

ISSN 0134-3475

Том 50, Номер 6

Ноябрь–Декабрь 2024



БИОЛОГИЯ МОРЯ



НАУКА

— 1727 —

СОДЕРЖАНИЕ

Том 50, номер 6, 2024

Оригинальные статьи

Оценка влияния региональных климатических условий на численность горбуши <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792) (Salmonidae) Японского моря в 1980–2023 гг. <i>Т. А. Шатилина, Г. Ш. Цициашвили, М. А. Осипова, Т. В. Радченкова</i>	407
Влияние острой гипоксии и сероводородного заражения на активность сукцинатдегидрогеназы и аденилатный комплекс тканей двустворчатого моллюска <i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906) <i>А. А. Солдатов, Ю. В. Богданович, Н. Е. Шалагина, В. Н. Рычкова</i>	417
Последствия воздействия вредоносного “цветения” водорослей на донных беспозвоночных на шельфе восточной Камчатки <i>Т. Б. Морозов, Н. П. Санамян, К. Э. Санамян</i>	427
Вспышки численности чужеродных видов инфузорий <i>Rhizodomus tagatzi</i> Strelkov & Wirketis, 1950 и <i>Amphorellopsis acuta</i> Schmidt, 1902 (Ciliophora, Tintinnida) в Таманском порту (Черное море) <i>Ж. П. Селифонова</i>	446

Хроника

Нам — 50 лет! К юбилею журнала “Биология моря” <i>Ю. А. Требухова</i>	454
--	-----

Авторский указатель за 2024 г.	458
--------------------------------	-----

Contents

Volume 50, No 6, 2024

Original papers

- Assessment of the Effect of Regional Climate Conditions on Abundance of Pink Salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) (Salmonidae), in the Sea of Japan in 1980–2023
T. A. Shatilina, G. Sh. Tsitsiashvili, M. A. Osipova, T. V. Radchenkova 407
- Effect of Acute Hypoxia and Hydrogen Sulfide Contamination on the Succinate Dehydrogenase Activity and Adenylate Complex of Tissues in the Bivalve Mollusk *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906)
A. A. Soldatov, Yu. V. Bogdanovich, N. E. Shalagina, V. N. Rychkova 417
- Consequences of Impact of Harmful Algal Bloom on Benthic Invertebrates in the Eastern Kamchatka Shelf
T. B. Morozov, N. P. Sanamyan, K. E. Sanamyan 427
- Outbreaks of Alien Tintinnid Ciliates *Rhizodomus tagatzi* Strelkow & Wirketis, 1950 and *Amphorellopsis acuta* (Schmidt, 1902) (Ciliophora, Tintinnida) in the Port of Taman, Black Sea
Zh. P. Selifonova 446
-

Chronicles

- We are 50! On the jubilee of the *Biologiya morya* journal
Yu. A. Trebukhova 454
-

- Index of authors for 2024** 458
-
-

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

УДК 551.5:597.552.511(265.54)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ЧИСЛЕННОСТЬ ГОРБУШИ *ONCORHYNCHUS GORBUSCHA* (WALBAUM, 1792) (SALMONIDAE) ЯПОНСКОГО МОРЯ В 1980–2023 гг.

© 2024 г. Т. А. Шатилина¹ (ORCID: 0009-0005-7954-9745),
Г. Ш. Цициашвили² (ORCID: 0000-0003-2600-0474),
М. А. Осипова^{2, 3} (ORCID: 0000-0001-5615-9449),
Т. В. Радченкова^{2, *} (ORCID: 0000-0003-2287-975)

¹Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО), Владивосток 690091, Россия

²Институт прикладной математики (ИПМ) ДВО РАН, Владивосток 690041, Россия

³Дальневосточный федеральный университет, Владивосток 690022, Россия

*e-mail: tarad@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.04.2024 г.

После доработки 11.06.2024 г.

Принята к публикации 24.06.2024 г.

Рассмотрена зависимость динамики уловов горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) (Salmonidae) Японского моря от гидрометеорологических условий в районах нереста и нагула. Неблагоприятными условиями для возврата горбуши являются экстремально низкие температура воздуха в инкубационный период и температура воды в эстуарно-прибрежной стадии жизненного цикла. Благоприятными условиями для возврата горбуши являются высокие значения температуры воздуха в инкубационный период и температуры воды в Татарском проливе. С 2018 г. отмечалось похолодание вод в Татарском проливе, что негативно сказалось на возврате горбуши в реки Хабаровского и Приморского краев. Смена доминант в 1994 г. произошла при экстремальных гидрометеорологических условиях во все периоды жизненного цикла горбуши Японского моря.

Ключевые слова: горбуша *Oncorhynchus gorbuscha*, Японское море, Татарский пролив, аномалии температуры воды, смена доминант

DOI: 10.31857/S0134347524060012

Климат определяет условия воспроизводства и нагула лососей на всех речных и морских этапах жизненного цикла. О влиянии климатических факторов на динамику уловов *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) (Salmonidae) упоминалось в ряде публикаций (Пушкарева, 1975; Иванков, 1984; Гаврилов, Пушкарева, 1996; Радченко, Рассадников, 1997; Горяинов, Шатилина, 2003, 2004; Шунтов, Темных, 2011; Горяинов и др., 2013; Котенев и др., 2015; Beamish, Bouillon, 1993).

Несмотря на большое количество работ, посвященных этой проблеме, сведения о влиянии климатических факторов на динамику численности

лососей недостаточны, что приводит не только к ошибкам в прогнозах уловов, но и к неправильным оценкам тенденций динамики. Это становится очевидным при оценке эффективности прогнозирования численности и годовых уловов горбуши в рассматриваемом районе. Степень актуальности этих вопросов особенно возросла в настоящее время, когда после достижения исторического максимума вылова в 2016 г. численность возврата горбуши поколений четных лет у берегов Японского моря стала ежегодно существенно сокращаться (Назаров, Лысенко, 2018).

В ряде работ (Котенев и др., 2015; Beamish, Bouillon, 1993) в качестве основных климатических

индикаторов, влияющих на динамику уловов горбуши, используются крупномасштабные циркуляционные индексы. Мы полагаем, что для более глубокого понимания взаимосвязи динамики численности горбуши Японского моря и климата необходимо использовать и региональные индексы атмосферной циркуляции. Некоторые данные о механизмах взаимосвязи региональных колебаний климата и численности горбуши у побережья Приморского края Японского моря в период 2000–2018 гг. были представлены в работе Лысенко с соавторами (2021).

Условия среды опосредованно влияют на выживаемость скатывающейся и нагуливающейся в начале морского периода жизни молоди, выжившее количество которой является основой численности возврата поколения. Изменение гидрологического режима морских вод, вызванное определенной синоптической ситуацией, приводит к перераспределению миграционных потоков горбуши на 700-километровом участке материкового побережья Японского моря (Семенченко, 2006). Низкий хоминг горбуши (Глубоковский, Животовский, 1986), наличие большого количества слабо изолированных между собой рек, а также меняющаяся гидрометеорологическая обстановка во время ската молоди в море и на путях анадромной миграции приводят к непредсказуемым последствиям.

Показано, что аномальные термические условия в исследуемом районе формируются в результате аномальной циркуляции — экстремальных колебаний интенсивности развития и изменений локализации региональных центров действия атмосферы (Мороз и др., 2021). При этом хорошим индикатором различий в атмосферной циркуляции при экстремальных термических режимах являются барические структуры поля AT_{500} средней тропосферы, которые отличаются локализацией очагов повышения или понижения высот геопотенциала H_{500} .

В настоящей работе анализируются условия среды для жизненных циклов горбуши Японского моря в периоды экстремально высокого и низкого возвратов. Январь следует считать одним из критических месяцев для воспроизводства горбуши. В этом месяце, как правило, завершается период инкубации. Для старших поколений январь является периодом зимовки в море. В мае молодь приморской горбуши

мигрирует с нерестилищ в эстуарии и морское побережье. Эстуарно-прибрежный период обитания молоди лососей характеризуется высоким уровнем смертности из-за воздействия как биотических, так и абиотических факторов.

Особый интерес представляют климатические условия, при которых происходит уменьшение численности популяции и смена доминант. В работе предпринимается попытка решения этой важной задачи с помощью математической модели Рикера. Причем здесь особое внимание уделяется двухлетним устойчивым предельным циклам.

Цель работы — оценка влияния региональных климатических условий на численность *O. gorbuscha* Японского моря в 1980–2023 гг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Данные по вылову горбуши предоставлены ТИНРО Амурским и Приморским территориальными управлениями Росрыболовства за период с 1980 по 2023 гг.

Для анализа термического режима вод Японского моря использовали данные электронных баз ЕСИМО (<http://portal.esimo.ru/portal/>) и ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru>) на гидрометеорологических станциях (ГМС) Советская Гавань, Сосуново и Рудная пристань за период 1980–2021 гг. На сайте (https://www.data.jma.go.jp/gmd/goos/data/rrtdb/jma-pro/cobe2_sst_glb_M.html) получены данные в области Цусимского течения (38–40° с. ш., 135–139° в. д.) за период 1982–2022 гг. Для оценки термического режима рассчитывали аномалии температуры воды относительно базового периода 1991–2020 гг.

Для выявления экстремальных климатических условий рассчитывали крупные аномалии для всех используемых параметров по формуле, опубликованной в работе Спичкина (1987). Критерием крупной аномалии является значение 1.2σ , где σ — стандартное отклонение.

В работе нас интересовало условие сдвига фазы двухлетнего цикла численности популяции в точке его минимума на единицу (Tsitsiashvili et al., 2024). Для этого рассмотрим модель Рикера $y_{n+1} = \alpha y_n \exp(-y_n)$, $n \geq 0$, где α — коэффициент роста, y_n — численность популяции в n -й момент времени. Остановимся на

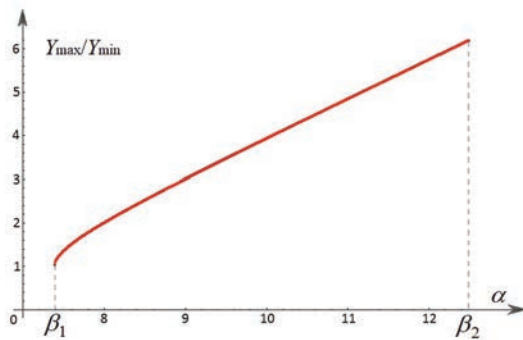


Рис. 1. График зависимости Y_{\max}/Y_{\min} от α при $\beta_1 < \alpha < \beta_2$.

модели устойчивого предельного цикла длины два, который возникает при $7.39 = \beta_1 < \alpha < \beta_2 = 12.49$ (Рикер, 1979; Шапиро, Луппов, 1983). В работе (Tsitsiashvili et al., 2024) с шагом 10^{-3} по параметру α численно были найдены три решения уравнения $y = f(f(y))$, $f(y) = \alpha y \exp(-y)$ в интервале (β_1, β_2) , при этом одно максимальное Y_{\max} , а другое минимальное Y_{\min} (значение численности популяции). Также было исследовано отношение Y_{\max}/Y_{\min} , которое можно интерпретировать, как коэффициент возврата. На рис. 1 приведен график зависимости отношения Y_{\max}/Y_{\min} от коэффициента роста α и можно отметить, что зависимость почти линейная в интервале (β_1, β_2) (рис. 1).

Приведем один пример сдвига четности устойчивого цикла в точке минимума. Пусть

$$y_{n+1} = \begin{cases} \beta_2 y_n \exp(-y_n) \alpha_n, & 0 \leq n \leq 9, n \neq 4, \\ \beta^* y_n \exp(-y_n) \alpha_n, & n = 4. \end{cases} \quad (1)$$

где $\beta^* = \exp(0.702882) \approx 2.01956$. На рис. 2 построен график функции (1), из которого видно, что последовательность y_n , $0 \leq n \leq 9$, $n \neq 4$, имеет устойчивый цикл длины два $y_0 = y_2 = y_4 = y_5 = y_7 = y_9 = 0.702882$, $y_1 = y_3 = y_6 = y_8 = 4.34697$, а при $n = 4$ происходит сдвиг четности устойчивого цикла. Это некоторый идеализированный пример сдвига четности цикла длины два. Чтобы достичь такого сдвига, нужно в момент $n = 4$ уменьшить коэффициент роста в $\beta_2 / \beta^* \approx 6.184$ раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Динамика численности горбуши Японского моря

С начала 1980-х годов и до 1995 г. в подходах горбуши доминировали поколения нечетных

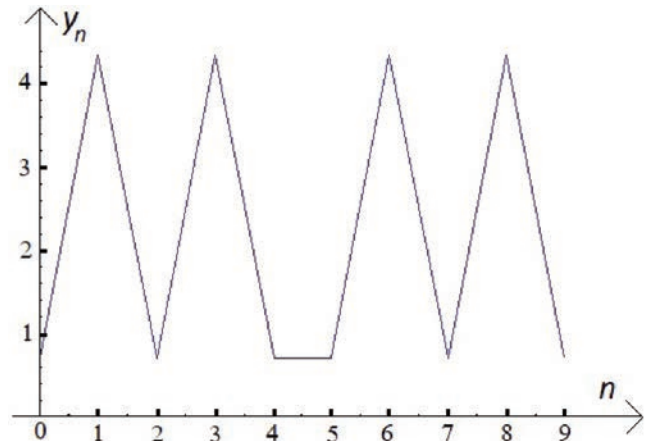


Рис. 2. График сдвига четности в модели Рикера в точке минимума.

лет (рис. 3а). В эти годы основной вылов осуществлялся прибрежным рыболовством в Хабаровском крае, доля вылова Приморского края была менее 10% — до 200 т (рис. 3а). Смена доминантных поколений приморской горбуши произошла в 1994 г., в уловах начали преобладать поколения четных лет, но по вылову продолжал доминировать Хабаровский край. С 1990-х годов прошлого века уловы приморской горбуши в годы высокой численности не превышали 15 тыс. т, в годы низких подходов сокращались до нескольких центнеров. Начиная с 2004 г., объемы вылова горбуши в Приморском крае постепенно начали увеличиваться. По сравнению с периодом 1981–1993 гг. они выросли в несколько раз (рис. 3б). В последние годы доля вылова горбуши в Приморском крае продолжала увеличиваться.

В период с 1996 г. по 2016 г. численность поколений приморской горбуши четных лет увеличивалась и достигла своего максимального значения в 2016 г. В 1995–2019 гг. на фоне благоприятной численности поколений четных лет генерации нечетных лет находились в угнетенном состоянии (рис. 3а).

Начиная с 2002 г., в Хабаровском крае наблюдалась тенденция к сокращению уловов четных, а с 2015–2019 гг. — нечетных поколений горбуши. Доля вылова горбуши на территории Приморского края увеличилась с 16 до 55% (в четные 2002–2022 гг.), а с 2015 г. возросла с 18 до 71% (Назаров, Лысенко, 2018). В период 2018–2022 гг. отмечался спад уловов горбуши Японского моря четных поколений (рис. 3б).

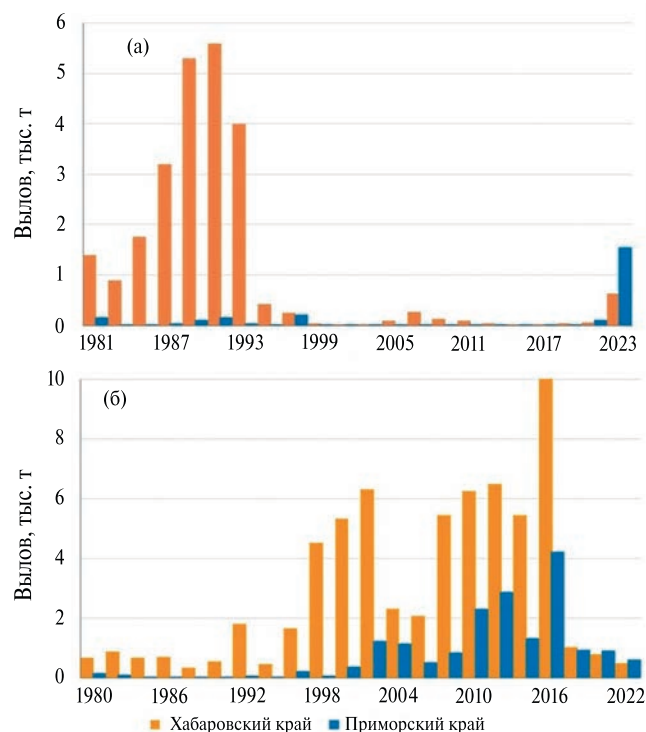


Рис. 3. Вылов горбуши Хабаровского и Приморского краев в нечетные (а) и четные годы (б) с 1980 по 2023 г.

Впервые с начала XXI века промысловые уловы малочисленных поколений нечетных лет в Приморском крае увеличились в 10 раз (до 1.5 тыс. т.), а в Хабаровском крае сократились (рис. 3а).

Изменчивость термического режима вод Японского моря

Из внешних факторов, оказывающих существенное влияние на распределение миграционных потоков горбуши, доминирующими являются температура воды, воздуха и осадки. О влиянии температуры воды в Татарском проливе на подходы горбуши Японского моря упоминалось в работе Пушкаревой (1975). На рис. 4 представлена изменчивость аномалий температуры воды в Татарском проливе и в южной части Японского моря в 1982–2022 гг.

В последние годы в мае в Татарском проливе наблюдалось похолодание, а в южной части Японского моря потепление (рис. 4а). Противоположность между ходом аномалий температуры воды в Татарском проливе и в области Цусимского течения отмечена и в июне (рис. 4б).

В Татарском проливе экстремально холодными в мае были 1987, 1992 и 1999 гг., в июне — 1985,

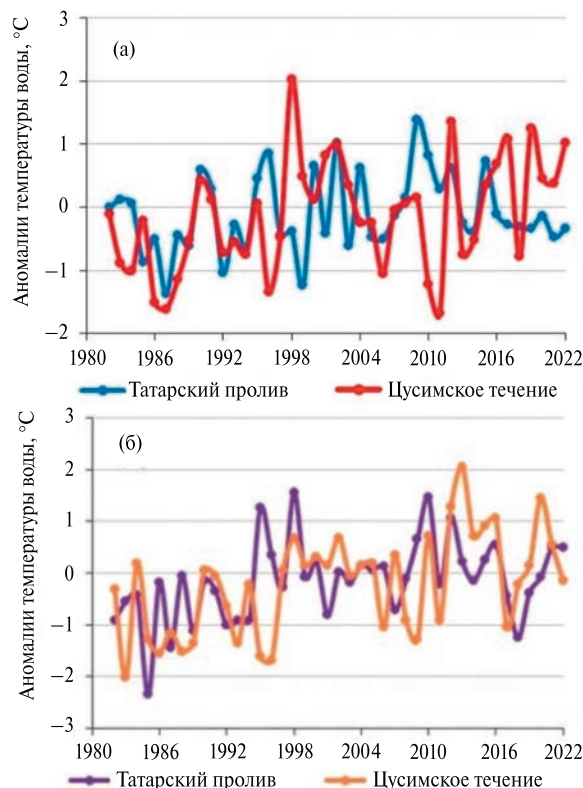


Рис. 4. Аномалии температуры воды в Татарском проливе и в области Цусимского течения в мае (а) и июне (б) с 1982 по 2022 г.

1987, 1992, 1993, 1994 и 2018 гг. Экстремально теплыми в мае были 1996, 2002 и 2009 гг., в июне — 1995, 1998, 2010 и 2012 гг. Большинство холодных лет приходилось на 80-е годы прошлого века, когда уловы горбуши были низкими. Экстремально низкая температура воды в июне 2018 г. согласовывалась с началом снижения уловов горбуши четной линии. В области Цусимского течения экстремально низкая температура воды была в мае 1986, 1987, 2009 гг., в июне она отмечена в 1983, 1986, 1995, 1996 и 2009 гг. В области Цусимского течения экстремально теплыми в мае были 1998, 2012 и 2019 гг., в июне — 2012 и 2013 гг. Высокая температура воды в области Цусимского течения в 1998 и 2012 гг. коррелировала с высокими выловами горбуши в Хабаровском крае.

Поскольку основными факторами, влияющими на выживаемость горбуши, являются температура воздуха в период инкубации, а также температура воды в период ската молоди и анадромных миграций, представим

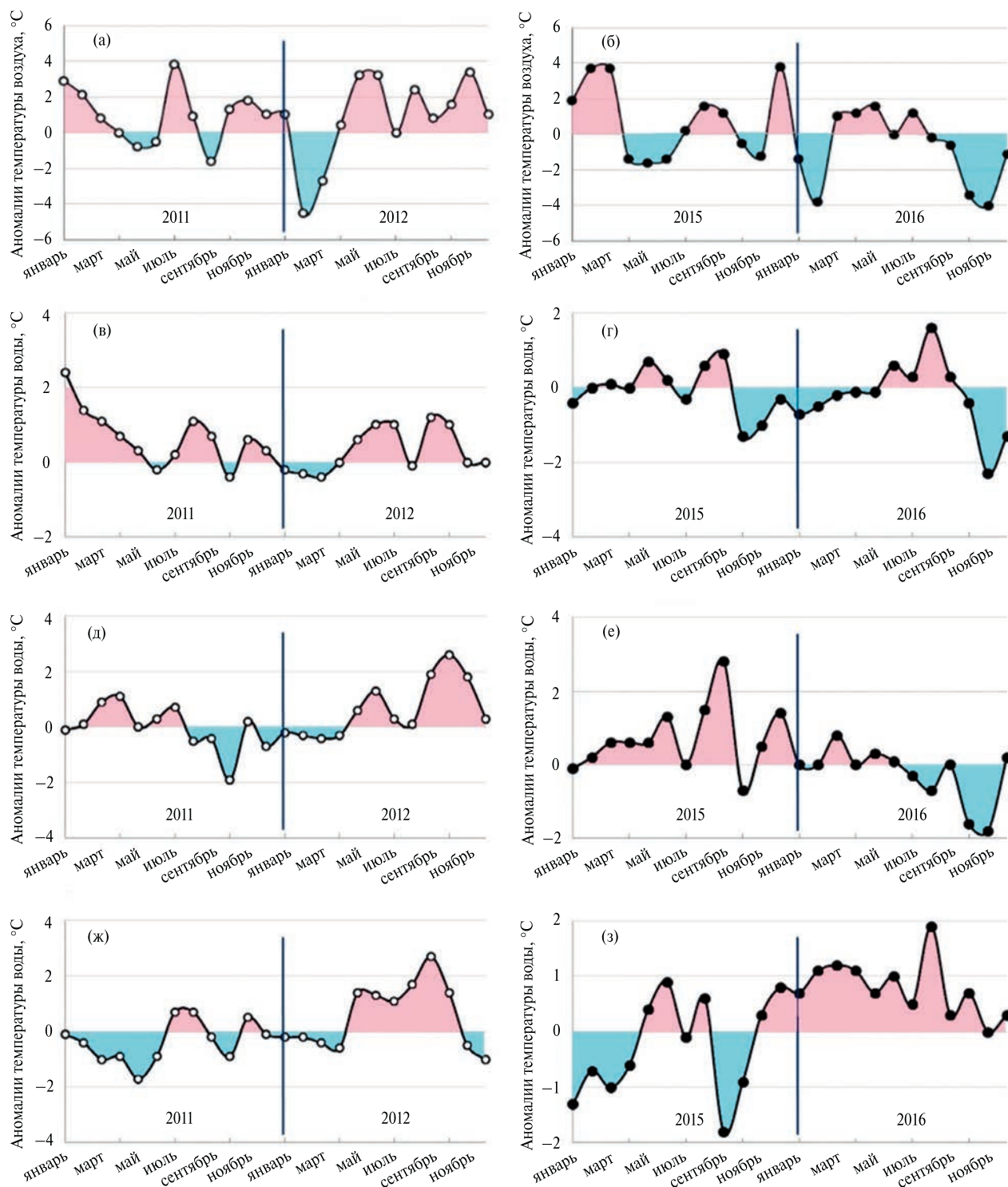


Рис. 5. Годовой ход аномалий температуры воздуха на ГМС Николаевск-на-Амуре в 2011 и 2012 гг. (а), в 2015 и 2016 гг. (б); аномалий температуры воды в Татарском проливе в 2011 и 2012 гг. (в), в 2015 и 2016 гг. (г); аномалий температуры воды на ГМС Рудная пристань в 2011 и 2012 гг. (д), в 2015 и 2016 гг. (е) и в области Цусимского течения в 2011 и 2012 гг. (ж) и в 2015 и 2016 гг. (з).

внутригодовой ход аномалий этих факторов в годы высоких и низких возвратов горбуши как в Приморском, так и в Хабаровском краях.

Условия среды при высоких возвратах горбуши

Высокие возвраты горбуши в реки Приморского и Хабаровского краев отмечены в 2012 и 2016 гг.

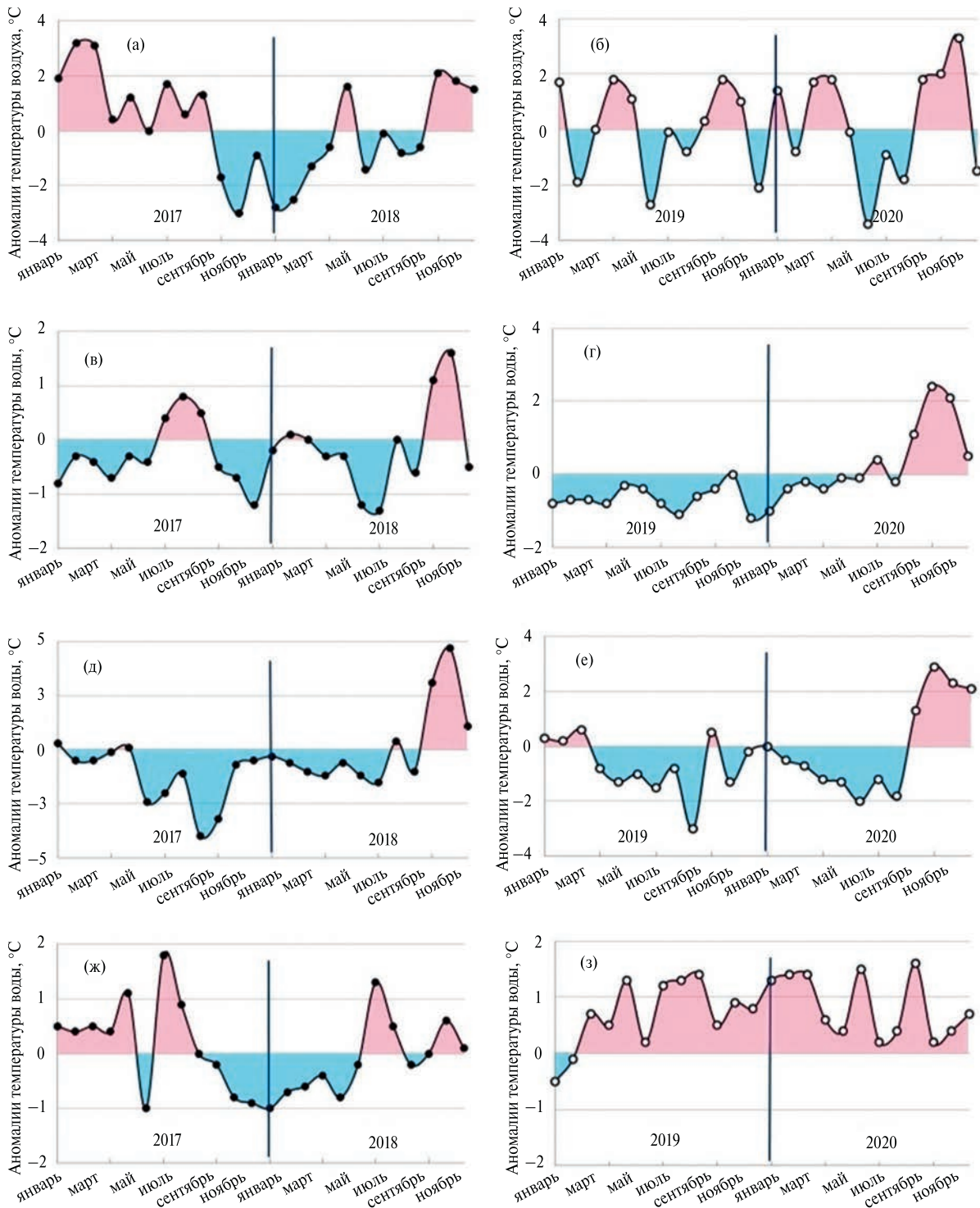


Рис. 6. Годовой ход аномалий температуры воздуха на ГМС Николаевск-на-Амуре в 2017 и 2018 гг. (а), в 2019 и 2020 гг. (б); аномалий температуры воды в Татарском проливе в 2017 и 2018 гг. (в), в 2019 и 2020 гг. (г); аномалий температуры воды на ГМС Рудная пристань в 2017 и 2018 гг. (д), в 2019 и 2020 гг. (е) и в области Цусимского течения в 2017 и 2018 гг. (ж) и в 2019 и 2020 гг. (з).

