

Научная статья / Original article

УДК 581.526.325(265.52)

doi:10.15853/2072-8212.2022.67.46-60



РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ КОМПЛЕКСА ВРЕДНОСНОГО «ЦВЕТЕНИЯ» (ВЦВ) В АВАЧИНСКОМ ЗАЛИВЕ В 2022 Г.

Лепская Екатерина Викторовна[✉], Тепнин Олег Борисович, Коломейцев Владимир Викторович, Курбанов Юрий Каримович, Блохин Иван Алексеевич, Русанова Валентина Алексеевна

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

Аннотация. Объект исследований — микроводоросли комплекса ВЦВ (вредоносное «цветение» водорослей). Цель работы: предоставить данные мониторинга микроводорослей комплекса ВЦВ и условий среды их обитания у восточного берега Камчатки, на который в настоящее время направлено пристальное внимание правительства Камчатского края в плане развития рекреационной и туристической деятельности, одних из приоритетных экономических направлений.

В процессе работы собраны пробы воды в поверхностном слое на прибрежном разрезе из 15 станций, протянутом вдоль всего берега Авачинского залива, в период с апреля по октябрь. Одновременно проведен сбор гидрологической информации зондами Rinko-ProflerASTD-102 и YCI CastAway. В июне сбор материала проведен в рамках плановой ихтиопланктонной съемки. В итоге положено начало формированию базы реальных данных о таксономическом составе, количественной оценке, распределении микроводорослей комплекса ВЦВ. Получены данные о температуре и солености воды, биогенном фоне прибрежной акватории Авачинского залива.

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

Для цитирования: Лепская Е.В., Тепнин О.Б., Коломейцев В.В., Курбанов Ю.К., Блохин И.А., Русанова В.А. Результаты мониторинга микроводорослей комплекса вредоносного «цветения» (ВЦВ) в Авачинском заливе в 2022 г. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2022. № 67. С. 46–60.

RESULTS OF MONITORING OF MICROALGAE OF HARMFUL ALGAL BLOOM (HAB) COMPLEX IN THE AVACHINSKY GULF IN 2022

Ekaterina V. Lepsкая[✉], Oleg B. Tepnin, Vladimir V. Kolomeytsev, Yury K. Kurbanov, Ivan A. Blokhin, Valentina A. Rusanova

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

Abstract. The object of the research is microalgae of HAB complex (harmful algal “bloom”). The purpose of the work is to provide monitoring data on HABs and the microalgae habitat conditions near the eastern coast of Kamchatka, which is currently the focus of attention of the Kamchatka government in terms of development of recreational and tourist activities, one of the priority economic directions.

Surface water samples were collected at the coastal transect, stretching along the whole coast of the Avachinsky Gulf in the process of the work from April to October. Hydrological data were collected with Rinko-ProflerASTD-102 and YCI CastAway probes. In June, the data were collected as part of planned ichthyoplankton survey. As a result, a real database on taxonomic composition, quantitative values and distribution of microalgae of the HAB complex was formed. Data on water temperature and salinity, biogenic background of the Avachinsky Gulf coastal waters were obtained.

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

For citation: Lepsкая E.V., Tepnin O.B., Kolomeytsev V.V., Kurbanov Y.K., Blokhin I.A., Rusanova V.A. Results of monitoring of microalgae of harmful algal bloom (HAB) complex in the Avachinsky Gulf in 2022 // The researches of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean. 2022. Vol. 67. P. 46–60. (In Russian)

Шельф Восточной Камчатки является важнейшим дальневосточным промысловым районом, поэтому сохранение его биопродуктивности — основополагающая задача. С другой стороны,

в перечень приоритетных векторов устойчивого социально-экономического развития Камчатского края включено такое направление, как туризм, и соответственно, становление рекре-

ационной структуры, основная часть которой сконцентрирована на восточном побережье Камчатки.

Устойчивое социально-экономическое развитие приморского города, в том числе Петропавловска-Камчатского, предполагает постоянный мониторинг за качеством прибрежной биоты, которая при сочетании ряда условий может негативно влиять на здоровье населения. К числу неблагоприятных факторов относится такое природное явление, как «цветение» токсичных и потенциально токсичных планктонных микроводорослей («красные приливы», или ВЦВ). У берегов Восточной Камчатки явление ВЦВ нечастое, но регулярное, и вызывается как давно известными таксонами (комплекс видов диатомей рода *Pseudo-nitzschia* и ряд таксонов динофлагеллят, относящихся к родам *Alexandrium*, *Dinophysis*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*), так и новыми для прикамчатских акваторий, например, динофлагеллятами рода *Karenia* (Коновалова, 1993; Коновалова, 1995, 1998, 1999; Орлова, 2005; Селина и др., 2006; Лепская, 2008; Лепская и др., 2014; Лепская, Коломейцев, 2021; Lepskaya et al., 2018; Orlova et al., 2022).

«Цветение» видов рода *Karenia* вблизи восточно-камчатского побережья осенью 2020 г., которое привело к массовой гибели донных беспозвоночных и рыб (Лепская и др., 2021; Санамян и др., 2022) и вызвало широкий общественный резонанс, показало актуальность мониторинга ВЦВ и факторов среды обитания микроводорослей этого комплекса у берегов Камчатки. Несмотря на регистрируемые случаи ВЦВ, мониторинг этого явления у восточного берега Камчатки удалось организовать только в 2021 г. и продолжить в 2022 г. Таким образом, цель предлагаемой работы — выявить основной комплекс видов ВЦВ у тихоокеанского побережья Камчатки на выделенном разрезе и очертить места их наибольшей концентрации, в том числе дать количественную оценку микроводорослей ВЦВ, выделить таксоны с численностью, при которой в зарубежных странах устанавливается контроль за морепродуктами и посещением приморских рекреационных зон, а также охарактеризовать условия среды обитания микроводорослей комплекса ВЦВ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили данные по таксономическому составу и численности микроводорослей комплекса ВЦВ, полученные в 2022 г. во время проведения съемок

по изучению ВЦВ в рамках госработы, а также во время проведения ихтиопланктонной съемки на судах КамчатНИРО. Съемки провели на 15 станциях в Авачинском заливе в июне–октябре в третьей декаде каждого месяца. Дополнительно в Авачинском заливе пробы собирали в прибойной полосе Халактырского пляжа напротив школы серфинга и в локальной акватории Авачинской губы, бух. Петропавловской, как наиболее подверженных антропогенному воздействию местах (рис. 1).

Пробы для определения ВЦВ собирали в поверхностном слое батометром Ван-Дорна. Камеральную обработку проб проводили 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 (Identifying..., 1997; Коновалова, 1998; Коновалова, Селина, 2010), а также консультации с коллегами из Национального научного центра морской биологии ДВО РАН. При выделении комплекса ВЦВ ориентировались на «Протисты...» (2011). Также визуально выделяли доминантные таксоны в фитопланктоне.

Температуру и соленость воды, а также содержание хлорофилла-*a* на каждой станции в Авачинском заливе измеряли зондом Rinsco-ProfilierASTD-102 от поверхности до дна. Обработку и визуализацию результатов выполняли в программе ODV (Schlitzer, Reiner, OceanDataView, <https://odv.awi.de>, 2022).

Пробы на биогенные элементы были собраны в поверхностном слое вод батометром Ван Дорна. Лабораторную обработку образцов воды на биогенные элементы провели сразу после окончания съемки по утвержденным методикам (ПНД Ф 14.1:2:3.2-95; РД 52.10.738-2010; РД 52.10.740-2010; РД 52.10.744-2010; РД 52.10.745-2010; РД 52.10.773-2013). 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). Для кремния величина ПДК не установлена.

Всего в 2022 г. на судах КамчатНИРО выполнено 5 комплексных съемок, в рамках которых проведено 75 гидрологических зондирований, отобрано 89 проб воды для определения ми-

кроводорослей комплекса ВЦВ и 54 пробы воды на гидрохимический анализ. Описание станций разреза в Авачинском заливе приведено в табл. 1.

