о вредоносных видах диатомовых микроводорослей (Trainer, Suddleson, 2005; Bates et al., 2019). Названия таксонов микроводорослей приведены в соответствии с международной базой данных AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2024).

Пробы на биогенные элементы были собраны на станциях вдольберегового разреза Авачинского залива в июле и августе в поверхностном водном слое батометром Ван-Дорна. Лабораторную обработку образцов воды на биогенные элементы провели сразу после окончания

съемки по утвержденным методикам (ПНД Ф 14.1:2.2-95; РД 52.10.740-2010; РД 52.10.773-2013; РД 52.10.744-2020; РД 52.10.745-2020; РД 52.10.738-2023). В пробах определили фосфатный/минеральный фосфор ($P-PO_4^{3-}$), минеральные формы азота: аммонийную, нитритную, нитратную ($N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$), общее железо (Fe) и растворенные формы кремния (Si). О состоянии биогенного фона судили, сравнивая полученные результаты со значениями ПДК для соответствующих элементов, установленных для морских рыбохозяйственных водоемов (Приказ..., 2016).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав

В Авачинском заливе на стандартном вдольбереговом разрезе в июле–октябре найдено 10 таксонов комплекса ВЦВ: диатомовые (класс Bacillariophyceae) *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Pseudo-nitzschia pungens* (рис. 2А, Б), *Pseudo-nitzschia* cf. *seriata* (рис. 2В), *Pseudo-nitzschia* sp. (рис. 2Г). Среди динофлагеллят (класс Dinophyceae) к видам комплекса ВЦВ отнесены *Akashiwo sanguinea* (рис. 3А, Б), *Alexandrium catenella*, *Dinophysis acuminata* (рис. 3В), *Dinophysis rotundata* (рис. 3Г), *Gonyaulax spinifera* (рис. 3Д) и гимнодинальные клетки, предположительно относящиеся к роду *Karlodinium* и в дальнейшем учитываемые как водоросли группы “*Karlodinium*” (рис. 3Е). Кроме того, к условным компонентам комплекса ВЦВ отнесли диатомеи рода *Skeletonema*, которые во время длительного «цветения» оказывают аллелопатическое воздействие на иглокожих, в частности морских звезд, выделяя в окружающую среду полиненасыщенные альдегиды, и условно вредоносный комплекс диатомей рода *Chaetoceros* (Bates et al., 2019).

Наибольшее таксономическое разнообразие микроводорослей комплекса ВЦВ отмечено в летние месяцы. Однако структура видового разнообразия различалась по мере прогрева поверхностного слоя от июля к августу. Так, в середине лета в акваториях северных и южных терминальных станций разреза численно доминировал комплекс *Pseudo-nitzschia* (рис. 4). В центральной части разреза наряду с “*Karlodinium*” отмечены (по мере убывания численности) *Alexandrium catenella*, *Dinophysis* spp., *Akashiwo sanguinea*. Осенью доминирующим таксоном на всех станциях вдольберегового разреза были диатомеи рода *Pseudo-nitzschia* (рис. 4).

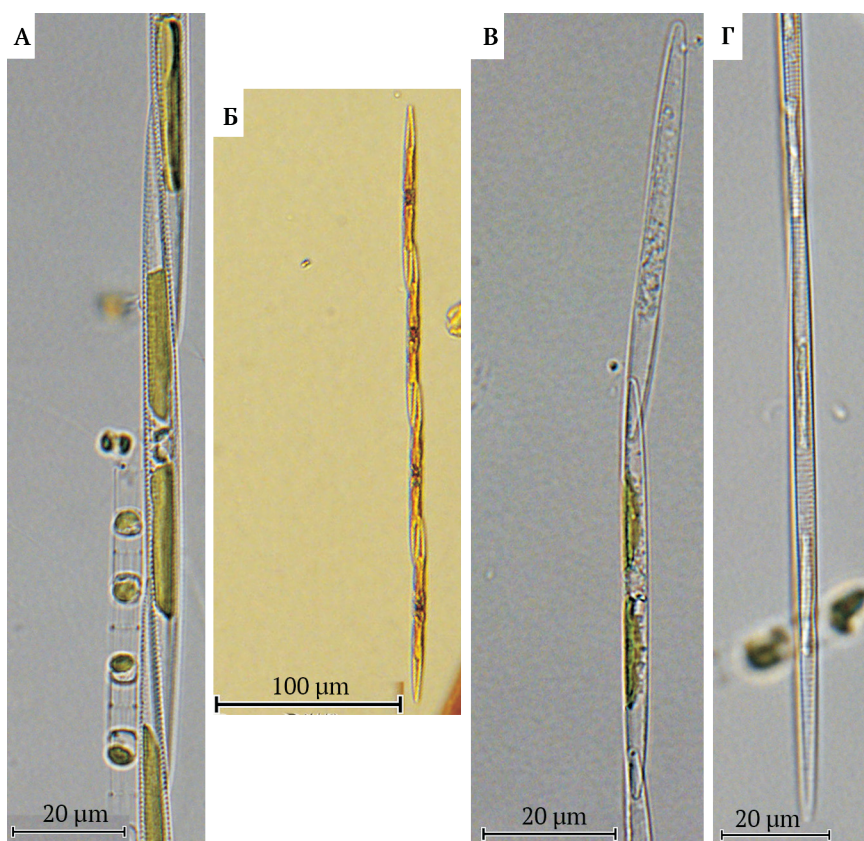


Рис. 2. Комплекс диатомовых микроводорослей рода *Pseudo-nitzschia*, найденных в Авачинском заливе в 2024 г. А, Б — *Pseudo-nitzschia pungens*, В — *Pseudo-nitzschia* cf. *seriata*, Г — *Pseudo-nitzschia* sp.

Fig. 2. The complex of diatom microalgae of the genus *Pseudo-nitzschia* observed in the Avachinsky Gulf in 2024. А, Б — *Pseudo-nitzschia pungens*, В — *Pseudo-nitzschia* cf. *seriata*, Г — *Pseudo-nitzschia* sp.

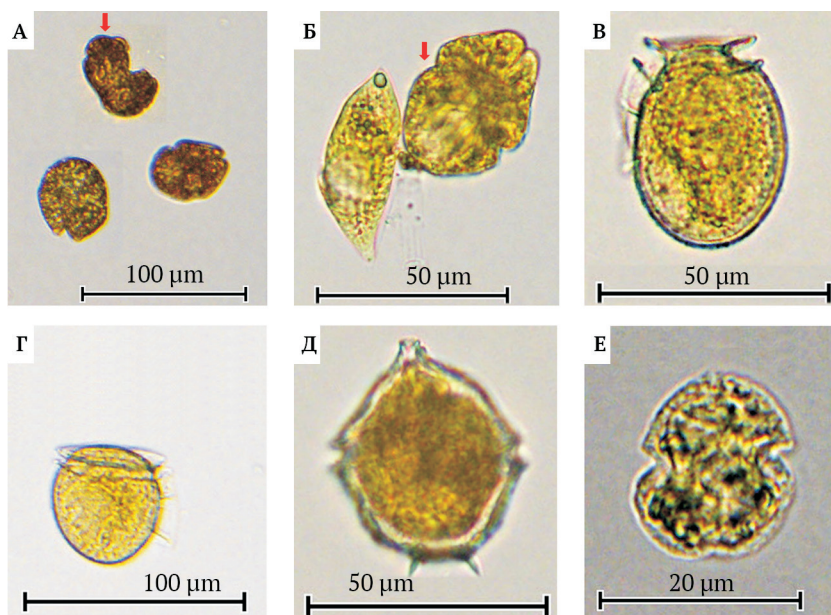


Рис. 3. Комплекс динофлагеллят комплекса ВЦВ, найденных в Авачинском заливе в 2024 г. А — *Akashiwo sanguinea*, разные клетки, стрелкой указаны клетки в фазе вегетативного размножения; Б — *Akashiwo sanguinea* (указана стрелкой) и *Gyrodinium lachryma*; В — *Dinophysis acuminata*; Г — *Dinophysis rotundata*; Д — *Gonyaulax spinifera*; Е — предположительно *Karlodinium* sp.

Fig. 3. The HAB dinoflagellate complex observed in the Avachinsky Gulf in 2024. А — *Akashiwo sanguinea*, different cells, the arrow marks cells at the vegetative reproduction phase; Б — *Akashiwo sanguinea* (marked with arrow) and *Gyrodinium lachryma*; В — *Dinophysis acuminata*; Г — *Dinophysis rotundata*; Д — *Gonyaulax spinifera*; Е — presumably *Karlodinium* sp.

По сравнению с тем же периодом трех предыдущих лет, видовой состав микроводорослей комплекса ВЦВ был значительно беднее. Так, в 2024 г. не найдены такие виды динофлагеллят, как *Dinophysis acuta*, *D. fortii*, *Gonyaulax digitalis*, *Karenia* spp.

Таксономическая структура микроводорослей комплекса ВЦВ в южных бухтах Авачинского залива в целом отражает таковую в прилегающих мористых акваториях. Например, в сентябре здесь также доминировали диатомеи *Pseudo-nitzschia* spp.

В рекреационной акватории Халактырско-го пляжа в марте и летом были найдены единичные клетки микроводорослей комплекса ВЦВ (*Dinophysis norvegica* и *Alexandrium catenella*) (не более 1 кл./л).

В рекреационной акватории «центральная набережная», или ГИМС, комплекс микроводорослей ВЦВ в безледный период 2024 г. был представлен 4 таксонами, из них 2 вида диатомей (*Pseudo-nitzschia delicatissima*, *P. pungens*) и 2 вида динофлагеллят (*Alexandrium catenella*,

Dinophysis acuta). При этом таксоны ВЦВ были найдены в акватории ГИМС только весной и на протяжении всего летнего периода (рис. 5). Отметим, что на этой же акватории регулярно отмечали диатомей *Skeletonema* spp. Несмотря на разную численность, внутри собственно комплекса ВЦВ *Pseudo-nitzschia pungens* была основным компонентом в апреле и июле, а *Alexandrium catenella* — в июне и августе. В сентябре в данной акватории микроводорослей комплекса ВЦВ не найдено (рис. 5).

Количественная оценка микроводорослей комплекса ВЦВ в 2024 г.

На стандартном вдольбереговом разрезе Авачинского залива численность отдельных таксонов динофлагеллят комплекса ВЦВ (рис. 6), как и диатомей (рис. 7), а также условно вредоносных таксонов диатомовых микроводорослей *Skeletonema* spp. и *Chaetoceros* spp. (рис. 8) имела четкую сезонную динамику и пятнистое распределение по акватории.

Основное развитие динофлагеллят в 2024 г. пришлось на летние месяцы (рис. 6). Так, в июле численность гимнодиальных фитофлагеллят “*Karlodinium*” изменялась от нулевых значений до 26 тыс. кл./л, составляя в среднем для акватории $7,3 \pm 2,3$ тыс. кл./л. В это же время на станциях северной части разреза численность *Alexandrium catenella* составляла $1,5 \pm 0,4$ тыс. кл./л при размахе значений от 0 до 5,0 тыс. кл./л.

В августе также обильны были мелкие гимнодиниальные клетки комплекса “*Karlodinium*” — $2,6 \pm 0,6$ тыс. кл./л с терминальными значениями 0–9,0 тыс. кл./л, а их присутствие распространилось на более обширную акваторию (рис. 6).