(рис. 3б). На рис. 5 представлены аномалии температуры воздуха на ГМС Николаевск-на-Амуре, аномалии температуры воды в Татарском проливе, на ГМС Рудная Пристань и в области Цусимского течения в 2012 и 2016 гг. (напомним, что в 2016 г. отмечался исторический максимум вылова горбуши).

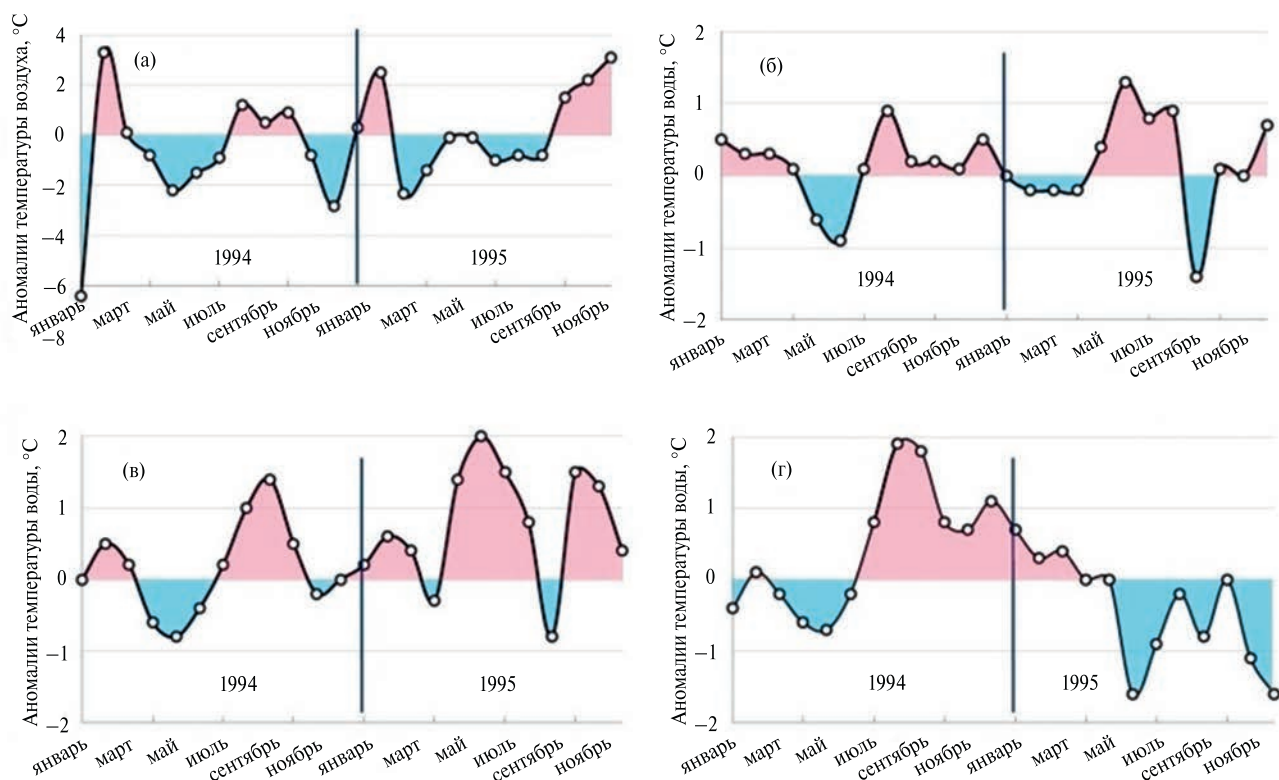


Рис. 7. Годовой ход аномалий температуры воздуха на ГМС Николаевск-на-Амуре (а) и аномалий температуры воды в Татарском проливе (б), на ГМС Советская Гавань (в) и в области Цусимского течения (г) в 1994 и 1995 гг.

В январе 2011 и 2015 гг. экстремально высокая температура воздуха отмечена на ГМС Николаевск-на-Амуре и Советская Гавань (рис. 5а, 5б). В мае и в июне 2011 и 2015 гг. температура воды в Татарском проливе была около и выше нормы (рис. 5в, 5г). В 2012 г. аномалии температуры воды в Татарском проливе были экстремально высокими (рис. 5в). В 2016 г. температура воды в этом районе была выше нормы в июне (рис. 5г). Экстремально высокая температура воды в 2016 г. отмечена на ГМС Советская Гавань в мае. На ГМС Рудная Пристань, как и в Татарском проливе, в мае и в июне 2011 и 2015 гг. отмечены положительные аномалии, а экстремально высокая температура воды была в июне 2015 г. (рис. 5д, 5е).

В 2011 и 2015 гг. в южных районах Японского моря температура воды была низкой с января по апрель (рис. 5ж, 5е), в мае и июне 2015 г. она повысилась, а в 2011 г. оставалась ниже нормы. В южных районах Японского моря температура воды в 2012 и 2015 гг. отличалась положительными аномалиями (рис. 5ж, 5з).

Условия среды при низких возвратах горбуши

Низкие возвраты горбуши четной линии отмечены в 2018 и 2020 гг., уловы горбуши в основных рыбопромысловых районах Хабаровского края составили 1032 и 782 т, в районах Приморского края — 930 и 903 т. Условия среды этих лет представлены на рис. 6. В 2017 г. экстремально высокая температура воздуха на ГМС Николаевск-на-Амуре и Советская Гавань отмечена в феврале и марте (рис. 6а), осадков было несколько больше нормы. В 2019 г. температура воздуха на ГМС также была выше нормы (рис. 6б).

В 2017 и 2019 гг. низкая температура воды в Татарском проливе отмечена с января по июнь (рис. 6в, 6г). Экстремально низкую температуру воды в 2017–2020 гг. наблюдали на ГМС Рудная Пристань (рис. 6д, 6е), которая расположена в области холодного Приморского течения. В области Цусимского течения в 2017 г. отмечены положительные, а в 2018 г. — отрицательные аномалии температуры воды (рис. 6ж). В 2019 и 2020 гг. экстремально высокую температуру

Таблица 1. Аномалии геопотенциала H_{500} (дам)* над областью ТЛ и ВФЗ в январе и над областью ТД и ГА в мае–июле в годы высокого и низкого возвратов горбуши и смены доминант

ЦДА	Месяц	1994	1995	2011	2012	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ТЛ	Январь	–5.4	2.3	–0.2	4.3	7.2	–4.6	3.9	1.2	–0.3	2.8
ВФЗ	Январь	2	–2	–6.6	–5.1	–0.6	2.9	–2	1.9	–3	5.2
ТД	Май	–3.1	–0.1	–2.9	10.2	–5.1	2.7	–0.4	2.9	6.5	–3.1
	Июнь	–0.9	–1	–4.1	3	–2.3	1.6	–2.3	–1.8	–4.8	0
	Июль	–1.7	–3.9	5.1	2.4	–1.4	6.9	–1	3.1	0.9	0.6
ГА	Май	1	1.4	0.7	0.5	2.7	2.7	2.2	4.5	0	2.1
	Июнь	–0.6	–1.8	0.5	–1.7	2.1	1.4	1	2.2	1.4	1.9
	Июль	–0.1	–0.8	0.1	0.6	2.4	0.4	1.6	2	1.1	2.4

*Единица измерения аномалии геопотенциала H_{500} .

Условные обозначения: ЦДА – центры действия атмосферы; ТЛ – тропосферная ложбина у восточного побережья Азии; ВФЗ – высотная фронтальная зона над северо-западом Тихого океана; ТД – холодная тропосферная депрессия над Охотским морем; ГА – гребень гавайского антициклона.

воды на юге Японского моря наблюдали в июне (рис. 6з).

Гидрометеорологические условия при смене доминант

В четном 1994 г. наблюдали минимум уловов (444 т), который оставался низким и в нечетном 1995 г. (410 т). На рис. 7 представлены условия среды в 1994 и 1995 гг., когда произошла смена доминант и уловы нечетной линии были низкими.

В январе 1994 г. отмечена экстремально низкая температура воздуха на всех ГМС материковой части Японского моря, в Николаевске-на-Амуре отрицательная аномалия составила -6°C (рис. 7а). В мае и июне экстремально низкую температуру воды наблюдали в Татарском проливе и на ГМС Советская Гавань (рис. 7б, 7в). В области Цусимского течения в 1994 г. в весенний период температура воды была ниже нормы (рис. 7г).

Особенности атмосферной циркуляции при низких и высоких возвратах горбуши

Одной из причин изменчивости термического режима вод Японского моря являются особенности циркуляции атмосферы над Дальним Востоком. В зимний период у восточного побережья Азии располагается тропосферная

ложбина (ТЛ), от интенсивности которой зависит адвекция холодного воздуха на нерестовые районы горбуши. Над северо-западом Тихого океана располагается высотная фронтальная зона (ВФЗ), являющаяся границей теплых и холодных воздушных масс. В мае–июне большая часть Охотского моря находится под воздействием холодной тропосферной депрессии (ТД), южные районы Японского моря находятся под воздействием гребня гавайского антициклона (ГА).

Для оценки интенсивности региональных центров действия атмосферы (ЦДА) в периоды высокого и низкого возвратов горбуши были рассчитаны аномалии геопотенциала H_{500} над областью ТЛ и ВФЗ в январе, над ТД и ГА в мае–июле (табл. 1).

В январе экстремально высокие значения H_{500} над областью тропосферной ложбины отмечены в 2012 и 2015 гг., что обусловило экстремально высокие температуры воздуха над районами воспроизводства (рис. 5). В 1994 г. над областью ложбины наблюдали экстремально низкие значения H_{500} , что обусловило чрезвычайно низкую температуру воздуха и осадков в инкубационный период горбуши. В период высокого возврата ТД над Охотским морем не была интенсивной, а в периоды низкого возврата ее интенсивность повышалась в мае (2020) и в июне (2018). С 2015 г. отмечено усиление влияния гавайского антициклона

на южную часть Японского моря, что согласовывалось с ростом температуры воды в этом районе Японского моря.

ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдаемые тенденции роста температуры воды в области Цусимского течения согласуются с увеличением доли горбуши в зоне Приморья, а снижение температуры воды в Татарском проливе — с падением уловов в северных районах Татарского пролива. Высокий возврат горбуши в Хабаровский и Приморский края наблюдался при аномально высоких температурах воздуха в инкубационный период и воды в эстуарно-прибрежный период, а также в период анадромных миграций. Низкая температура воды в Татарском проливе и в области Приморского течения могла быть одной из причин низкого возврата горбуши Японского моря, в особенности горбуши в Хабаровском крае. В Приморском крае такого резкого спада уловов горбуши не отмечено.

При смене доминант, которая отмечена в 1994 г., наблюдали экстремально низкую температуру воздуха над районами нереста в январе, низкие значения осадков и низкую температуру воды в Татарском проливе в мае и июне. Смена доминант в 1994 г. произошла при изменении режима климатической ложбины в январе, ее интенсивность резко усилилась, что явилось причиной чрезвычайно низкой температуры воздуха над нерестовыми реками. В том же году отмечено углубление тропосферной депрессии над Охотским морем, что явилось причиной низких значений температуры воды в Татарском проливе.

Предложена климатическая причина смены доминант с помощью модели Рикера. Она определяется изменчивостью региональных центров действия над Дальним Востоком, под влиянием которых формируется термический и динамический режимы в Японском море и условия жизненных циклов горбуши.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета организаций. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных. Данные по вылову горбуши предоставлены Амурским и Приморским территориальными управлениями Росрыболовства.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гаврилов Г.М., Пушкарева Н.Ф. Динамика численности приморской горбуши // Изв. ТИНРО. 1996. Т. 119. С. 178–193.
- Глубоковский М.К., Животовский Л.А. Популяционная структура горбуши: система флуктуирующих стад // Биол. моря. 1986. Т. 2. С. 39–44.
- Горяинов А.А., Крупяно Н.И., Шатилина Т.А. Сравнительный анализ динамики уловов приморской и амурской горбуши // Бюлл. № 8 изучения тихоокеанских лососей на Дальнем Востоке. 2013. С. 106–118.
- Горяинов А.А., Шатилина Т.А. Динамика азиатской горбуши и климатические изменения над азиатско-тихоокеанским регионом в XX веке // Биол. моря. 2003. Т. 29. № 6. С. 429–435.
- Горяинов А.А., Шатилина Т.А. Океанологические основы распределения, миграций и динамики численности лососей в Японском море. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Японское море. СПб.: Гидрометеиздат, 2004. Т. 8. № 2. С. 175–201.
- Иванков А.М. Причины периодических и ежегодных флуктуаций численности и изменений биологических признаков горбуши Южных Курильских островов // Вопр. ихтиологии. 1984. Т. 24. № 6. С. 895–906.
- Котенев Б.Н., Кровнин А.С., Кловач Н.В. и др. Влияние климато-океанологических факторов на состояние основных запасов горбуши в 1950–2015 гг. // Тр. ВНИРО. 2015. Т. 158. С. 143–161.
- Лысенко А.В., Шатилина Т.А., Гайко Л.А. Влияние гидрометеорологических условий на динамику вылова (численности) приморской горбуши *Oncorhynchus gorbuscha* (Salmonidae) на основе ретроспективных данных (Японское море, Татарский пролив) // Вопр. ихтиологии. 2021. Т. 61. № 2. С. 206–218.

- Мороз В.В., Шатилина Т.А., Рудых Н.И. Формирование аномальных термических режимов в северной части Татарского пролива и Амурского лимана под воздействием атмосферных процессов // Вестн. ДВО РАН. 2021. № 6. С. 101–110.
- Назаров В.А., Лысенко А.В. Итоги лососевой путины 2018 г в Приморском крае // Бюлл. № 13 реализации “Концепции Дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей”. 2018. С. 240–254.
- Пушкарева Н.Ф. Состояние запасов приморской горбуши и пути увеличения ее численности // Тр. ВНИРО. 1975. Т. 106. С. 106–113.
- Радченко В.И., Рассадников О.А. Тенденции многолетней динамики запасов азиатских лососей и определяющие ее факторы // Изв. ТИНРО-Центра. 1997. Т. 122. С. 72–92.
- Рикер У.Е. Методы оценки и интерпретации биологических показателей популяций рыб. М.: Пищевая промышленность. 1979.
- Семенченко А.Ю. Приморская горбуша (*Oncorhynchus gorbuscha*) в прибрежный и речной периоды жизни. Часть 1. Динамика численности // Бюлл. № 1 реализации “Концепции Дальневосточной бассейновой программы изучения тихоокеанских лососей”. 2006. С. 98–114.
- Спичкин В.А. Определение критерия крупной аномалии // Тр. ААНИИ. 1987. Т. 402. С. 15–20.
- Шапиро А.П., Луннов С.П. Рекуррентные уравнения в теории популяционной биологии. М.: Наука, 1983. 132 с.
- Шунтов В.П., Темных О.С. Тихоокеанские лососи в морских и океанических системах. Т. 2. Владивосток: Изд-во ТИНРО-Центра, 2011. 473 с.
- Beamish R.J., Bouillon D.R. Pacific salmon production trends in relation to climate // Can. J. Fish. Aquat. Sci. 1993. V. 50. P. 1002–1016.
- Tsitsiashvili G., Shatilina T., Osipova M., Radchenkova T. Limit cycles of length two in the Ricker model and their application in fishing // Reliab.: Theory Appl. 2024. V. 1. № 77. P. 790–795.

Assessment of the Effect of Regional Climate Conditions on Abundance of Pink Salmon, *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) (Salmonidae), in the Sea of Japan in 1980–2023

T. A. Shatilina^a, G. Sh. Tsitsiashvili^b, M. A. Osipova^{b, c}, T. V. Radchenkova^b

^aPacific Branch, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (TINRO), Vladivostok 690091, Russia

^bInstitute of Applied Mathematics (IAM), Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok 690041, Russia

^cFar Eastern Federal University, Vladivostok 690022, Russia

The relationship of catch dynamics of pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum, 1792) (Salmonidae) from the Sea of Japan with hydrometeorological conditions at the spawning and feeding grounds is studied. The unfavorable conditions for pink salmon runs are an extremely low air temperature during incubation and water temperature during the estuarine—coastal life-history stage. The favorable conditions for pink salmon runs are a high air temperature during incubation and water temperature in the Tatar Strait during downstream migration and the early marine stage. Since 2018, a cooling of waters in the Tatar Strait has been observed, which has affected pink salmon runs to the rivers of Khabarovsk Krai and Primorsky Krai. The shift of dominant year-classes in 1994 occurred under extreme hydrometeorological conditions at all life-history stages of pink salmon in the Sea of Japan.

Keywords: pink salmon *Oncorhynchus gorbuscha*, Sea of Japan, Tatar Strait, water temperature anomalies, shift in dominance

УДК [594.1:591.044]:577.1

ВЛИЯНИЕ ОСТРОЙ ГИПОКСИИ И СЕРОВОДОРОДНОГО ЗАРАЖЕНИЯ НА АКТИВНОСТЬ СУКЦИНАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ И АДЕНИЛАТНЫЙ КОМПЛЕКС ТКАНЕЙ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *ANADARA KAGOSHIMENSIS* (TOKUNAGA, 1906)

© 2024 г. А. А. Солдатов^{1, 2, *} (ORCID: 0000-0002-9862-123X),
Ю. В. Богданович¹ (ORCID: 0000-0002-8239-4968),
Н. Е. Шалагина¹ (ORCID: 0000-0001-6195-6135),
В. Н. Рычкова¹ (ORCID: 0000-0003-3797-715X)

¹Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского (ИнБЮМ) РАН, Севастополь 299011, Россия

²Севастопольский государственный университет, Севастополь 299053, Россия

*e-mail: alekssoldatov@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.05.2024 г.

После доработки 30.07.2024 г.

Принята к публикации 15.08.2024 г.

В условиях эксперимента исследовано раздельное влияние острой гипоксии и сероводородной нагрузки на маркерный фермент дыхательной цепи митохондрий — сукцинатдегидрогеназу (СДГ) и аденилатный статус тканей толерантного к данной группе факторов двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906). Работа выполнена на взрослых особях с высотой раковины — 23–34 см. Контрольную группу моллюсков содержали в воде с концентрацией кислорода 7.0–8.2 мгО₂/л. Одну экспериментальную группу подвергали воздействию острой гипоксии (0.1 мгО₂/л), а другую сероводородной нагрузке (6 мгS²⁻/л). Экспозиция в обоих случаях составляла 48 ч. Температура воды поддерживалась на уровне 17–20°C. Острая гипоксия вызывала рост активности СДГ во всех исследованных тканях (жабры, нога, гепатопанкреас). При сероводородной нагрузке этой реакции не наблюдали. Энергетический статус тканей в обоих случаях понижался. Это выражалось в снижении содержания фракций АТФ и АДФ на фоне повышения содержания АМФ, что допускает реализацию аденилаткиназной реакции. В присутствии сероводорода данные изменения были более заметны. При этом пул аденилатов и величина аденилатного энергетического заряда (АЭЗ) сохранялись на относительно высоком уровне, что отражало способность организма анадары существовать в придонных слоях воды, при низком уровне кислорода и в присутствии сероводорода. Допускается, что митохондрии анадары обладают альтернативной оксидазой, не чувствительной к присутствию сульфидов в воде.

Ключевые слова: *Anadara kagoshimensis*, сероводород, гипоксия, сукцинатдегидрогеназа, аденилатный комплекс, ткани

DOI: 10.31857/S0134347524060023

Тихоокеанский двустворчатый моллюск *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) был занесен в азово-черноморский регион с балластными водами (Шиганова, 2010). Впервые был обнаружен в 1968 г. у побережья Кавказа на глубине 20–30 м (Киселёва, 1992). В настоящее время массовые поселения моллюска отмечаются вдоль западного и восточного побережий Черного моря (Ревков, 2016), а в последнее время и в Азовском море (Живоглядова и др., 2021). На ряде участков Крымского шельфа он превратился в одну из ценозообразующих форм бентоса (Ревков, 2016). Столь быстрое распространение анадары в азово-черноморском регионе связывают с ее эврибионтностью и, прежде всего, со способностью к существованию

в акваториях с экстремально низкой концентрацией кислорода и присутствием сероводорода (Солдатов и др., 2018). Шельфовые зоны крымского полуострова подвержены влиянию этих факторов, чему способствуют специфические вертикальные течения (апвеллинги), а также образование застойных зон с отсутствием сквозной вертикальной конвекции вод (Орехова, Коновалов, 2018).

В работах ряда авторов показано, что организм анадары может поддерживать высокий энергетический статус тканей в условиях острой гипоксии (Cortesi et al., 1992), а также переносить присутствие сероводорода в морской среде (2 ммоль/л) (Miyamoto, Iwanaga, 2017; Nakano et al., 2017). Токсичность сероводорода связывают с его способностью ингибировать цитохром-с-оксидазу дыхательной цепи митохондрий (Cooper, Brown, 2008; Cao et al., 2011), переводить гемсодержащие белки в сульф-форму (Bagarinao, 1992; Grieshaber, Völkel, 1998), подавлять экспрессию транскрипционного фактора, индуцируемого гипоксией (Wu et al., 2012). Вместе с тем, многие организмы проявляют выраженную устойчивость к присутствию сероводорода в воде. К ним можно отнести рыб семейства гаМбузиевых (Poeciliidae), обнаруженных в сероводородных источниках на юге Мексики (Tobler et al., 2008, 2011), обитателя застойных вод Амазонки голубого сомика *Hoplosternum littorale* (Brauner et al., 1995), погонофор (*Riftia pachyptila*) (Arp, Childress, 1981; Arp, Childress, 1983) и ряд других организмов.

Исследуя природу устойчивости гидробионтов к токсическому действию сероводорода, следует обратить внимание на следующие процессы: сульфидоокисляющую микрофлору, поселяющуюся на респираторных поверхностях, и ее способность к нейтрализации сероводородной нагрузки (Stewart, Cavanaugh, 2006); способность ряда организмов переводить сульфиды в тиосульфаты (Bagarinao, Vetter, 1993); наличие в гемолимфе моллюсков особого транспортного белка, а также гемоглобинов, нечувствительных к сероводороду (Arp, Childress, 1981; Arp, Childress, 1983); присутствие в эритроцитах ряда моллюсков особых зернистых включений (Kladchenko et al., 2020), содержащих гематин, который способен окислять сульфиды (Vismann, 1993; Holden et al., 1994). Последнее

было показано и в отношении анадары (Солдатов и др., 2018).

В токсическом действии сероводорода следует выделить две составляющие: прямой эффект, о чем сказано выше, и действие острой гипоксии (аноксии), которое обычно сопровождает токсический эффект сероводорода. Ранее нами было изучено влияние сероводородной нагрузки на организм анадары, где гипоксические эффекты и действие сульфидов не разделялось (Солдатов и др., 2022). Настоящее исследование посвящено изучению отдельного действия этих факторов. При этом оценен иной комплекс показателей.

Цель работы — исследовать в условиях эксперимента отдельное влияние острой гипоксии и сероводородной нагрузки на маркерный фермент дыхательной цепи митохондрий — сукцинатдегидрогеназу, и аденилатный статус тканей толерантного к данной группе факторов двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Работа выполнена на взрослых особях двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis*, собранных в июне 2022 г. в акватории б. Ласпи (Крым). Высота раковины моллюсков (от замка до края створки) варьировала от 23 до 34 мм.

Схема эксперимента

Контрольную группу моллюсков содержали при 7.0–8.2 мгО₂/л (группа 1). Содержание кислорода понижали путем барботажа воды азотом в течение двух часов. Финальная концентрация кислорода в опытной группе составляла 0.1 мгО₂/л (группа 2). Сероводородное заражение создавали добавляя в емкость с моллюсками Na₂S до финальной концентрации 6 мгS²⁻/л. При этом максимальная концентрация сульфидов для вод Черного моря составляет 9.6 мгS²⁻/л (Орехова, Коновалов, 2018). Содержание кислорода в воде предварительно понижали до следовых количеств (группа 3). Экспозиция в обоих случаях составляла 48 ч. Температуру воды в опытной и контрольной группах поддерживали на уровне 17–20 °С. Присутствие в воде сульфид-иона приводило к ее защелачиванию, которое компенсировали внесением 0.1н HCl. Значения pH удерживали

на уровне 8.2–8.3. Случаев гибели моллюсков в контрольной и опытных группах на протяжении 48 ч не отмечали.

Содержание кислорода в воде контролировали при помощи оксиметра DO Meter ST300D RU (Ohaus, США). Значения pH измеряли на pH-метре InoLab pH 720 (Германия). Концентрацию сульфид-иона в воде определяли потенциометрически с применением сульфид-селективного сенсора “MSBS” (Нидерланды).

Биохимические исследования

Препарирование и подготовку тканей (нога, жабры, гепатопанкреас) к хранению осуществляли на ледяной бане при температуре 0–4 °C. Образцы до определения активности ферментов хранили при температуре –80 °C в морозильной камере (Farma 900 Series, TermoScientific, USA). Приготовление гомогенатов осуществляли непосредственно в день эксперимента. В качестве трансформирующей среды использовали 1.15% раствор KCl. Для получения супернатанта гомогенаты центрифугировали при 6000 об/мин в течение 15 мин. В работе использовали рефрижераторную центрифугу 5424R Eppendorf (Germany). Все операции с материалом осуществляли на холоде при 0–4 °C.