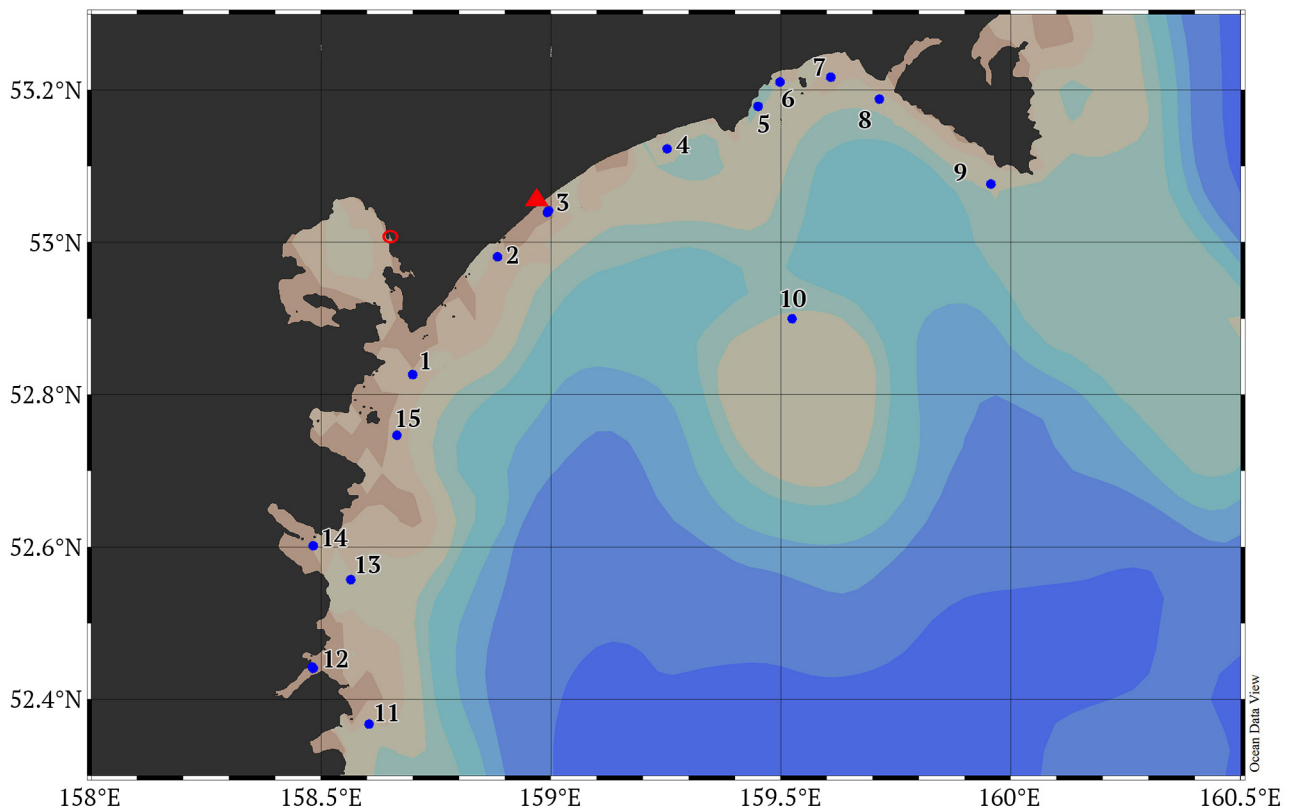


Рис. 1. Схема станций мониторинга ВЦВ в Авачинском заливе в июне–октябре 2022 г. Красный треугольник — станция в прибойной полосе на Халактырском пляже; красный овал — станция в бух. Петропавловской Авачинской губы

Fig. 1. The scheme of HAB monitoring stations in the Avachinsky Gulf in June–October 2022. Red triangle – station in the tidal zone on Khalaktyrsky beach; red oval – station in Petropavlovskaya Bay in Avacha Bay

Таблица 1. Координаты и описание станций мониторинга ВЦВ в Авачинском заливе в 2022 г.
Table 1. Coordinates and description of HAB monitoring stations in the Avachinsky Gulf in 2022

№ станции Station №	Долгота Дес. в. д. Longitude Decimal E	Широта Дес. с. ш. Latitude Decimal N	Глубина, м Depth, m	Описание станции Description of the station
1	158.7	52.825	58	Вход в Авачинскую губу / Entrance to Avacha Bay
2	158.8599	52.98491	15–47	Устье ручья Крутоберегового Mouth of the Krutoberegovy Brook
3	158.9559	53.02551	37–39	Халактырский пляж / Khalaktyrsky beach
4	159.25	53.12333	20–28	Устье р. Налычева / Estuary of the Nalychev River
5	159.434	53.187	21	Мыс Налычева / Cape Nalychev
6	159.535	53.212	23	Станция к западу от о-ва Крашенинникова Station west of Krasheninnikov Island
7	159.557	53.215	22–27	Станция к востоку от о-ва Крашенинникова Station east of Krasheninnikov Island
8	159.69	53.20833	30	Вход в бухту Бечевинская / Entrance to Bechevinskaya Bay
9	159.9617	53.06833	61	Станция южнее мыса Шипунского Station south of Shipunskii Cape
10	159.5365	52.85159	124–846	Авачинский залив / Avachinsky Gulf
11	158.5933	52.35833	101	Вход в бухту Лиственичную / Entrance to Listvenichnaya Bay
12	158.4833	52.44	25–28	Вход в бухту Русская / Entrance to Russkaya Bay
13	158.56	52.555	91	Выход из бухты Жирова / Exit from Zhirovaya Bay
14	158.4833	52.60333	40–45	Вход в бухту Вилучинская / Entrance to Vilyuchinskaya Bay
15	158.5917	52.73333	83	Вход в бухту Саранная / Entrance to Sarannaya Bay

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Таксономический состав комплекса
ВЦВ в 2022 г.**

Летом 2022 г. в Авачинском заливе найдено 11 таксонов комплекса ВЦВ: диатомовые (Bacillariophyta) *Pseudo-nitzschia* cf. *delicatissima*, *Pseudo-nitzschia* cf. *seriata*, динофлагелляты (Dinophyta) *Alexandrium tamarense*-complex, *Dinophysis acuminata*, *Dinophysis acuta*, *Dinophysis norvegica*, *Gonyaulax spinifera* & *diegensis*, *Karenia* sp., *Prorocentrum minimum*, и комплекс мелких гимнодиниальных таксонов, отнесенных предварительно к *Karlodinium* cf. *veneficum*. В бух. Петропавловской (Авачинская губа) на протяжении всего лета активно развивался *Alexandrium*. Здесь же в августе появилась *Karenia* sp.

Осенью 2022 г. в Авачинском заливе также было обнаружено 12 таксонов комплекса ВЦВ: динофлагелляты (Dinophyta) *Alexandrium tamarense*, *Alexandrium* cf. *acatenella*, *Dinophysis fortii*, *Karlodinium* cf. *veneficum*, *Karenia* cf. *mikimotoi*, *Karenia* cf. *selliformis* (рис. 2, 3), *Karenia papilionacea* (рис. 4, 5); диатомовые (Bacillariophyta) *Pseudo-nitzschia* cf. *delicatissima*, *Pseudo-nitzschia* cf. *pungens*, *Pseudo-nitzschia* cf. *seriata* (рис. 6), *Pseudo-nitzschia* sp. 1 (серповидные клетки) (рис. 7), *Pseudo-nitzschia* sp. 2 (длинные клетки) (рис. 8).

Всего в летне-осенний период 2022 г. в Авачинском заливе обнаружен 21 таксон микроводорослей комплекса ВЦВ. Из них 5 таксонов диатомей (род *Pseudo-nitzschia*) и 16 таксонов динофлагеллят из 6 родов (*Alexandrium*, *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Karlodinium*, *Karenia*, *Prorocentrum*).

Летом 2022 г. в прибрежной зоне Авачинского залива был найден *Dinophysis punctata* (рис. 9). Для прикамчатских берегов указан впервые.

Диатомеи рода *Pseudo-nitzschia* были распространены по всему обследованному разрезу в августе–октябре (рис. 10). Но если летом этот комплекс был представлен мелко-клеточным таксоном *Pseudo-nitzschia delicatissima*, то в осенние месяцы этот вид замещался таксонами с более крупными клетками. В это же время в пробах отмечены колонии представителей данного рода *Pseudo-nitzschia*, сложенные серповидными клетками (см. рис. 7). По устному сообщению Т.Ю. Орловой (вед. н. с. ННЦМБ ДВО РАН), такие серповидные клетки нередки в культурах дальневосточных *Pseudo-nitzschia*.

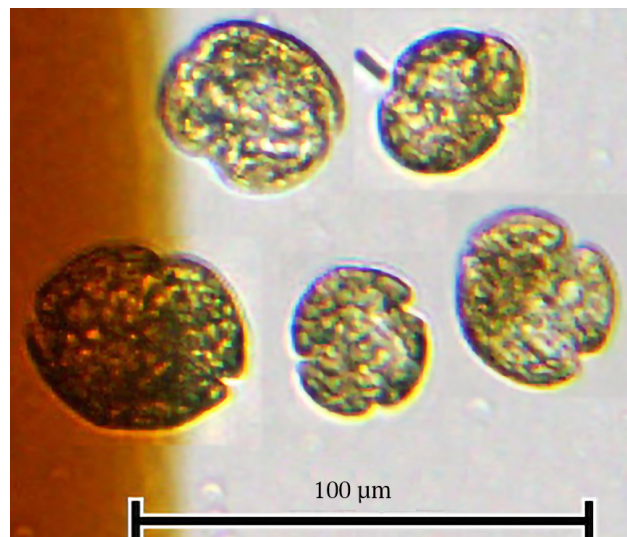


Рис. 2. *Karenia* cf. *selliformis* & *mikimotoi* в счетной камере
Fig. 2. *Karenia* cf. *selliformis* & *mikimotoi* in counting chamber



Рис. 3. *Karenia* cf. *selliformis* при максимальном увеличении в световом микроскопе
Fig. 3. *Karenia* cf. *selliformis* at maximum magnification in a light microscope

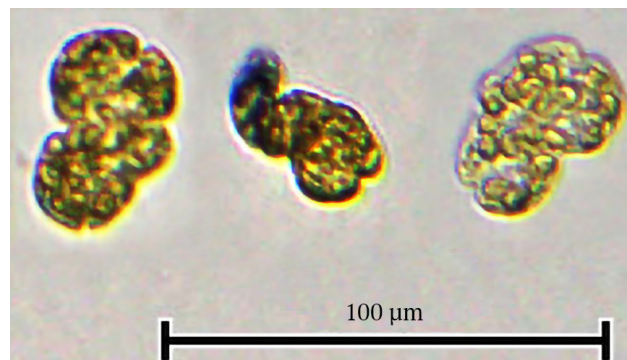


Рис. 4. *Karenia papilionacea* в счетной камере
Fig. 4. *Karenia papilionacea* in counting chamber

В отличие от *Pseudo-nitzschia*, динофлагелляты комплекса ВЦВ чаще встречались в первые два летних месяца. При этом наиболее распространенными являлись представители рода

Alexandrium. В июне, июле и особенно в октябре находки *Karenia* были приурочены к северной части разреза (ст. 4, 8, 9) и открытой части залива (ст. 10) (рис. 11).