Осенью место динофлагеллят заняли диатомеи рода *Pseudo-nitzschia* (рис. 7). Однако флуктуации численности этого комплекса видов были значительнее. Так, в сентябре на отдельных станциях центральной части разреза численность этих микроводорослей составляла более 100–128 тыс. кл./л на ст. 2 (зона выноса р. Халактырки) и 140 тыс. кл./л на ст. 5 (вероятный вынос р. На-

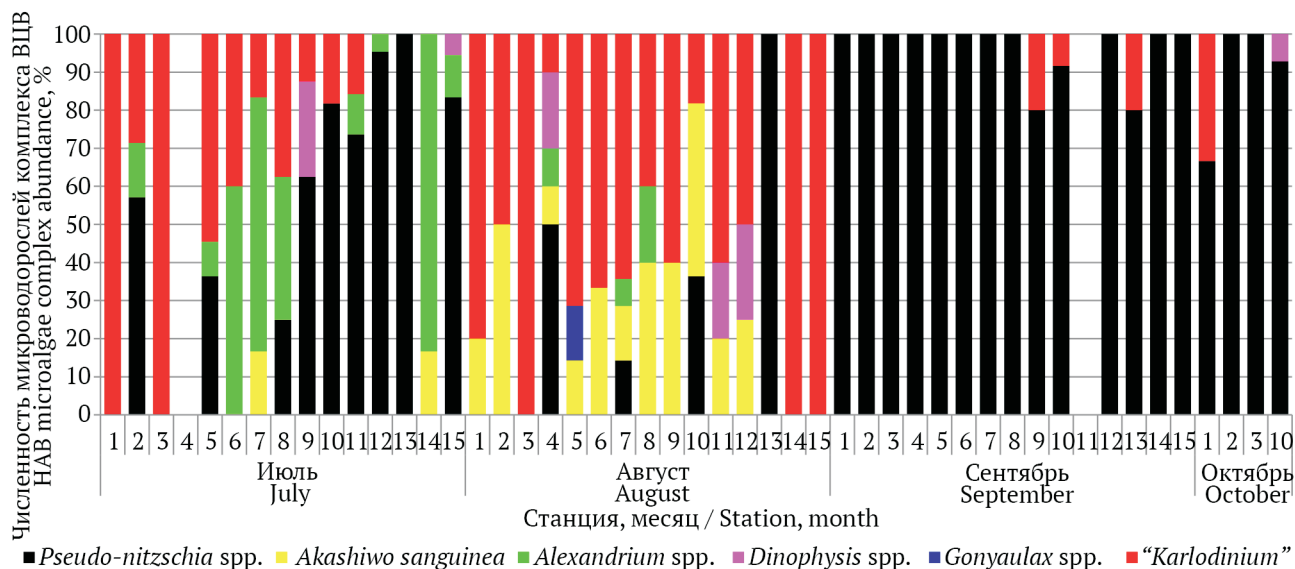


Рис. 4. Таксономическая структура комплекса ВЦВ на вдольбереговом разрезе Авачинского залива в июле–октябре 2024 г.
Fig. 4. Taxonomic structure of the HAB complex at the longshore transect in the Avachinsky Gulf in July–October 2024

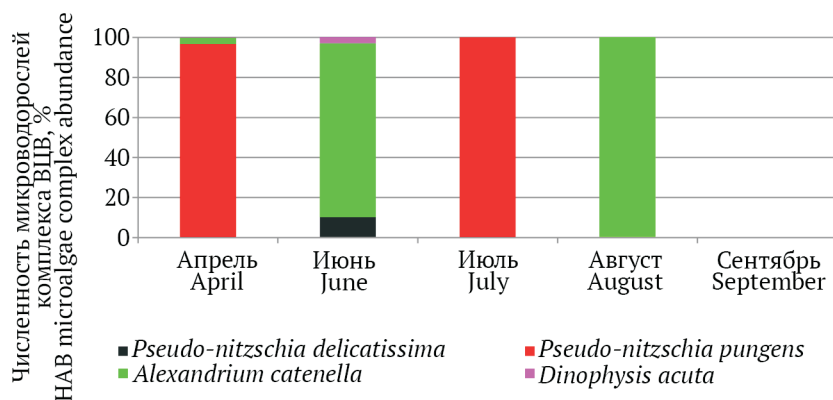


Рис. 5. Таксономическая структура комплекса ВЦВ в рекреационной акватории ГИМС (Авачинская губа) в безледный период 2024 г.
Fig. 5. Taxonomic structure of the HAB complex in the recreational waters near the building of the State Inspectorate for small-sized vessels (Avacha Bay) in the ice-free period of 2024

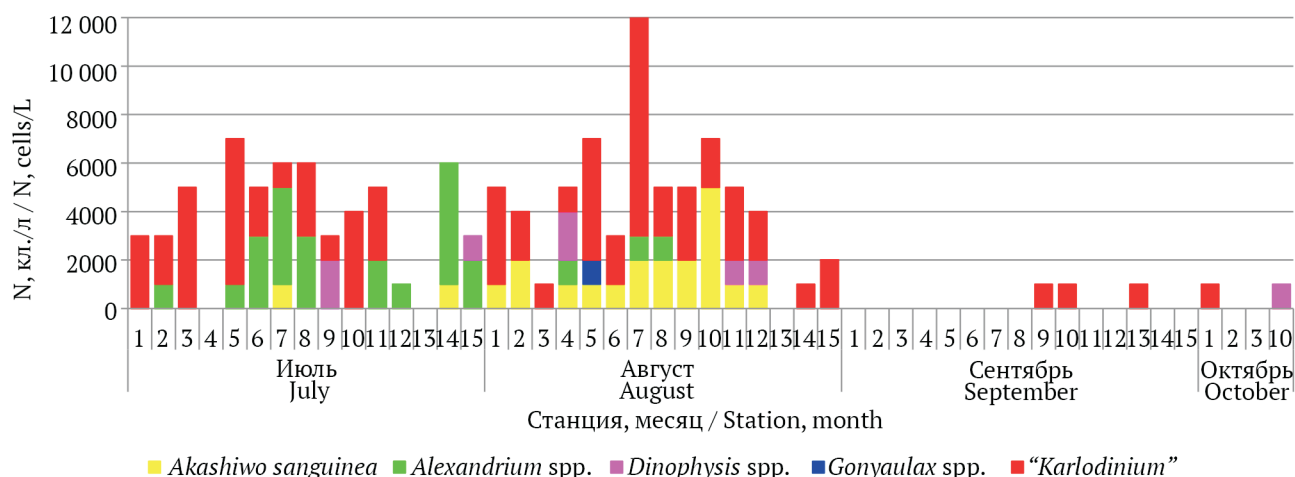


Рис. 6. Сезонная изменчивость численности (N) динофлагеллят комплекса ВЦВ на вдольбереговом разрезе Авачинского залива в 2024 г.
Fig. 6. Seasonal variations of thee abundance (N) of the HAB dinoflagellate complex at the alongshore transect in the Avachinsky Gulf in 2024

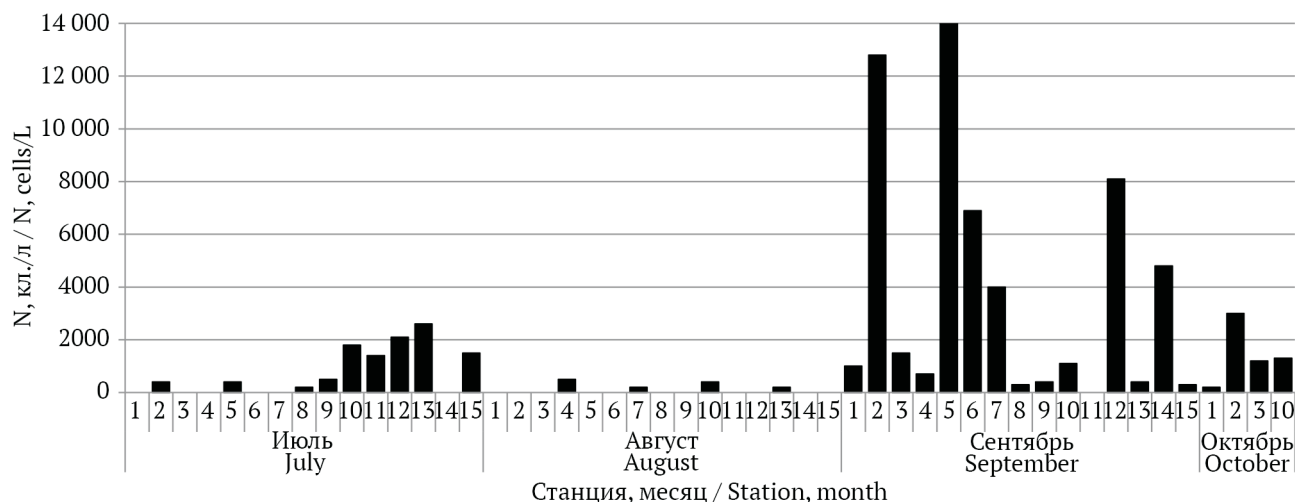


Рис. 7. Сезонная изменчивость численности (N) диатомовых *Pseudo-nitzschia* spp. на вдольбереговом разрезе Авачинского залива в 2024 г.
Fig. 7. Seasonal variations of thee abundance (N) of *Pseudo-nitzschia* spp. diatoms at the alongshore transect in the Avachinsky Gulf in 2024

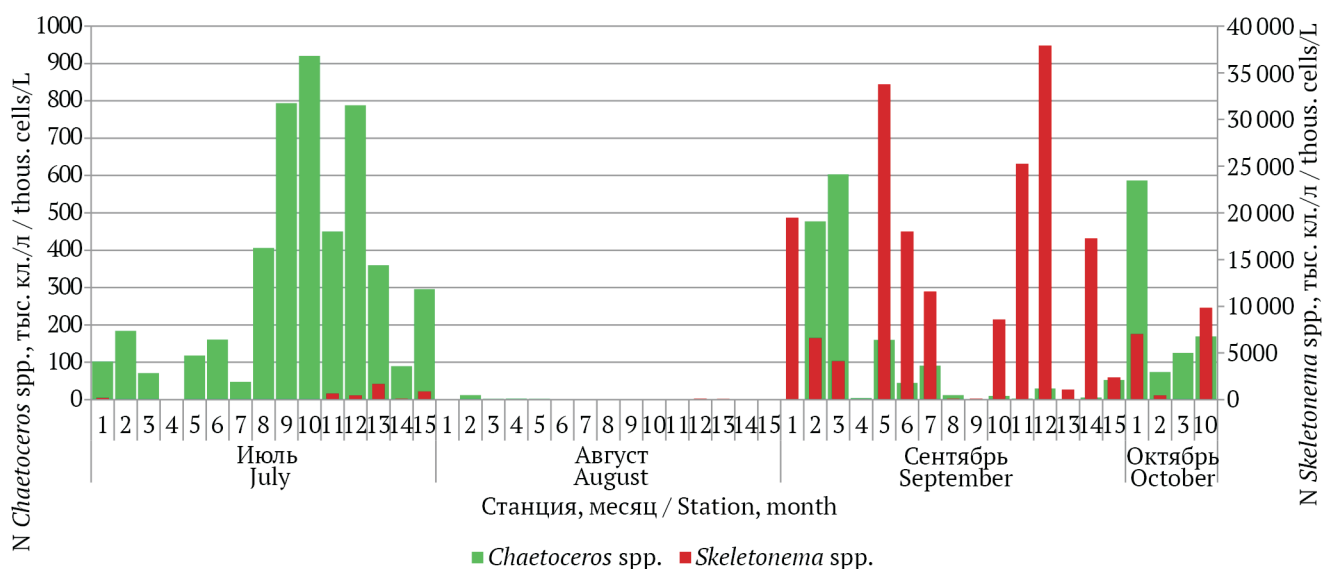


Рис. 8. Сезонная изменчивость численности (N) комплекса условно вредоносных диатомей на вдольбереговом разрезе Авачинского залива в 2024 г.
Fig. 8. Seasonal variations of thee abundance (N) of the potentially harmful diatom complex at the alongshore transect in the Avachinsky Gulf in 2024

лычева). Среднее значение численности *Pseudo-nitzschia* spp. в сентябре составило $37,5 \pm 12,1$ тыс. кл./л при терминальных значениях 0–140 тыс. кл./л. В октябре численность *Pseudo-nitzschia* spp. на сопоставимых станциях (1, 2, 3, 10) снизилась в 2,9 раза — от $41,0 \pm 29,0$ тыс. кл./л в сентябре до $14,0 \pm 5,8$ тыс. кл./л в октябре, а амплитуда колебаний численности значительно уменьшилась (рис. 7). Отметим, что в июле комплекс *Pseudo-nitzschia* достигал численности 20 тыс. кл./л на станциях южной части разреза (рис. 7).