Активность сукцинатдегидрогеназы (СДГ) (КФ 1.3.99.1) определяли при длине волны 420 нм по скорости восстановления феррицианида калия (Ещенко, Вольский, 1982). В качестве трансформирующей среды использовали 0.1 М калий-фосфатный буфер. Активность выражали в нмоль сукцината/мин/мг белка. Содержание белка в пробах контролировали микробиуретовым методом (Itzhaki, Gill, 1964). В работе использовали двухлучевой спектрофотометр “SPECS SSP-715” (Россия).

Содержание адениловых нуклеотидов регистрировали при помощи хемилюминисцентного метода (Holm-Hansen, Booth, 1966). Результаты выражали в мкмоль/мг сырой массы ткани. Исследуемые ткани гомогенизировали в 0.1 М трис-ацетатном буфере на холоде (pH 7.75). Аденилатный комплекс экстрагировали в кипящем буфере на водяной бане в течение 5 мин. Полученные экстракты замораживали до дальнейшего анализа. Определение АТФ проводили по стандартной методике, по световой эмиссии

с добавлением люциферин-люциферазы на приборе АТР-Luminometer 1250 (ЛКВ, Швеция). АДФ и АМФ восстанавливали до АТФ с применением энзимов пируваткиназы и аденилаткиназы. На основании полученных значений рассчитывали аденилатный энергетический заряд (АЭЗ) (Atkinson, 1968).

Статистическая обработка

При проведении сравнительного анализа был применен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) PAST Version 4.09 software. Статистические сравнения проводили на основе непараметрического U – критерия Манна–Уитни. Цифровой материал обработан с использованием стандартного пакета Grapher (версия 11). Результаты представлены как $M \pm m$. Минимальный уровень значимости составлял $p < 0.05$. На каждую группу моллюсков (контроль, опыт 1 и 2) приходилось по 9 особей анадары. От каждого экземпляра получали по 3 образца ткани (81 проба). При проведении биохимических исследований каждую пробу анализировали трижды (243 анализа на СДГ и 243 анализа на аденилаты). Объем выборочных совокупностей указан на графиках.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Активность СДГ

Активность СДГ в жабрах контрольной группы моллюсков, содержащихся в условиях нормоксии (7.0–8.2 мгО₂/л), составляла 10.5 ± 3.4 нмоль сукцината/мин/мг белка (рис. 1). В ноге и гепатопанкреасе она была на 32–39% ниже ($p < 0.01$). В условиях острой гипоксии (0.1 мгО₂/л) отмечали рост активности СДГ во всех тканевых структурах анадары. Наибольшие различия были отмечены для ноги – в 2.3–2.4 раза ($p < 0.01$). Для остальных тканей (жабры, гепатопанкреас) они находились на уровне 50–90% ($p < 0.05$ для гепатопанкреаса). Сероводородная нагрузка (6 мгS^{2–}/л) не вызвала заметных изменений активности СДГ. Она сохранялась на уровне контрольных значений. Имеющиеся различия не были статистически значимыми.

Аденилатный комплекс

Самый высокий пул аденилатов был отмечен в ноге моллюска – 12.6 ± 0.2 мкмоль/мг ткани

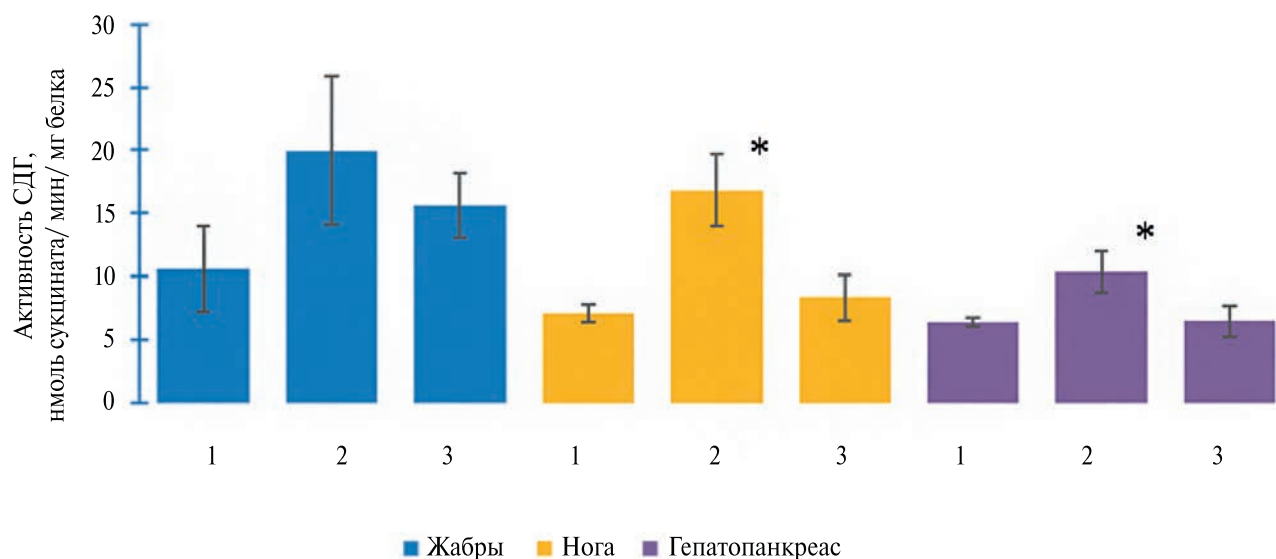


Рис. 1. Активность сукцинатдегидрогеназы (СДГ) в тканях анадарты (1 – нормоксия; 2 – острая гипоксия; 3 – сероводородная нагрузка; * $p < 0.05$ относительно контроля; * $p < 0.05$ относительно контроля; $n = 9$).

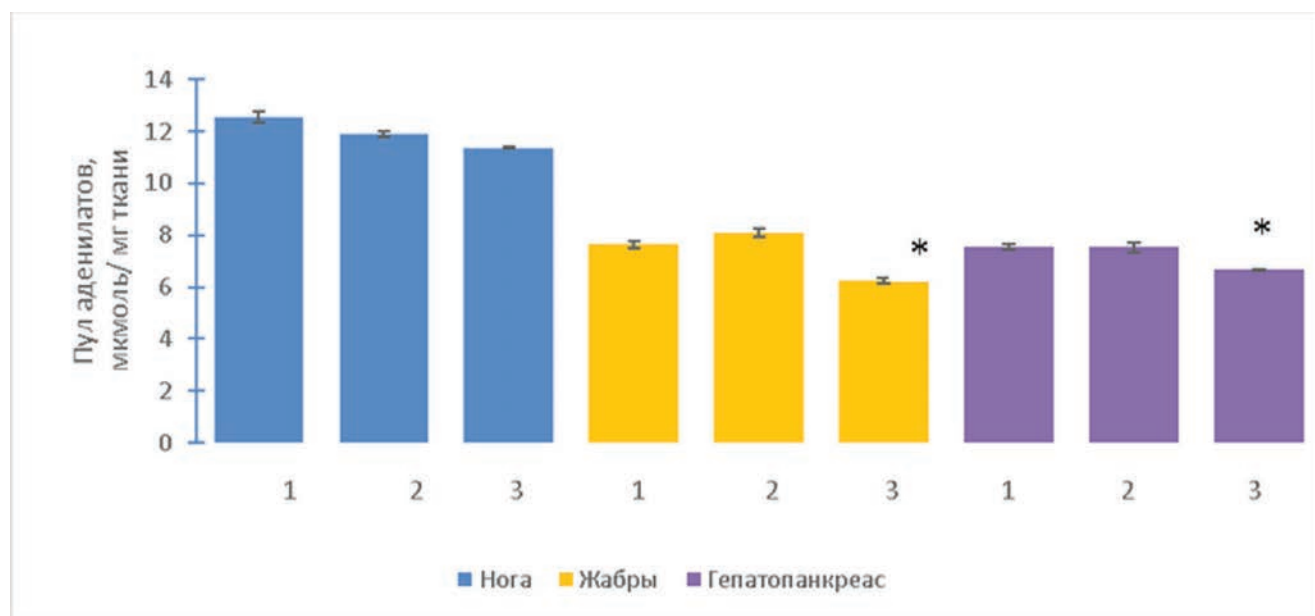


Рис. 2. Пул аденилатов в тканях анадарты (1 – нормоксия; 2 – острая гипоксия; 3 – сероводородная нагрузка; $n = 9$).

(рис. 2). В жабрах и гепатопанкреасе он не превышал 8 мкмоль/мг ткани. Острая гипоксия не вызвала изменений значений данного показателя. При сероводородной нагрузке пул аденилатов был минимален. По сравнению с контролем различия составляли 8–11%, что можно считать несущественным ($p > 0.05$).

Анализ содержания отдельных фракций показал снижение уровня АТФ во всех тканях моллюска при гипоксии и в присутствии

сероводорода. Максимальный уровень АТФ наблюдали в ноге – 5.87 ± 0.15 мкмоль/мг ткани (рис. 3). При гипоксии значения понижались на 20% ($p < 0.05$), а в присутствии сероводорода – на 33% ($p < 0.05$). Аналогичные изменения отмечали в отношении жабр и гепатопанкреаса ($p < 0.05$). Особенностью реакции аденилатной системы анадарты на экспериментальные воздействия было также понижение содержания фракции АДФ на фоне увеличения доли АМФ.

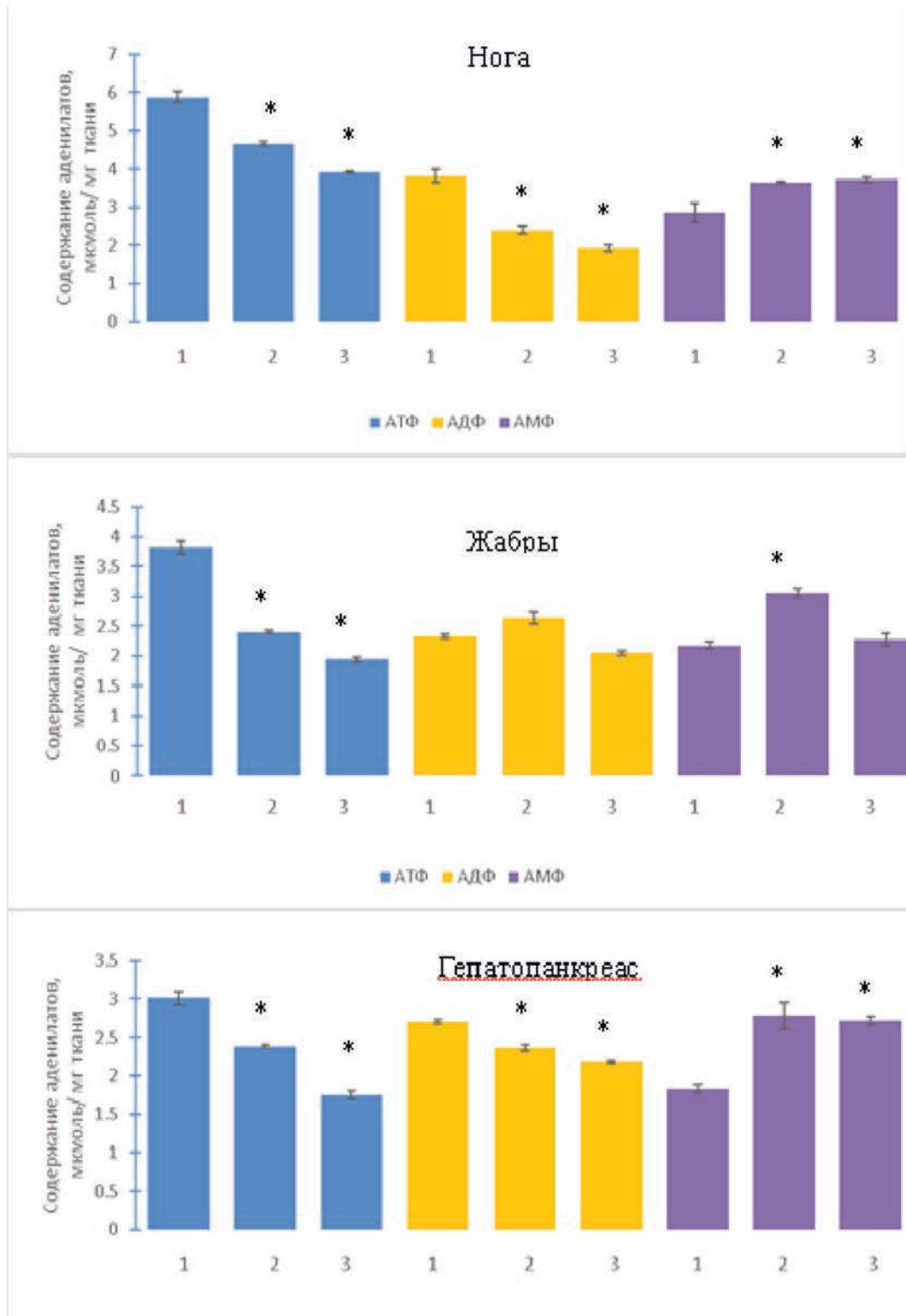


Рис. 3. Содержание отдельных фракций аденилатов (АТФ, АДФ, АМФ) в тканях анадары (1 — нормоксия; 2 — острая гипоксия; 3 — сероводородная нагрузка; * $p < 0.05$ относительно контроля; $n = 9$).

Это отмечали в ноге и гепатопанкреасе моллюска ($p < 0.05$). Наиболее выраженные изменения наблюдали в условиях сероводородной нагрузки. В жабрах реакция была не столь однозначна. В условиях острой гипоксии отмечали одновременный рост фракций АДФ и АМФ

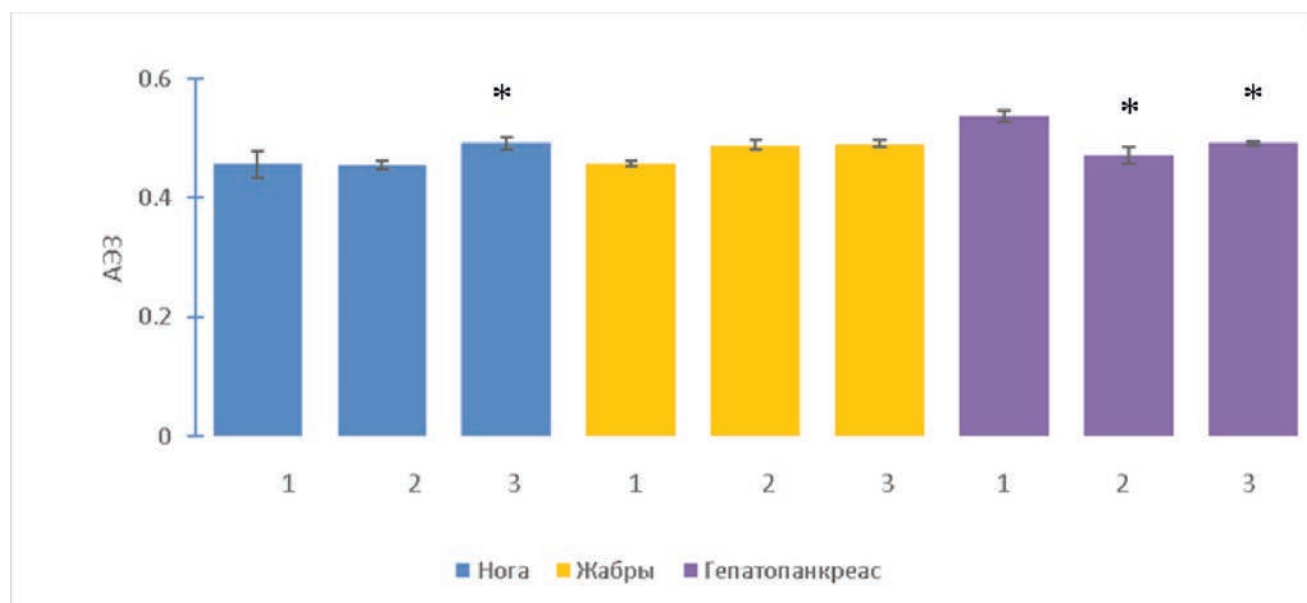


Рис. 4. Аденилатный энергетический заряд (АЭЗ) в тканях анадары (1 – нормоксия; 2 – острая гипоксия; 3 – сероводородная нагрузка; * $p < 0.05$ относительно контроля; $n = 9$).

($p < 0.05$), а присутствие сероводорода не вызвало заметных изменений данных показателей относительно контрольных величин.

Расчет величины АЭЗ для ноги и жабр показал отсутствие заметных изменений данного показателя в условиях тестовых нагрузок (рис. 4). В присутствии сероводорода данная величина даже имела тенденцию роста. Некоторое понижение значений АЭЗ отмечали в отношении гепатопанкреаса. По сравнению с контрольными величинами оно составило 8–12% ($p > 0.05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

Острая гипоксия

Обнаружение роста активности СДГ во всех тканях анадары в условиях острой гипоксии явилось одним из однозначных результатов настоящей работы. Причина этого до конца непонятна. Известно, что СДГ является ключевым элементом комплекса II дыхательной цепи митохондрий, который функционально сопряжен с железосерными белками и коэнзимом Q (комплекс I) (Moosavi et al., 2019). Можно предположить, что в условиях гипоксии растет степень восстановленности пиридиновых нуклеотидов, акцептором которых являются компоненты комплекса I. Это должно снижать уровень оксалоацетата, который является конкурентным ингибитором СДГ и приводить к росту

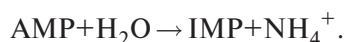
активности фермента. Данная реакция должна иметь ряд позитивных следствий. С одной стороны, она позволяет перераспределять гликолитические субстраты в направлении сукцината и поддерживать функциональную активность митохондрий в условиях острой гипоксии (Vacchicchi, Principato, 2000). С другой стороны, известна протекторная роль сукцината в отношении мембран митохондрий (Vacchicchi, Principato, 2000), препятствующая избыточной продукции активных форм кислорода в условиях гипоксии (Grivennikova, Vinogradov, 2013; Cadenas, 2018). Ранее было показано, что сочетанное действие острых форм гипоксии и сероводородного заражения вызывало сокращение числа митохондриальных единиц почти на 50%, при одновременном росте уровня активных форм кислорода в клетке (Солдатов и др., 2022). Это означает, что глюкозо-сукцинатное направление метаболизма возможно только в условиях гипоксии. Присутствие сероводорода блокирует данный процесс.

Ограничение окислительных процессов в тканях в условиях острой гипоксии сказывалось на состоянии аденилатной системы анадары. Содержание фракции АТФ снижалось, что изначально было ожидаемо. Это происходило на фоне снижения содержания АДФ и роста АМФ, что допускает реализацию

аденилаткиназной реакции в тканях моллюска (Dzeja, Terzic, 2009):



Известно, что избыточный прирост фракции АМФ должен активизировать пурин-нуклеотидный цикл (цикл Ловенштейна) и приводить к снижению пула аденилатов в целом (Lowenstein, 1972):



В нашем случае пул аденилатов фактически не изменялся и даже наблюдался некоторый прирост АЭЗ (жабры). Незначительное снижение АЭЗ было показано для гепатопанкреаса. Из вышесказанного следует, что состояние моллюска в условиях острой гипоксии было относительно устойчивым. Критических изменений в энергетическом статусе тканей не наблюдали.

Величина АЭЗ у контрольной группы моллюсков находилась на уровне 0.45–0.55, что соответствовало умеренному уровню метаболической депрессии (Лукьянова, 2004; Atkinson, 1968). Следует также отметить, что организм анадары в сравнении с другими видами двустворок (*Mytilus galloprovincialis*) в условиях нормоксии потребляет в 5–6 раз меньше кислорода (Soldatov et al., 2009). Поэтому сохранение высокого энергетического статуса тканей при крайне низком содержании кислорода (0.1 мгО₂/л) в целом отражает функциональные возможности данного вида моллюска.

Сероводородная нагрузка

В отличие от острой гипоксии сероводородная нагрузка не вызывала изменений активности СДГ. Это позволяет предположить сохранение степени восстановленности пиридиновых нуклеотидов комплекса I дыхательной цепи митохондрий на уровне контрольных значений и ингибирующей роли оксалоацетата в отношении СДГ. Такое состояние возможно только при дальнейшем функционировании дыхательной цепи, несмотря на ингибирующий эффект сероводорода в отношении цитохром-с-оксидазы (Yusseppone et al., 2018). В основе его может лежать группа реакций, контролируемых альтернативной оксидазой (АОХ). Данный фермент

был обнаружен в митохондриях моллюсков (van Hellemond et al., 2003). Он не чувствителен к действию сульфидов и сопрягает окисление убихинола с кислородом с образованием воды, то есть способствует функционированию дыхательной цепи митохондрий в момент ингибирования цитохром-с-оксидазы. Следует отметить, что АОХ отклоняет электроны от комплексов III и IV, осуществляющих аэробный ресинтез АТФ, что должно приводить к понижению энергетического статуса тканей.

Анализ состояния аденилатной системы тканей анадары подтвердил данное предположение. В присутствии сероводорода содержание фракций АТФ и АДФ было минимально. Это также допускает реализацию аденилаткиназной реакции. При этом отмечено незначительное понижение пула аденилатов и сохранение значений АЭЗ в тканевых структурах моллюска, что свидетельствовало об отсутствии критических изменений в энергетическом статусе тканей анадары и отражало ее способность к существованию в среде в присутствии сульфидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из представленной информации следует, что острая гипоксия вызывала рост активности СДГ во всех исследованных тканях. При сероводородной нагрузке эта реакция не наблюдалась. Допускается, что присутствие сероводорода блокирует глюкозо-сукцинатное направление метаболизма, что исключает рост активности СДГ. Общим для обоих экспериментов явилось снижение энергетического статуса тканей. Это выражалось в уменьшении содержания фракций АТФ и АДФ на фоне повышения содержания АМФ, что допускает реализацию аденилаткиназной реакции. В присутствии сероводорода данные изменения были более выражены, что может определяться повышением активности альтернативной оксидазы, отклоняющей электроны дыхательной цепи от III и IV комплексов. При этом пул аденилатов и величина АЭЗ сохранялись на относительно высоком уровне, что отражает способность организма анадары существовать в придонных слоях воды при низком уровне кислорода и в присутствии сероводорода.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны старшему научному сотруднику, к.б.н. И.В. Сысоевой и младшему научному сотруднику А.А. Сысоеву за помощь в определении параметров аденилатного комплекса тканей моллюсков.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН (госзадание № 124030100137-6).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все процедуры были выполнены в соответствии с Директивой Совета Европейских сообществ (2010/63/EU) и одобрены советом по биоэтике по уходу и использованию животных (протокол № 4/23 от 26.10.2023).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ещенко Н.Д., Вольский Г.Г. Определение количества янтарной кислоты и активности сукцинатдегидрогеназы // Методы биохимических исследований. Л.: ЛГУ, 1982. С. 207–212.
- Живоглядова Л.А., Ревков Н.К., Фроленко Л.Н., Афанасьев Д.Ф. Экспансия двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) в Азовском море // Российск. журн. биол. инвазий. 2021. Т. 14. № 1. С. 83–94.
- Киселева М.И. Сравнительная характеристика донных сообществ у берегов Кавказа // Многолетние изменения зообентоса Черного моря. Киев: Наукова думка, 1992. С. 84–99.
- Лукьянова О.Н. АТФ-азы как неспецифические молекулярные биомаркёры состояния гидробионтов при антропогенном загрязнении // Тезисы докл. II междунаро. науч. конф. “Биотехнология — охрана окружающей среды”. М.: МГУ, 2004. С. 124.
- Орехова Н.А., Коновалов С.К. Кислород и сульфиды в донных отложениях прибрежных районов севастопольского региона Крыма // Океанология. 2018. Т. 58. № 5. С. 739–750.
- Ревков Н.К. Особенности колонизации Черного моря недавним вселенцем — двустворчатым моллюском *Anadara kagoshimensis* (Bivalvia: Arcidae) // Морск. биол. журн. 2016. Т. 1. № 2. С. 3–17.
- Солдатов А.А., Головина И.В., Колесникова Е.Э. и др. Влияние сероводородной нагрузки на активность ферментов энергетического обмена и аденилатную систему тканей моллюска *Anadara kagoshimensis* // Биол. внутренних вод. 2022. № 5. С. 558–566.
- Солдатов А.А., Кухарева Т.А., Андреева А.Ю., Ефремова Е.С. Эритроидные элементы гемолимфы двустворчатого моллюска *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906) в условиях сочетанного действия гипоксии и сероводородной нагрузки // Биол. моря. 2018. Т. 44. № 6. С. 390–394.
- Шиганова Т.А. Проект “Вселенцы”, Гос. контракт с Министерством образования и науки РФ от 20 сентября 2010 г. № 14.740.11.0422. (Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН).
- Arp A.J., Childress J.J. Blood function in the hydrothermal vent vestimentiferan tube worm // Science. 1981. V. 213. № 4505. P. 342–344.
- Arp A.J., Childress J.J. Sulfide binding by the blood of the hydrothermal vent tube worm *Riftia pachyptila* // Science. 1983. V. 219. № 4582. P. 295–297.
- Atkinson D.E. The energy charge of the adenylate pools as a regulatory parameter. Interaction with feedback modifiers // Biochemistry. 1968. V. 7. № 11. P. 4030–4034. <https://doi.org/10.1021/bi00851a033>
- Bacchiocchi S., Principato G. Mitochondrial contribution to metabolic changes in the digestive gland of *Mytilus galloprovincialis* during anaerobiosis // J. Exp. Zool. 2000. V. 286. № 2. P. 107–113.
- Bagarinao T. Sulfide as an environmental factor and toxicant: tolerance and adaptations in aquatic organisms // Aquat. Toxicol. 1992. V. 24. № 1–2. P. 21–62. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(92\)90015-F](https://doi.org/10.1016/0166-445X(92)90015-F)
- Bagarinao T., Vetter R. Sulphide tolerance and adaptation in the California killifish, *Fundulus parvipinnis*, a salt marsh resident // J. Fish Biol. 1993. V. 42. № 5. P. 729–748. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1993.tb00381.x>
- Brauner C.J., Ballantyne C.L., Randall D.J., Val A.L. Air breathing in the armored catfish (*Hoplosternum littorale*) as an adaptation to hypoxic, acidic, and hydrogen sulphide rich waters // Can. J. Zool. 1995. V. 73. № 4. P. 739–744.
- Cadenas S. Mitochondrial uncoupling, ROS generation and cardioprotection // Biochim. Biophys. Acta, Bioenerg. 2018. V. 1859. № 9. P. 940–950. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2018.05.019>