Рис. 5. *Karenia papilionacea* при максимальном увеличении в световом микроскопе
Fig. 5. *Karenia papilionacea* at maximum magnification in a light microscope

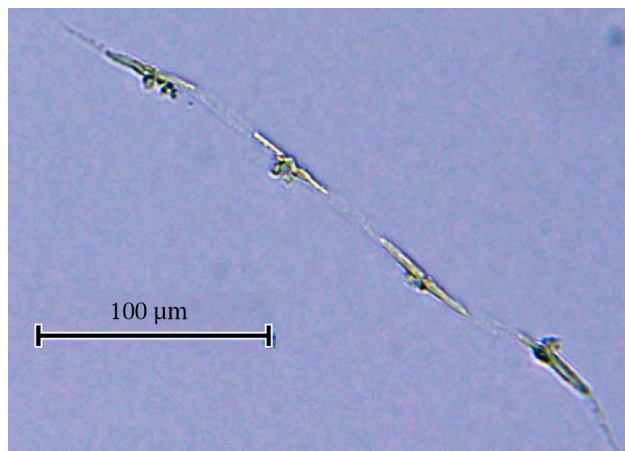


Рис. 7. *Pseudo-nitzschia* sp. 1 с серповидными клетками
Fig. 7. *Pseudo-nitzschia* sp. 1 with sickle-shaped cells



Рис. 6. *Pseudo-nitzschia* cf. *seriata*



Рис. 8. *Pseudo-nitzschia* sp. 2 (длинные клетки) / Fig. 8. *Pseudo-nitzschia* sp. 2 (long cells)

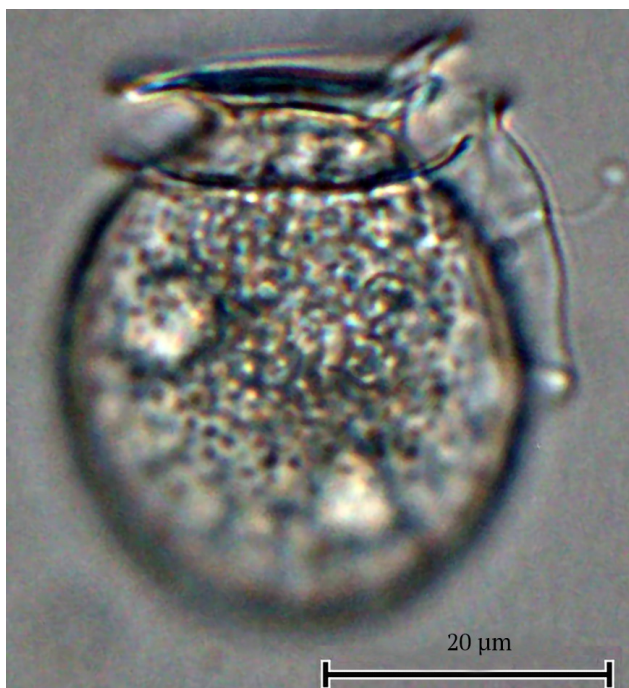


Рис. 9. *Dinophysis punctata*, разные клетки / Fig. 9. *Dinophysis punctata*, different cells

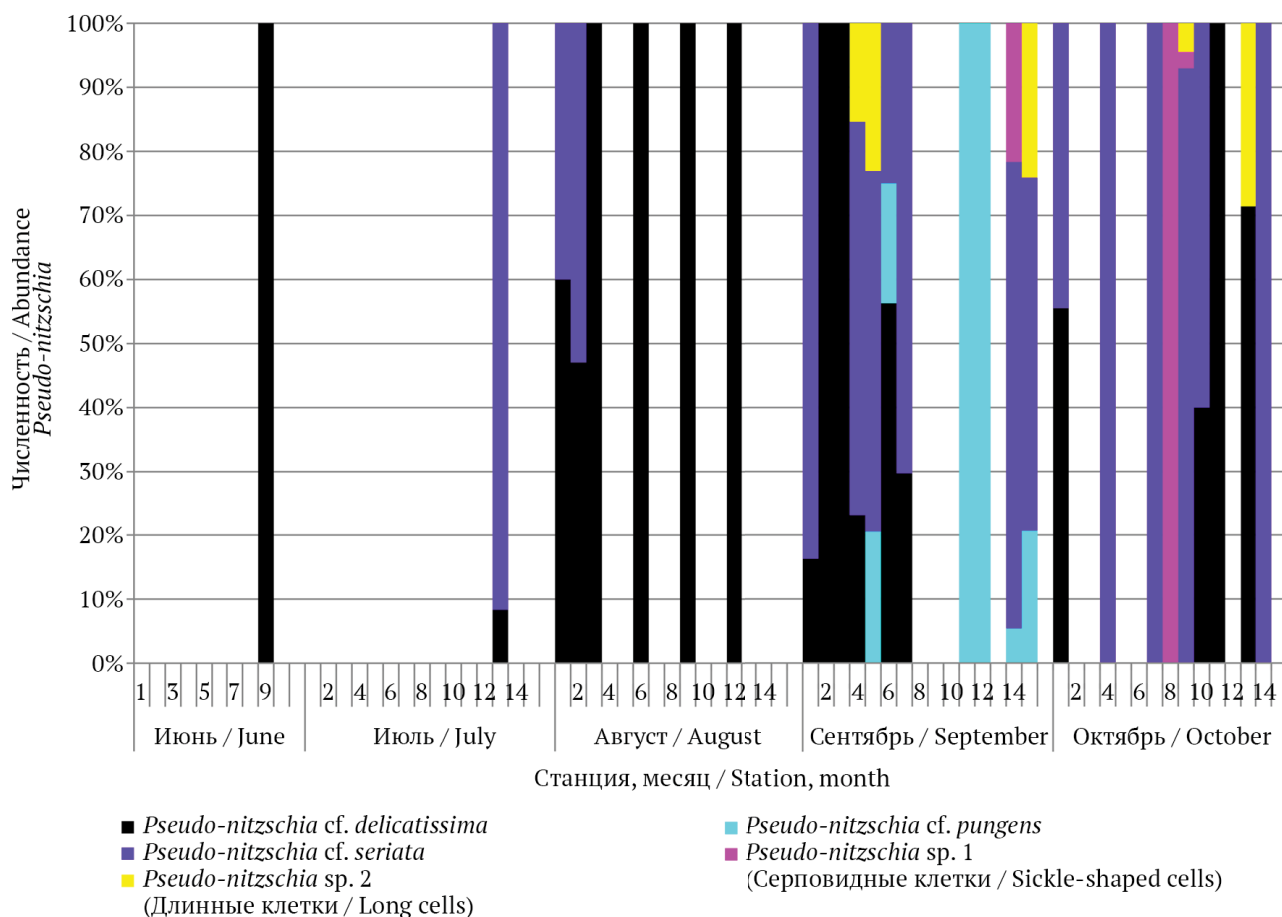


Рис. 10. Таксономическая структура рода *Pseudo-nitzschia* на прибрежном разрезе Авачинского залива летом и осенью 2022 г.
Fig. 10. Taxonomic structure of the genus *Pseudo-nitzschia* in the coastal transect of the Avachinsky Gulf in summer and fall 2022