Что касается условно вредоносных видов *Chaetoceros* spp. и *Skeletonema* spp., то «цветение» акватории, вызванное первым комплексом видов, наблюдали в июле, и приурочено оно было к терминальным станциям северной части разреза (ст. 8, 9), открытой части залива (ст. 10) и станциям южной части залива (рис. 8). Однако численность *Chaetoceros* spp., составлявшая в среднем для акватории $319,2 \pm 77,3$ тыс. кл./л (мин. — 0; макс. — 920 тыс. кл./л), не идет ни в какое сравнение с численностью *Skeletonema* spp., достигавшей в сентябре в отдельных пятнах «цветения» 33,8 млн кл./л (ст. 5) и 37,9 млн кл./л (ст. 12). В среднем для разреза численность этой диатомеи составляла $12,4 \pm 3,2$ млн кл./л.

На рекреационной акватории «центральная набережная», или ГИМС (ст. 19), в апреле и июне в заметных количествах развивался *Alexandrium catenella* — 1950 и 600 кл./л соответственно. В эти же месяцы отмечено присутствие динофлагелляты *Dinophysis acuta*, численность которой не превышала 50 кл./л (рис. 9).

В апреле у берега центральной набережной относительно обильной была диатомея *Pseudo-nitzschia pungens* (58,6 тыс. кл./л), тогда как летом ее численность не превышала 66 кл./л. В июне в прибрежном планктоне развивалась *Pseudo-nitzschia delicatissima* — 70 кл./л (рис. 9).

Значительная концентрация условно вредоносной диатомеи *Skeletonema* spp. в акватории центральной набережной была отмечена как весной, так и летом, с максимумом (2,2 млн кл./л) в начале летнего сезона (рис. 10). В июле и августе из-за сильного опреснения акватории, которое явилось результатом мощных летних циклонов, скелетонема не развивалась.

О региональных нормах численности ВЦВ и алгоритме мониторинга

В Российской Федерации до настоящего времени не разработана система мониторинга

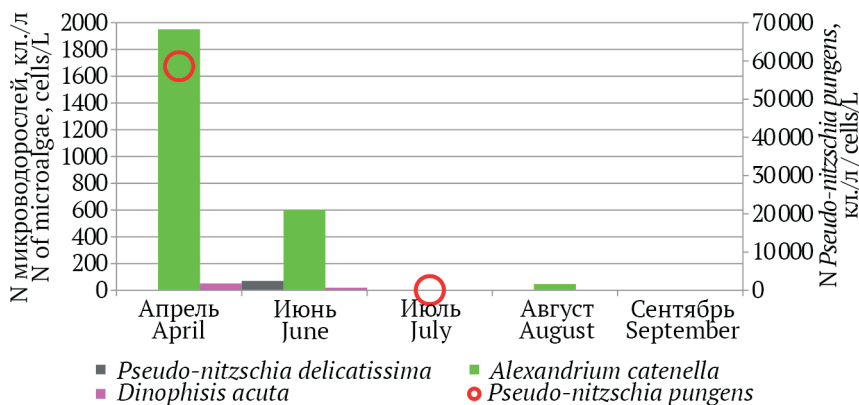


Рис. 9. Сезонная изменчивость численности (N) микроводорослей комплекса ВЦВ на рекреационной акватории ГИМС в 2024 г.

Fig. 9. Seasonal variations of the abundance (N) of the HAB microalgae complex in the recreational waters near the building of the State Inspectorate for small-sized vessels in 2024

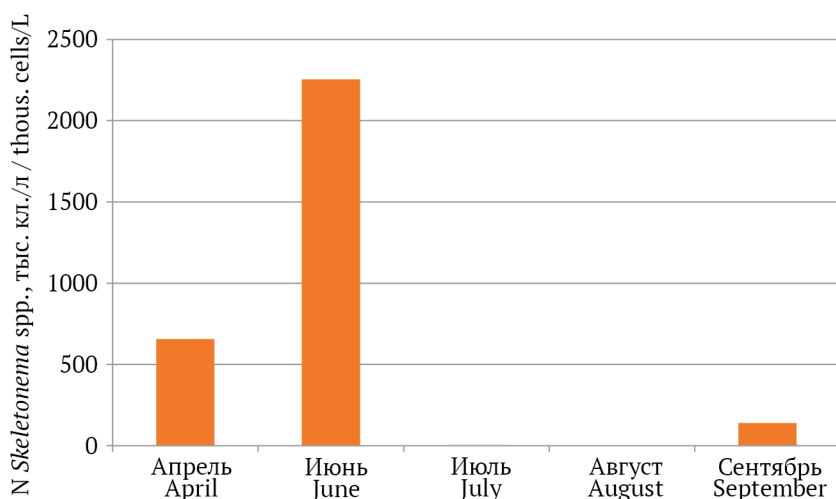


Рис. 10. Сезонная изменчивость численности (N) диатомей *Skeletonema* spp. из комплекса условно вредоносных микроводорослей на рекреационной акватории ГИМС в 2024 г.

Fig. 10. Seasonal variations of the abundance (N) of diatoms *Skeletonema* spp. from the complex of potentially harmful microalgae in the recreational water area near the building of the State Inspectorate for small-sized vessels in 2024

ВЦВ и предупреждения населения об этом явлении. Также нет региональных норм численности водорослей комплекса ВЦВ, при которой следует вводить токсикологический контроль морепродуктов или предупреждать население о возможных опасностях для здоровья последствиях прогулок по пляжу или купания в море. Согласно современным представлениям, для каждого из приморских регионов, где осуществляются прибрежное рыболовство или рекреационная деятельность или ведутся работы по развитию марикультуры, должны быть составлены списки видов комплекса ВЦВ и определено их количество, при котором на явление следует обращать внимание (Anderson et al., 2022). Например, такой список был предложен для Приморского края (Orlova, 2011).

Новые данные о нахождении фикотоксинов в гидробионтах Авачинской губы, например домоевой кислоты в мидиях (Стоник и др., 2023), подтверждают необходимость регулярных наблюдений за микроводорослями комплекса ВЦВ, в том числе на рекреационных акваториях. Однако вопрос о нормировании региональной численности компонентов этого комплекса остается открытым.

Известно, что в 1973 и 1974 г. в Петропавловске-Камчатском были зарегистрированы случаи отравления населения сакситоксином после употребления в пищу мидий, выловленных в Авачинской губе (Куренков, 1974; устное сообщение В.И. Карпенко). В те годы микроводоросли - продуценты сакситоксина в планктоне Авачинской губы не были обнаружены.

Вредоносное воздействие сакситоксина при «цветении» *Alexandrium fundyense* (син. *A. catenella*) на тихоокеанских лососей в Олюторском заливе в 2017 г. было отмечено при численности *Alexandrium* 132 тыс. кл./л (Лепская и др., 2017). С другой стороны, «цветение» *Alexandrium* spp. в рекреационной акватории ГИМС в первой декаде августа 2023 г., когда численность динофлагеллят этого рода составила 9,1 млн кл./л (Лепская и др., 2023), не проявило вредоносного эффекта. Также не поступало жалоб от населения на недомогания после прогулок по центральной набережной в октябре 2023 г. во время «цветения» *Pseudo-nitzschia pungens*, численность которой в это время составляла 10 млн кл./л (фондовые данные КамчатНИРО). Тем не менее вредоносное воздействие *Karenia* spp., например ожог слизистых дайверов и серферов, проявилось уже в 20-х числах сентября 2020 г. при численности микроводорослей это-

го рода 2–369 тыс. кл./л, при этом вода была насыщена микроводорослями от поверхности до дна, в том числе и на изобате 124 м (Лепская, Коломейцев, 2021). В 2023 г. выявлены 2 случая отравления крабовым мясом от животных, выловленных в Авачинской губе. Симптомы отравления были сходны с симптомами отравления омега-3 кислотой, которую продуцируют некоторые виды рода *Dinophysis*. Представители этого рода (*D. acuminata*, *D. acuta*, *D. rotundata*) являются постоянными компонентами фитопланктона Авачинской губы, хотя их численность редко достигает 100 кл./л. С 2017 г. в фитопланктоне появился также *D. fortii*, однако его присутствие отмечается не каждый год.

В некоторых странах с развитой приморской инфраструктурой еще в начале 1990-х годов был введен ежедневный мониторинг видов микроводорослей комплекса ВЦВ и определены их концентрации, которые могут представлять опасность для марикультуры и населения. Так, для видов *Alexandrium* (потенциальный продуцент сакситоксина) в Австралии и в некоторых испанских провинциях (Валенсия) такая концентрация составляет 1 тыс. кл./л. В Канаде один только факт присутствия *A. fundyense* в планктоне уже активизирует протокол по токсикологическому контролю морепродуктов. В разных странах для видов рода *Dinophysis* предельно допустимые концентрации варьируют от 100 кл./л до 50 млн кл./л. Для *Pseudo-nitzschia delicatissima*-группы критическая концентрация составляет 2 тыс. кл./л; для *Pseudo-nitzschia pungens* — 1 тыс. кл./л; для видов рода *Karenia* (= *Gymnodinium breve*) — более 5 тыс. кл./л (Andersen, 1996). Ориентируясь на эти значения, можно сделать вывод, что летом 2024 г. в поверхностном водном слое в прибрежной зоне Авачинского залива была незначительно превышена критическая концентрация *Alexandrium catenella*, а в сентябре — значительно, в 18 раз, *Pseudo-nitzschia* spp. В рекреационной акватории ГИМС в водном слое 0,6–0,8 м в апреле 2024 г. критическая концентрация *Alexandrium catenella* была превышена в 2 раза, а *Pseudo-nitzschia pungens* — в 56 раз.

Следует подчеркнуть, что критические концентрации микроводорослей, приведенные в обзоре Пера Андерсена (Andersen, 1996), получены для водной толщи, мониторинг которой проводится в настоящее время погружными цитометрами (Anderson et al., 2022), что позволяет получать данные в реальном времени и оперативно предпринимать соответствующие действия.

Для выявления нормативных концентраций микроводорослей комплекса ВЦВ исследования необходимо продолжать, подключая изучение фикотоксинов как в культурах микроводорослей из Авачинской губы, так и в гидробионтах.

Условия среды обитания ВЦВ в 2024 г.

На рисунке 11 представлены вертикальные профили на всех выполненных в 2024 г. станциях в Авачинском заливе по основным измеряемым параметрам среды: температура (°C), электропроводность (соленость, ‰), давление (глубина, м). Как можно заметить, прогрев поверхностных вод и ветровое перемешивание захватывали слой 10–30 м. Ниже располагался мощный термо- и галоклин (пикноклин), а с глубины около 45 м и до 200 м отмечался холодный подповерхностный слой (ХПС) с минимальными значениями температуры и малой изменчивостью солености. Заметим, что в аналогичный период 2022 г. в центральной части Авачинского залива была зафиксирована большая мощность ХПС: нижняя граница располагалась на уровне 250 м. В 2024 г. глубже 300 м значения

температуры, достигнув величин порядка 3,6 °C, уже практически не менялись до максимальных исследованных горизонтов (500 м) — теплый промежуточный слой (ТПС).