- Cao Y., Wang H.G., Cao Y.Y. et al. Inhibition effects of protein-conjugated amorphous zinc sulfide nanoparticles on tumor cells growth // J. Nanopar. Res. 2011. V. 13. P. 2759–2767.
- Cooper C.E., Brown G.C. The inhibition of mitochondrial cytochrome oxidase by the gases carbon monoxide, nitric oxide, hydrogen cyanide and hydrogen sulfide: chemical mechanism and physiological significance // J. Bioenerg. Biomembr. 2008. V. 40. P. 533–539.
- Cortesi P., Cattani O., Vitali G. Physiological and biochemical responses of the bivalve *Scapharca inaequivalvis* to hypoxia and cadmium exposure: erythrocytes versus other tissues // Marine Coastal Eutrophication: Proc. Int. Conf. (March 21–24, 1990). Bologna, Italy, 1992. P. 1041–1054.
- Dzeja P., Terzic A. Adenylate kinase and AMP signaling networks: metabolic monitoring, signal communication and body energy sensing // Int. J. Mol. Sci. 2009. V. 10. № 4. P. 1729–1772.
<https://doi.org/10.3390/ijms10041729>
- Grieshaber M.K., Völkel S. Animal adaptations for tolerance and exploitation of poisonous sulfide // Annu. Rev. Physiol. 1998. V. 60. P. 33–53.
<https://doi.org/10.1146/annurev.physiol.60.1.33>
- Grivennikova V.G., Vinogradov A.D. Mitochondrial production of reactive oxygen species // Biochemistry (Moscow). 2013. V. 78. № 13. P. 1490–1511.
<https://doi.org/10.1134/S0006297913130087>
- Holden J.A., Pipe R.K., Quaglia A., Ciani G. Blood cells of the arcid clam, *Scapharca inaequivalvis* // J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 1994. V. 74. № 2. P. 287–299.
- Holm-Hansen O., Booth C.R. The measurement of adenosine triphosphate in the Ocean and its ecological significance // Limnol. Oceanogr. 1966. V. 11. № 4. P. 510–519. <https://doi.org/10.4319/lo.1966.11.4.0510>
- Itzhaki R.F., Gill D.M. A micro-biuret method for estimating proteins. // Anal. Biochem. 1964. V. 9. № 4. P. 401–410.
[https://doi.org/10.1016/0003-2697\(64\)90200-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(64)90200-3)
- Kladchenko E.S., Andreyeva A.Yu., Kukhareva T.A., Soldatov A.A. Morphologic, cytometric and functional characterisation of *Anadara kagoshimensis* hemocytes // Fish Shellfish Immunol. 2020. V. 98. P. 1030–1032.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.11.061>
- Lowenstein J.M. Ammonia production in muscle and other tissues: the purine nucleotide cycle // Physiol. Rev. 1972. V. 52. № 2. P. 382–414.
<https://doi.org/10.1152/physrev.1972.52.2.382>
- Miyamoto Y., Iwanaga C. Effects of sulphide on anoxia-driven mortality and anaerobic metabolism in the ark shell *Anadara kagoshimensis* // J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 2017. V. 97. № 2. P. 329–336.
- Moosavi B., Berry E.A., Zhu X.L. et al. The assembly of succinate dehydrogenase: a key enzyme in bioenergetics // Cell Mol. Life Sci. 2019. V. 76. P. 4023–4042. <https://doi.org/10.1007/s00018-019-03200-7>
- Nakano T., Yamada K., Okamura K. Duration rather than frequency of hypoxia causes mass mortality in ark shells (*Anadara kagoshimensis*) // Mar. Pollut. Bull. 2017. V. 125. № 1–2. P. 86–91.
- Soldatov A.A., Andreenko T.I., Sysoeva I.V., Sysoev A.A. Tissue specificity of metabolism in the bivalve mollusc *Anadara inaequivalvis* Br. under conditions of experimental anoxia // J. Evol. Biochem. Physiol. 2009. V. 45. № 3. P. 349–355.
<https://doi.org/10.1134/s002209300903003x>
- Stewart F.J., Cavanaugh C.M. Bacterial endosymbioses in *Solemya* (Mollusca: Bivalvia) – model systems for studies of symbiont-host adaptation // Antonie van Leeuwenhoek. 2006. V. 90. P. 343–360.
- Tobler M., DeWitt T.J., Schlupp I. Toxic hydrogen sulfide and dark caves: phenotypic and genetic divergence across two abiotic environmental gradients in *Poecelia mexicana* // Evolution. 2008. V. 62. № 10. P. 2643–2649.
- Tobler M., Palacios M., Chapman L.J. Evolution in extreme environments: replicated phenotypic differentiation in livebearing fish inhabiting sulfidic springs // Evolution. 2011. V. 65. № 8. P. 2213–2228.
- van Hellemond J.J., van der Klei A., van Weelden S.W., Tielens A.G. Biochemical and evolutionary aspects of anaerobically functioning mitochondria // Philos. Trans. R. Soc. Lond. Soc. B. 2003. V. 358. № 1429. P. 205–215. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1182>
- Vismann B. Hematin and sulfide removal in hemolymph of the hemoglobin-containing bivalve *Scapharca inaequivalvis* // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1993. V. 98. P. 115–122.
- Wu B., Teng H., Yang G. Hydrogen sulfide inhibits the translational expression of hypoxia-inducible factor-1α // Br. J. Pharmacol. 2012. V. 167. № 7. P. 1492–1505.
- Yusseppone M.S., Rocchetta I., Sabatini S.E., Luquet C.M. Inducing the alternative oxidase forms part of the molecular strategy of anoxic survival in freshwater bivalves // Front Physiol. 2018. V. 9. Art. ID 100. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00100>

Effect of Acute Hypoxia and Hydrogen Sulfide Contamination on the Succinate Dehydrogenase Activity and Adenylate Complex of Tissues in the Bivalve Mollusk *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906)

A. A. Soldatov^{a, b}, Yu. V. Bogdanovich^a, N. E. Shalagina^a, V. N. Rychkova^a

^a*Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Russian Academy of Sciences, Sevastopol 299011, Russia*

^b*Sevastopol State University, Sevastopol 299053, Russia*

The separate effects of acute hypoxia and hydrogen sulfide load on the marker enzyme succinate dehydrogenase (SDH) of the mitochondrial respiratory chain and the adenylate status of tissues in the bivalve mollusk *Anadara kagoshimensis* (Tokunaga, 1906), a species tolerant to these groups of factors, were studied under experimental conditions. The study was carried out on adult individuals with a shell height of 23–34 cm. The control group of bivalves was kept in the water with an oxygen concentration of 7.0–8.2 mgO₂/L. One experimental group was exposed to acute hypoxia (0.1 mgO₂/L) and another to hydrogen sulfide load (6 mgS²⁻/L). The exposure period in both cases was 48 h. The water temperature was maintained at 17–20°C. The acute hypoxia led to an increase in the SDH activity in all the studied tissues (gills, foot, and hepatopancreas). This reaction was not observed under the hydrogen sulfide load. The energy state of the tissues decreased in both cases. This was expressed as a decrease in the ATP and ADP content accompanied by an increase in the AMP content, which allows implementation of the adenylate kinase reaction. These changes were more pronounced in the presence of hydrogen sulfide. However, the adenylate pool and adenylate energy charge (AEC) values remained at a relatively high level, which indicates the ability of ark clam to exist in the near-bottom water layers with a low level of oxygen and the presence of hydrogen sulfide. It is assumed that ark clam's mitochondria have an alternative oxidase that is not sensitive to the presence of sulfides in water.

Keywords: *Anadara kagoshimensis*, hydrogen sulfide, hypoxia, succinate dehydrogenase, adenylate complex, tissues

УДК 592

ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНОСНОГО “ЦВЕТЕНИЯ” ВОДОРΟΣЛЕЙ НА ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ НА ШЕЛЬФЕ ВОСТОЧНОЙ КАМЧАТКИ

© 2024 г. Т. Б. Морозов¹ (ORCID: 0000-0001-6782-6921),
Н. П. Санамян^{2, *} (ORCID: 0000-0002-9987-0668),
К. Э. Санамян² (ORCID: 0000-0002-7460-3985)

¹Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, Петропавловск-Камчатский 683000, Россия

²Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский 683000, Россия

*e-mail: actiniaria@sanamyan.com

Поступила в редакцию 16.01.2024 г.

После доработки 17.06.2024 г.

Принята к публикации 26.06.2024 г.

Проведено сравнение данных учетных донных траловых съемок, проведенных на шельфе Кроноцкого и Авачинского заливов и юго-восточного побережья п-ова Камчатка на глубинах 65–210 м в 2018 и 2022 гг., до и после вредоносного “цветения” микроводорослей, которое произошло у берегов Камчатки осенью 2020 г. Полученные результаты указывают на значительное уменьшение видового разнообразия, плотности поселения и биомассы донных организмов в зоне нижней сублиторали в 2022 г. по сравнению с 2018 г. Наименее пострадавшим оказался самый северный район (Кроноцкий залив), наиболее сильно пострадал самый южный район, у юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный, где снижение биомассы и видового разнообразия оказалось катастрофическим. Это согласуется с данными спутникового мониторинга концентрации хлорофилла *a* у берегов Камчатки в сентябре 2020 г. По этим данным, площадь самой высокой концентрации хлорофилла *a* была наибольшей в районе Авачинского залива и у юго-восточного побережья Камчатки, где отмечено наиболее сильное снижение биоразнообразия морских беспозвоночных.

Ключевые слова: бентос, биомасса, биоразнообразие, донная траловая съемка, “красный прилив”, массовая вегетация микроводорослей, обеднение фауны

DOI: 10.31857/S0134347524060034

Осенью 2020 г. у берегов Камчатки в результате вредоносного “цветения” водорослей (ВЦВ) возникла чрезвычайная экологическая ситуация, которая привела к массовой гибели донных животных (Токранов и др., 2021). Основной причиной ВЦВ послужили положительные аномалии температуры морской поверхности, наблюдавшиеся в июле–сентябре 2020 г. в прибрежных акваториях всего п-ва Камчатка, в то время как антропогенные, а также другие природные факторы не могли служить причиной возникновения экологического происшествия в этом регионе (Бондур и др., 2021). Причиной

“красного прилива” в этом случае впервые стало активное размножение динофлагеллят рода *Karenia* (см. Orlova et al., 2022). Его последствия привели к массовой гибели донных животных и нанесли катастрофический урон бентосным сообществам в верхней сублиторали у юго-восточного побережья Камчатки (Коростелев, Данилин, 2023; Санамян и др., 2023), не затронув, однако, литоральную зону (Данилин и др., 2021, Токранов, 2022). Достаточная аэрация литорали и избегание динофлагеллятами рода *Karenia* опресненных береговыми стоками прибрежных участков (Санамян и др. 2023; Orlova et al., 2022)

позволили избежать заморных явлений и массовой гибели гидробионтов.

При проведении учетных донных траловых съемок на шельфе Камчатки авторы обнаружили большую разницу в биомассе и видовом составе донных гидробионтов до и после 2020 г., когда в верхней сублиторали произошла массовая гибель бентосных организмов (Санамян и др., 2023; Orlova et al., 2022). В настоящей работе мы приводим данные траловых съемок, выполненных в одних и тех же районах в июне–июле 2018 и 2022 гг. в зоне нижней сублиторали, чтобы оценить последствия ВЦВ осенью 2020 г. на всем шельфе юго-восточного побережья Камчатки.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом послужили данные по прилову беспозвоночных (исключая промысловых крабов и крабоидов), собранные в течение двух комплексных учетных донных траловых съемок на шельфе Восточной Камчатки от мыса Кроноцкий до мыса Лопатка в 2018 и 2022 гг. на НИС МРТК “Инженер Мартынов” и НИС МРТК-316. В качестве орудия лова использовали донный трал 18.8/28.5 м проект 591. Трал имеет четырехпластную переднюю часть длиной по топенанту 22.36 м и двухпластный мешок длиной 11.5 м. Мелкоячеистая вставка в кутке из дели имеет ячейю 10×10 мм. Верхняя подбора трала имеет длину 18.8 м и оснащена кухтылями общей подъемной силой 705 Н. Нижняя подбора оснащена регулировочными и грунтопной цепями общей массой 99.5 кг. При скорости траления 3.0 узла расчетное раскрытие трала составляет 3.5 м по вертикали и 16 м по горизонтали. Вооружение трала представлено сферическими траловыми досками площадью 2.5 м². Трал был оснащен датчиками скорости/симметрии хода трала (арт. 109152), а также датчиками положения досок SS4 DoorSensor (арт. 109503), включая функции измерения температуры (арт. 109148), глубины (арт. 109149-01) и определения углов (арт. 109147-01).

Траления проводили при скорости 3.0 узла на глубинах 65–210 м в течение 30 мин в 2018 г. и в течение 15 мин в 2022 г. Всего в 2018 г. было выполнено 86 тралений в Кроноцком, Авачинском заливах и на шельфе юго-восточной

части п-ва Камчатка южнее мыса Поворотный; в 2022 г. — 83 траления в тех же районах (рис. 1). Из уловов выбирали всех беспозвоночных и определяли по возможности до вида (Макаров, 1938; Дьяконов, 1949, 1950; Виноградов, 1950; Голиков, 1963, 1980; Скарлато, 1981; Несис, 1982; Кантор, Сысоев, 2006; Fraussen, Terryn, 2007; Jewett et al., 2015), после чего подсчитывали количество особей и массу каждого вида. При невозможности выборки всех беспозвоночных определенной группы (например, морских ежей), брали кратную часть улова, определяли до вида, подсчитывали, взвешивали с последующим пересчетом на весь улов группы в трале.

Плотность поселения (N) и удельную биомассу (M) групп животных на единицу обловленной площади (квадратный километр) для каждой траловой станции рассчитывали площадным методом по формулам:

$$N = \frac{n}{S} = \frac{n}{1.852vt0.001a} \text{ и } M = \frac{m}{S} = \frac{m}{1.852vt0.001a},$$

где n — число (экз.), m — масса (кг) представителей вида или группы в улове; S — площадь облова при тралении (км²); v — скорость траления (узлы), t — время траления (часы); a — горизонтальное раскрытие трала (м) (Аксютин, 1968; Шунтов и др., 2014). Коэффициент уловистости для всех групп принимали за 1 (100%). Расчеты выполняли в программе MS Excel. Схемы распределения построены в программе Surfer 13 методом Kriging. Запас (абсолютная биомасса) рассчитывали в программе ГИС “Chartmaster” методом сплайн-аппроксимации плотности запаса, который опирается на сглаживание с использованием сплайн-функции результатов измерений в хаотически расположенных точках, и последующее интегрирование по обследуемой области (Столяренко, Иванов, 1988; Бизиков и др., 2013; Stolyarenko, 1986, 1987).

При расчете запаса в программе “Chartmaster” выставляли следующие параметры: размерность сетки — 500×500, параметр сглаживания — 0, параметр влияния глубины — 500.

Сбор гидрологической информации (температура, соленость) осуществляли с помощью

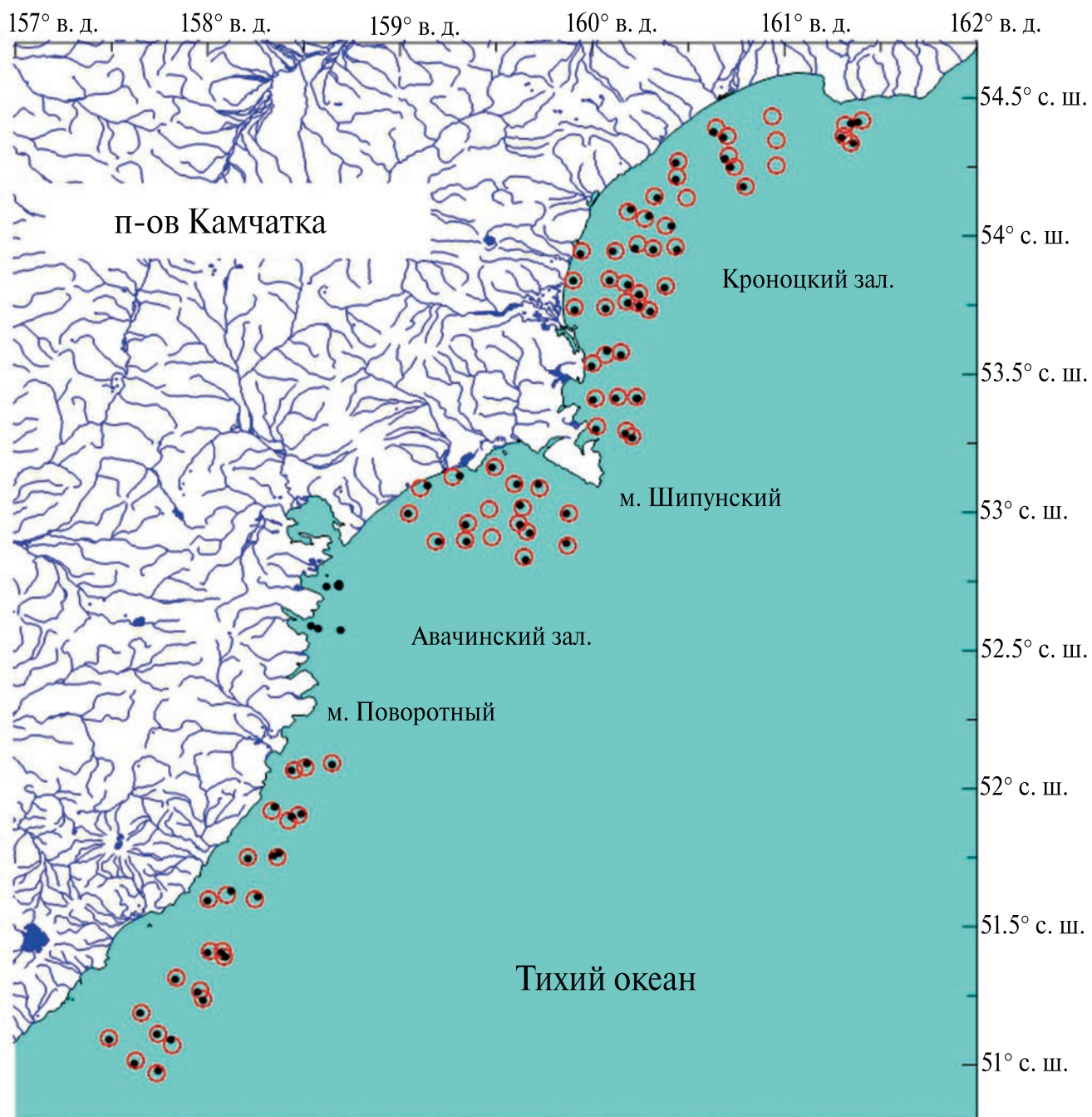


Рис. 1. Карта-схема донных траловых станций. Черными кружками обозначены места тралений 2018 г., красными окружностями — места тралений 2022 г.

гидрологических зондов CTD 48 Sea&Sun в 2018 г. и JFE ASTD-102 в 2022 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В анализ были включены три района исследования: Кроноцкий залив (от мыса Кроноцкий до мыса Шипунский), Авачинский залив

(от мыса Шипунский до мыса Поворотный) и шельф юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный (рис. 1). В каждом районе по результатам траловой съемки, проведенной в 2018 и 2022 гг., для 11-ти групп донных животных (в ранге типа, класса или отряда) вычислены: средняя и максимальная удельная биомасса ($\text{кг}/\text{км}^2$), средняя и максимальная

Таблица 1. Таксономический состав, средняя (Med) и максимальная (Max) удельная биомасса; средняя (Med) и максимальная (Max) плотность поселения; частота встречаемости (в долях единицы); параметры максимальных уловов (температура, соленость, глубина); доля в средней биомассе и абсолютная биомасса беспозвоночных из прилова учетной донной траловой съемки 2018 г. в трех районах на шельфе Восточной Камчатки от мыса Кроноцкий до мыса Лопатка

Группа	Удельная биомасса, кг/км ²		Плотность поселения, экз./км ²		Частота встречаемости	Параметры максимальных уловов			Доля в средней биомассе, %	Абсолютная биомасса, кг
	Med	Max	Med	Max		температура, °C	соленость, psu	глубина, м		
Шельф Кроноцкого залива										
Porifera	0.13	4.63	—	—	0.05	1.89	32.98	88	< 1	589.53
Actinaria	3.23	34.16	49	584	0.5	1.58	33.06	204	1	16311.78
Cephalopoda	46.67	975.37	17	315	0.2	1.57	33.03	110	12	220230.4
Bivalvia	1.28	32.45	4	67	0.13	1.74	33.05	140	< 1	—
Gastropoda	19.69	151.83	251	1952	0.7	1.55	33.04	170	5	134959.9
Asteroidea	23.3	137.63	298	4900	0.7	—	—	65	6	74970.8
Echinoidea	249.37	3208.92	11986	186174	0.63	—	—	80	64	800576.9
Holothuroidea	0.08	3.15	1	45	0.03	2.22	32.92	187	< 1	—
Ophiuroidea	12.27	347.45	223	4180	0.3	—	—	105	3	160406.9
Decapoda	9.05	80.87	2490	51555	0.8	—	—	147	2	67094
Ascidacea	27.96	498.2	426	7839	0.38	2.022	32.98	70	7	194171.5
Шельф Авачинского залива										
Porifera	0.505	5.49	—	—	0.14	2.1	32.9	76	< 1	581.53
Actinaria	0.85	11.05	14	104	0.36	4.5	32.38	95	< 1	563.2
Cephalopoda	10.48	209.76	24	259	0.27	1.86	32.98	141	3	34702.5
Bivalvia	33.19	584.18	47	831	0.18	1.73	33	111	10	—
Gastropoda	10.71	108.75	128	934	0.45	4.5	32.38	95	3	7316.3
Asteroidea	19.5	225.4	112	1141	0.68	4.5	32.38	95	6	13795.1
Echinoidea	188.89	2037.64	8454	108674	0.73	1.86	32.98	141	59	342729.3
Holothuroidea	3.02	48.03	10	156	0.14	4.5	32.38	95	1	3002.71
Ophiuroidea	9.56	95.09	1846	25471	0.45	1.86	32.98	141	3	22900.1
Decapoda	6.17	76.22	1271	22361	0.68	2.33	32.87	111	2	3797.4
Ascidacea	40.91	294.87	374	2270	0.59	4.97	32.2	93	13	65692.51
Шельф юго-восточного побережья Камчатки										
Porifera	1.55	16.95	—	—	0.23	1.67	33.06	155	< 1	2674.39
Actinaria	8.6	67.42	133	899	0.45	2.01	32.98	160	2	17189
Cephalopoda	62.76	613.54	30	157	0.4	1.81	33.03	105	16	138629.4

Окончание таблицы 1

Bivalvia	0.12	1.39	6	67	0.08	1.67	33.06	155	<	—
Gastropoda	20.49	50.88	317	1167	0.58	—	—	190	5	41140.1
Asteroidea	11.19	167.15	102	359	0.58	1.95	33.15	118	3	21681.1
Echinoidea	258.24	2562.03	9546	70119	0.48	1.67	33.06	155	67	445718
Holothuroidea	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0
Ophiuroidea	5.67	43.64	277	1236	0.38	2.37	33.24	134	2	10324.1
Decapoda	13.24	56.83	1008	5900	0.6	2.37	33.24	134	4	28352.5
Ascidacea	3.14	57.93	104	2045	0.13	2.37	33.24	134	1	5863.9

Таблица 2. Таксономический состав, средняя (Med) и максимальная (Max) удельная биомасса, средняя (Med) и максимальная (Max) плотность поселения, частота встречаемости (в долях единицы), параметры максимальных уловов (температура, соленость, глубина), доля в средней биомассе и абсолютная биомасса беспозвоночных из прилова учетной донной траловой съемки 2022 г. в трех районах на шельфе Восточной Камчатки от мыса Кроноцкий до мыса Лопатка

Группа	Удельная биомасса, кг/км ²		Плотность поселения, экз./км ²		Частота встречаемости	Параметры максимального улова			Доля в средней биомассе, %	Абсолютная биомасса, кг
	Med	Max	Med	Max		температура, °C	соленость, psu	глубина, м		
Шельф Кроноцкого залива										
Porifera	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—
Actiniaria	2.03	45.17	25	405	0.23	1	32.83	80	1	9219.91
Cephalopoda	2.63	112.37	2	45	0.05	1.45	33.13	210	2	119979.6
Bivalvia	0.7	29.89	3	135	0.02	0.99	32.88	101	1	—
Gastropoda	9.14	111.34	101	1169	0.35	—	—	140	6	81504.08
Asteroidea	22.33	148.96	73	854	0.47	1.52	33.06	121	15	54176.13
Echinoidea	87.18	2010.97	3515	68321	0.4	1.03	32.94	86	60	542571.4
Holothuroidae	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—
Ophiuroidea	+	+	+	+	+	—	—	—	+	+
Decapoda	4.5	32.14	498	11552	0.44	1.08	33.06	147	3	17205
Ascidacea	16.66	583.15	96	3057	0.16	1.16	33.04	89	12	124388.3

Окончание таблицы 2

Шельф Авачинского залива											
Porifera	0.04	0.67	5	90	0.06	1.36	33.11	106	< 1	344.27	
Actiniaria	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	
Cephalopoda	12.69	215.75	8	135	0.06	1.73	32.59	98	51	33185.6	
Bivalva	1.02	13.48	5	45	0.12	0.75	32.83	94	4	1349.4	
Gastropoda	1.52	12.1	24	270	0.24	2.61	32.54	144	6	1641.58	
Asteroidea	1.55	26.34	5	90	0.06	1.73	32.59	98	6	4051.4	
Echinoidea	2.09	15.28	90	539	0.53	—	—	75	8	2689.48	
Holothu- roidea	+	+	+	+	0.06	—	—	—	+	+	
Ophiuroidea	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	
Decapoda	5.39	42.61	278	2203	0.71	1.36	33.11	106	22	19017.49	
Ascidacea	0.72	8.09	42	360	0.29	1.36	33.11	106	3	1455.26	
Шельф юго-восточного побережья Камчатки											
Porifera	3.68	26.83	68.4	449	0.43	0.83	32.99	161	21	8248.84	
Actiniaria	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	
Cephalopoda	0.12	2.79	4	45	0.08	0.78	32.94	210	1	285.2	
Bivalvia	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	
Gastropoda	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	
Asteroidea	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	
Echinoidea	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	
Holothu- roidea	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	
Ophiuroidea	0	0	0	0	0	—	—	—	0	0	
Decapoda	13.1	86.89	1233	6787	0.95	0.69	32.92	198	76	26620.8	
Ascidacea	0.31	583.15	4	3057	0.16	0.75	32.82	89	2	521.83	

Примечание. “+” — наличие единичных очень мелких экземпляров, которые не учитывались в измерениях.