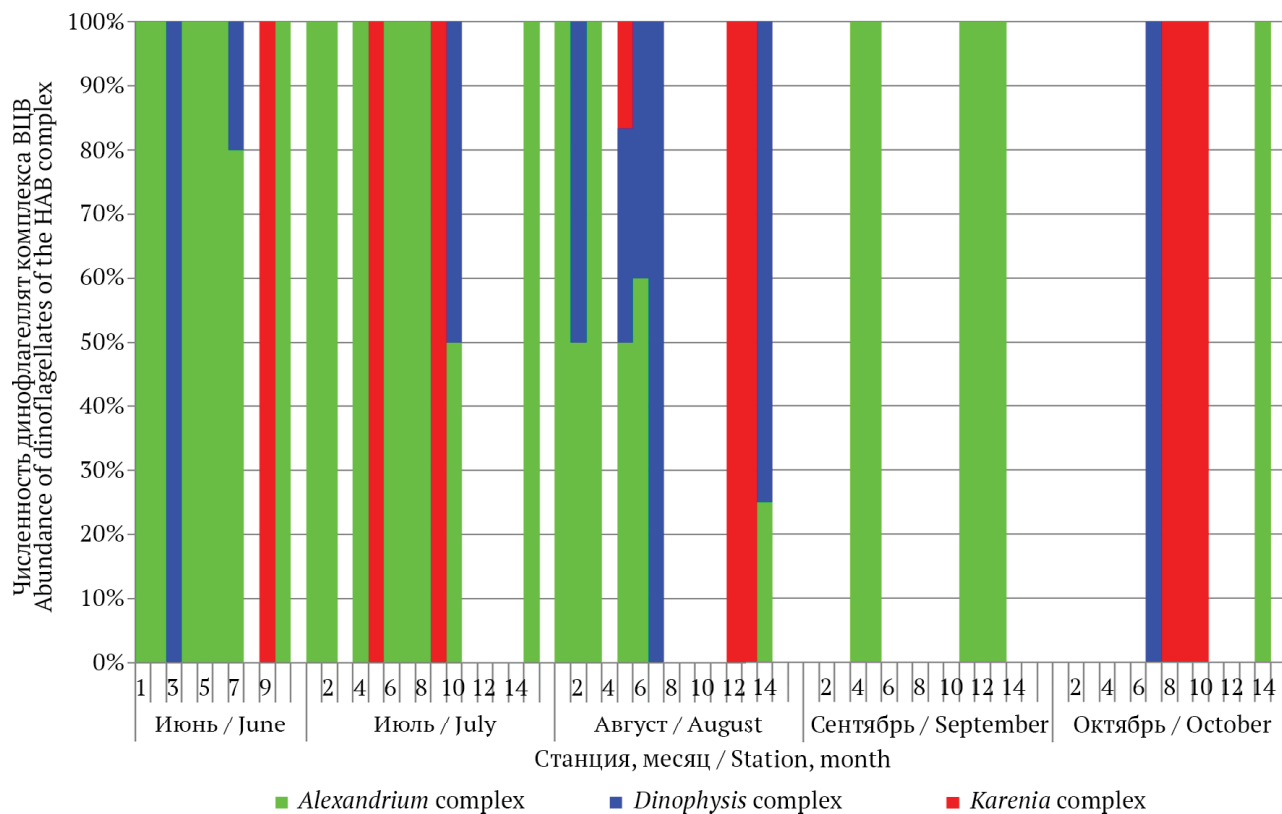


Рис. 11. Таксономическая структура динофлагеллят комплекса ВЦВ на прибрежном разрезе Авачинского залива летом и осенью 2022 г.
Fig. 11. Taxonomic structure of dinoflagellates of the HAB complex in the coastal transect of the Avachinsky Gulf in summer and fall 2022

Динофлагелляты рода *Dinophysis* чаще всего встречались в августе, также к северу от входа в Авачинскую губу.

Количественная оценка микроводорослей комплекса ВЦВ в 2022 г.

В июне практически на всей прибрежной акватории был найден *Alexandrium*. Максимум его концентрации, 12 тыс. кл./л, отмечен на ст. 1 на выходе из Авачинской губы. Содержание этого вида динофлагеллят в прибрежной воде Халактырского пляжа не превышало 5 тыс. кл./л. В конце июня на отдельных станциях в изобилии была обнаружена диатомея *Pseudo-nitzschia delicatissima*. Ее численность доходила до 400 тыс. кл./л., но в прибрежье Халактырского пляжа ее содержание было в 7 раз меньше. Точно по прибрежному разрезу встречались виды из родов *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Prorocentrum*, а в конце месяца — *Karenia* sp. с численностью не более 1 тыс. кл./л (рис. 12).

В конце июля на части акватории — от выхода из Авачинской губы (ст. 1) и вдоль Халактырского пляжа (ст. 2, 3) — была велика концентрация *Pseudo-nitzschia delicatissima*: 8–13 тыс. кл./л. Виды *Alexandrium*, также как и *Prorocentrum*, отмечены в основном в северной

части прибрежного разреза с численностью 1–6 тыс. кл./л, *Karlodinium* cf. *veneficum* (потенциальный продуцент ихтиотоксина) — на станциях в южной части разреза (ст. 11–15). Виды рода *Karenia* были локализованы в южной части прибрежного разреза, ст. 13–14, с численностью не более 2 тыс. кл./л (рис. 12).

В бух. Петропавловской (Авачинская губа) на протяжении всего лета активно развивался *Alexandrium* (до 10 тыс. кл./л). Здесь же в августе появилась *Karenia* sp., но численность ее не превышала 0,5 тыс. кл./л.

В сентябре в комплексе ВЦВ численно доминировали диатомеи рода *Pseudo-nitzschia*. Основное скопление этих таксонов было протянуто вдоль берега на север: от Авачинской губы (ст. 1) до входа в бухту Бечевинская (ст. 8). В южной части разреза этот комплекс микроводорослей был не так обилен. Примечательно, что в конечных северных точках и открытой части залива в поверхностном слое микроводорослей комплекса ВЦВ в сентябре не найдено (рис. 10).

В октябре распределение микроводорослей комплекса ВЦВ было более неравномерным, по сравнению с началом осени. Максимум их численности, в том числе внутрисезонный, обнаружен в самой северной части акватории зали-

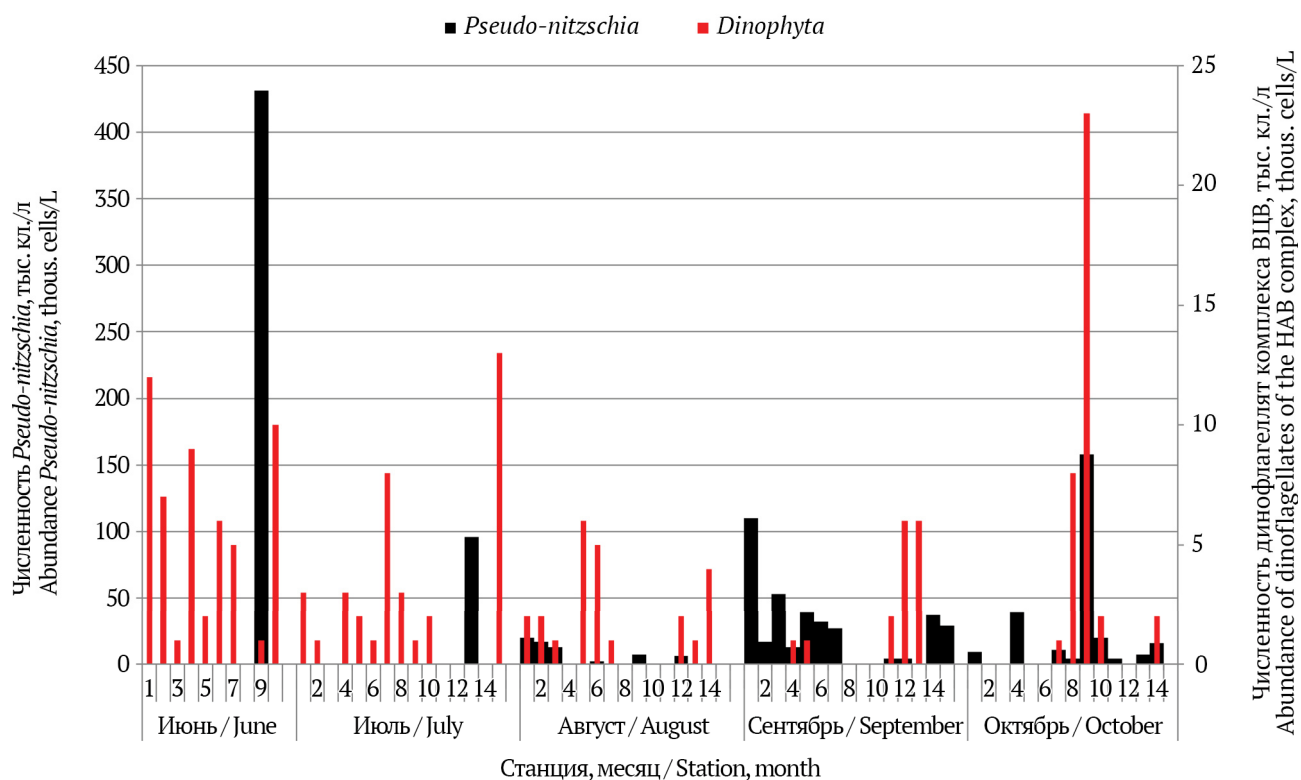


Рис. 12. Численность *Pseudo-nitzschia* и динофлагеллят комплекса ВЦВ в поверхностном водном слое на станциях прибрежного разреза в Авачинском заливе летом и осенью 2022 г.
Fig. 12. Abundance of *Pseudo-nitzschia* and dinoflagellates of the HAB complex in the surface water layer at coastal transect stations in the Avachinsky Gulf in the summer and fall of 2022.