Значения солености отличались наибольшей изменчивостью в верхнем 30-метровом слое, что связано с береговым опреснением исследуемой части акватории. Ниже этого уровня соленость монотонно росла во всем обследованном слое вод, достигая максимума в 34‰ на уровне 500 м.

Рассмотрим изменчивость вертикальных профилей температуры и солености за весь исследуемый период 2024 г. На рисунке 12 представлены вертикальные профили этих элементов на станции 1 всех съемок за июль–октябрь. Данная точка выбрана из-за наличия наблюдений на ней в каждом рассматриваемом месяце. Заметно, что температурные условия наиболее значительно изменялись в верхних 35 м. Так, разница на поверхности между значением августа и октября составила более 8 °C. Глубже колебания температуры не превышали 1 °C, причем наиболее высокие значения в ХПС наблюдались ожидаемо в августе. В этом же ме-

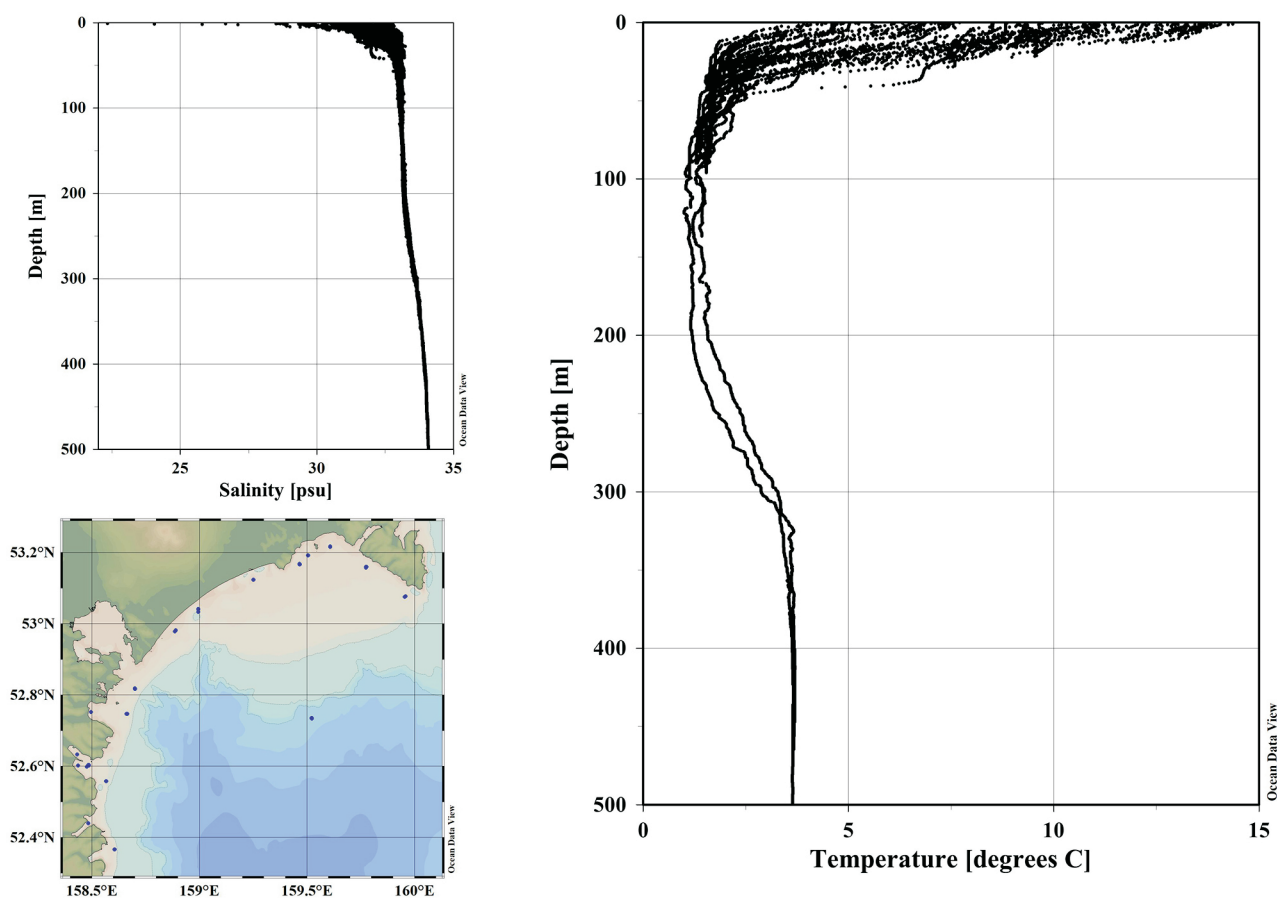


Рис. 11. Вертикальные профили на всех станциях съемок 2024 г. по основным измеряемым параметрам
Fig. 11. Vertical profiles at all stations of the 2024 surveys for the main measured parameters

сяце в слое 0–10 м отмечена ситуация, близкая к изотермии, очевидно из-за усиления радиационного прогрева и ветрового перемешивания, в то время как в июле обстановка в приповерхностном слое отличалась наличием значительного вертикального градиента температуры. Если на поверхности разность значений температуры, наблюдавшейся в июле и августе, была незначительной, то на уровне 10 м она составляла уже более 4 °С. К сентябрю произошло значительное падение температуры вод во всем верхнем 35-метровом слое. Так, на 5 м разница составляла до 8 °С по сравнению с августом, а на горизонте 20 м — около 6 °С. Ситуация с вертикальным распределением солёности определялась в основном величиной берегового стока, который постепенно убывает с июля к октябрю. Так, максимальное распреснение в приповерхностном слое было в июле и постепенно понижалось от съёмки к съёмке. Отметим, что в слое от 3 до 10 м в июле солёность оказалась выше, чем в августе, и как уже было отмечено, наиболее вероятной причиной этого явилось усиление ветрового перемешивания.

Вдольбереговой разрез. В связи с особенностью расположения станций — вдольбереговое, не затрагивающее открытую акваторию, для описания гидрологических условий в местах проведения работ нами были построены вертикальные разрезы по температуре и солёности для всех прибрежных станций, всех трех полноценных съёмок и по трем станциям октября 2024 г. (июль–октябрь, рисунки 13–16). В июле (рис. 13) верхний прогретый и охваченный ветровым перемешиванием слой распространялся на глубину до 20–30 м, и только в районе Шипунского полуострова (ст. 8) было отмечено заглубление слоя скачка до уровня 40 м. Однако именно здесь наблюдалась наиболее низкая температура воды в верхнем приповерхностном слое. На траверзе горла Авачинской губы температура поверхности превышала 13 °С, а уровень распреснения был максимальным (менее 29‰). Ниже слоя скачка господствовали воды осенне-зимней формации — холодный подповерхностный слой с температурой ниже 2 °С и солёностью выше 32‰.

За месяц, прошедший с момента проведения первой мониторинговой съёмки, темпе-

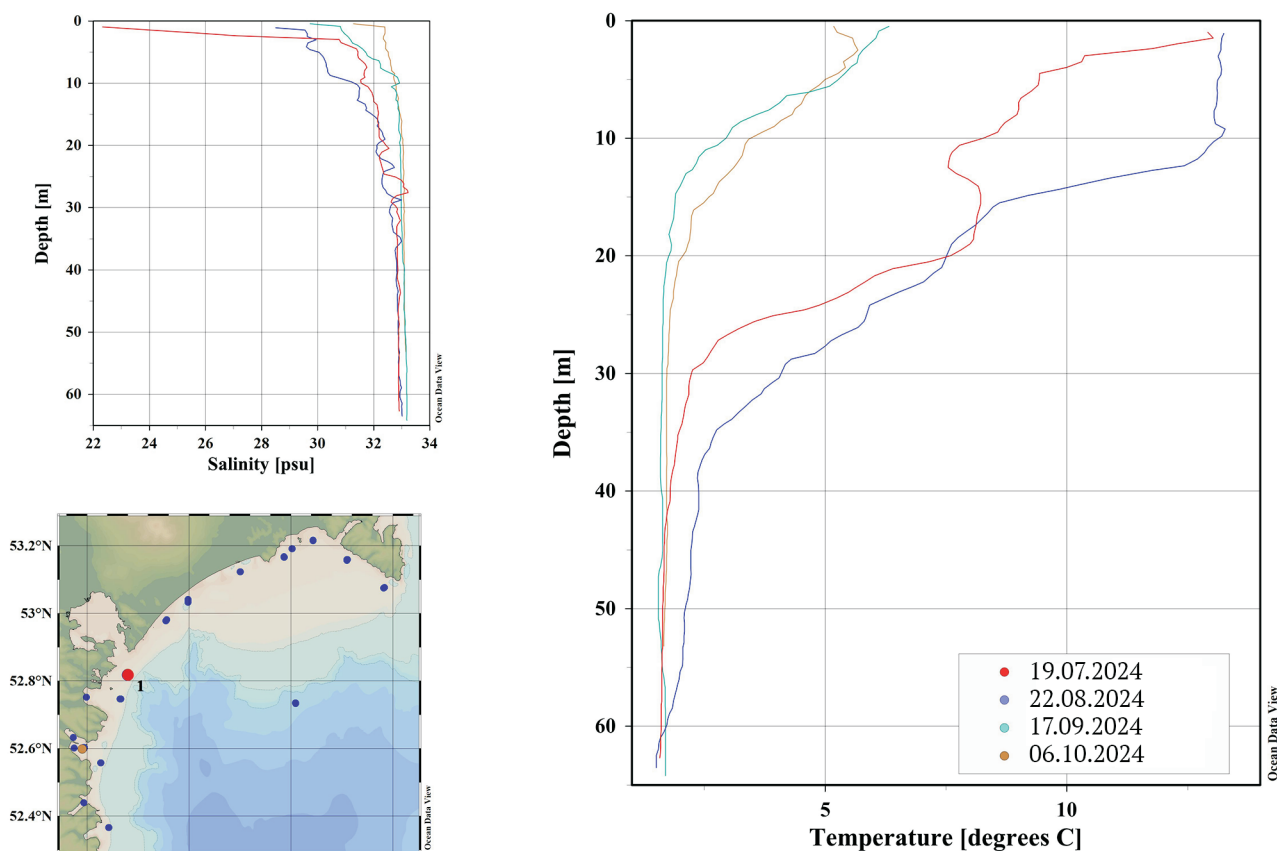


Рис. 12. Вертикальные профили температуры и солёности в июле–октябре 2024 г. на станции 1 Авачинского залива
Fig. 12. Vertical profiles of the water temperature and salinity in July–October of 2024 at the station 1 of the Avachinsky Gulf

ратура воды в поверхностном слое порядка 10 м возросла незначительно, не более чем на 1,5 °C (рис. 14). Одновременно был отмечен небольшой подъем уровня расположения слоя скачка ближе к поверхности, а мощность слоя вод с температурой ниже 2 °C, наоборот, уменьшилась. Максимальное распреснение вод приповерхностного слоя по-прежнему совпадало с местом выхода модифицированных вод из Авачинской губы. Отметим также появление на представленном разрезе, в его наиболее глубоководной южной части, изогалы 33‰, что может указывать на подъем вод в данном районе.