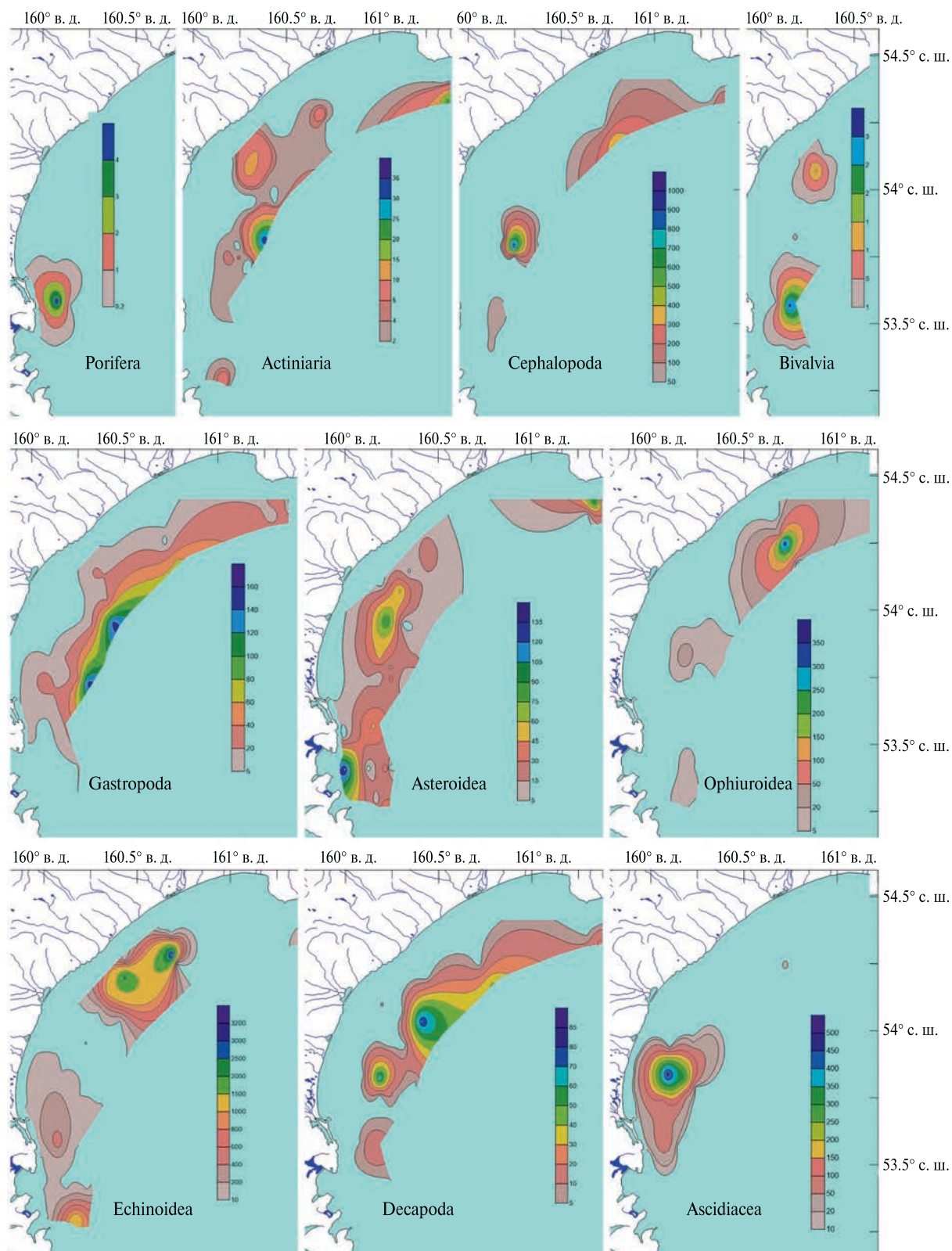


Рис. 2. Распределение удельной биомассы (кг/км²) гидробионтов по группам на шельфе Кроноцкого залива в 2018 г.

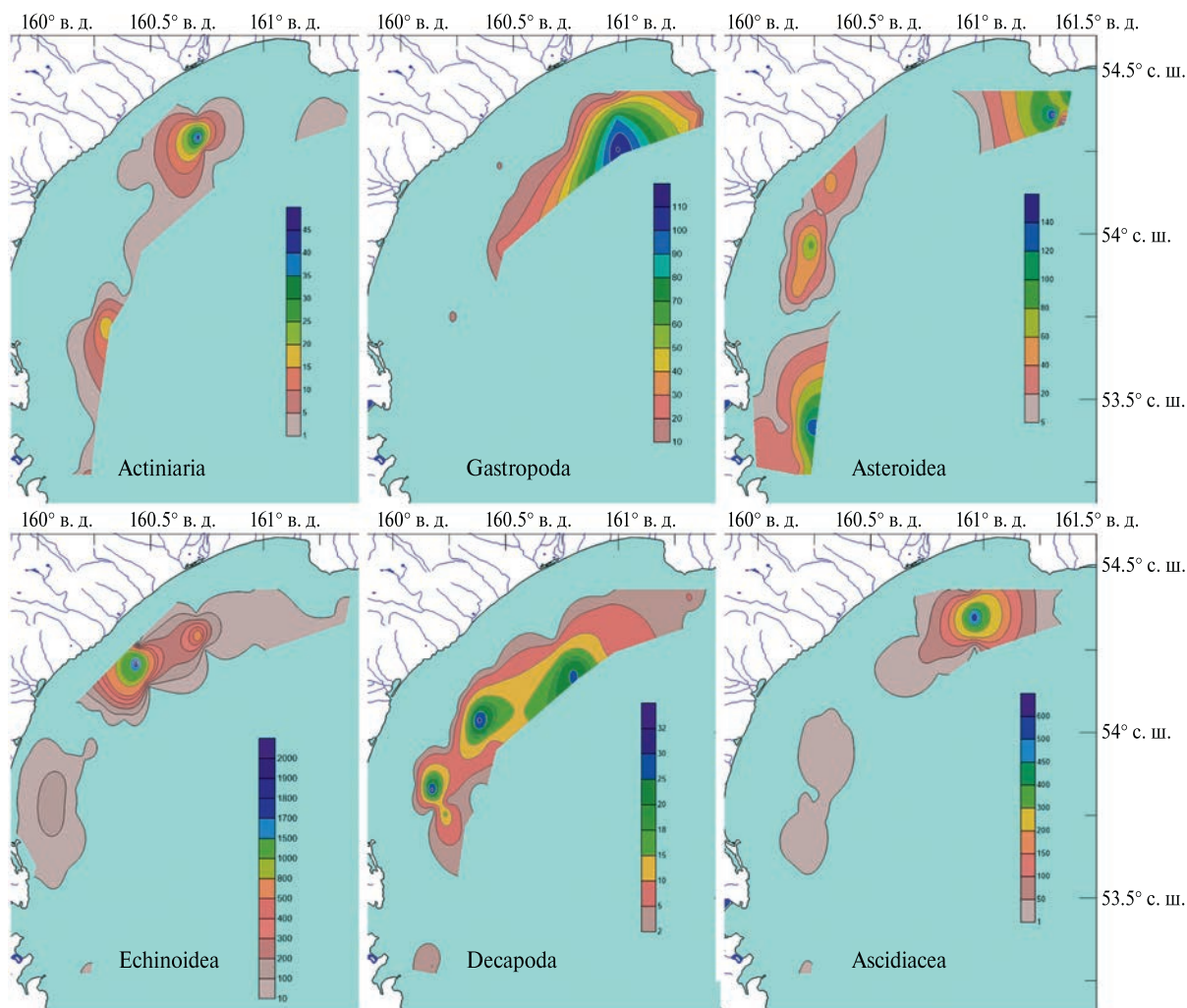


Рис. 3. Распределение удельной биомассы (кг/км²) гидробионтов по группам на шельфе Кроноцкого залива в 2022 г.

плотность поселения (экз./км²), частота встречаемости (относительное число проб, в которых встречается вид или группа, в долях единицы), абсолютная биомасса (кг) и доля в средней биомассе (%) (табл. 1, 2). Распределение удельной биомассы (кг/км²) гидробионтов по группам в каждом районе в 2018 и 2022 гг. отображено на рис. 2–7. Диапазон исследованных глубин составил 65–204 м в 2018 г. и 75–210 м в 2022 г. Диапазон придонных температур – 1.55–4.97°C в 2018 г. и 0.69–2.61°C в 2022 г., при этом максимальные значения температуры наблюдались в Авачинском заливе. Соленость колебалась в диапазоне 32.2–33.24 psu. Видовой состав с указанием частоты встречаемости видов в 2018 и 2022 гг. в трех исследованных районах приведен в табл. 3.

Абсолютная биомасса всех групп гидробионтов, выловленных на всех станциях от мыса Кроноцкий до южной оконечности Камчатки, в 2018 г. составляла 2875664.85 кг, а в 2022 г. – 1048455.57 кг (рис. 8), сократившись в 2.74 раза (на 63.5%). Меньше всего пострадал шельф Кроноцкого залива, где биомасса донных беспозвоночных в 2022 г. по сравнению с 2018 г. сократилась в 1.76 раза, убыль составила чуть более 43%. В Авачинском заливе биомасса в 2022 г. по сравнению с 2018 г. сократилась в 7.77 раза, погибло 87% донных беспозвоночных. Наиболее катастрофические потери наблюдались в самом южном районе исследований – на шельфе юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный, где биомасса донных беспозвоночных в зоне нижней

Таблица 3. Частота встречаемости видов (в долях единицы) в приловах учетной донной траловой съемки в 2018 и 2022 гг. в трех районах на шельфе Восточной Камчатки от мыса Кроноцкий до мыса Лопатка

Вид	2018 г.			2022 г.		
	Кроноцкий залив	Авачинский залив	Юго-восток Камчатки	Кроноцкий залив	Авачинский залив	Юго-восток Камчатки
Porifera						
Porifera varia	0.05	0.14	0.38	—	0.06	0.43
Actiniaria						
Actiniaria varia	0.5	0.32	0.75	0.23	—	—
<i>Liponema brevicorne</i>	0.05	—	0.04	—	—	—
<i>Metridium cf. farcimen</i>	—	0.05	0.17	—	—	—
Cephalopoda						
<i>Enteroctopus cf. dofleini</i>	0.2	0.05	0.5	0.05	0.06	0.08
<i>Rossia pacifica</i>	0.03	0.23	0.21	—	—	—
Bivalvia						
<i>Chlamys behringiana</i>	—	—	0.08	—	—	—
<i>Serripes groenlandicus</i>	—	—	—	0.02	0.12	—
<i>Keenocardium californiense</i>	0.03	—	0.04	—	—	—
<i>Hiatella arctica</i>	—	0.05	—	—	—	—
<i>Musculus niger</i>	0.05	—	—	—	—	—
<i>Panomya ampla</i>	0.05	0.18	—	—	—	—
Gastropoda						
<i>Fusitriton oregonensis</i>	0.05	0.09	0.21	—	—	—
<i>Beringius behringii</i>	—	—	0.08	—	—	—
<i>Beringius</i> sp.	—	—	0.04	—	—	—
<i>Buccinum cristatum</i>	0.1	—	—	—	—	—
<i>Buccinum beringense</i>	0.38	0.18	0.38	—	0.06	—
<i>Buccinum cnismatum</i>	0.03	—	—	—	—	—
<i>Buccinum polare</i>	0.18	0.05	0.13	0.28	0.06	—
<i>Buccinum rossicum</i>	—	—	0.04	—	—	—
<i>Buccinum schiretokoense</i>	—	—	0.04	—	—	—
<i>Buccinum</i> sp.	—	—	0.13	—	—	—
<i>Neptunea cf. excelsior</i>	0.08	—	0.04	0.23	—	—
<i>Neptunea behringiana</i>	0.13	0.05	—	—	0.18	—
<i>Neptunea ventricosa</i>	0.03	0.14	0.08	—	—	—
<i>Neptunea lamellosa</i>	0.1	—	0.04	—	—	—
<i>Neptunea laticostata</i>	0.05	0.14	0.42	—	—	—
<i>Neptunea lyrata</i>	0.05	—	0.33	—	—	—
<i>Neptunea pribiloffensis</i>	0.2	—	—	—	—	—
<i>Neptunea multistriata</i>	0.18	0.05	0.42	—	—	—
<i>Neptunea vinosa</i>	0.03	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 3

<i>Neptunea convexa</i>	0.1	—	0.04	—	—	—
<i>Neptunea</i> sp.	0.03	—	—	—	—	—
<i>Clinopegma decora</i>	0.03	0.05	0.13	—	—	—
<i>Clinopegma chikaoi</i>	0.03	0.23	0.04	—	—	—
<i>Neancistrolepis beringiana</i>	0.28	0.14	0.08	—	—	—
<i>Neancistrolepis glabra</i>	—	—	0.04	—	—	—
<i>Neoberingius frielei</i>	0.15	0.09	0.08	—	—	—
<i>Lussivolutopsius hydractiniferus</i>	—	—	0.04	—	—	—
<i>Plisifusus kroyeri</i>	0.08	0.05	0.21	—	—	—
<i>Pyrulofusus deformis</i>	0.03	—	—	—	—	—
<i>Pyrulofusus harpa</i>	—	0.05	0.08	—	—	—
<i>Volutopsius castaneus</i>	0.13	0.14	0.33	—	—	—
<i>Colidae</i> spp.	—	—	0.08	—	—	—
<i>Crepidula</i> sp.	0.03	—	—	—	—	—
<i>Cryptonatica aleutica</i>	0.05	—	0.04	—	—	—
<i>Euspira</i> sp.	—	0.09	—	—	—	—
<i>Boreotrophon</i> sp.	—	—	0.13	—	—	—
<i>Trichotropis bicarinata</i>	0.03	—	—	—	—	—
Asteroidea						
<i>Evasterias echinosoma</i>	—	0.05	—	0.42	—	—
<i>Asterias rathbuni</i>	0.08	—	—	—	—	—
<i>Leptasterias polaris</i>	0.13	0.05	0.01	—	—	—
<i>Leptasterias arctica</i>	—	0.05	0.05	—	—	—
<i>Lethasterias nanimensis</i>	0.55	0.45	0.02	0.02	0.05	—
<i>Crossaster papposus</i>	—	—	0.02	0.05	—	—
<i>Leptychaster</i> sp.	—	0.09	—	—	—	—
<i>Ctenodiscus crispatus</i>	0.03	0.05	—	—	—	—
<i>Trophodiscus uber</i>	0.23	0.32	0.2	—	—	—
<i>Diplopteraster multipes</i>	0.1	—	—	—	—	—
<i>Pteraster militaris</i>	—	—	0.01	—	—	—
<i>Pteraster octaster</i>	—	0.09	0.09	—	—	—
<i>Henricia</i> spp.	0.18	0.05	0.12	0.09	—	—
<i>Hippasterias phrygiana</i>	0.05	0.05	0.06	—	—	—
<i>Ceramaster patagonicus</i>	—	0.05	—	—	—	—
Echinoidea						
<i>Echinarachnius parma</i>	0.5	0.64	0.08	0.23	0.35	—
<i>Strongylocentrothus pallidus</i>	0.5	0.32	0.21	0.21	0.18	—
Holoturoidea						

Окончание таблицы 3

<i>Cucumaria</i> sp.	—	0.14	—	—	0.06	—
<i>Synallactes nozawai</i>	0.03	—	—	—	—	—
Ophiuroidea						
<i>Gorgonocephalus eucnemis</i>	0.23	0.41	0.1	0.05	—	—
<i>Ophiura sarsii</i>	0.1	0.09	0.09	0.02	—	—
Decapoda						
<i>Sclerocrangon boreas</i>	—	—	—	—	0.09	—
<i>Argis lar</i>	0.18	0.32	0.08	0.02	0.47	0.3
<i>Argis ochotensis</i>	—	—	0.06	—	—	—
<i>Neocrangon communis</i>	0.13	0.23	0.05	0.05	—	0.17
<i>Crangon dalli</i>	0.08	0.09	0.01	—	0.12	—
<i>Lebbeus groenlandicus</i>	0.03	—	—	—	—	—
<i>Hyas coarctatus</i>	0.18	0.05	0.02	0.09	0.18	0.3
<i>Oregonia gracilis</i>	—	0.14	—	—	—	—
<i>Pandalus borealis</i>	0.03	—	0.02	—	—	0.13
<i>Pandalus goniurus</i>	0.15	0.41	0.07	0.05	0.06	0.26
<i>Labidochirus splendescens</i>	0.03	—	—	—	—	0.3
<i>Pagurus rathbuni</i>	—	—	—	—	0.29	—
<i>Pagurus brandti</i>	0.68	0.41	0.27	0.37	0.47	0.74
Ascidacea						
Ascidacea varia	0.23	0.45	0.04	0.07	—	0.08
<i>Boltenia ovifera</i>	0.15	0.41	0.13	—	—	—
<i>Boltenia echinata</i>	0.03	0.09	0.04	—	0.18	—
<i>Chelyosoma orientale</i>	0.05	—	—	—	—	—
<i>Halocynthia aurantium</i>	0.28	0.41	0.17	0.14	—	—
Всего видов	61	49	60	20	18	10
Всего видов по годам	85			30		

сублиторали сократилась почти в 20 раз, погибло 95% учитываемого в приловах траловых съемок макрозообентоса.

Практически полностью в 2022 г. исчезли в уловах голотурии и офиуры (за исключением одного мелкого экземпляра *Cucumaria* sp. и двух очень мелких молодых экземпляров офиур, масса которых отдельно не учитывалась). Из остальных групп наиболее значительное сокращение абсолютной биомассы отмечено у актиний (в 3.7 раза) и морских ежей (в 2.9 раза). Более чем в два раза сократилась абсолютная биомасса головоногих (в 2.6 раза)

и брюхоногих (в 2.2 раза) моллюсков, а также асцидий (в 2.1 раза). Почти вдвое сократилась абсолютная биомасса морских звезд (в 1.9 раза). Наименьшее сокращение (в 1.6 раза) отмечено для декапод (за исключением промысловых крабов и крабоидов). Абсолютная биомасса губок в целом показала увеличение (в 2.2 раза) только за счет трехкратного роста их количества в приловах в самом южном районе — у юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный. В то же время в соседнем районе, на шельфе Авачинского залива, абсолютная биомасса губок сократилась в 1.7 раза,

а на шельфе Кроноцкого залива в 2022 г. губки вовсе не были обнаружены. Актинии полностью исчезли в приловах в Авачинском заливе и до южной оконечности Камчатки, на шельфе Кроноцкого залива их биомасса сократилась в 1.8 раза (на 43.5%). Абсолютная биомасса головоногих моллюсков в 2022 г. по сравнению с данными 2018 г. практически не изменилась в Авачинском заливе, уменьшилась в 1.84 раза (на 47.5%) в Кроноцком заливе и катастрофически сократилась на шельфе юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный — в 486 раз (на 99.8%). Абсолютную биомассу двустворчатых моллюсков не подсчитывали. Абсолютная биомасса брюхоногих моллюсков в Кроноцком заливе в 2022 г. сократилась по сравнению с 2018 г. в 1.66 раза (почти на 40%), в Авачинском заливе — в 4.5 раза (на 77.5%), а на шельфе юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный эта группа исчезла полностью. Аналогичная ситуация была с морскими звездами и морскими ежами: в Кроноцком заливе абсолютная биомасса морских звезд сократилась в 1.4 раза (на 27%) и морских ежей — в 1.5 раза (на 32%), в Авачинском заливе — в 3.4 раза (на 70.6%) и в 127.4 раза (на 99.2%), соответственно. У юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный иглокожие в приловах в 2022 г. исчезли полностью. Фауна асцидий больше всего пострадала в Авачинском заливе, где абсолютная биомасса этой группы уменьшилась в 45 раз (на 97.8%), у юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный — в 11 раз (на 91%), в Кроноцком заливе — в 1.6 раза (на 36%). По ракообразным, представленным в приловах десятиногими ракообразными (исключая промысловых крабов и крабоидов, которых мы здесь не учитываем), картина была совсем другая: в Авачинском заливе абсолютная биомасса увеличилась в 5 раз (на 400%), у юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный она почти не изменилась, а в Кроноцком заливе уменьшилась почти в 4 раза (на 74%). Доля Decapoda в средней биомассе в 2022 г. увеличилась на всех трех участках, но наиболее значительно — на шельфе юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный (в 19 раз) и Авачинского залива (в 11 раз), в меньшей степени — на шельфе Кроноцкого залива (в 1.5 раза).

Средняя удельная биомасса в 2022 г. оказалась ниже, чем в 2018 г., в большинстве групп, кроме головоногих моллюсков в Авачинском заливе (стала выше в 1.2 раза) и губок у юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный (стала выше в 2.4 раза). Максимальные значения удельной биомассы существенно увеличились только в трех группах у юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный: в 1.6 раза для губок, в 1.53 раза для ракообразных и в 10 раз для асцидий. Наиболее обильны на всех трех участках шельфа в 2018 г. были морские ежи: средняя удельная биомасса составляла около 200–250 кг/км², максимальная — около 2000–3000 кг/км². В 2022 г. эти показатели снизились, соответственно, в 2.9 и 1.6 раза в Кроноцком заливе, в 65 и 133 раза в Авачинском заливе и до нуля на шельфе юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный.

Средняя и максимальная плотность поселения (экз./км²) в 2022 г. сильно сократились (от полутора–двух раз до нескольких порядков) во всех группах, кроме Porifera и Decapoda на шельфе юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный (рис. 9). Там же отмечено увеличение в 1.5 раза максимальной плотности поселения Ascidiacea, а на шельфе Кроноцкого залива — увеличение в 2 раза максимальной плотности поселения Bivalvia (табл. 1, 2).

Частота встречаемости сократилась во всех группах, кроме Decapoda на шельфе Авачинского залива и юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный, где также увеличилась частота встречаемости Porifera и Ascidiacea.

Таким образом, в Кроноцком и Авачинском заливах после 2020 г. полностью исчезли в приловах по две группы донных беспозвоночных — из одиннадцати групп осталось девять. У юго-восточного побережья Камчатки из десяти групп осталось четыре: Porifera, Cephalopoda, Decapoda и Ascidiacea.

Из списка видов, составленного по результатам учетных съемок по всем трем районам исследования (табл. 3; всего 88 видов или групп видов), в 2022 г. найдено только 30 видов (для 2018 г. указано 85 видов), видовое разнообразие уменьшилось почти в 3 раза (рис. 10); в том числе

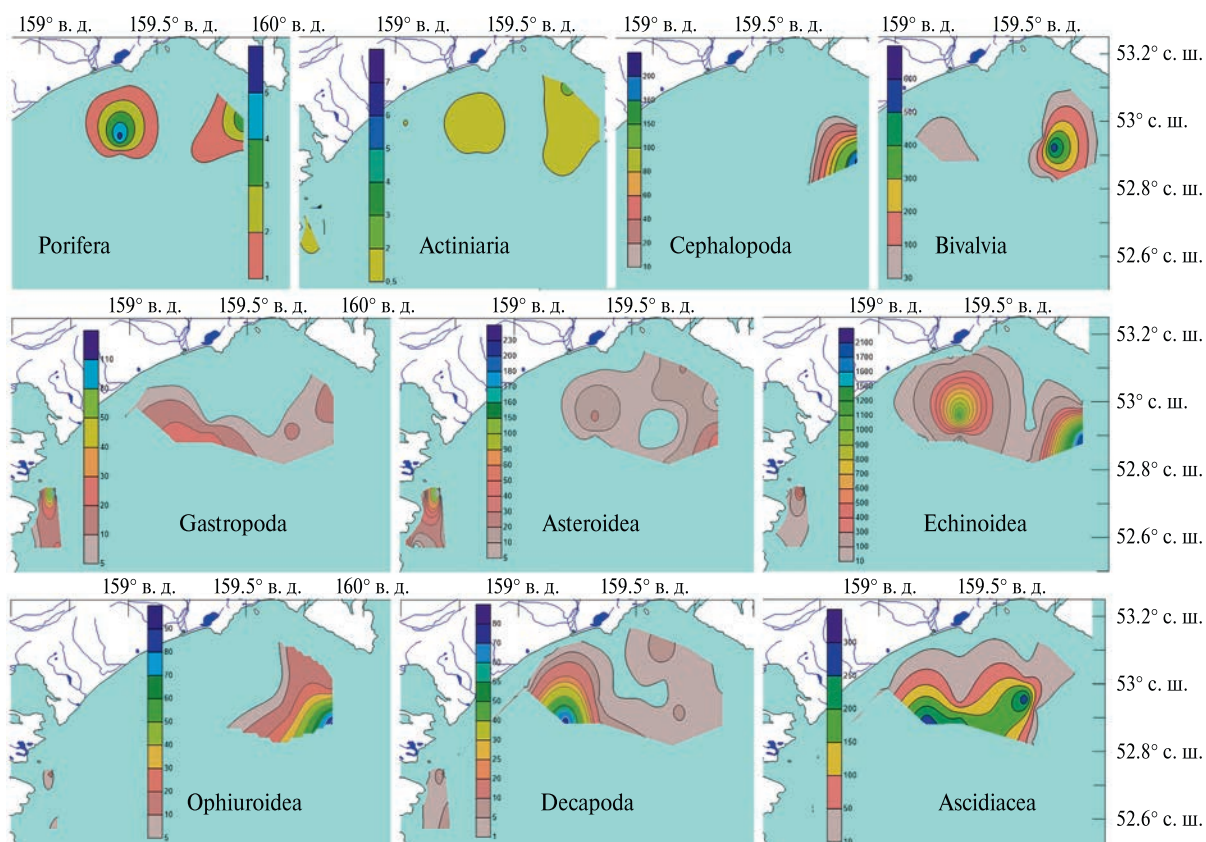


Рис. 4. Распределение удельной биомассы (кг/км²) гидробионтов по группам на шельфе Авачинского залива в 2018 г.

в Кроноцком заливе — в 3 раза (исчезло 67% видов), в Авачинском заливе — в 2.7 раза (исчезло более 63% видов), а у юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный — в 6 раз (исчезло более 83% видов). Наибольшие потери видового разнообразия отмечены среди моллюсков (86.4% видов), особенно среди *Gastropoda* (89%) и *Bivalvia* (80%), а также среди морских звезд (73.3%) и актиний (67%). В Кроноцком заливе исчезло более 92% видов *Gastropoda*, в Авачинском — 80%, у юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный — 100%. Разнообразие морских звезд меньше всего пострадало в Кроноцком заливе — в 2022 г. в приловах исчезло 50% видов; в Авачинском заливе лишь на одной станции пойман один вид *Lethasterias nanimensis* из одиннадцати, определенных в 2018 г., т.е. исчез 91% видов; а у юго-восточного побережья Камчатки — 100% видов морских звезд.