ва (ст. 9). Здесь численность микроводорослей комплекса ВЦВ превышала таковую на остальных станциях в 1,8–10 раз и формировалась в основном комплексом *Pseudo-nitzschia*. Динофлагелляты рода *Karenia*, которые вызвали осенью 2020 г. гибель беспозвоночных у восточного побережья Камчатки, найдены в октябре на крайних станциях северной части разреза (ст. 8, 9) и в открытой части залива (ст. 10). Численность *Karenia cf. selliformis & mikimotoi* составила 8 и 22 тыс. кл./л, *Karenia papilionacea* — 1 и 2 тыс. кл./л. При этом последний таксон был обнаружен только на станции у мыса Шипунского (ст. 9) и в открытой части залива (ст. 10).

Выделение видов с критической численностью, при которой устанавливается контроль за состоянием морепродуктов и вводятся ограничения на посещение прибрежных территорий

В Российской Федерации до настоящего времени не разработана система мониторинга ВЦВ и, соответственно, 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 опасных для здоровья последствиях прогулок по пляжу или купании в море. Согласно современным представлениям, для каждого из приморских регионов, где осуществляются прибрежное рыболовство, 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). 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 рода *Alexandrium* (потенциальный продуцент сакситоксина) в Австралии и в некоторых испанских провинциях (Валенсия) такая концентрация составляет 1 тыс. кл./л. В Канаде одно присутствие *A. fundiense* активизирует действия по токсикологическому контролю морепродуктов. В разных странах для видов рода *Dinophysis* критические концентрации варьируют от 100 кл./л до

50 млн кл./л. Для *Pseudo-nitzschia delicatissima*-group критическая концентрация составляет 2 тыс. кл./л; для видов рода *Gymnodinium breve* (= *Karenia brevis*) — более 5 тыс. кл./л (Andersen, 1996). Ориентируясь на эти значения, можно сделать вывод, что летом и осенью 2022 г. в поверхностном водном слое в прибрежной зоне Авачинского залива была превышена критическая концентрация таких таксонов, как *Pseudo-nitzschia*, а в локальных акваториях — *Dinophysis*. Однако следует подчеркнуть, что критические концентрации микроводорослей, приведенные в обзоре Пера Андерсена (Andersen, 1996), получены для водной толщи, мониторинг которой проводился и проводится в настоящее время погружными цитометрами (Anderson et al., 2022), что позволяет получать данные в реальном времени и оперативно предпринимать соответствующие действия.

Оценка условий среды обитания ВЦВ в 2022 г.

Судя по данным вдольберегового разреза на акватории Авачинского залива, в летний период 2022 г. максимальные значения температуры воды в приповерхностном слое вод отмечались в районах с интенсивным речным стоком. Слой скачка температуры в июле залегал в непосредственной близости от поверхности, заглубляясь максимум на 5 м. К августу радиационный прогрев и ветровое перемешивание увеличили толщину данного слоя до 10–15 м, а абсолютные значения температуры в нем за месяц выросли в среднем на 4–5 °C (рис. 13).

Основная масса фотосинтезирующего планктона концентрировалась в июле под поверхностью, в слое 5–20 м, тогда как в августе «цветение», вызванное в основном *Skeletonema*, проходило значительно ближе к поверхности.

Биогенный фон в целом по разрезу был спокойный. Средняя для лета и разреза концентрация фосфатного фосфора составила 0,022 мгР/л, что в 2,3 раза ниже ПДК (0,05 мгР/л). Однако на ст. 8 (северная часть разреза, вход в бух. Бечевинскую) содержание этого биогенного элемента в 1,8 раза превышало ПДК (рис. 14).

Концентрация минеральных форм азота на всех станциях разреза была ниже ПДК: аммония (0,114 мгN/л) — в 3,5 раза, нитритов (0,005 мгN/л) — в 4,3 раза, нитратов (менее 0,050 мгN/л) — в 452 раза. Превышение ПДК по железу (рис. 15), особенно заметное в августе, было характерно для станций, куда попадают техногенные (ст. 1 —

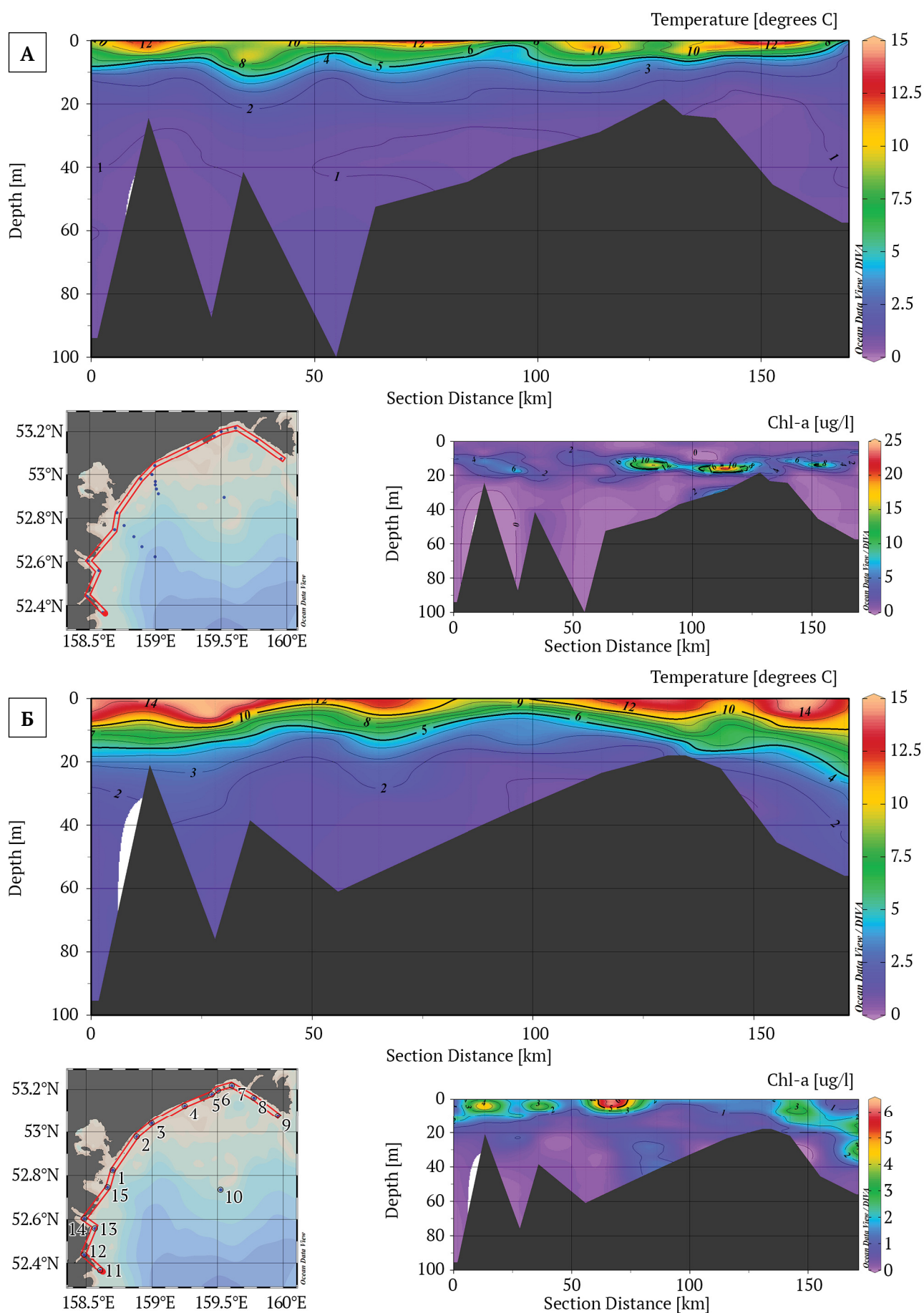


Рис. 13. Вертикальный вдольбереговой разрез по температуре и хлорофиллу-*a*, выполненный в июле (А) и августе (Б) 2022 г. на акватории Авачинского залива
 Fig. 13. Vertical longshore transect to show temperature and chlorophyll-*a* in July (A) and August (Б) 2022 in the Avachinsky Gulf

вынос из Авачинской губы, ст. 9 — вынос из бух. Бечевинской) и вулканогенные (ст. 4–6 — зона выноса р. Налычева) стоки.

В сентябре 2022 г. наибольшие значения температуры воды, до 9 °С, на вдольбереговом разрезе Авачинского залива по-прежнему отмечались в местах выноса распресненных вод, т. е. точно совпадали с минимумом солености (менее 31‰). К таким можно отнести станции на тра-

верзе б. Жировой, горла Авачинской губы и р. Налычева. Изотерма 5 °С почти точно следовала всем изгибам изогалины 32‰, максимально заглубляясь до 15 м. Ниже располагались воды холодного подповерхностного слоя (рис. 16).