В сентябре максимальные значения температуры в поверхностном слое отмечались на севере и юге разреза (рис. 15). Обе указанные зоны, помимо относительно высокого уровня температуры, характеризовались и пониженными значениями солёности, причем глубина залегания изогалы 32,5‰ в них была максимальна. Отметим, что минимальный уровень солёности в приповерхностном слое по-

прежнему отмечался напротив входа в Авачинскую губу, но уровень проникновения распресненных вод здесь был значительно меньшим — порядка 5 м против 20 м на севере района. Также в этом месяце отмечался подъем изогалы 33‰ на уровень от 43 до 23 м в западной части разреза и несколько глубже — в районе Шипунского полуострова. Здесь же наблюдалось максимальное заглубление термоклина и изотермы 3 °C.

В октябре было выполнено только 3 гидрологические станции (рис. 16). По этой причине сравнение с рассмотренными выше разрезами сильно ограничено, и мы можем отметить только несколько моментов в изменении вертикального поля гидрологических параметров. Так, температура в приповерхностном слое за прошедшие 20 дней значительно снизилась: изотерма 3 °C поднялась на уровень около 10 м, а 5 °C — наблюдалась только на сильно ограниченной части разреза. Произошел и дальнейший подъем изогалы 33‰ на уровень от 20 до 10 м.

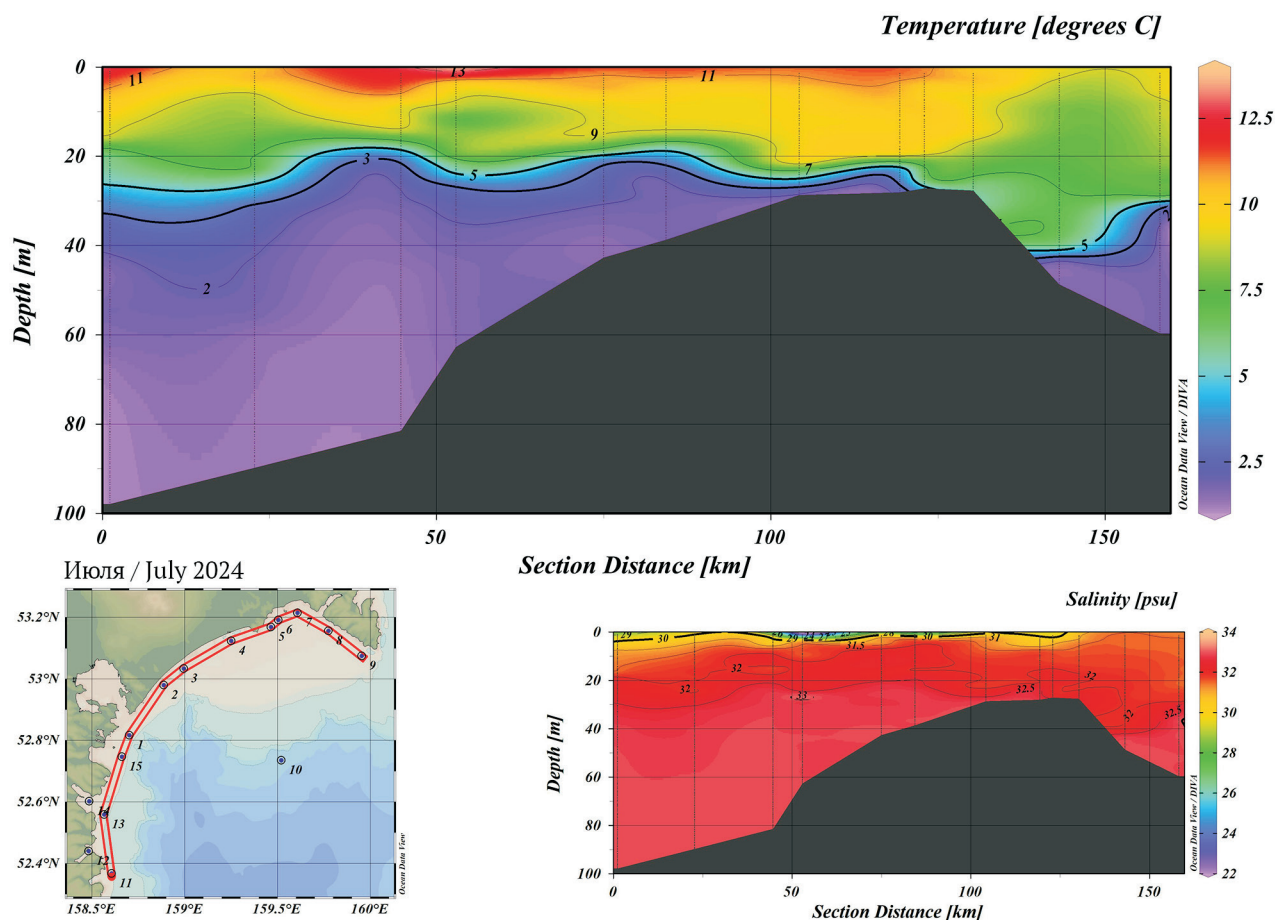


Рис. 13. Вертикальные прибрежные разрезы по температуре и солёности для июля 2024 г. на станциях вдольберегового разреза Авачинского залива (с юга на север)
Fig. 13. Vertical coastal transects of the water temperature and salinity in July of 2024 at the stations of the along-shore transect of the Avachinsky Gulf (from south to north)

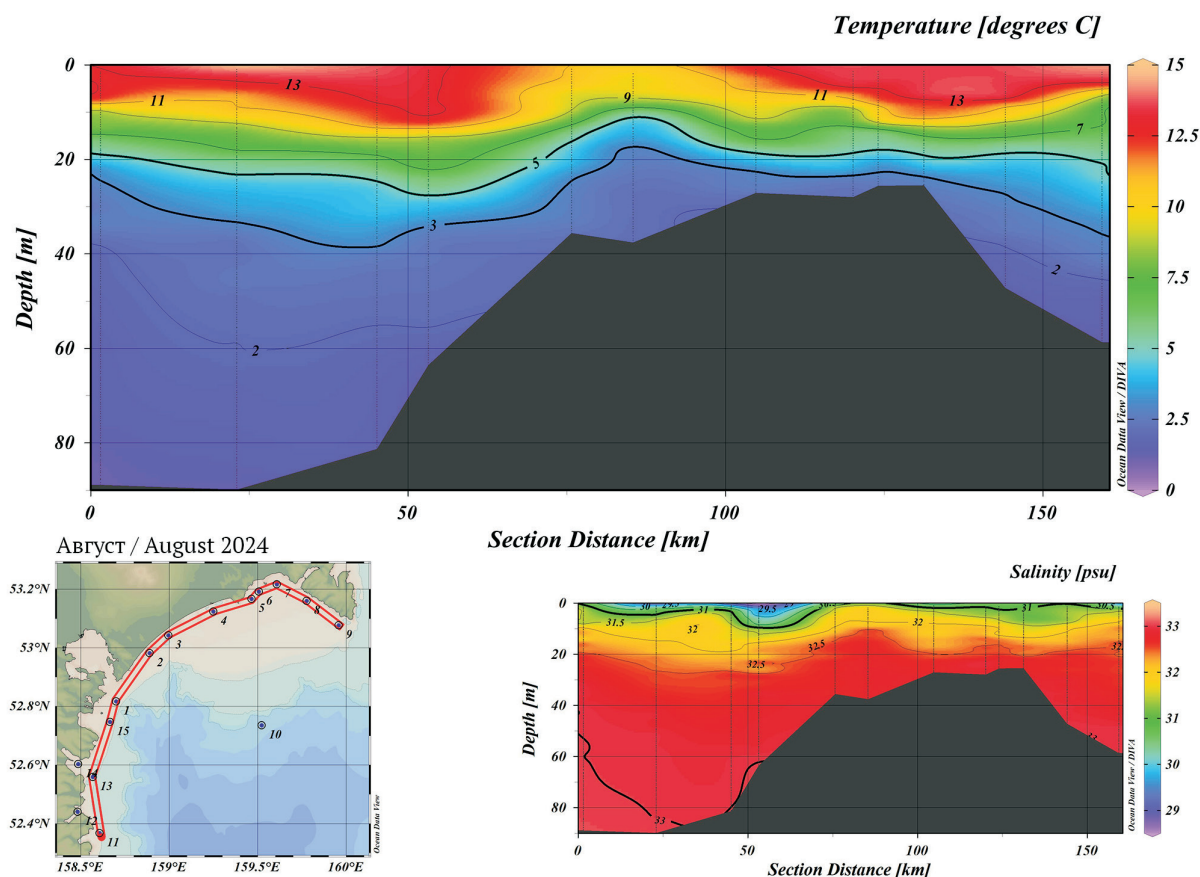


Рис. 14. Вертикальные прибрежные разрезы по температуре и солености для августа 2024 г. на станциях вдольберегового разреза Авачинского залива (с юга на север)
 Fig. 14. Vertical coastal transects of the water temperature and salinity in August of 2024 at the stations of the alongshore transect of the Avachinsky Gulf (from south to north)

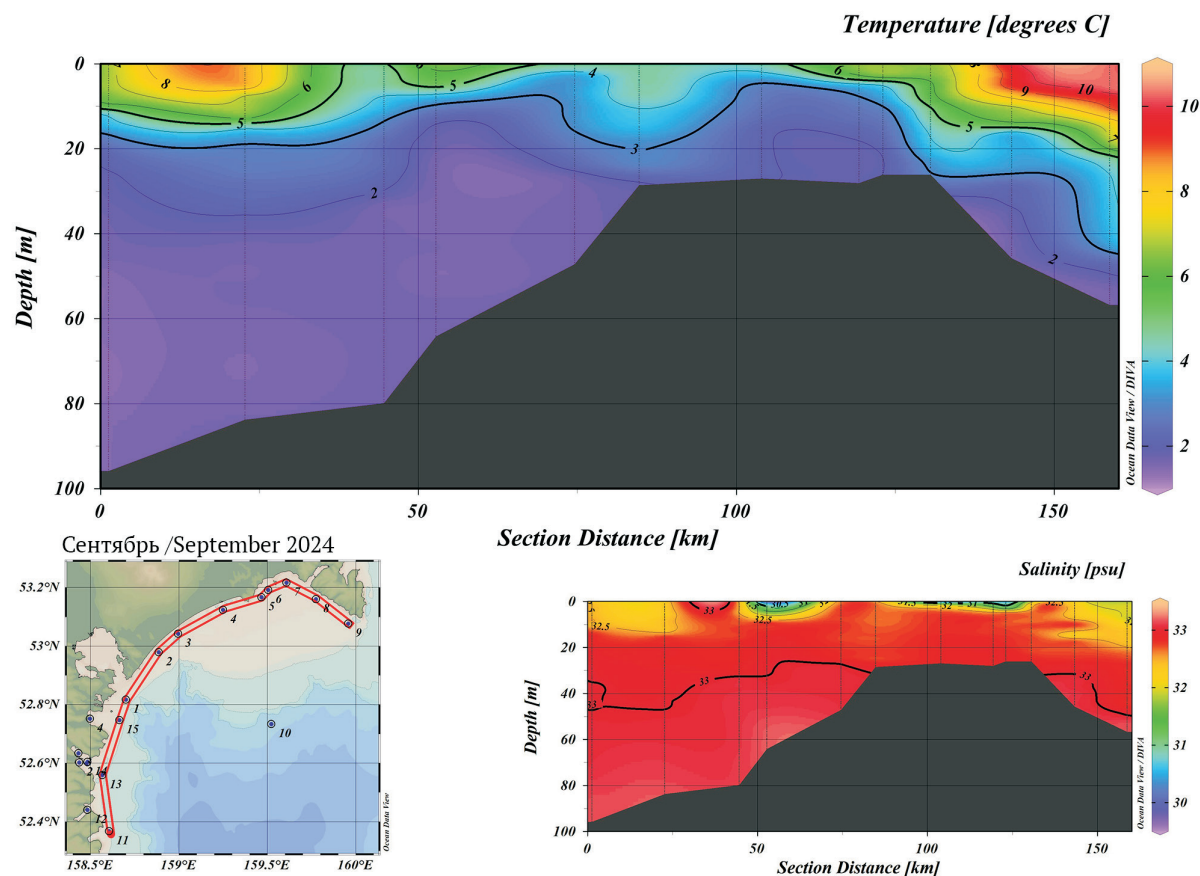


Рис. 15. Вертикальные прибрежные разрезы по температуре и солености для сентября 2024 г. на станциях вдольберегового разреза Авачинского залива (с юга на север)
 Fig. 15. Vertical coastal transects of the water temperature and salinity in September of 2024 at the stations of the alongshore transect of the Avachinsky Gulf (from south to north)

Биогенный фон на станциях вдольберегового разреза в Авачинском заливе рассматривали для середины и конца лета относительно ПДК для рыбохозяйственных водоемов по каждому элементу. Так, для фосфатного фосфора ПДК равно $0,05 \text{ мгР/дм}^3$, для аммония — $0,4 \text{ мгN/дм}^3$, для нитритов — $0,02 \text{ мгN/дм}^3$, для нитратов — $9,0 \text{ мгN/дм}^3$, для железа — $0,05 \text{ мгFe/дм}^3$. При этом ПДК по железу совпадает с границей чувствительности метода, также равной $0,05 \text{ мгFe/дм}^3$.