Частота встречаемости оставшихся в 2022 г. видов в большинстве случаев уменьшилась (табл. 3), кроме двадцати видов, встречаемость

которых увеличилась в одном, реже в двух районах исследования. Половина видов, встречаемость которых увеличилась в 2022 г., относилась к ракообразным (отряд Decapoda), выловленным в районе Авачинского залива и у юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный, где вымирание других групп донных животных оказалось наибольшим. Из трех видов, найденных в 2022 г. и не указанных в 2018 г., два вида также относились к декаподам, пойманным в Авачинском заливе. Размер ячеи орудия лова не позволил провести учет более мелких ракообразных, например, из отряда Amphipoda, вспышка численности которых отмечена в 2021 и 2022 гг. в верхней сублиторали Авачинского залива (Санамян и др., 2023). Однако увеличение абсолютной биомассы (в 5 раз) и встречаемости ракообразных в зоне нижней сублиторали в Авачинском заливе согласуется с данными Санамян с соавторами о том, что ракообразные в целом не сильно пострадали от последствий ВЦВ, а некоторые из них значительно

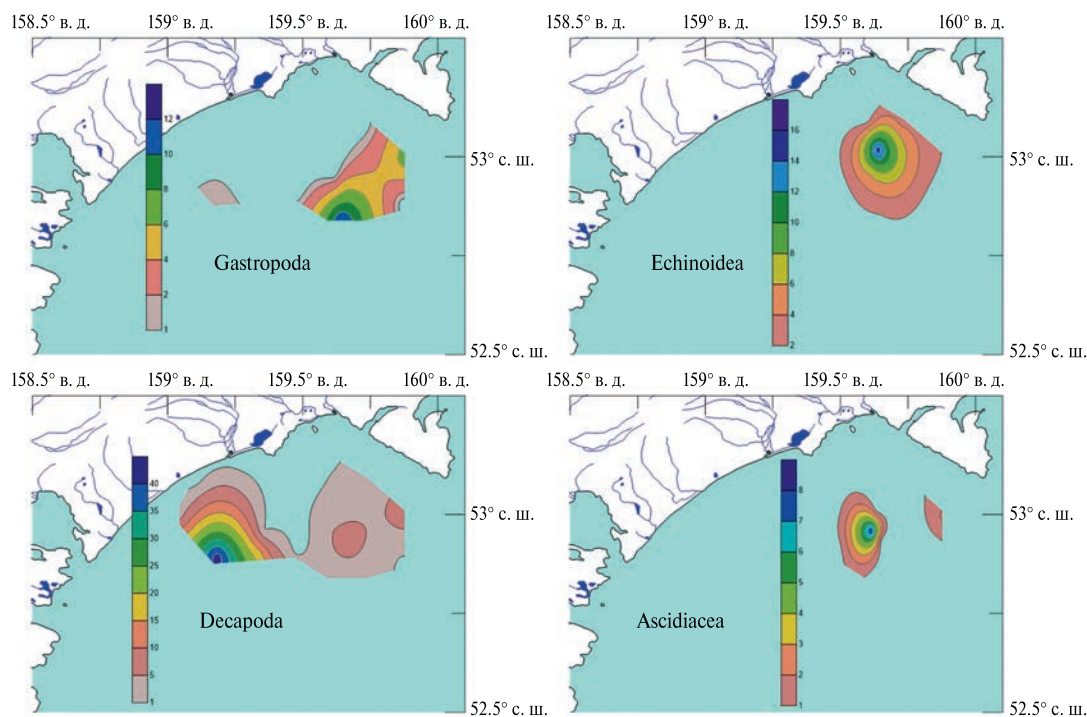


Рис. 5. Распределение удельной биомассы (кг/км²) гидробионтов по группам на шельфе Авачинского залива в 2022 г.

увеличили численность, вероятно, из-за снижения давления хищников и увеличения кормовой базы, а также снижения конкуренции раков-отшельников за раковины гастропод (Grant, Ulmer, 1974), освободившиеся из-за массовой гибели моллюсков (Санамян и др., 2023). Таким образом, для всего шельфа Авачинского залива характерно увеличение численности и биомассы ракообразных на фоне снижения биоразнообразия остальных групп донных беспозвоночных. Сокращение биомассы бентоса в нижней сублиторали Авачинского залива на 87% согласуется с визуальной оценкой потерь в 80–90% в верхней сублиторали, сделанной ранее Санамян с соавторами (Санамян и др., 2023). Указанное ранее двукратное сокращение видового состава морских беспозвоночных в верхней сублиторали Авачинского залива после ВЦВ в 2020 г. (Санамян и др., 2023) также близко к настоящей оценке в 2.7 раза в нижней сублиторали. Таким образом, биоразнообразие на всем шельфе Авачинского залива понесло 2–3-кратные потери в видовом составе и сокращение численности и биомассы донных животных на 80–90%. Эти показатели являются промежуточными между такими же данными для Кроноцкого залива и шельфа юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный.

Данные спутникового мониторинга концентрации хлорофилла *a* у берегов Камчатки в сентябре 2020 г. показали наибольшую площадь самой высокой концентрации хлорофилла *a* в районе Авачинского залива и у юго-восточного побережья Камчатки (Бондур и др., 2021). Это свидетельствует о том, что причиной гибели донных организмов стали именно последствия воздействия ВЦВ, вызванного динофлагеллятами рода *Karenia* (Orlova et al., 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После заморных явлений, произошедших в результате ВЦВ осенью 2020 г., на шельфе Восточной Камчатки от мыса Кроноцкий до южной оконечности Камчатки произошло почти трехкратное обеднение донной фауны как по биомассе, так и по видовому разнообразию. Наименее пострадавшей группой можно считать ракообразных: несмотря на то, что регистрировали гибель ракообразных, их потери были меньше, чем в других группах беспозвоночных, а абсолютная биомасса Decapoda на шельфе Авачинского залива в 2022 г. увеличилась в 5 раз по сравнению с 2018 г. Наиболее пострадавшим является самый южный район от мыса Поворотный до мыса Лопатка,

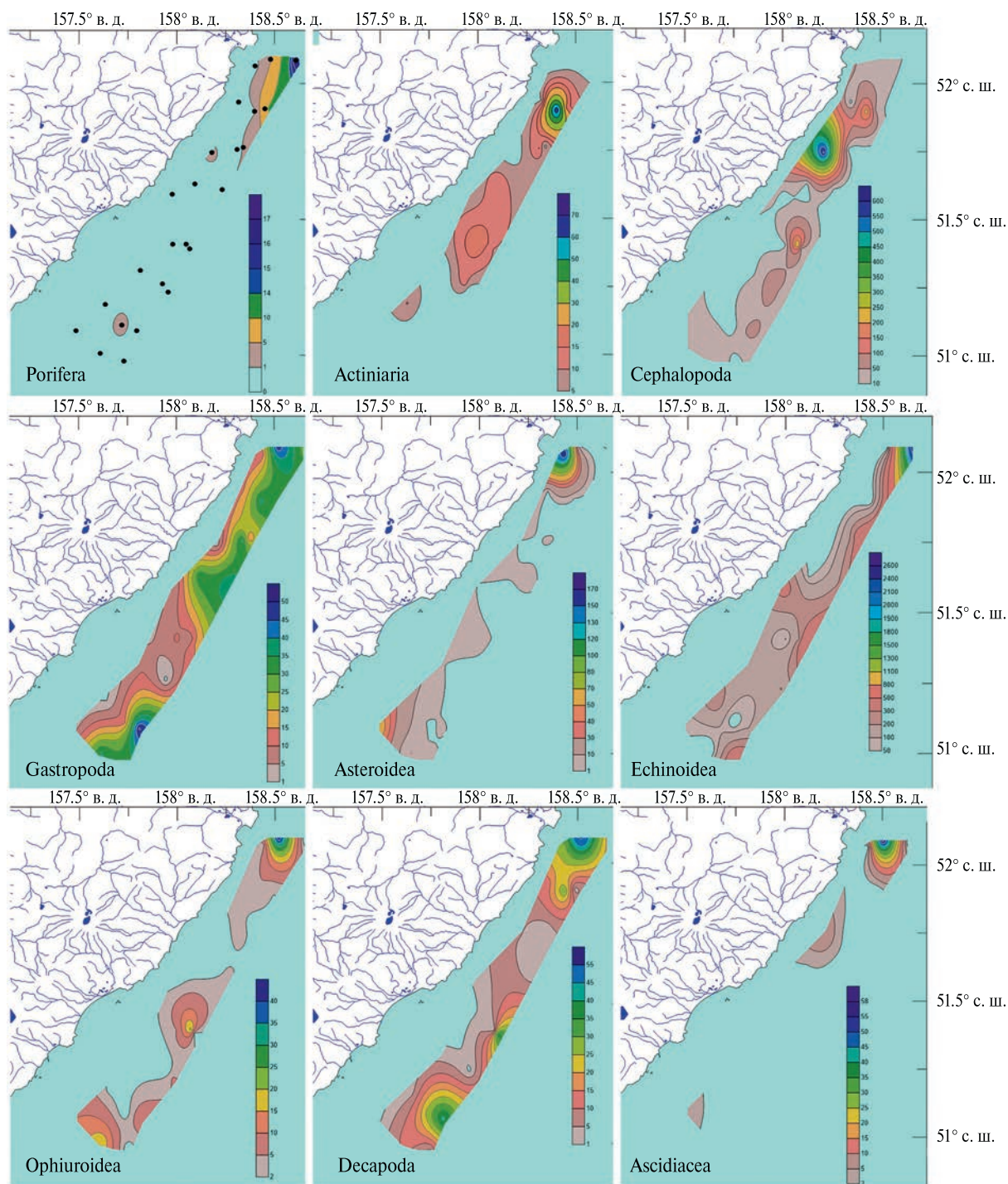


Рис. 6. Распределение удельной биомассы (кг/км²) гидробионтов по группам на шельфе юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный в 2018 г.

где произошло почти 20-кратное снижение абсолютной биомассы донных беспозвоночных в зоне нижней сублиторали, т.е. погибло 95% учитываемого в приловах траловых съемок зообентоса. Из десяти групп животных, учтенных

в 2018 г., осталось менее половины. В 2022 г. в этом районе зарегистрировано тотальное отсутствие представителей шести таксонов высокого ранга: отряда Actiniaria и классов Bivalvia, Gastropoda, Asteroidea, Echinoidea и Ophiuroidea

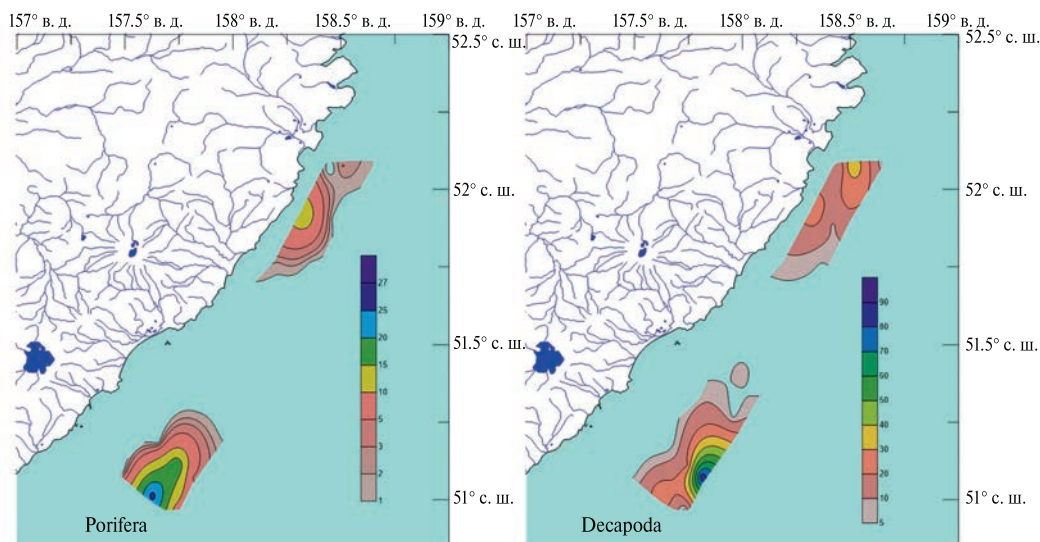


Рис. 7. Распределение удельной биомассы (кг/км^2) гидробионтов по группам на шельфе юго-восточного побережья Камчатки южнее мыса Поворотный в 2022 г.

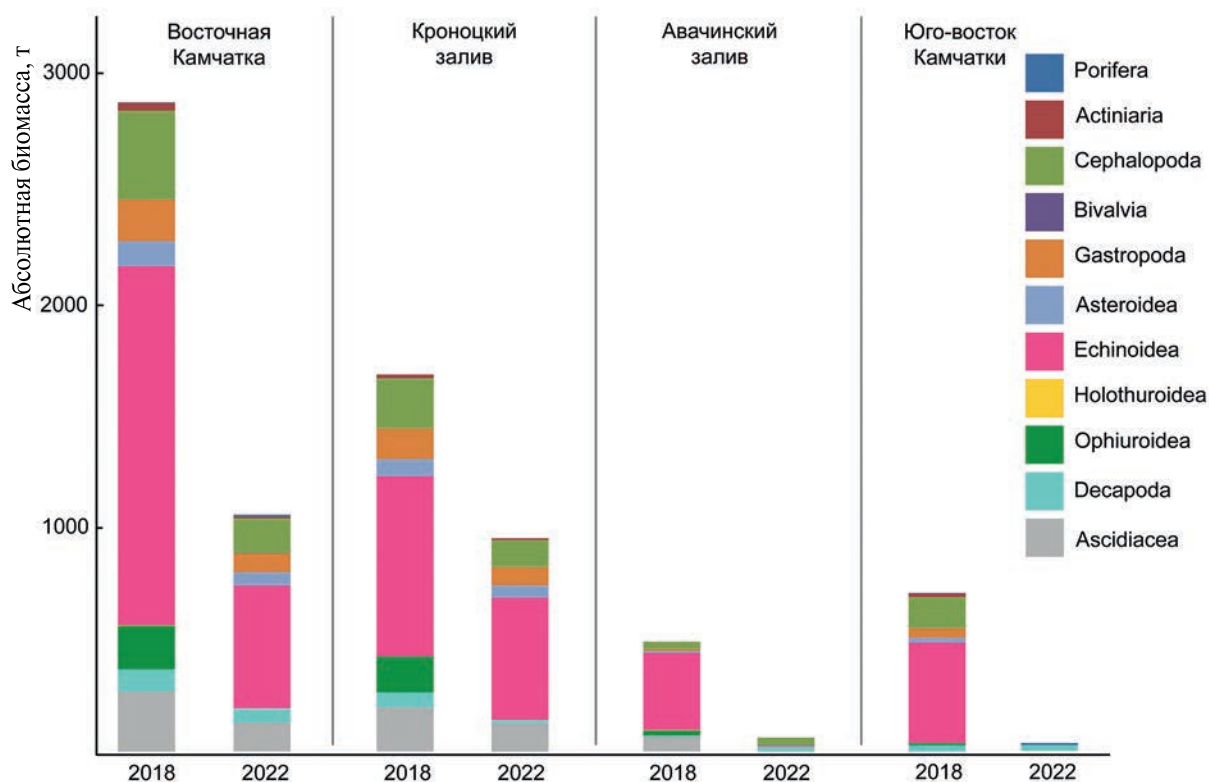


Рис. 8. Абсолютная биомасса групп беспозвоночных, учтенных в приловах донных траловых съемок в 2018 и 2022 гг.

(всего типа Echinodermata); видовое разнообразие уменьшилось в 6 раз (исчезло более 83% видов). Наименее пострадавшим оказался самый северный участок шельфа в районе Кроноцкого залива: абсолютная биомасса сократилась в 1.76 раза (на 43%); из 11 групп донных беспозвоночных, зарегистрированных в 2018 г.,

в 2022 г. исчезли две — тип Porifera и класс Holothuroidea; видовое разнообразие сократилось в 3 раза (исчезло 67% видов). Шельф Авачинского залива пострадал значительно и занимает промежуточное положение при оценке ущерба между северным и южным районами: абсолютная биомасса сократилась в 7.77 раза

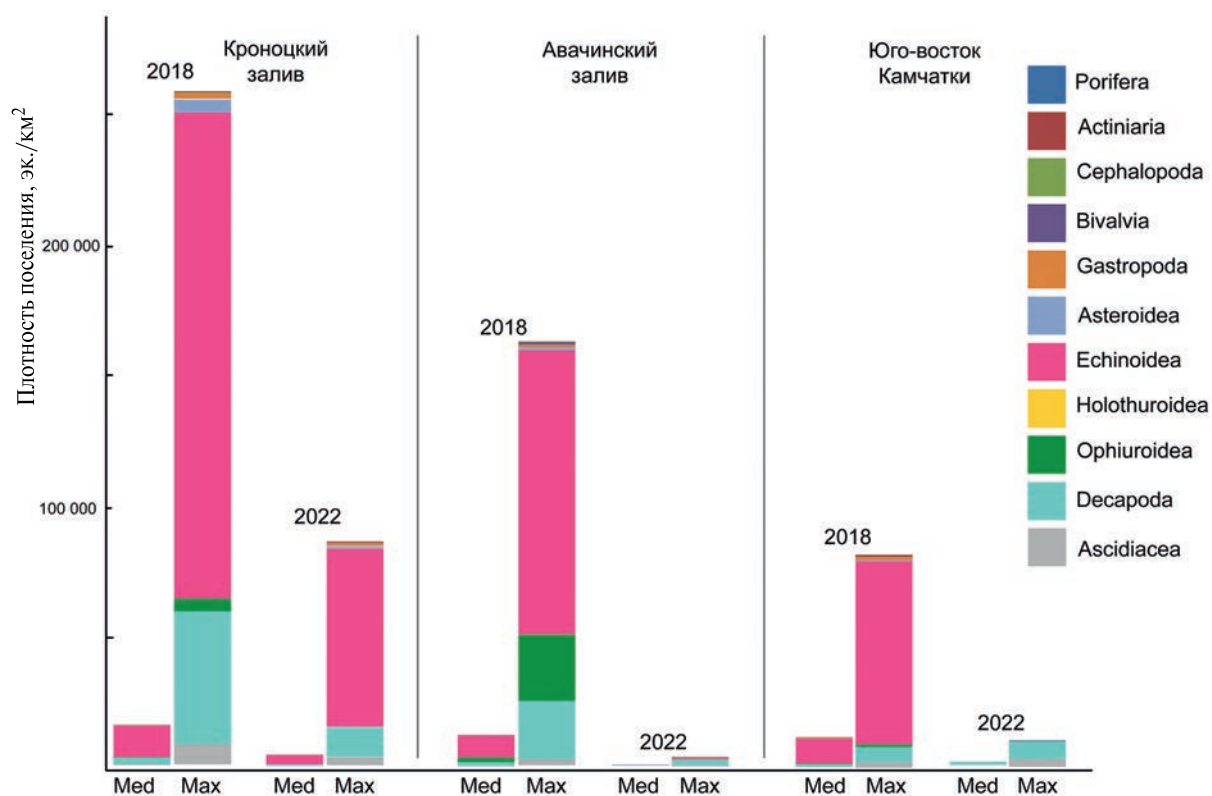


Рис. 9. Средняя (Med) и максимальная (Max) плотность поселения групп беспозвоночных, учтенных в приловах донных траловых съемок в 2018 и 2022 гг.

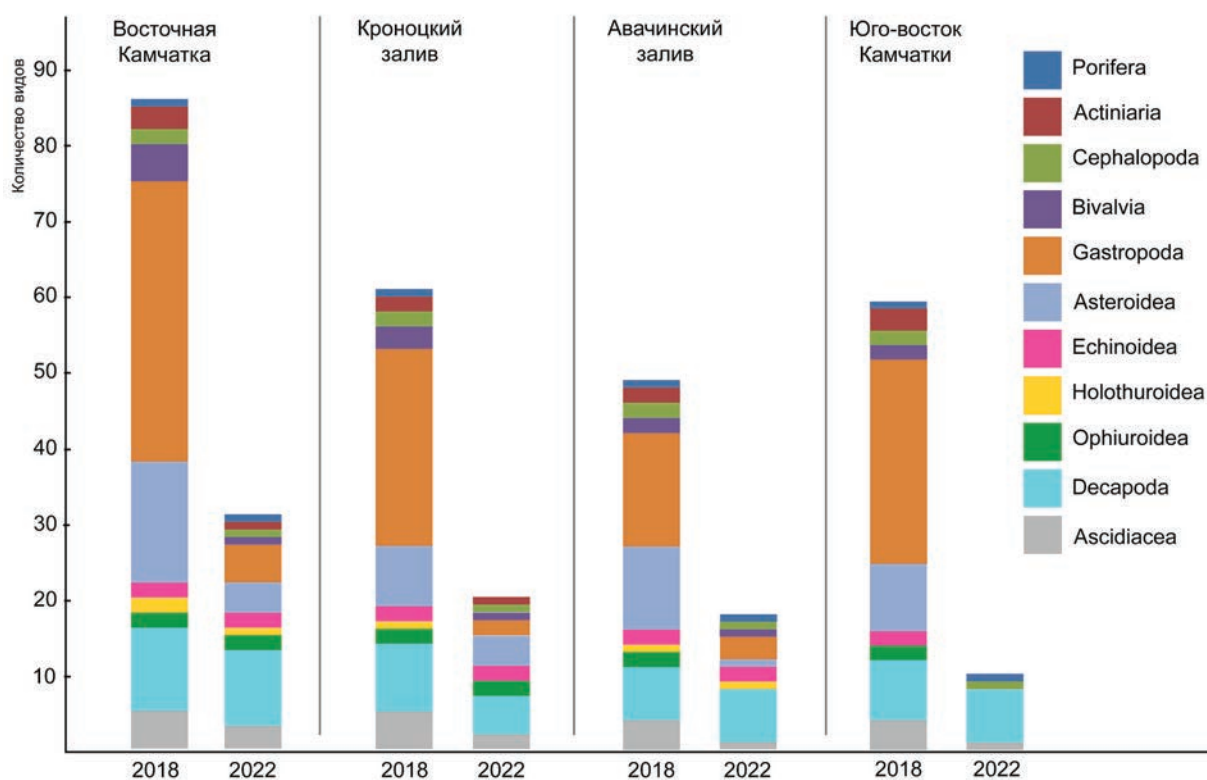


Рис. 10. Количество видов в основных таксонах, найденных в приловах учетных донных траловых съемок в 2018 и 2022 гг.

(на 87%); из 11 групп донных беспозвоночных исчезли две — отряд Actiniaria и класс Ophiuroidea; видовое разнообразие сократилось в 2.7 раза (исчезло 63% видов).

Учитывая такие критерии, как широкое разнообразие таксонов, подвергшихся воздействию ВЦВ (затронуты почти все группы донных беспозвоночных, вплоть до исчезновения в приловах таксонов высокого уровня от отрядов до типов), высокая доля вымерших видов (65% для всех трех районов), последствия ВЦВ 2020 г. оказались катастрофическими для всего шельфа на востоке Камчатки от мыса Кроноцкий до мыса Лопатка.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджетов Камчатского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии и Камчатского филиала Тихоокеанского института географии ДВО РАН. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека и животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксютин З.М. Элементы математической оценки результатов наблюдений в биологических и рыбохозяйственных исследованиях. М.: Пищевая промышленность, 1968. 288 с.
- Бизиков В.А., Буяновский А.И., Гончаров С.М. и др. Базы данных и информационные системы в управлении водными биологическими ресурсами // Матер. I науч. школы молодых ученых и специалистов по рыбному хозяйству и экологии. М.: Изд-во ВНИРО, 2013. С. 108–133.
- Бондур В.Г., Замшин В.В., Четверкова О.И. и др. Анализ причин экологического происшествия на Камчатке осенью 2020 г., связанного с красным приливом, на основании космических данных // Исследование Земли из космоса. 2021. № 3. С. 3–18. <http://doi.org/10.31857/S020596142103009X>
- Виноградов Л.Г. Определитель креветок, раков и крабов Дальнего Востока // Изв. ТИНРО. 1950. Т. 33. С. 179–358.
- Голиков А.Н. Брюхоногие моллюски рода *Neptunea* Bolten // Фауна СССР. Нов. сер. Моллюски. Т. 5. Вып. 1. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1963. 184 с.
- Голиков А.Н. Моллюски Вуссининае Мирового океана // Фауна СССР. Моллюски. Т. 5. Вып. 2. Л.: Наука, 1980. 508 с.
- Данилин Д.Д., Будникова Л.Л., Сахаровский С.И. и др. Предварительные результаты обследования литоральной зоны Южно-Камчатского природного парка // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: материалы XXII международ. науч. конф., посвященной 120-летию со дня рождения известного камчатского ученого-ихтиолога, одного из организаторов регулярных исследований биологии и состояния запасов морских промысловых рыб у берегов Камчатки, почетного гражданина Петропавловска-Камчатского к.б.н. И.А. ПолUTOва. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2021. С. 184–189.
- Дьяконов А.М. Определитель иглокожих дальневосточных морей // Изв. ТИНРО. 1949. Т. 30. С. 1–127.
- Дьяконов А.М. Морские звезды морей СССР // Фауна СССР. Иглокожие. М., Л.: Изд-во АН СССР. 1950. 204 с.
- Кантор М.И., Сысоев А.В. Морские и солоноватоводные брюхоногие моллюски России и сопредельных стран: иллюстрированный каталог. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2006. 371 с.
- Коростелев С.Г., Данилин Д.Д. Влияние вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г. на состояние запасов камбал на шельфе тихоокеанского побережья Камчатки и северных Курильских островов // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Матер. XXIV международ. науч. конф., посвященной 300-летию Российской академии наук. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 2023. С. 193–196.
- Макаров В.В. Ракообразные Аномига // Фауна СССР. Ракообразные. Т. 10. Вып. 3. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 324 с.
- Несис К.Н. Краткий определитель головоногих моллюсков Мирового океана. М.: Легкая и пищ. пром-ть, 1982. 358 с.
- Санамян Н.П., Коробок А.В., Санамян К.Э. Качественная оценка последствий влияния вредоносного

- цветения водорослей осенью 2020 года у побережья Юго-Восточной Камчатки (Северо-Западная Пацифика) на мелководные бентосные сообщества // Вестн. КамчатГТУ. 2023. № 63. С. 22–44.
- Скарлато О.А. Двусторчатые моллюски умеренных широт западной части Тихого океана. Л.: Наука, 1981. 480 с.
- Столяренко Д.А., Иванов Б.Г. Метод сплайн-аппроксимации плотности запаса применительно к многовидовым съемкам // Сырьевые ресурсы и биологические основы рационального использования промысловых беспозвоночных. Тез. док. Всесоюз. совещ. Владивосток: ТИНРО, 1988. С. 10–11.
- Токранов А.М. Состав прибрежной ихтиофауны юго-восточной Камчатки после вредоносного цветения водорослей осенью 2020 г. // Вестн. КамчатГТУ. 2022. Вып. 59. С. 38–48.
- Токранов А.М., Данилин Д.Д., Жигадлова Г.Г. и др. Оценка воздействия возникшей осенью 2020 г. у берегов Камчатки неблагоприятной экологической обстановки на представителей различных групп гидробионтов // Тр. X Международ. научно-практ. конф. “Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)” Т. II (III). Тверь: ООО “ПолиПРЕСС”, 2021. С. 93–96.
- Шунтов В.П., Волвенко И.В., Кулик В.В., Бочаров Л.Н. Макрофауна бентали западной части Берингова моря: таблицы встречаемости, численности и биомассы, 1977–2010. Владивосток: ТИНРО-центр, 2014. 803 с.
- Fraussen K., Terry Y. A Conchological Iconography: The Family Buccinidae, Genus *Neptunea*. Hackenheim, Germany: ConchBooks, 2007. 165 p.
- Grant W.C., Ulmer K.M. Shell selection and aggressive behavior in two sympatric species of hermit crabs // Biol. Bull. 1974. V. 146. P. 32–43.
- Jewett S.C., Clark R.N., Chenelot M.K. et al. Field Guide to Sea Stars of the Aleutian Islands, Fairbanks, Ala.: Alaska Sea Grant, Univ. of Alaska. 2015. 165 p.
- Orlova T.Y., Aleksanin A.I., Lepskaya T.V. et al. A massive bloom of *Karenia* species (Dinophyceae) off the Kamchatka coast, Russia, in the fall of 2020 // Harmful Algae. 2022. V. 120. Art. ID 102337. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2022.102337>
- Stolyarenko D.A. Data analysis of trawl shrimp survey with spline approximation of stock density, International Council for Exploration of the Sea, Shellfish Committee, Doc. no. C.M. 1986/K: 25, Copenhagen: ICES, 1986. 16 p.
- Stolyarenko D.A. The spline approximation method and survey design using interaction with microcomputer: Spline Survey Designer Software System, International Council for Exploration of the Sea, Shellfish Committee, Doc. no. K: 29, Copenhagen: ICES, 1987. 24 p.