В октябре в результате значительной теплоотдачи через поверхность океана в атмосферу температура в верхнем слое понизилась на 5–6 °С (рис. 17). Слой скачка теперь располагал-

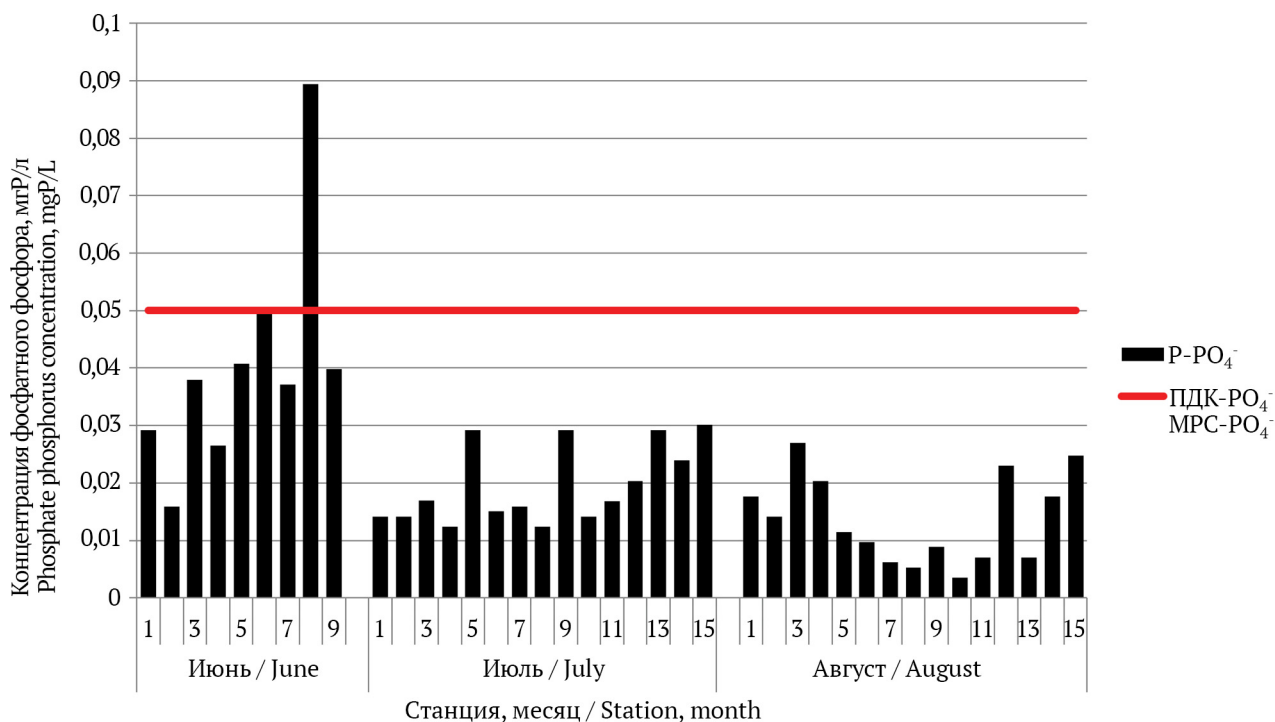


Рис. 14. Содержание фосфатного/минерального фосфора в поверхностном водном слое на мониторинговом разрезе в Авачинском заливе летом 2022 г.
Fig. 14. Phosphate/mineral phosphorus content in the surface water layer at the monitoring transect in the Avachinsky Gulf in the summer of 2022

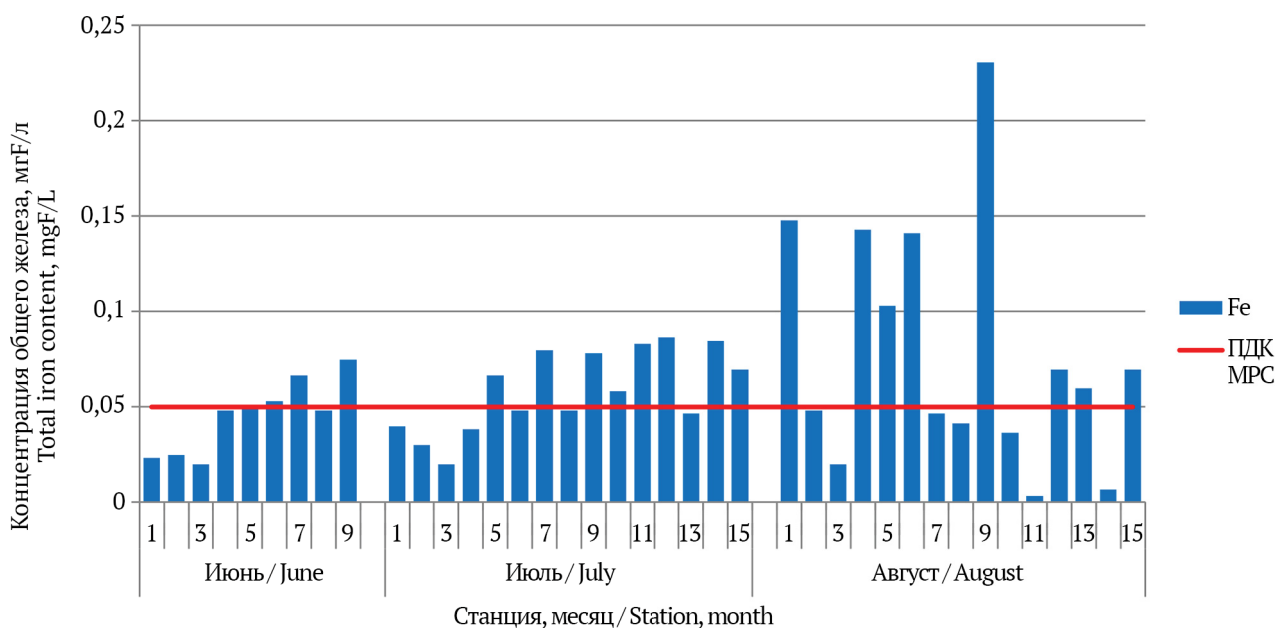


Рис. 15. Содержание общего железа в поверхностном водном слое на мониторинговом разрезе в Авачинском заливе летом 2022 г.
Fig. 15. Total iron content in the surface water layer at the monitoring transect in the Avachinsky Gulf in the summer of 2022

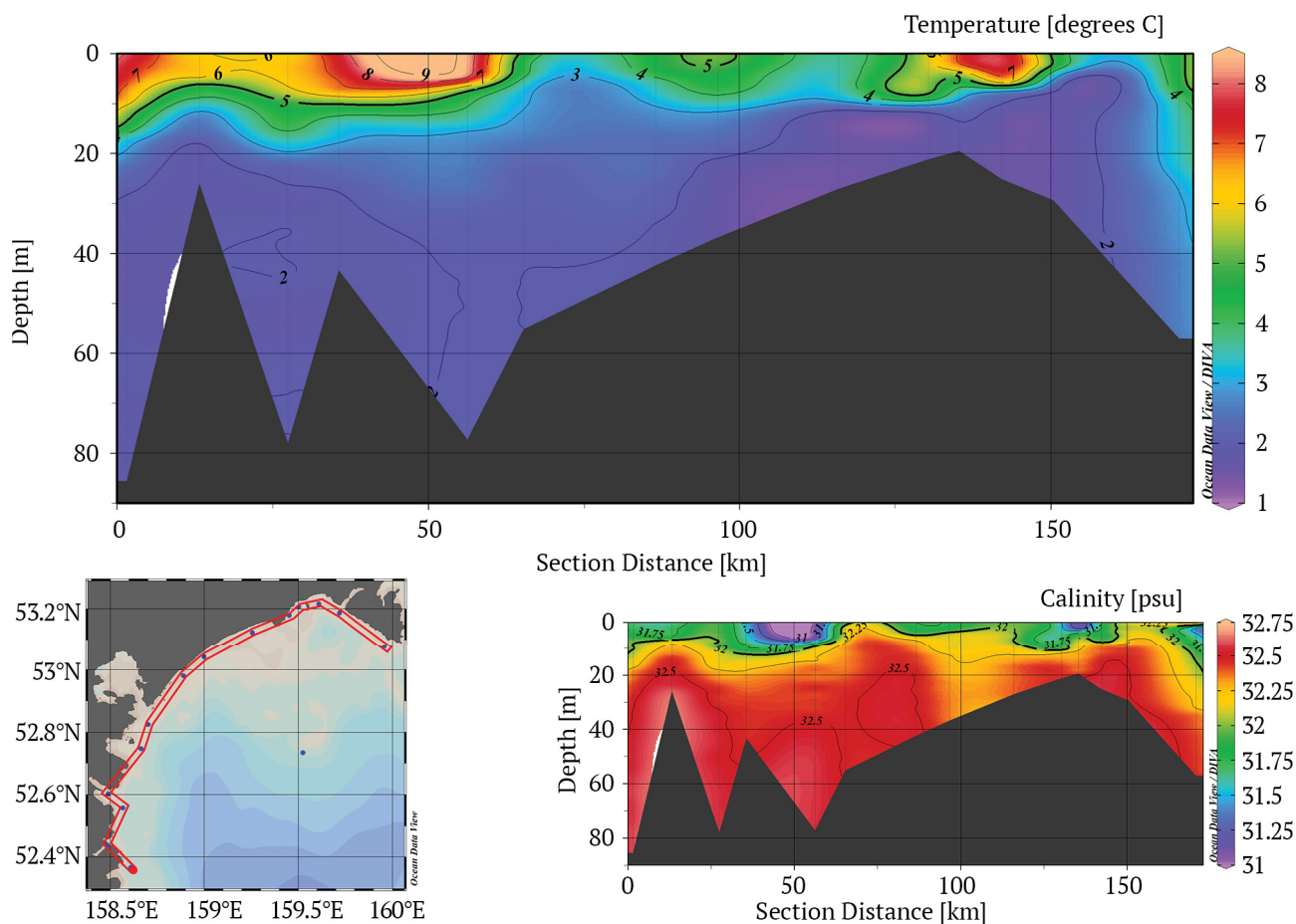


Рис. 16. Вертикальный вдольбереговой разрез по температуре и солености, выполненный в сентябре 2022 г. на акватории Авачинского залива
Fig. 16. Vertical longshore temperature and salinity transect in the Avachinsky Gulf in September of 2022