Исходя из приведенных значений ПДК, летом 2024 г. на всех исследованных станциях ПДК не было превышено для аммония, нитритов и нитратов. Для фосфатного фосфора в июле концентрации были вдвое меньше ПДК, и только на ст. 4 возле о. Крашенинникова отмечено незначительное превышение ПДК по данному элементу (рис. 17). В августе, напротив, концентрация фосфатов по станциям разреза в основном приближалась или слегка превышала значение ПДК. В среднем для разреза содержание фосфатов составило $0,026 \pm 0,004 \text{ мгР/дм}^3$ в июле и $0,049 \pm 0,003 \text{ мгР/дм}^3$ в августе.

Концентрация железа в середине лета была в основном ниже ПДК для большинства станций разреза. При этом, как и в случае с фосфатами, наибольшее превышение отмечено на ст. 4 в районе о. Крашенинникова. В августе картина распределения железа по станциям разреза была иной, а концентрация на половине станций — выше ПДК (рис. 18). Особенно выделялись ст. 8 и 14, находящиеся в зоне выноса из бухт, где ведется активное строительство.

Рекреационные акватории. В 2024 г. было выполнено 6 гидрологических измерений в ходе проведения мониторинговых работ в районе ГИМС (центральная набережная г. Петропавловска-Камчатского). Определяли температуру и соленость прибрежных вод Авачинской губы с апреля по август. Температура воды закономерно увеличивалась от весны к концу лета, достигая в августе $15,1^\circ\text{C}$ (рис. 19). Соленость, напротив, резко снижалась уже в начале лета и к его середине соответствовала минимуму, $4,84\text{‰}$.

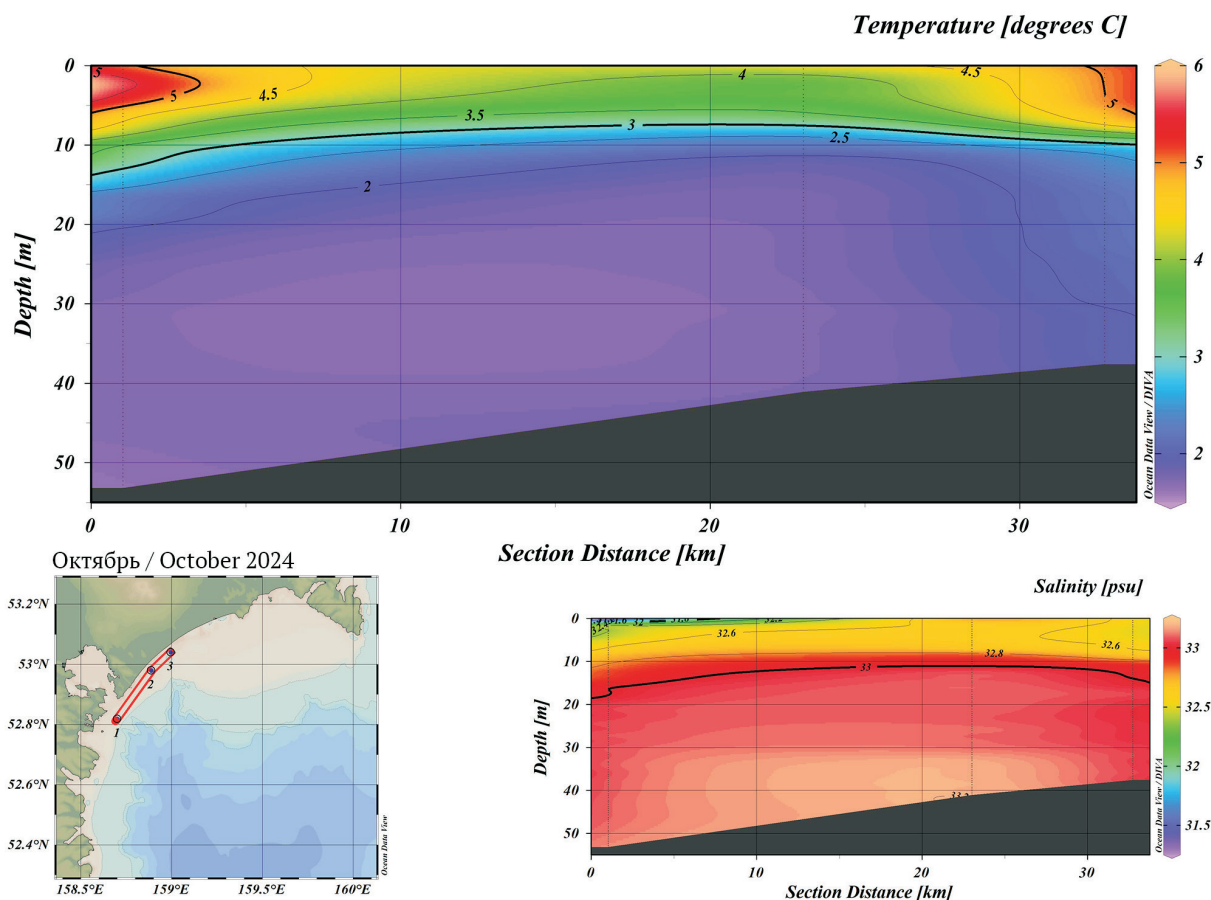


Рис. 16. Вертикальные прибрежные разрезы по температуре и солёности для октября 2024 г. на станциях вдольберегового разреза Авачинского залива (с юга на север)
Fig. 16. Vertical coastal transects of the water temperature and salinity in October of 2024 at the stations of the alongshore transect of the Avachinsky Gulf (from south to north)

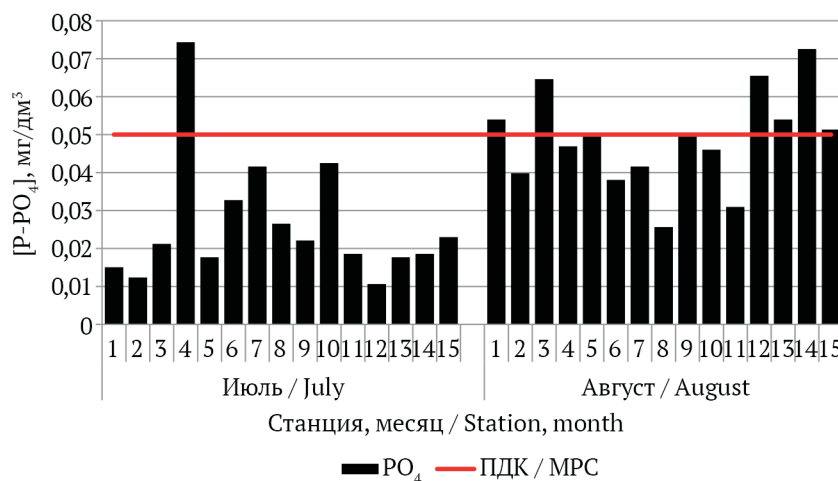


Рис. 17. Содержание фосфатного/минерального фосфора в поверхностном водном слое на мониторинговом разрезе в Авачинском заливе в 2024 г.
Fig. 17. Phosphate/mineral phosphorus content in the surface water layer at the monitoring transect in the Avachinsky Gulf in 2024

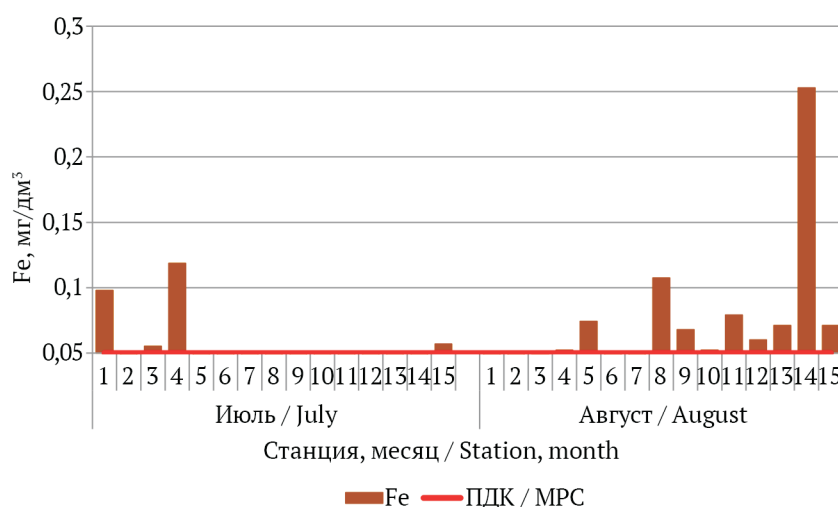


Рис. 18. Содержание железа в поверхностном водном слое на мониторинговом разрезе в Авачинском заливе в 2024 г.
Fig. 18. Iron concentration in the surface water layer at the monitoring transect in the Avachinsky Gulf in 2024

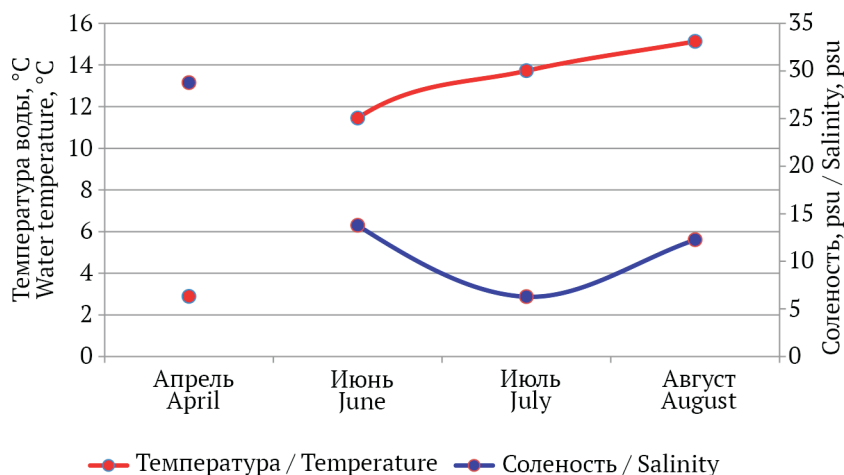


Рис. 19. Сезонная изменчивость температуры и солёности воды в рекреационной акватории ГИМС в 2024 г.
Fig. 19. Seasonal variations of water temperature and salinity in the recreational waters near the building of the State Inspectorate for Small-Sized Vessels in 2024

В августе в планктоне в массе развивались эврибионтные виды зеленых и криптофитовых флагеллят.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на стандартном вдольбереговом разрезе Авачинского залива в июле–октябре 2024 г. в поверхностном слое найдено 10 таксонов комплекса ВЦВ и 2 таксона условно

вредоносных диатомей, в рекреационной акватории ГИМС (Авачинская губа) — 4 таксона, в рекреационной акватории Халактырского пляжа — 2 таксона.