Consequences of Impact of Harmful Algal Bloom on Benthic Invertebrates in the Eastern Kamchatka Shelf

T. B. Morozov^a, N. P. Sanamyan^b, K. E. Sanamyan^b

^aKamchatka Branch, Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (KamchatNIRO), Petropavlovsk-Kamchatsky 683000, Russia

^bKamchatka Branch, Pacific Institute of Geography, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky 683000, Russia

Data of bottom trawl surveys conducted in the shelf zone of Kronotsky and Avachinsky Bays and off the southeastern coast of the Kamchatka Peninsula at depths of 65–210 m in 2018 and 2022, before and after the harmful microalgal bloom that occurred off the Kamchatka coast in the fall of 2020, were compared. The results indicate a significant decrease in the species diversity, population density, and biomass of benthic organisms in the lower sublittoral zone in 2022 compared to 2018. The least affected area was the northernmost region (Kronotsky Bay), while the most severely affected area was the southernmost region off the southeastern Kamchatka coast to the waters south of Cape Povorotny, where the biomass and species diversity dramatically decreased. This is consistent with the satellite monitoring data on chlorophyll *a* concentration off the Kamchatka coast in September 2020. According to these data, the area of the highest chlorophyll *a* concentration was the greatest in Avachinsky Bay and off the southeastern Kamchatka coast, where the strongest reduction in biodiversity of marine invertebrates was recorded.

Keywords: benthos, biomass, biodiversity, bottom trawl survey, red tide, intense microalgal bloom, depletion of fauna

УДК 574.32

ВСПЫШКИ ЧИСЛЕННОСТИ ЧУЖЕРОДНЫХ ВИДОВ ИНФУЗОРИЙ *RHIZODOMUS TAGATZI* STRELKOV & WIRKETIS, 1950 И *AMPHORELLOPSIS ACUTA* SCHMIDT, 1902 (CILIOPHORA, TINTINNIDA) В ТАМАНСКОМ ПОРТУ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

© 2024 г. Ж. П. Селифонова (ORCID: 0000-0002-4924-815X)

Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова, Новороссийск 353924, Россия
e-mail: selifa@mail.ru

Поступила в редакцию 24.04.2024 г.

После доработки 24.07.2024 г.

Принята к публикации 01.08.2024 г.

Сообщается о новых вспышках численности чужеродных видов раковинных инфузорий (тинтиннид) в северо-восточной части Черного моря. Пробы зоопланктона были собраны в конце черноморского биологического лета — осенью 2023 г. в прибрежной зоне Таманского порта. В исследуемом районе обнаружено 10 видов тинтиннид, среди которых 7 чужеродных видов. Впервые в районе Таманского порта зарегистрированы вспышки численности инвазивных тинтиннид *Rhizodomus tagatzi* и *Amphorellopsis acuta*. Хорошо выраженный пик численности *R. tagatzi* был отмечен в сентябре (518×10^3 кл./м³), *A. acuta* — в ноябре (310×10^3 кл./м³). В эти месяцы указанные виды составляли >99% общей численности тинтиннид, что свидетельствует о формировании их популяций. Обилие *R. tagatzi* было самым высоким из ранее отмеченных в Черном море. Предполагается, что интенсивное судоходство и увеличение грузооборота, характерные для Таманского побережья Черного моря и Керченского пролива, способствуют распространению чужеродных морских раковинных инфузорий с судовыми балластными водами.

Ключевые слова: чужеродные раковинные инфузории, летне-осенняя динамика численности, таксономический состав

DOI: 10.31857/S0134347524060042

Чужеродные или инвазивные виды флоры и фауны — одна из основных угроз сохранению биоразнообразия и функционированию морских экосистем (Алимов и др., 2000; Звягинцев и др., 2011; Дгебуадзе, 2013; Panov et al., 1999; Invasive Aquatic ..., 2002; Heiskanen et al., 2016; Telesh, Naumenko, 2021, 2024; Shiganova et al., 2023). Основной путь биологической инвазии в морских экосистемах — внедрение чужеродных организмов с судовыми балластными водами (Звягинцев, Селифонова, 2010; Carlton, 1985; Carlton, Geller, 1993; David et al., 2007; Selifonova, 2015). Согласно последним исследованиям, более 33% зарегистрированных в Черном море видов раковинных инфузорий (тинтиннид) являются чужеродными (Gavrilova, Dovgal, 2016; Selifonova, Makarevich, 2018). Многие виды

протистов, и в их числе инфузории тинтинниды, можно отнести к инвазивным организмам (Гаврилова, 2010; Carlton, 1985; Pierce et al., 1997; David et al., 2007; Selifonova, 2015; Selifonova, Makarevich, 2018). Летне-осенние вспышки численности чужеродных видов раковинных инфузорий являются типичными для прибрежных вод северо-восточной части Черного моря и вод, омывающих полуостров Крым (Гаврилова, Довгаль, 2019; Selifonova, Makarevich, 2018). Однако в Таманском порту исследования этих экзотических пелагических простейших ранее не проводились.

Данные, полученные с сентября по декабрь 2023 г. в прибрежных водах Таманского порта, дополняют знания о таксономическом составе



Рис. 1. Схема районов обнаружения тинтинид в Черном море.

А – станции (S1, S2) отбора проб раковинных инфузорий в прибрежной зоне Таманского порта в 2023 г.

Б – районы обнаружения *Rhizodorus tagatzi*: 1 – Гаврилова (2010), 2 – Гаврилова, Довгаль (2019), 3 – наши данные; 4, 5 – Selifonova, Makarevich (2018) (круги); районы обнаружения *Amphorellopsis acuta*: 6–8, 10 – Гаврилова, Довгаль (2019); 9 – Gavrilova, Dovgal (2016); 11 – наши данные; 12 – Selifonova (2015); 13 – Селифонова (2011); 14 – Selifonova, Makarevich (2018) (квадраты).

и динамике численности инвазивных видов тинтинид в северо-восточной части Черного моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследуемый район

Таманский порт расположен в северо-восточной части Черного моря на Таманском полуострове в районе мыса Железный Рог (45°8′30.0″ с. ш., 36°41′60.0″ в. д.). Порт имеет действующие и еще строящиеся терминалы для перевалки различных грузов: нефти и нефтепродуктов, сжиженных углеводородных газов, аммиака, зерна, угля, удобрений, железной руды, серы, изделий из стали, контейнерных грузов (рис. 1а). В 2022–2023 гг. грузооборот порта составил 40.5–42.8 млн т, количество судозаходов увеличилось до тысячи. Основная часть грузооборота (98.6%) приходилась на экспорт товаров в такие страны, как Турция, Китай и Индия (Лебедев, 2023).

Отбор проб

В районе Таманского порта пробы планктона были собраны в сентябре–декабре 2023 г., что соответствовало концу черноморского биологического лета и осени (Усачев, 1947). Отбор проб проводили на двух станциях, которые имеют глубины 20–25 м: 45°6′48.01″ с. ш.,

36°38′48.33″ в. д., станция 1 (S1); 45°06′24.7″ с. ш., 36°39′41.8″ в. д., станция 2 (S2) (рис. 1а).

Температура воды в районе Таманского порта в период исследования варьировала от 22.5°C (сентябрь) до 10.5°C (декабрь), соленость – от 17.5 до 18 psu (устное сообщение В.К. Часовникова, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН). Пробы планктона для качественного анализа собирали буксирной планктонной сети с ситом размером 50 мкм на глубине 0.5 м. Для количественного анализа материал брали с поверхности пластиковым ведром. Пробы объемом 1500 мл консервировали раствором глутаральдегида до конечной концентрации 2%, затем концентрировали методом отстаивания до объема 10–20 мл. Подсчет и видовую идентификацию инфузорий выполняли с помощью микроскопа Микмед-5 (Ломо) при увеличении $\times 100$ и $\times 400$. Исследовали пять выборок каждой пробы. В сентябре, октябре и декабре численность алорикатных инфузорий изучали в нефиксированных пробах с помощью стереомикроскопа и счетной камеры Сорокина (Sorokin, 1999). Тинтиниды идентифицировали по морфологии панциря



Рис. 2. *Rhizodomus tagatzi* (А) и *Amphorellopsis acuta* (Б) из прибрежной зоны Таманского порта. Увеличение $\times 400$: А – 30 мкм, Б – 20 мкм.

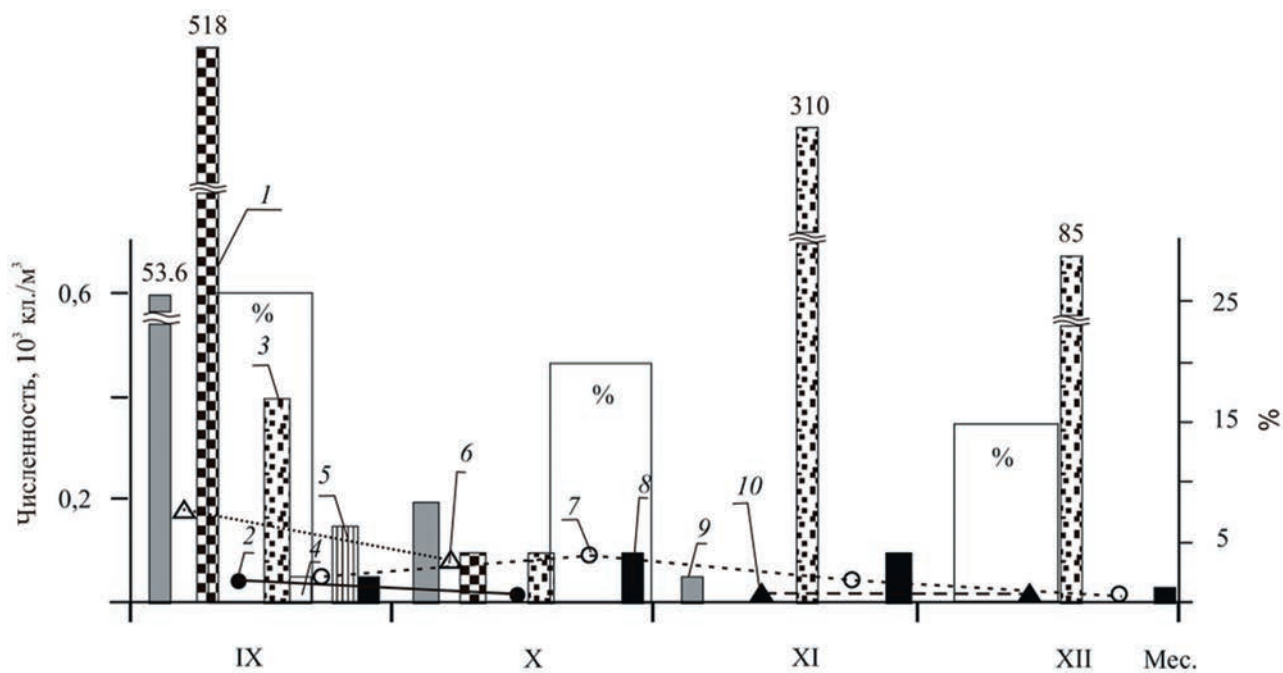


Рис. 3. Летне-осенняя динамика численности (10^3 кл./м³) раковинных инфузорий в прибрежных водах Таманского порта: 1 – *Rhizodomus tagatzi*, 2 – *Favella ehrenbergii*, 3 – *Amphorellopsis acuta*, 4 – *Eutintinnus tubulosus*, 5 – *Dartintinnus alderae*, 6 – *Tintinnopsis tocaninensis*, 7 – *E. apertus*, 8 – *Salpingella decurlata*, 9 – *Tintinnopsis tubulosa*, 10 – *Stenosemella ventricosa*.

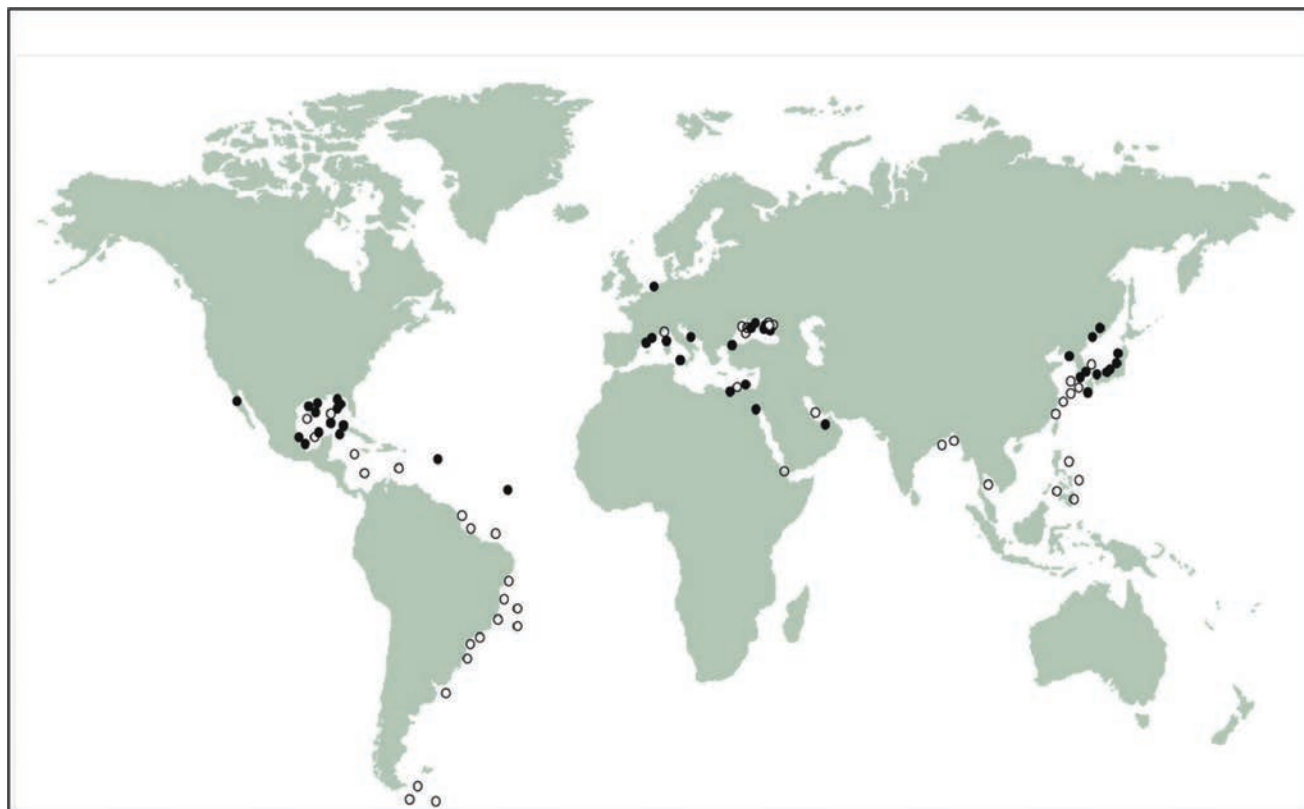


Рис. 4. Распространение *Rhizodomus tagatzi* в морях Мирового океана: (Гаврилова, Довгаль, 2019; наши данные; Saccà, Giuffrè, 2013; Selifonova, Makarevich, 2018) (черные круги); *Amphorellopsis acuta*: (наши данные; Селифонова, 2011; Гаврилова, Довгаль, 2019; Cariou et al., 1999; Fernandes, 2004; Coats, Clamp, 2009; Dorgham et al., 2009; Lee, Kim, 2010; Abou Zaid, Hellal, 2012; Dolan, Pierce, 2014; Santiago, Lagman, 2018; Tabarcea et al., 2023) (белые круги).

и описаниям видов (Fernandes, 2004; Al-Yamani et al., 2011; Saccà et al., 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ

За период исследования идентифицировано 10 видов раковинных инфузорий, среди которых семь чужеродных видов, относящихся к 6 родам: *Tintinnopsis tocaninensis* Kofoid & Campbell, 1929; *Rhizodomus tagatzi* Strelkov & Wirketis, 1950; *Amphorellopsis acuta* Schmidt, 1902; *Eutintinnus apertus* Kofoid & et Campbell, 1929; *E. tubulosus* Ostensfeld, 1899; *Dartintinnus alderae* Smith et al., 2018 и *Salpingella decurlata* Jörgensen, 1924 (табл. 1). Первый хорошо выраженный пик плотности популяций инвазивных тинтиннид (несколько сотен экз./м³) был зарегистрирован в конце биологического лета – в сентябре 2023 г. Увеличение плотности популяций тинтиннид было в основном обусловлено развитием *R. tagatzi* (рис. 2а). Этот вид вносил значительный вклад в суммарную численность раковинных инфузорий (более 99%), что свидетельствовало

о формировании популяции. *R. tagatzi* Strelkov & Wirketis, 1950 (синонимы – *Tintinnopsis corniger* Hada, 1964; *Tintinnopsis nudicauda* Paulmier, 1997) (Saccà et al., 2012) впервые зарегистрирован в районе Таманского порта. Его численность варьировала в пределах 586–450×10³ кл./м³ (в среднем 518×10³ кл./м³) (рис. 3). В то же время, численность нативного черноморского вида *Tintinnopsis tubulosa* составляла 44.8–62.4×10³ кл./м³ (в среднем 53.6×10³ кл./м³), а *Favella ehrenbergii* – 0.05±0.008×10³ кл./м³. Для района Таманского порта впервые отмечены *A. acuta*, *T. tocaninensis*, *D. alderae*, *E. apertus*, *E. tubulosus* и *S. decurlata*. Однако их суммарная численность в сентябре 2023 г. не превышала 0.9×10³ кл./м³.

В октябре температура воды в прибрежной зоне порта снизилась до 16.1°C. Численность чужеродных видов, таких как *R. tagatzi*, *T. tocaninensis*, *A. acuta*, *E. apertus*, *S. decurlata* стала незначительной (суммарная численность 0.5±0.06×10³ кл./м³). Осеннее увеличение численности тинтиннид в ноябре (при температуре воды 13.2°C) было вызвано, главным образом,

Таблица 1. Таксономический состав и средняя численность (10³ кл./м³) раковинных инфузорий, обнаруженных в Таманском порту в 2023 г.

Вид	Месяц			
	IX	X	XI	XII
<i>Tintinnopsis tubulosa</i> Leveter, 1990	53.6	0.2	0.05	0
<i>T. tocaninensis</i> Kofoid & Campbell, 1929	0.2	0.1	0	0
<i>Rhizodomus tagatzii</i> Strelkov & Wirketis, 1950 (= <i>Tintinnopsis corniger</i> Hada, 1964)	518	0.1	0	0
<i>Stenosemella ventricosa</i> (Claparède & Lachmann, 1858)	0	0	0.05	0.04
<i>Favella ehrenbergii</i> (Claparède & Lachmann, 1858) Jörgensen, 1924	0.05	0.01	0	0
<i>Amphorellopsis acuta</i> Schmidt, 1902	0.4	0.1	310	85
<i>Eutintinnus tubulosus</i> (Ostenfeld, 1899)	0.05	0	0	0
<i>E. apertus</i> Kofoid & Campbell, 1929	0.05	0.1	0.05	0.03
<i>Dartintinnus alderae</i> Smith et al., 2018	0.15	0	0	0
<i>Salpingella decurlata</i> Jörgensen, 1924	0.05	0.1	0.1	0.03

A. acuta (рис. 26). Численность *A. acuta* в это время была в пределах 290–330×10³ кл./м³ (в среднем 310×10³ кл./м³). В декабре с понижением температуры воды до 10.5°С численность этого вида снизилась до 78–92×10³ кл./м³ (в среднем 85×10³ кл./м³). Вклад *A. acuta* в общую численность тинтиннид составлял ноябре и декабре 2023 г. более 99%.

Другие чужеродные тинтинниды, *S. decurlata* и *E. apertus*, а также черноморские нативные виды, *Stenosemella ventricosa* и *T. tubulosa* отмечены в небольшом количестве в ноябре (суммарная численность 0.25±0.1×10³ кл./м³) и декабре (суммарная численность 0.1±0.014×10³ кл./м³) (табл. 1). Вклад раковинных инфузорий в общую численность ресничных простейших (раковинных и алорикатных) колебался от 26.3% в сентябре до 20% в октябре и 15% декабре.

ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно европейской информационной базе инвазивных видов (EASIN) (Katsanevakis et al., 2012), тинтиннида *Rhizodomus tagatzii* классифицируется как инвазивный вид, завезенный в восточную часть Средиземного моря в 2007 г., в Мраморное море – в 2011 г. и в Адриатическое море – в 2022 г. (Durmus et al., 2011; Yurga, 2012; Balkis, Koray, 2014; Njire et al., 2023). Ранее вид был известен в Японском море, Мексиканском заливе и Атлантическом океане (рис. 4).

В 2009 г. *R. tagatzii* была зарегистрирована в бухтах Крыма (Севастополь, Феодосия) (Гаврилова, 2010; Гаврилова, Довгаль, 2019), а в 2015 г. в портах и бухтах северо-восточной части Черного моря (Новороссийск, Геленджик) (Selifonova, Makarevich, 2018) (рис. 16). Максимальная численность *R. tagatzii* в прибрежных морских водах крымского полуострова составляла 101×10³ кл./м³ (в среднем 12.8×10³ кл./м³) и была самой высокой в Черном море (Гаврилова, Довгаль, 2019). В Новороссийском порту *R. tagatzii* достигала максимальной численности 0.01–0.05×10⁶ кл./м³, в Геленджикской бухте – 0.001×10⁶ кл./м³ (Selifonova, Makarevich, 2018). Весьма вероятно, что водный балласт, который регулярно сбрасывается в Таманском порту в больших объемах при погрузочно-разгрузочных работах (дебалластировка судов) способствовал переносу этого неритического вида из прибрежной зоны Тихого океана. Раковинную инфузорию *R. tagatzii* с характерным аборальным рогом, которая может сохраняться в водном балласте трансокеанских грузовых судов, следует считать очевидным кандидатом на роль экзотического интродуцента (Pierce et al., 1997; Saccà et al., 2012). Этот вид чаще всего встречается в устьях рек или лагунах, характеризующихся высоким трофическим уровнем, в периоды наибольшего обилия мелкоразмерного фитопланктона (Saccà & Giuffrè, 2013; Njire et al., 2023). Кроме того, *R. tagatzii* формирует цисты, которые могут сохраняться в осадке и

распространяться при сбросе балластных вод (David et al., 2007). Очевидно, что всплеск численности *R. tagatzi* вблизи Таманского порта был связан с переносом балластных вод из азиатских портов и их сбросом в Черное море при дебалластировке. В настоящее время порт Тамань является лидером по экспорту сырья в Индо-Тихоокеанский регион.

Род *Amphorellopsis* представляет собой промежуточное звено между тинтиннидами (раковинными формами) и алорикатными (голыми) хореотрихидами. Тинтиннида *Amphorellopsis acuta* широко распространена в неритической зоне Индийского океана, в Южной Атлантике, Мексиканском заливе, Средиземном море, у Японского, Китайского, Филиппинского архипелагов и в Антарктике (рис. 4). Впервые в Черном море вид *A. acuta* был обнаружен в 2010 г. (Новороссийский порт). В октябре 2010 г. его средняя численность составляла 5.5×10^3 кл./м³ (Селифонова, 2011). В том же году мы отметили увеличение до 0.9×10^6 кл./м³ максимальной плотности *A. acuta* в лимане “Змеиное озеро” (Большой Утриш, северо-восточное побережье Черного моря) (Selifonova, 2015). Этот водоем расположен недалеко от нефтяного терминала “Каспийский трубопроводный консорциум”, куда сбрасывается большое количество изолированных балластных вод с танкеров при погрузке нефти. Максимальная численность *A. acuta* в прибрежных водах Крыма достигала 3.8×10^6 кл./м³ (в среднем 252×10^3 кл./м³) (Гаврилова, Довгаль, 2019). В Черном море *A. acuta* была обнаружена в глубоководных районах северо-западной части моря, у берегов Крыма, Румынии и Турции (Синопский залив) (Гаврилова, Довгаль, 2019; Tabarcea et al., 2023). По нашим и литературным данным, частота встречаемости *A. acuta* в летне-осенний сезоны не превышает 10–20%. Динамика численности *A. acuta*, ее биогеографические и экологические особенности позволяют предположить аллохтонное происхождение вида (водный балласт) в порту Тамань. Другие малочисленные виды чужеродных тинтиннид, такие как *Tintinnopsis tocanthinensis*, *Eutintinnus apertus*, *E. tubulosus*, *Dartintinnus alderae* и *Salpingella decurlata*, зарегистрированные в Таманском порту, ранее были отмечены в районах интенсивного судоходства

(Гаврилова, 2010; Гаврилова, Довгаль, 2019; Selifonova, Makarevich, 2018).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые в районе Таманского порта зарегистрированы вспышки численности чужеродных раковинных инфузорий *Rhizodomus tagatzi* и *Amphorellopsis acuta*, составляющие более 99% общей численности тинтиннид. Обилие вида *R. tagatzi*, который классифицируется как инвазивный для экосистем южных внутренних морей Евразии, было самым высоким из ранее отмеченных в Черном море. Мы предполагаем, что вышеупомянутые виды тинтиннид были занесены в порт Тамань с коммерческими судами из Индо-Пацифики или Средиземного моря (Мраморного моря), откуда поступает наибольшее количество балластных вод. В этой связи представляет интерес мониторинг районов интенсивного судоходства для оценки их экологического состояния, выявления чужеродных видов простейших и исследования их влияния на местные экосистемы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках научно-исследовательского проекта “Биоразнообразие и продуктивность экосистем заливов и бухт северо-восточной части Черного моря и Азовского моря в условиях интенсификации судоходства” Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (НИОКТР № 122022200398-7).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор данной работы заявляет, что у нее нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алимов А.Ф., Орлова М.И., Панов В.Е. Последствия интродукций чужеродных видов для водных экосистем и необходимость мероприятий по их предотвращению // Виды-вселенцы в европейских