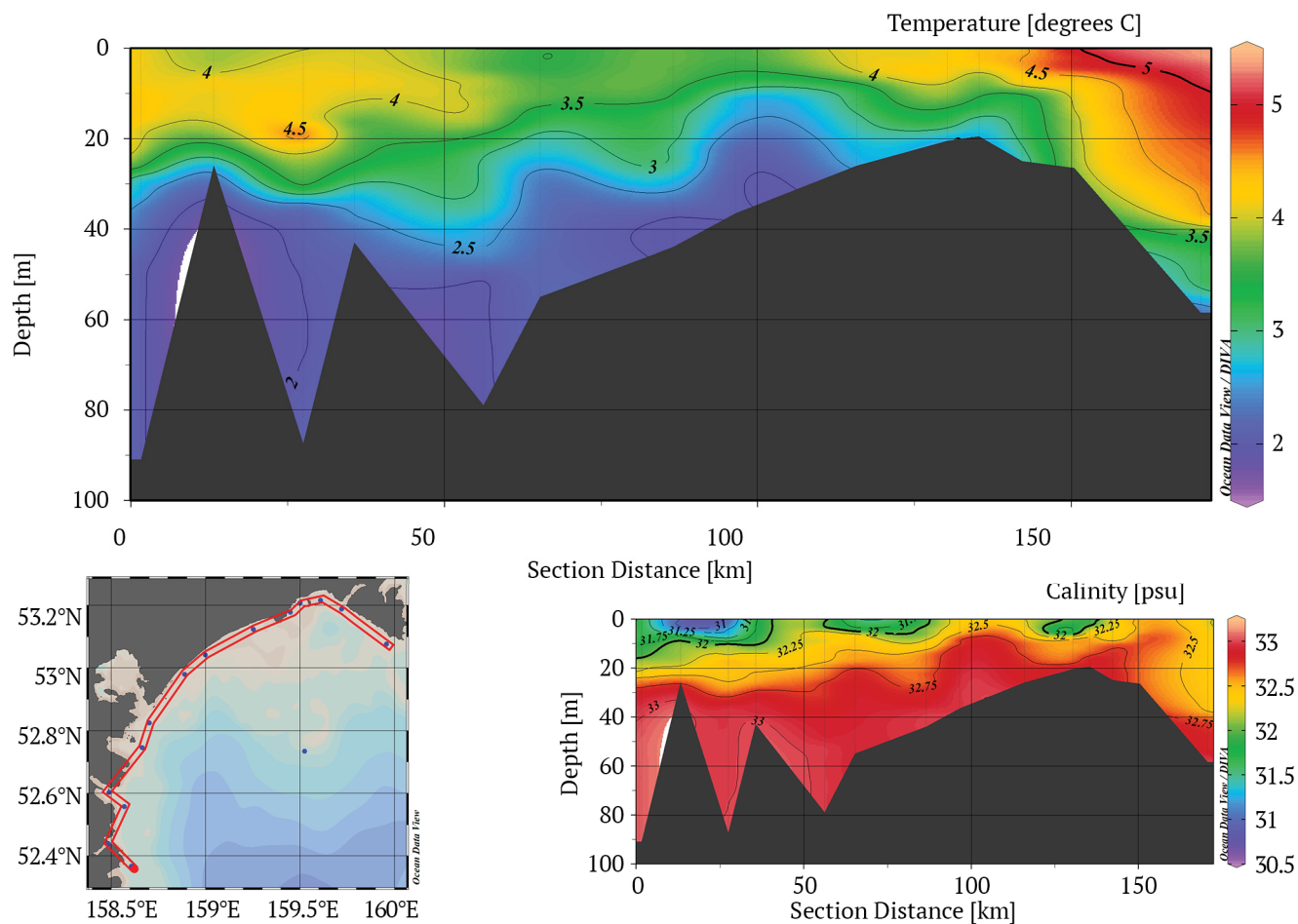


Рис. 17. Вертикальный вдольбереговой разрез по температуре и солености, выполненный в октябре 2022 г. на акватории Авачинского залива
Fig. 17. Vertical longshore temperature and salinity transect in the Avachinsky Gulf in October of 2022

ся глубже: на отдельных станциях до 40 м (район м. Шипунского), но в среднем около 20 м. Максимальные значения температуры наблюдались в районе м. Шипунского, минимальные — у Халактырского пляжа. Распределение солености в поверхностном слое по-прежнему определялось наличием речного стока, но изогалина 32‰ теперь располагалась ближе к поверхности. Все это говорит о начале развития конвективного перемешивания и уменьшения уровня пресноводного стока в октябре.

В распределении хлорофилла-а по вдольбереговому разрезу октябрьский максимум концентрации этого пигмента отмечен в подповерхностном 10-метровом слое у м. Шипунского (ст. 9) (рис. 17). Здесь же наблюдали максимум численности микроводорослей комплекса ВЦВ и обильное развитие сопутствующего фитопланктона, в котором доминировала *Skeletonema* sp. Кислородные максимумы в подповерхностном слое в северной части разреза (рис. 18) также хорошо соотносятся с местами обильного развития фитопланктона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Летом и осенью 2022 г. в поверхностном водном слое найдено 22 таксона микроводорослей комплекса ВЦВ. В половине случаев их численность превышала 1000 кл./л. Наиболее часто встречались и были обильными представители родов *Pseudo-nitzschia* (диатомовые водоросли) и *Alexandrium* (динофлагелляты). В октябре в северной части Авачинского залива найдены виды рода *Karenia* с численностью более 1000 кл./л.

Несмотря на «критические» концентрации микроводорослей комплекса ВЦВ, определенные для европейских стран, Канады и др., вредоносного эффекта в прибрежье Восточной Камчатки в 2022 г. не наблюдали. Это в очередной раз подтверждает необходимость выработки региональных нормативов по критическим концентрациям микроводорослей комплекса ВЦВ. Этот процесс желательно сопровождать определением токсичности тканей индикаторных видов гидробионтов, например, двустворчатых моллюсков-фильтраторов. Кроме того, следует продолжить поиск