Видовое богатство микроводорослей комплекса ВЦВ на акватории вдольберегового разреза Авачинского залива в период исследований 2024 г. было незначительным, по сравнению с периодом 2021–2023 гг. Комплекс дино-

флагеллят развивался в летние месяцы, а *Pseudo-nitzschia* spp. — осенью. Каких-либо закономерностей в распределении микроводорослей комплекса ВЦВ по акватории разреза не отмечено. Наиболее показательным было развитие *Pseudo-nitzschia* spp. в осенний период, когда численность этих водорослей в поверхностном водном слое достигала в среднем 40,0 тыс. кл./л.

В рекреационной акватории в центре Петропавловска-Камчатского весной отмечен пик развития, вероятно, холодноводной линии (Лепская, Тепнин, 2024) *Alexandrium catenella*, а также диатомеи *Pseudo-nitzschia pungens*. Также в течение сезона наблюдений отмечено интенсивное сезонное «цветение» условно вредоносных таксонов диатомей родов *Chaetoceros* и *Skeletonema*.

Для ответа на вопрос о критических нормах численности микроводорослей комплекса ВЦВ для прибрежных вод Камчатки и алгоритме мониторинга явления ВЦВ необходимо продолжение мониторинга по устоявшейся схеме.

По данным натурных наблюдений в период выполнения мониторинговых работ на акватории Авачинского залива в 2024 г., максимальный прогрев вод приповерхностного слоя отмечался в августе. В это же время произошло и максимальное перемешивание с выравниванием измеряемых параметров в данном слое. К сентябрю процесс теплоотдачи через поверхность к атмосфере значительно активизировался, однако на севере и юге обследованной акватории отмечались «линзы» относительно теплых вод в верхнем 20-метровом слое. Наибольшее изменение уровня солености наблюдалось в приповерхностном слое, с минимумом в районе горла Авачинской губы. В целом уровень солености в этом слое постепенно возрастал от июля к октябрю. Отмечено также повышение уровня солености в холодном подповерхностном слое в период с июля по сентябрь.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Золотов О.Г., Варкентин А.И., Балыкин П.А., Булов А.В. 2012. Исследование морских промысловых рыб прикамчатских вод // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 25. С. 98–122.

Ильин О.И., Сергеева Н.П., Варкентин А.И. 2014. Оценка запасов и прогнозирование ОДУ восточно-камчатского минтая (*Theragra chalcogramma*) на основе предосторожного подхода // Тр. ВНИРО. Т. 154. С. 62–74.

Коновалова Г.В. 1995. «Красные» приливы у Восточной Камчатки (Атлас-справочник). Петропавловск-Камчатский: Камшат. 57 с.

Коновалова Г.В. 1998. Динофлагелляты (Dinophyta) дальневосточных морей России и сопредельных акваторий Тихого океана. Владивосток: Дальнаука. 300 с.

Коновалова Г.В. 1999. «Красные приливы» и «цветение» воды в дальневосточных морях России и прилегающих акваториях Тихого океана // Биология моря. Т. 25, № 4. С. 263–273.

Коновалова Г.В., Селина М.С. 2010. Биота российских вод Японского моря. Т. 8. Динофитовые водоросли (Dinophyta). Владивосток: Дальнаука. 352 с.

Куренков И.И. 1974. Красный прилив в Авачинской бухте // Рыбное хозяйство. № 2. С. 29–30.

Лепская Е.В. 2008. Потенциально токсичные и токсичные микроводоросли в планктоне юго-западного участка побережья Камчатки / Современное состояние водных биоресурсов : Матер. науч. конф., посвящ. 70-летию С.М. Коновалова. Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 578–581.

Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Блохин И.А., Кожевников А.В. 2021. «Красный прилив» у берегов Камчатки // Русская рыба. № 6. С. 60–62.

Лепская Е.В., Коломейцев В.В. 2021. Фитопланктон отдельных локальностей Берингова моря и Тихого океана в сентябре 2020 г. / Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : Матер. XXII Междунар. науч. конф. (17–18 ноября 2021 г.). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 147–152.

Лепская Е.В., Могильникова Т.А., Шубкин С.В., Тепнин О.Б. 2017. Первые риски промысла во время «красных приливов» у Восточной Камчатки // Бюллетень № 13 Изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. Владивосток: ТИНРО-Центр. С. 106–112.

Лепская Е.В., Тепнин О.Б. 2024. Динофлагелляты комплекса вредоносного «цветения» воды в Авачинской губе (Восточная Камчатка) / Морские исследования и образование (MARESEDU-2023) : Тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. Т. III (IV) [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС». С. 230–234. ISBN 978-5-6051693-0-7

Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Васильев А.О., Шурыгина А.А., Кириллова Е.А. 2023. Водоросли комплекса «вредоносного цветения» в рекреационных акваториях Авачинской губы (Камчатка) / Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : Матер. XXIV Междунар. науч. конф., посвящ. 300-летию РАН. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 197–200.

- Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Коломейцев В.В., Устищенко Е.А., Сергеенко Н.В., Виноградова Д.С., Свириденко В.Д., Походина М.А., Щеголькова В.А., Максименков В.В., Полякова А.А., Галямов Р.С., Горин С.Л., Коваль М.В. 2014. Исторический обзор исследований и основные результаты мониторинга Авачинской губы в 2013 г. // Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана. Вып. 34. С. 5–21.
- Орлова Т.Ю. 2005. «Красные приливы» и токсичные микроводоросли в дальневосточных морях России // Вестник ДВО РАН. № 1. С. 27–31.
- ПНД Ф 14.1:2.2-95. 2017. Методика измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с о-фенантролином. М.: ФЦАО. 7 с.
- Постановление Правительства Камчатского края от 27.06.2022 № 349-П «О внесении изменений в постановление Правительства Камчатского края от 27.07.2010 № 332-П „Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Камчатского края до 2030 года“».
- Приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552 (ред. от 10.03.2020) «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
- Протисты: Руководство по зоологии. 2011. Ч. 3. СПб.; М.: Тов-во науч. изданий КМК. 474 с.
- РД 52.10.738-2023. 2023. Массовая концентрация фосфатного фосфора в морской воде. Методика измерений фотометрическим методом. М.: Росгидромет. 35 с.
- РД 52.10.740-2010. 2010. Массовая концентрация азота нитритного в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса. М.: ГОИН. 27 с.
- РД 52.10.744-2020. 2020. Массовая концентрация кремния в морской воде. Методика измерений фотометрическим методом в виде синей формы молибдокремневой кислоты. М.: Росгидромет. 18 с.
- РД 52.10.745-2020. 2020. Массовая концентрация азота нитратного в морской воде. Методика измерений фотометрическим методом после восстановления в кадмиевом редуторе. М.: ГОИН. 45 с.
- РД 52.10.773-2013. 2013. Массовая концентрация азота аммонийного в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Несслера. М.: ГОИН. 21 с.
- Селина М.С., Коновалова Г.В., Морозова Т.В., Орлова Т.Ю. 2006. Род *Alexandrium* Halim, 1960 (Dinophyta) у тихоокеанского побережья России: видовой состав, распределение, динамика // Биология моря. Т. 32, № 6. С. 384–394.
- Стоник И.В., Попов Р.С., Цурпало А.П., Дмитриенко П.С., Щелканов М.Ю., Орлова Т.Ю. 2023. Домоевая кислота в лабораторных культурах диатомовых водорослей рода *Pseudo-nitzschia* H. Peragalloin H. Peragallo & M. Peragallo, 1900 и пробах моллюсков из российских вод Японского моря и тихоокеанских вод Камчатки // Биология моря. Т. 49, № 5. С. 313–318.
- Andersen P. 1996. Design and implementation of some harmful algal monitoring systems // IOC Technical Series. No. 44. UNESCO. 116 p.
- Anderson D.M., Fachon E., Hubbard K., Lefebvre K.A., Lin P., Pickart R., Richlen M., Sheffield G., Van Hemert C. 2022. Harmful algal blooms in the Alaskan Arctic: An emerging threat as the ocean warms // Oceanography. Vol. 35, No. 3–4. P. 130–139. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2022.121>
- Bates S.S., Lundholm N., Hubbard M., Leaw C.P. 2019. Toxic and harmful Marine Diatoms // Diatoms: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons, Inc. P. 389–434.
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2024. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, University of Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 13 ноября 2024 г.
- Identifying of marine phytoplankton. 1997. Ed. C.R. Tomas. USA: Academic Press. 858 p.
- Kononova G.V. 1993. Harmful dinoflagellate blooms along the eastern coast of Kamchatka // Harmful Alga News. No. 4. P. 2.
- Lepskaya E., Efimova K., Shubkin S., Kolomeitsev V. 2018. Toxic “bloom” and Pacific salmon (catch, spawning migrations, production) in the Far Eastern seas of Russia – are there new risks? // NPAFC Technical report. No. 11. P. 80–86.
- Orlova T. 2011. Report of HAB case studies in Amurskii Bay, Vostok Bay and Aniva Bay (Sakhalin) in Russia. 57 p. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://cearac.nowpap.org/hab-web/wp-content/uploads/2023/11/HAB_Case_Study_Russia_2010.pdf&ved=2ahUKEwiBv5OGz4eKAXW1FBAIHc5SBfIQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw3evpre9BMLQIS-HFvsn1KC
- Orlova T.U., Alexanin 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. 2022. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in

the fall of 2020 // *Harmful Alga*. Vol. 120. 102337. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102337>
Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2024.

Trainer V.L., Suddleson M. 2005. Monitoring approaches for early warning of domoic acid events in Washington State // *Oceanography*. Vol. 18. P. 228–237. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.56>