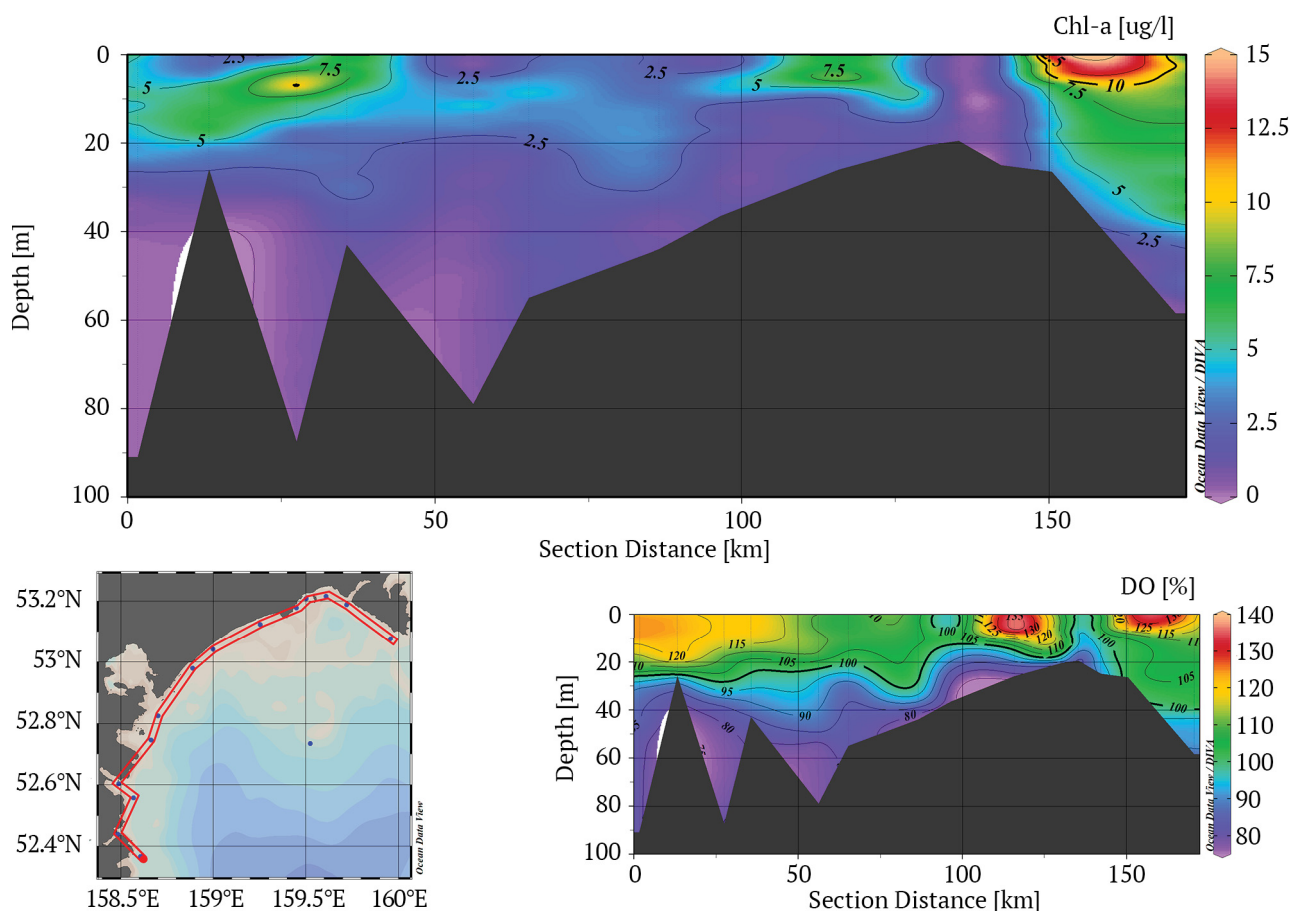


Рис. 18. Вертикальный вдольбереговой разрез по хлорофиллу-а и кислороду, выполненный в октябре 2022 г. на акватории Авачинского залива

Fig. 18. Vertical longshore chlorophyll-a and oxygen content transect in the Avachinsky Gulf in September of 2022

легко определяемого дистанционно триггерного и индикаторного показателя (температура воды? соленость? хлорофилл-*a*?) и его критического значения, начиная с которого следует проводить контроль за микроводорослями комплекса ВЦВ.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- 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.
- 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., 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., Тепнин О.Б., Блохин И.А., Кожевников А.В. 2021. «Красный прилив» у берегов Камчатки // Русская рыба. № 6. С. 60–62.
- 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: Сб. науч. тр. КамчатНИРО. 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 14.1:2:3.2-95. Методика измерений массовой концентрации общего железа в природных и сточных водах фотометрическим методом с о-фенантролином. М.: ФЦАО, 2017. 17 с.
- Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями от 12 октября 2018 г., 10 марта 2020 г.). <http://ivo.garant.ru/#/document/71586774/paragraph/2:0>
- Протисты: Руководство по зоологии. Часть 3. 2011. СПб.; М.: Тов-во науч. изданий КМК. 474 с.
- РД 52.10.738-2010. Массовая концентрация фосфатов в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом. М.: ГОИН, 2010. 31 с.
- РД 52.10.740-2010. Массовая концентрация азота нитритного в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса. М.: ГОИН, 2010. 27 с.
- РД 52.10.744-2010. Массовая концентрация кремния в морской воде. Методика измерений фотометрическим методом в виде синей формы молибдодокремневой кислоты. М.: ГОИН, 2010. 14 с.
- РД 52.10.745-2010. Массовая концентрация азота нитратного в морской воде. Методика измерений фотометрическим методом после восстановления в кадмиевом редукторе. М.: ГОИН, 2010. 27 с.
- РД 52.10.773-2013. Массовая концентрация азота аммонийного в морских водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Несслера. М.: ГОИН, 2013. 21 с.
- Санамян Н.П., Коробок А.В., Санамян К.Э. 2022. Последствия замора, вызванного вредоносным цветением водорослей осенью 2020 г. у берегов Камчатки, для гидробионтов в сублиторальной зоне по прошествии двух лет // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Матер. XXIII Междунар. науч. конф. (16–17 ноября 2022 г.). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 17–21.
- 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.
- Andersen P. 1996. Design and Implementation of some Harmful Algal Monitoring Systems // IOC Technical Series. No 44. UNESCO. 116 p.
- Anderson D., 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 // Oceanography. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2022.121>
 Identifying of marine phytoplankton. 1997. Ed. C.R. Tomas. USA: Academic Press, 858.
 Konovalova 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. № 11. P. 80–86.
 Orlova T.Yu. 2011. Report of HAB Case Studies in Amurskii Bay, Vostok Bay and Aniva Bay (Sakhalin) in Russia. NOWPAP CEARAC HAB_Integrated_Website http://www.cearac-project.org/HAB_Integrated_Website/database/HAB_Case_Study_Russia_2010.pdf.
 Orlova T.Yu., 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., Mitsunori Iwataki. 2022. A massive bloom of Karenias pecies (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020 // Harmful Alga. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102337>

REFERENCES

- Konovalova G.V. *Krasnyye prilivy u Vostochnoy Kamchatki (Atlas-spravochnik)* [Red tides near Eastern Kamchatka (Atlas-reference book)]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamshat, 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 Russian)
- Konovalova G.V. *Biota rossiyskikh vod Yaponskogo morya. T. 8. Dinofitovyye vodorosli (Dinophyta)* [Biota of Russian waters of the Sea of Japan. T. 8. Dinophyta algae (Dinophyta)]. Vladivostok: Dalnauka, 2010, 352 p.
- 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 Russian)
- 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, November 17–18, 2021). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2021, pp. 147–152. (In Russian)
- 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., 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 of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2014, vol. 34, pp. 5–21. (In Russian)
- 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 Russian)
- PND F PND F 14.1:2:3.2-95 *Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii obshchego zheleza v prirodnnykh i stochnykh 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.
- 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 significance” (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.; Moscow: Tov-vo nauch. izdaniy KMK, 2011, 474 p.
- RD 52.10.738-2010. *Massovaya kontsentratsiya fosfatov v morskikh vodakh. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom* [Mass concentration of phosphates in sea waters. Measurement technique by photometric method]. Moscow: GOIN, 2010, 31 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 52.10.744-2010. *Massovaya kontsentratsiya kremniya v morskoy vode. Metodika izmereniy fo-*

tometricheskim metodom v vide siney formy molidokremnevoy kisloty [Mass concentration of silicon in sea water. Photometric measurement technique in the form of a blue form of molybdosilicic acid]. Moscow: GOIN, 2010, 14 p.

RD 52.10.745-2010. *Massovaya kontsentratsiya azota nitratnogo v morskoy vode. Metodika izmereniy fotometricheskim metodom posle vosstanovleniya v kadmiyevom reduktore* [Mass concentration of nitrate nitrogen in sea water. Photometric measurement technique after reduction in a cadmium reducer]. Moscow: GOIN, 2010, 27 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.

Sanamyan N.P., Korobok A.V., Sanamyan K.E. The consequences of negative ecological situation caused by a harmful algae bloom in autumn 2020 near coast of Kamchatka for hydrobionts in the subtidal zone after two years. Mater. XXIII Intern. scientific conf. "Conservation of the biodiversity of Kamchatka and adjacent seas". (Petropavlovsk-Kamchatsky, November 16–17, 2022). Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2022, pp. 17–21. (In Russian)

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.

Andersen P. Design and Implementation of some Harmful Algal Monitoring Systems. *IOC Technical Series*, 1996, no. 44, UNESCO, 116 p.

Anderson D., 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. *Oceanography*, 2022. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2022.121>

Tomas C.R. (Ed.). Identifying of marine phytoplankton. USA: Academic Press, 1997, 858.

Konovalova G.V. Harmful dinoflagellate blooms along the eastern coast of Kamchatka. *Harmful Alga News*, 1993, no. 4, p. 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.Yu. Report of HAB Case Studies in Amurskii Bay, Vostok Bay and Aniva Bay (Sakhalin) in Russia. *NOWPAP CEARAC HAB*, 2011. _Integrated_Website

http://www.cearac-project.org/HAB_Integrated_Website/database/HAB_Case_Study_Russia_2010.pdf.

Orlova T.Yu., 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., Mitsunori Iwataki. A massive bloom of *Karenias* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020. *Harmful Alga*, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102337>

Об авторах

Е.В. Лепская — канд. биол. наук, зав. лабораторией Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО)

О.Б. Тепнин — зав. сектором Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО)

В.В. Коломейцев — вед. специалист Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО)

Ю.К. Курбанов — и. о. зав. лабораторией Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО)

И.А. Блохин — ст. специалист Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО)

В.А. Русанова — специалист Камчатского филиала ВНИРО (КамчатНИРО)

About the authors

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

Oleg B. Tepnin – Head of Division (KamchatNIRO)

Vladimir V. Kolomeytsev – Leading Specialist (KamchatNIRO)

Yury K. Kurbanov – acting Head of Lab. (KamchatNIRO)

Ivan A. Blokhin – Senior Specialist (KamchatNIRO)

Valentina A. Rusanova – Specialist (KamchatNIRO)

Статья поступила в редакцию: 01.12.2022

Одобрена после рецензирования: 10.12.2022

Статья принята к публикации: 15.12.2022