REFERENCES

- Zolotov O.G. Varkentin A.I., Balykin P.A., Buslov A.V. Researches of marine commercial fishes in the waters adjacent Kamchatka. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2012, vol. 25, pp. 98–122. (In Russ.)
- Ilyin O.I., Sergeeva N.P., Varkentin A.I. East-Kamchatka walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) stock and TAC assessment based on the precautionary approach. *Trudy VNIRO*, 2014, vol. 151, pp. 62–74. (In Russ.)
- Konovalova G.V. *Krasnyye prilivy u Vostochnoy Kamchatki (Atlas-spravochnik)* [Red tides near Eastern Kamchatka (Atlas-reference book)]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 1995, 57 p.
- Konovalova G.V. *Dinoflagellyaty (Dinophyta) dalnevostochnykh morey Rossii i sopredelnykh akvatoriy Tikhogo okeana* [Dinoflagellates (Dinophyta) of the Far Eastern Seas of Russia and adjacent water areas of the Pacific Ocean]. Vladivostok: Dalnauka, 1998, 300 p.
- Konovalova G.V. “Red tides” and “bloom” of water in the Far Eastern seas of Russia and the adjacent waters of the Pacific Ocean. *Russian journal of Marine biology*, 1999, vol. 25, No. 4, pp. 263–273. (In Russ.)
- Konovalova G.V. *Biota rossiyskikh vod Yaponskogo morya. T. 8. Dinofitovyie vodorosli (Dinophyta)* [Biota of Russian waters of the Sea of Japan. T. 8. Dinophyta algae (Dinophyta)]. Vladivostok: Dalnauka, 2010, 352 p.
- Kurenkov I.I. Red tide in Avacha Bay. *Rybnoye khozyaystvo*, 1974, no. 2, pp. 29–30. (In Russ.)
- Lepskaya Ye.V. Potentially toxic and toxic microalgae in the plankton of the southwestern coastal area of Kamchatka. *Current state of aquatic bioresources: Mater. scientific conf., dedicated 70th anniversary of S.M. Konovalov*. Vladivostok: TINRO-Center, 2008, pp. 578–581. (In Russ.)
- Lepskaya Ye.V., Tepnin O.B., Blokhin I.A., Kozhevnikov A.V. “Krasnyy priliv” u beregov Kamchatki [“Red tide” off the coast of Kamchatka]. *Russkaya ryba*, 2021, no. 6, pp. 60–62.
- Lepskaya E.V., Kolomeitsev V.V. The phytoplankton of some sites of Bering Sea and Pacific Ocean on September 2020. *Mater. XXII Intern. scientific conf. “Conservation of the biodiversity of Kamchatka and adjacent seas”*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2021, pp. 147–152. (In Russ.)
- Lepskaya E.V., Mogilnikova T.A., Shubkin S.V., Tepnin O.B. The first risks of fishing during “red tides” near Eastern Kamchatka. *Bulletin of Pacific salmon studies in the Russian Far East*, 2017, no. 13, pp. 106–112. (In Russ.)
- Lepskaya E.V., Tepnin O.B. Dinoflagellates of the Avacha Bay Harmful Bloom Complex (Eastern Kamchatka). *Marine Research and Education (MARE-SEDU-2023)*, conference proceedings, 2024, vol. III, pp. 230–234. (In Russ.)
- Lepskaya E.V., Tepnin O.B., Vasiliev A.O., Shurygina A.A., Kirillova E.A. Algae of “Harmful bloom” in recreational water areas of Avachinskaya Bay (Kamchatka) in summer 2023. *Conservation of biodiversity of Kamchatka and coastal waters*. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2023, pp. 197–200. (In Russ.)
- Lepskaya E.V., Tepnin O.B., Kolomeitsev V.V., Ushtimenko E.A., Sergeenko N.V., Vinogradova D.S., Sviridenko V.D., Pokhodina M.A., Schegolkova V.A., Maksimenkov V.V., Polyakova A.A., Galyamov R.S., Gorin S.L., Koval M.V. Historical review of studies of Avachinskaya Bay and principle results of complex ecological monitoring 2013. *The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and the north-west part of the Pacific Ocean*, 2014, vol. 34, pp. 5–21. (In Russ.)
- Orlova T.Yu. Red tides and toxic microalgae in the far eastern seas of Russia. *Vestnik DVO RAN*, 2005, no. 1, pp. 27–31. (In Russ.)
- PND F 14.1:2:3.2-95. *Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii obshchego zheleza v prirodnnykh i stochnnykh vodakh fotometricheskim metodom s o-fenantrolinom* [Method of measuring the mass concentration of total iron in natural and waste waters by the photometric method with o-phenanthroline]. Moscow: FTSAO, 2017, 17 p.
- Decree of the Government of the Kamchatka Territory dated June 27, 2022 No. 349-P “On introducing amendments to the Decree of the Government of the Kamchatka Territory dated July 27, 2010 No. 332-P ‘On approval of the Strategy for the socio-economic development of the Kamchatka Territory until 2030’.”
- Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016 No. 552 “On approval of water quality standards for water bodies of fishery significance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery sig-

- nificance" (as amended on October 12, 2018, March 10, 2020). Available at: <http://ivo.garant.ru/#/document/71586774/paragraph/2:0>
- Protisty: Rukovodstvo po zoologii. Chast 3 [A Guide to Zoology. Part 3]. SPb.; M.: Tov-vo nauch. izdaniy KMK, 2011, 474 p.
- RD 52.10.738-2023. Massovaya kontsentratsiya fosfatnogo fosfora v morskoy vode. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom [Mass concentration of phosphate phosphorus in sea water. Methodology for photometric measurements]. Moscow: Roshydromet, 2023, 35 p.
- RD 52.10.740-2010. Massovaya kontsentratsiya azota nitritnogo v morskikh vodakh. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom s reaktivom Grissa [Mass concentration of nitrite nitrogen in sea waters. Measurement technique by photometric method with Griess reagent]. Moscow: GOIN, 2010, 27 p.
- RD 52.10.744-2020. Massovaya kontsentratsiya kremniya v morskoy vode. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom v vide siney formy molibdokremnevoy kisloty [Mass concentration of silicon in seawater. Methodology for photometric measurement in the form of a blue form of molybdosilicic acid]. Moscow: Roshydromet, 2020, 18 p.
- RD 52.10.745-2020. Massovaya kontsentratsiya azota nitratnogo v morskoy vode. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom posle vosstanovleniya v kadmiyevom reduktore [Mass concentration of nitrate nitrogen in sea water. Methodology for photometric measurement after reduction in a cadmium reducer]. Moscow: GOIN, 2020, 45 p.
- RD 52.10.773-2013. Massovaya kontsentratsiya azota ammoniynogo v morskikh vodakh. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom s reaktivom Nesslera [Mass concentration of ammonium nitrogen in sea waters. Photometric measurement technique with Nessler's reagent]. Moscow: GOIN, 2013, 21 p.
- Selina M.S., Konovalova G.V., Morozova T.V., Orlova T.Yu. Genus *Alexandrium* Halim, 1960 (Dinophyta) from the Pacific coast of Russia: species composition, distribution, and dynamics. *Russian Journal of Marine Biology*, 2006, vol. 32, no. 6, pp. 321–332.
- Stonik I.V., Popov R.S., Tsurpalo A.P., Dmitrenok P.S., Shchelkanov M.Yu., Orlova T.Yu. Domoic acid in cultures of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo in H. Peragallo & M. Peragallo, 1900 and in bivalve samples from the Russian waters of the Sea of Japan and the Pacific waters of Kamchatka. *Russian Journal of Marine Biology*, 2023, vol. 49, no. 5, pp. 355–360.
- Andersen P. Design and implementation of some harmful algal monitoringsystems. *IOC Technical*, 1996, Series. No. 44, UNESCO. 116 p.
- Anderson D.M., Fachon E., Hubbard K., Lefebvre K.A., Lin P., Pickart R., Richlen M., Sheffield G., Van Hemert C. Harmful algal blooms in the Alaskan Arctic: An emerging threat as the ocean warms. *Oceanography*, 2022, vol. 35, no. 3–4, pp. 130–139. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2022.121>
- Bates S.S., Lundholm N., Hubbard M., Leaw C.P. Toxic and harmful Marine Diatoms. *Diatoms: Fundamentals and Applications*, 2019, John Wiley & Sons, Inc., pp. 389–434.
- Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, University of Galway, 2024. <https://www.algaebase.org>; searched on 13 ноября 2024 г.
- Identifying of marine phytoplankton. Ed. C.R. Tomas. USA: Academic Press, 1997, 858 p.
- Konovalova G.V. Harmful dinoflagellate blooms along the eastern coast of Kamchatka. *Harmful Alga*, 1993, news, no. 4, pp. 2.
- Lepskaya E., Efimova K., Shubkin S., Kolomeitsev V. Toxic "bloom" and Pacific salmon (catch, spawning migrations, production) in the Far Eastern seas of Russia – are there new risks? *NPAFC Technical report*, 2018, no. 11, pp. 80–86.
- Orlova T. Report of HAB case studies in Amurskii Bay, Vostok Bay and Aniva Bay (Sakhalin) in Russia, 2011, 57 p. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://cearac.nowpap.org/hab-web/wp-content/uploads/2023/11/HAB_Case_Study_Russia_2010.pdf&ved=2ahUKEwiBv5OGz4eKAXW1FBAIHc5SBfIQFnoECBkQAQ&usg=AOvVaw3evpre9BMLQIS-HFvsn1KC
- Orlova T.U., Alexanin 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 Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020. *Harmful Alga*, 2022, vol. 120, 102337. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102337>
- Schlitzer, Reiner, Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2024.
- Trainer V.L., Suddleson M. Monitoring approaches for early warning of domoic acid events in Washington State. *Oceanography*, 2005, vol. 18, pp. 228–237. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.56>

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ / COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Авторы заявляют, что данный обзор не содержит собственных экспериментальных данных, полученных с использованием животных или с участием людей. Библиографические ссылки

на все использованные в обзоре данные оформлены в соответствии с ГОСТом. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

The authors declare that this review does not contain their own experimental data obtained using animals or involving humans. Bibliographic references to all data used in the review are formatted in accordance with GOST (the Russian State Standard). The authors declare that they have no conflict of interest.

ИНФОРМАЦИЯ О ВКЛАДЕ АВТОРОВ AUTHORS' CONTRIBUTION

Е.В. Лепская — отбор проб в рекреационных акваториях, обработка проб фитопланктона (таксономическая идентификация, количественная оценка), введение, материалы и методы, результаты и обсуждение (видовой состав, количественная оценка, региональные нормы видов ВЦВ, оригинальные фото микроводорослей, анализ гидрохимических данных), заключение, список литературы.

О.Б. Тепнин — отбор проб и гидрологические измерения в рекреационных акваториях, обработка гидрологических данных, построение карт и профилей температуры и солености, результаты и обсуждение (условия обитания в 2024 г.).

М.А. Походина — обработка гидрохимических проб.

В.В. Коломейцев — отбор проб фитопланктона и гидрохимических проб, гидрологическая съемка.

Т.Б. Морозов — отбор проб фитопланктона и гидрохимических проб, гидрологическая съемка. Lepskaya E.V. provided collecting and processing of the phytoplankton samples (including taxonomic identification and quantification), writing the sections Introduction, Materials and methods, Results and Discussion (species composition, quantification, regional HAB species norms, original photos of microalgae, analysis of hydrochemical data), Conclusion and Bibliographic list.

Tepnin O.B. collected samples, made hydrological measurements in recreational water areas, processed hydrological data, constructed maps and profiles of temperature and salinity, participated in writing the sections Results and Discussion (habitat conditions in 2024).

Pokhodina M.A. processed hydrochemical samples. Kolomeitsev V.V. collected phytoplankton and hydrochemical samples and participated in the hydrological survey.

Morozov T.B. took phytoplankton and hydrochemical samples, participated in hydrological survey.

Информация об авторах

Е.В. Лепская — канд. биол. наук, зав. лабораторией рыбохозяйственной экологии, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).

ORCID: 0000-0001-7990-0252

О.Б. Тепнин — зав. сектором, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).

ORCID: 0000-0001-9596-4336

М.А. Походина — ст. специалист, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).

ORCID: 0009-0005-4714-0179

В.В. Коломейцев — вед. специалист, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).

ORCID: 0000-0002-1848-2699

Т.Б. Морозов — ст. специалист, Камчатский филиал ВНИРО (КамчатНИРО).

ORCID: 0000-0001-6782-6921

Information about the authors

Ekaterina V. Lepskaya – Ph. D. (Biology), Head of Lab. of Fisheries ecology, KamchatNIRO.

ORCID: 0000-0001-7990-0252

Oleg B. Tepnin – Head of Sector, KamchatNIRO.

ORCID: 0000-0001-9596-4336

Mariya A. Pokhodina – Senior Specialist, KamchatNIRO.

ORCID: 0009-0005-4714-0179

Vladimir V. Kolomeytsev – Leading Specialist, KamchatNIRO.

ORCID: 0000-0002-1848-2699

Taras B. Morozov – Senior Specialist, KamchatNIRO.

ORCID: 0000-0001-6782-6921

Статья поступила в редакцию / Received:
25.11.2024

Одобрена после рецензирования / Revised:
26.11.2024

Статья принята к публикации / Accepted:
30.11.2024