- морях России. Апатиты: Кольский науч. центр РАН, 2000. С. 12–23.
- Гаврилова Н.А. Микрзоопланктон (Tintinnidae) // Роль вселенцев в формировании структуры, биоразнообразия и продуктивности эстуарных систем Азовского и Черного морей. Ростов н/Д.: Южный науч. центр, 2010. С. 63–69.
- Гаврилова Н.А., Довгаль И.А. Раковинные планктонные инфузории (Ciliophora, Tintinnida) Черного и Азовского морей / ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского РАН. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2019. 176 с. <https://doi.org/10.21685/1680-0826-2016-10-3-3>
- Дгебуадзе Ю.Ю. Чужеродные виды: экологическая угроза // Наука в России. 2013. № 6. С. 95–102.
- Звягинцев А.Ю., Радашевский В.И., Ивин В.В. и др. Чужеродные виды в дальневосточных морях России // Российск. журн. биол. инвазий. 2011. Т. 4. № 2. С. 44–73.
- Звягинцев А.Ю., Селифонова Ж.П. Гидробиологические исследования балластных вод коммерческих судов в портах Новороссийска и Владивостока // Океанология. 2010. Т. 50. № 6. С. 925–933.
- Лебедев С.А. Порт Тамань: проторенными маршрутами к новым результатам // Морские порты. 2023. Т. 219. № 8. URL: <https://morvesti.ru/exclusive/106614/?ysclid=lyua6ilwvq566908930> (дата обращения: 23.07.2024).
- Селифонова Ж.П. *Amphorellopsis acuta* (Ciliophora: Spirotrichea: Tintinnida) – новый вид тинтиннид в Черном море // Морск. экол. журн. 2011. Т. 10. № 1. С. 85.
- Усачев П.И. Общая характеристика фитопланктона морей СССР // Успехи современной биол. 1947. Т. 2. № 3. С. 265–288.
- Abou Zaid M.M., Hellal A.M. Tintinnids (Protozoa: Ciliata) from the coast of Hurghada Red Sea, Egypt // Egypt. J. Aquat. Res. 2012. V. 38. № 4. P. 249–268.
- Al-Yamani F.Y., Skryabin V., Gubanova A. et al. Marine Zooplankton Practical Guide for the Northwestern Arabian Gulf, Kuwait: Kuwait Inst. Sci. Res. 2011. V. 1.
- Balkis N., Koray T. A Check-List of tintinnids (Protozoa: Ciliophora) in the coastal zone of Turkey // Pak. J. Zool. 2014. V. 46. P. 1029–1038.
- Cariou J.-B., Dolan J.R., Dallot S. A preliminary study of tintinnid diversity in the NW Mediterranean Sea // J. Plankton Res. 1999. V. 2. № 6. P. 1065–1075.
- Carlton J.T. Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water // Oceanogr. Mar. Biol. 1985. V. 23. P. 313–371.
- Carlton J.T., Geller J.B. Ecological roulette: the global transport of non-indigenous marine organisms // Science. 1993. V. 26. P. 78–82.
- Coats D.W., Clamp J.C. Ciliated protists (Ciliophora) of the Gulf of Mexico // Gulf of Mexico Origin, Waters, and Biota. V. 1: Biodiversity. Felder D.L. and Camp D.K. (Eds.). Texas: Texas A&M Univ. Press, 2009. P. 57–79.
- David M., Gollasch S., Cabrini M. et al. Result from the first ballast water sampling study in the Mediterranean Sea – the Port of Koper study // Mar. Pollut. Bull. 2007. V. 54. P. 53–65.
- Dolan J.R., Pierce R.W. Tintinnid ciliates of the marine plankton // Biogeographic Atlas of the Southern Ocean, Cambridge: Sci. Comm. Antarct. Res. 2014. P. 254–259.
- Dorgham M.M., Abdel-Aziz E.N., El-Ghobashy E.A. et al. Preliminary study on protozoan community in Damietta Harbor, Egypt // Global Vet. 2009. V. 3. P. 495–502.
- Durmus T., Balci M., Balkis-Ozdelice N. Species of genus *Tintinnopsis* Stein, 1867 in Turkish coastal waters and new record of *Tintinnopsis corniger* Hada, 1964 // Pak. J. Zool. 2011. V. 44. № 2. P. 383–388.
- Fernandes L.F. Tintinnina (Ciliophora, Tintinnina) de águas subtropicais na região Sueste-Sul do Brasil. II. Familias Dictyocystidae, Rhabdonellidae, Tintinnidae e Xystonellidae // Rev. Bras. Zool. 2004. V. 21. № 3. P. 605–628.
- Gavrilova N.A., Dovgal I.V. Tintinnid ciliates (Spirotrichea, Choreotrichia, Tintinnida) of the Black Sea: Recent invasions // Protistology. 2016. 10. P. 91–96. <https://doi.org/10.21685/1680-0826-2016-10-3-3>
- Heiskanen A.-S., Berg T., Uusitalo L. et al. Biodiversity in marine ecosystems – European developments toward robust assessments // Front. Mar. Sci. 2016. V. 3. P. 184. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00184>
- Invasive Aquatic Species of Europe. Distribution, Impacts and Management // Leppäkoski E., Gollasch S., and Olenin S. (Eds.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2002.
- Katsanevakis S., Bogucarskis K., Gatto F. et al. Building the European Alien Species Information Network (EASIN): A novel approach for the exploration of distributed alien species data // BioInvasions Rec. 2012. V. 1. P. 235–245. <http://dx.doi.org/10.3391/bir.2012.1.4.01>
- Lee J.-B., Kim Y.-H. Distribution of tintinnids (Loricata Ciliates) in East Asian waters in summer, in Coastal Environmental and Ecosystem Issues of the East

- China Sea. Tokyo: Terra Scientific Publishing Co., Nagasaki Univ. 2010. P. 173–180.
- Njire J., Bojanic N., Davor Ljčić D., Violic I. First record of the alien tintinnid ciliate *Rhizodorus tagatzii* Strelkow and Wirketis 1950 in the Adriatic Sea // *Water*. 2023. V. 15. № 10. Art. ID 1821. <https://doi.org/10.3390/w15101821>
- Panov V.E., Krylov P.I., Telesh I.V. The St. Petersburg harbour profile // Initial Risk Assessment of Alien Species in Nordic Coastal Waters. Gollasch S., Leppakoski E. (Eds.). Copenhagen: Nord, 1999. P. 225–244.
- Pierce R.W., Carlton J.T., Carlton D.A., Geller J.B. Ballast water as a vector for tintinnid transport // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1997. V. 149. P. 295–297.
- Saccà A., Giuffrè G. Biogeography and ecology of *Rhizodorus tagatzii*, a presumptive invasive tintinnid ciliate // *J. Plankton Res.* 2013. P. 1–13. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbt036>
- Saccà A., Strüder-Kypke M.C., Lynn D.N. Redescription of *Rhizodorus tagatzii* (Ciliophora: Spirotrichea: Tintinnida), Based on Morphology and Small Subunit Ribosomal RNA Gene Sequence // *J. Eukaryotic Microbiol.* 2012. V. 59. № 3. P. 218–231. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.2012.00615.x>
- Santiago J.A., Lagman M.C. Species check-list for Tintinnids of the Philippines Archipelago (Protozoa, Ciliophora) // *ZooKeys*. 2018. V. 771. P. 1–14. <https://doi.org/10.3897/zookeys.771.24806>
- Selifonova Zh.P. Marine biological invasions in the Liman “Zmeinoye Ozero” (Snake Lake) ecosystem, the north-eastern Black Sea // *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.* 2015. V. 95. P. 453–459. <https://doi.org/10.1017/S0025315414001921>
- Selifonova Zh.P., Makarevich P.R. Invasive alien species of tintinnid ciliates from the northeastern Black Sea, Russian and Abkhazian coast // *Protistology*. 2018. V. 12. № 4. P. 185–190. <https://doi.org/10.21685/1680-0826-2018-12-4-3>
- Shiganova T.A., Kamakin A.M., Pautova L.A. et al. An impact of non-native species invasions on the Caspian Sea biota // *Adv. Mar. Biol.* 2023. V. 94. P. 69–157. <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2023.01.002>
- Sorokin Yu.I. The Black Sea: Ecology and Oceanography. Amsterdam: Backhuys Publishers, 2002.
- Tabarcea C., Harcotă G.-E., Lazăr L. Diversity and dynamics of tintinnid communities from Romanian Black Sea in 2021 // *Cercetări Mar.* 2023. V. 53. P. 40–49. <https://doi.org/10.55268/CM.2023.53.40>
- Telesh I.V., Naumenko E.N. The impact of nuisance planktonic invaders on pelagic communities: a review of the Baltic Sea case studies // *Protistology*. 2021. T. 15. № 4. P. 206–219.
- Telesh I.V., Naumenko E.N. Ambivalence of planktonic invaders and transformation of communities // *Inland Water Biol.* 2024. V. 17. № 1. P. 188–196.
- Yurga L. Non-native two new Tintinnida (Oligotrichida) taxa in Izmir Bay: *Leptotintinnus nordquisti* (Brandt 1906) ve *Tintinnopsis corniger* (Hada, 1964) // *Ege J. Fish. Aquat. Sci.* 2012. V. 29. P. 69–72. <https://doi.org/10.12714/egejfas.2012.29.2.5000156436>

Outbreaks of Alien Tintinnid Ciliates *Rhizodorus tagatzii* Strelkow & Wirketis, 1950 and *Amphorellopsis acuta* (Schmidt, 1902) (Ciliophora, Tintinnida) in the Port of Taman, Black Sea

Zh. P. Selifonova

Admiral Ushakov Maritime State University, Novorossiysk 353924, Russia

New outbreaks of alien species of shelled ciliates (Tintinnida) in the northeastern Black Sea are reported. Zooplankton samples were collected in the late biological summer and the fall of 2023 in the Black Sea, in the coastal zone of the port of Taman. In the study area, a total of 10 species of tintinnids were identified, among which seven were alien species. Outbreaks of the invasive tintinnids *Rhizodorus tagatzii* and *Amphorellopsis acuta* were recorded for the first time from the waters of the port of Taman. A well-defined peak of *R. tagatzii* abundance was recorded in September (518×10^3 cells/m³) and *A. acuta* in November (310×10^3 cells/m³). During these months, these species accounted for >99% of the total abundance of tintinnids, which indicated the formation of their populations. The abundance of *R. tagatzii* was the highest ever reported for the Black Sea. It is assumed that the intensive shipping traffic and increased cargo turnover characteristic of the Taman coast of the Black Sea and the Kerch Strait contribute to the spread of alien marine shelled ciliates with ship ballast water.

Keywords: alien shelled ciliates, Black Sea, summer–fall abundance dynamics, taxonomic composition

НАМ 50 ЛЕТ! К ЮБИЛЕЮ ЖУРНАЛА “БИОЛОГИЯ МОРЯ”

© 2024 г. Ю. А. Требухова (ORCID: 0000-0003-0538-6005)

*Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского (ННЦМБ) ДВО РАН,
Владивосток 690041, Россия
e-mail: trebukhova@gmail.com*

Поступила в редакцию 13.06.2024 г.

После доработки 09.07.2024 г.

Принята к публикации 15.08.2024 г.

В 2024 г. исполнилось 50 лет журналу “Биология моря”, основанному Алексеем Викторовичем Жирмунским. 10 марта 1972 г. на заседании Бюро отделения океанологии, физики атмосферы и географии (ООФАиГ АН СССР) был заслушан доклад профессора А.В. Жирмунского о новом журнале “Морская биология”. Комиссия поддержала предложение Президиума Дальневосточного научного центра АН СССР и Отделения общей биологии АН СССР об организации нового научного журнала Академии наук СССР “Морская биология”, имея ввиду его издание в г. Владивостоке, периодичностью 6 номеров в год, объемом 6 печатных листов каждый. В декабре 1973 г. Президиум Академии наук СССР принял Постановление о создании во Владивостоке журнала “Биология моря” — печатного органа Отделения общей биологии АН СССР и Дальневосточного научного центра АН СССР. В 1975 г. вышли первые 6 номеров нового журнала (рис. 1). До этого морские биологии, работавшие в разных научных учреждениях Советского Союза, не имели “своего” журнала и печатались в различных изданиях, где статьи терялись в потоке информации, не относящейся к морской биологии. Именно журнал “Биология моря” был призван объединить морских биологов и координировать исследования в стране. С первых же выпусков журнал начал публиковать результаты фундаментальных и прикладных исследований на морских объектах в различных областях биологии, освещать практические вопросы сохранения,

рационального использования и воспроизводства биологических ресурсов морей и океанов.

Будучи еще молодым исследователем, Алексей Викторович поступил на редакторские курсы, поскольку увлекался литературным творчеством. Отец Алексея Викторовича, Виктор Максимович Жирмунский (1891–1971), был известным российским и советским филологом и литературоведом. Он внес значительный вклад в развитие отечественной филологии.

Алексей Викторович Жирмунский много и легко писал, грамотно редактировал рукописи. Он вдохновлял молодых ученых и опытных исследователей на изучение русского языка и совершенствование навыков написания научных статей. При создании журнала “Биология моря” Алексей Викторович выдвигал принцип, который применял ранее при организации журнала “Цитология”: “Если формируется область фундаментальной науки как часть общественной культуры, то должна быть область, в которой научные сотрудники могут и обязаны отчитываться о результатах своей деятельности перед обществом”. С первых же выпусков журнал переводился на английский язык, что способствовало налаживанию контактов с издательствами зарубежных журналов, ведущими учеными и морскими биологами мира. А.В. Жирмунский вывел журнал “Биология моря” на должный уровень и, хотя ушел с поста главного редактора, до конца своих дней работал в редколлегии. В 2000 году, в год 25-летия журнала, академик Алексей Викторович Жирмунский ушел из жизни.



Рис. 1. Обложка первого номера журнала “Биология моря”.

На страницах 50-ти томов журнала “Биология моря” собраны оригинальные исследования, обзорные статьи и краткие сообщения, рецензии на периодические издания, хроника научной жизни биологических институтов и лабораторий Советского Союза и современной России. Со дня основания журнала ведущей редакцией была Валентина Ивановна Кошенец, ветеран Великой Отечественной войны, выпускница филологического факультета Ленинградского университета. В.И. Кошенец учила авторов правильной речи и профессиональному изложению текста. С 1996 года ее эстафету приняла Нина Михайловна Долгова. Ответственным секретарем в течение многих лет был Владимир Васильевич Гульбин.

С первых дней в журнале “Биология моря” активно публиковались сотрудники Института биологии моря (реорганизованного в 2016 г. в Национальный научный центр морской

биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН). Это дало возможность представлять свои данные молодым исследователям, не имеющим достаточного опыта публикации в зарубежных изданиях.

В 1970-е годы журнал переводился издательством “Plenum” в США. В начале 1990-х годов издательству были предложены услуги профессиональных переводчиков Института биологии моря. Перевести несколько статей для американского издательства разрешили Ирине Анатольевне Барсеговой. Какое-то время Институт биологии моря ДВО РАН изготавливал оригинал-макет английского номера с последующей его пересылкой в США. С тех пор переводы выполнялись в ИБМ (он стал официальным исполнителем заказа) и в тесном контакте с авторами.

До 1992 г. журнал переводился на английский язык под названием The Soviet Journal of Marine Biology. С 3-го выпуска 1992 г. и по настоящее время — под названием Russian Journal of Marine Biology. Роль журнала в международной науке неоспорима. За прошедшие годы менялись издательства, изменялась организация работы с рукописями, однако перерывов в издании версии журнала на английском языке не было. За десятилетия выпуска переводной версии иностранная аудитория ознакомилась с многочисленными достижениями российских исследователей.

Новейшая история журнала “Биология моря” может быть прослежена по многочисленным публикациям хроники как в самом журнале, так и в СМИ. Качество печати становилось все лучше. Дизайн обложки прошел несколько этапов изменений и в итоге приобрел современный и стильный вид (рис. 2).

“Биология моря” — один из первых журналов РАН, включенный в пилотный проект организованной Российским фондом фундаментальных исследований Научной электронной библиотеки (НЭБ), созданной с целью обеспечения российских ученых, инженеров, преподавателей, студентов актуальной научной информацией (ныне E-library). С 2004 г. он размещен в открытом доступе в базе РИНЦ с полным соблюдением норм авторского права. На странице РИНЦ доступен список выпусков



Рис. 2. Обложки журнала “Биология моря” разных лет.

журнала с 1975 г., данные о просмотрах статей журнала, анализ публикационной активности.

Расширяется круг ученых, публикующих свои статьи на страницах журнала. Так, за последние 5 лет по числу работ лидируют статьи сотрудников ННЦМБ ДВО РАН (115), Дальневосточного федерального университета (40), Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (26), Института биологии южных морей им. В.О. Ковалевского РАН (25), Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН (14). Ежегодно в журнале публикуется множество статей зарубежных авторов. Если на первых порах существования журнала публиковались только переводы статей, то сейчас авторы присылают оригинальные материалы. В период с 2019 по 2023 годы на страницах журнала

были опубликованы работы авторов из Китая (15), Индии (9), Ирана (7), Турции (4), Туниса (2), Социалистической Республики Вьетнам (4), Египта (2), Алжира (1) и других государств.

Журнал остается авторитетным изданием, где российские и зарубежные биологи могут представить свои работы. Он актуален и продолжает способствовать развитию науки. Во многом это заслуга членов редакционной коллегии — ученых-биологов. С основания журнала редакционная коллегия работала над его совершенствованием. Именно их работа позволила сохранить и развить журнал. Редколлегия несет большую ответственность за отбор научных работ. В нее входят специалисты, обладающие знаниями в различных областях биологии. В составе редколлегии — 4 академика РАН и 4 чл.-корр. РАН, ведущие ученые России и Дальнего Востока.

После ухода А.В. Жирмунского журнал “Биология моря” возглавляли Владимир Леонидович Касьянов, Андрей Владимирович Адрианов и Юрий Степанович Хотимченко.

В июне 2024 года главным редактором журнала “Биология моря” назначен директор ННЦМБ ДВО РАН, член-корреспондент РАН Игорь Юрьевич Долматов. Заместитель главного редактора Сергей Львович Кондрашев курирует переводную версию журнала. Вячеслав Петрович Шунтов, доктор биологических наук, профессор и главный научный сотрудник Тихоокеанского филиала ВНИРО, является членом редколлегии со дня основания журнала и продолжает активно работать спустя полвека. “На протяжении многих лет его энциклопедические знания о рыбах, морских млекопитающих и птицах, об их биологии и экологии, а также о промысле и труде ихтиологов буквально выручают редакцию, как и понимание политики государства в рыбной отрасли и владение промысловой ситуацией на громадной акватории западной Пацифики”, — написала в своей последней книге Надежда Константиновна Христофорова (Христофорова, 2023).

В настоящее время заведующий редакцией журнала “Биология моря” — Игорь Геннадьевич Кухарь, ответственный секретарь — к.б.н. Юлия Константиновна Зограф.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность С.Л. Кондрашеву и О.М. Корн за внимательную вычитку рукописи и полезные замечания.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор данной работы заявляет, что у нее нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Христофорова Н.К. Академик А.В. Жирмунский и его институт (к 100-летию со дня рождения академика А.В. Жирмунского). Владивосток: Дальнаука, 2023.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Том 50, 2024 г.

	Т.	С.
Абдрахманова О.Т. см. Журавель Е.В. и др.	4	290
Абдуллин Ш.Р. см. Афанасьев Д.Ф., Абдуллин Ш.Р.	2	143
Аганесова Л.О., Ханайченко А.Н. Влияние вида и концентрации микроводорослей на рацион и продукцию яиц у копепод <i>Calanipeda aquaedulcis</i> Krichagin, 1873 и <i>Arctodiaptomus salinus</i> (Daday, 1885)	3	217
Андреев Т.И. см. Гостюхина О.Л., Андреев Т.И.	3	191
Аникеева О.В. см. Сергеева Н.Г., Аникеева О.В.	2	104
Аристов Д.А. см. Михайлова Т.А. и др.	4	311
Артеменков Д.В. см. Пронина Г.И. и др.	4	257
Афанасьев Д.Ф., Абдуллин Ш.Р. Синтаксономия класса <i>Zosteretea</i> Pignatti 1953 восточной части Черного и Азовского морей	2	143
Бакунина И.Ю. см. Киселёва М.И. и др.	5	380
Барабанщиков Ю.А. см. Рюмина А.А. и др.	3	229
Басараба А.Д., Есипова П.В., Щербакова Е.А., Катин И.О. Рационы и динамика массы тела ларги <i>Phoca largha</i> (Pallas, 1811) при содержании в морских вольерах открытого типа	4	280
Беленева И.А., Харченко У.В. Эколого-биологические аспекты воздействия наночастиц и токсичных форм металлов на морские и условно-патогенные бактерии	3	203
Белич Т.В. см. Садогурский С.Е. и др.	1	79
Белоус О.С., Скрипцова А.В. История систематики трибы Laurencieae (Ceramiales, Rhodophyta) и проблемы исследования ее представителей в дальневосточных морях России	2	91
Беседнова Н.Н. см. Кузнецова Т.А. и др.	3	179
Богданович Ю.В. см. Солдатов А.А. и др.	6	417
Бойченко Т.В. см. Лазарюк А.Ю. и др.	5	366
Бомко С.П. см. Пронина Г.И. и др.	4	257
Василец В.Е. см. Силкин Ю.А. и др.	1	51
Вишняков В.С. см. Михайлова Т.А. и др.	4	311
Вялова О.Ю. Изменение метаболизма двустворчатого моллюска <i>Anadara kagoshimensis</i> Tokunaga, 1906 (Bivalvia: Arcidae) в условиях апвеллинга в Черном море (экспериментальные данные)	4	301
Глубоковский М.К., Животовский Л.А. Новый вид тихоокеанских лососей горбушка Крашенинникова <i>Oncorhynchus gorbuschka</i> sp. nova: описание и генезис таксона	2	166
Горяев Ю.И. см. Горяева А.А., Горяев Ю.И.	2	157
Горяева А.А., Горяев Ю.И. Первое описание синантропной колонии обыкновенной моевки <i>Rissa tridactyla</i> (Linnaeus, 1758) в городе Мурманск	2	157
Гостюхина О.Л., Андреев Т.И. Антиоксидантный комплекс черноморского двустворчатого моллюска <i>Flexopecten glaber ponticus</i> (Bucquo, Dautzenberg et Dollfus, 1889) в естественных условиях обитания	3	191
Грицай Е.В. см. Пронина Г.И. и др.	4	257
Грушко М.П. см. Нгуен Т.Х.В. и др.	3	245
Ежова Е.Е. см. Карасева Е.М., Ежова Е.Е.	1	62
Есипова П.В. см. Басараба А.Д. и др.	4	280
Жданов С.В. Морфология сейсмочувствительной системы изменчивого щекорога <i>Bovichtus variegatus</i> Richardson, 1846 (Pisces: Bovichtidae)	2	136

Животовский Л.А. см. Глубоковский М.К., Животовский Л.А.	2	166
Журавель Е.В., Мазур М.А., Абдрахманова О.Т., Тюнина М.А. Использование батареи биотестов для оценки загрязнения морских донных осадков на примере залива Восток (зал. Петра Великого, Японское море)	4	290
Запорожец Т.С. см. Кузнецова Т.А. и др.	3	179
Зуев Ю.А. см. Русяев С.М. и др.	5	361
Ившина Э.Р., Метленков А.В. Некоторые данные по распределению и биологии японского волосозуба <i>Arctoscopus japonicus</i> (Steindachner, 1881) в прибрежных водах острова Сахалин	5	387
Имбс Т.И. см. Киселёва М.И. и др.	5	380
Кавун В.Я. Сравнительная оценка содержания ряда тяжелых металлов в мягких тканях <i>Mytilus trossulus</i> A. Gould, 1850, <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819 (Bivalvia: Mytilidae) и их гибридных форм из бухты Миноносок залив Петра Великого (Японское море)	1	42
Карасева Е.М., Ежова Е.Е. Многолетние изменения в сезонной и межгодовой динамике численности икры массовых видов пелагофильных рыб в Гданьской впадине Балтийского моря	1	62
Катин И.О. см. Басараба А.Д. и др.	4	280
Катин И.О. см. Тиунов И.М., Катин И.О.	5	401
Качур Д.И. см. Шульгина М.А., Качур Д.И.	1	70
Киселёва М.И., Имбс Т.И., Бакунина И.Ю. Влияние флоретол бурой водоросли <i>Costaria costata</i> (Turn.) Saund (отряд Laminariales) на гаметы и эмбриогенез морского ежа <i>Strongylocentrotus intermedius</i> (A. Agassiz, 1864)	5	380
Ковардаков С.А., Родионова Н.Ю. Межгодовая динамика структурно-функциональных характеристик макрофитобентоса прибрежной зоны рекреационного комплекса (Севастополь, Черное море)	5	337
Кокоулин М.С. см. Кузнецова Т.А. и др.	3	179
Корниенко Е.С. Репродуктивные характеристики рака-отшельника <i>Pagurus middendorffii</i> Brandt, 1851 (Decapoda: Paguridae) из залива Петра Великого Японского моря	5	349
Кузнецова Т.А., Беседнова Н.Н., Запорожец Т.С., Кокоулин М.С., Хотимченко Ю.С., Щелканов М.Ю. Антивирусный потенциал полисахаридов морских бактерий	3	179
Лазарюк А.Ю., Христофорова Н.К., Бойченко Т.В. Амурский залив: гидролого-гидрохимические и микробиологические показатели в период действия летнего муссона	5	366
Мазур М.А. см. Журавель Е.В. и др.	4	290
Маркина Ж.В. К юбилею Нины Александровны Айздайчер - основателя коллекции культур морских одноклеточных водорослей в Национальном научном центре морской биологии ДВО РАН	4	325
Маркина Ж.В., Подоба А.В., Орлова Т.Ю. Динамика численности клеток, интенсивность флуоресценции хлорофилла <i>a</i> и содержание фотосинтетических пигментов у <i>Thalassiosira nordenskioeldii</i> Cleve 1873 (Bacillariophyta) при загрязнении среды медью	4	320
Матвеев А.А. см. Пронина Г.И. и др.	4	257
Метленков А.В. см. Ившина Э.Р., Метленков А.В.	5	387
Михайлова Т.А., Халаман В.В., Футоран П.А., Усов Н.В., Аристов Д.А., Вишняков В.С., Романов Р.Е. Макроводоросли Унской губы Белого моря	4	311
Морозов Т.Б., Санамян Н.П., Санамян К.Э. Последствия воздействия вредоносного “цветения” водорослей на донных беспозвоночных на шельфе восточной Камчатки	6	427
Нгуен Т.Х.В., Грушко М.П., Федорова Н.Н., Чаплыгин В.А. Нарушения гистологического строения печени обыкновенной кильки в условиях антропогенной нагрузки (<i>Clupeonella cultriventris caspia</i> , Svetovidov, 1941)	3	245
Орлов А.М. см. Пронина Г.И. и др.	4	257
Орлова Т.Ю. см. Маркина Ж.В.	4	320
Осипова М.А. см. Шатилина Т.А. и др.	6	407
Павлова Л.В. см. Русяев С.М. и др.	5	361
Пермяков П.А., Рязанов С.Д. Результаты трансектных наблюдений за морскими млекопитающими в Татарском проливе и на переходах в сопредельных акваториях осенью 2018 г.	3	239

Подоба А.В. см. Маркина Ж.В.	4	320
Поезжалова-Чегодаева Е.А. Морфологическая изменчивость двурогих бычков рода <i>Eno-</i> <i>phrys</i> Swainson, 1839 (Cottidae)	4	266
Пронина Г.И., Орлов А.М., Артеменков Д.В., Бомко С.П., Грицай Е.В., Матвеев А.А. Гема- тологические особенности тресковых рыб (Gadidae) Северо-Западной Пацифики	4	257
Радченкова Т.В. см. Шатилина Т.А. и др.	6	407
Родионова Н.Ю. см. Ковардаков С.А., Родионова Н.Ю.	5	337
Романов Н.С. Флуктуирующая асимметрия некоторых признаков у сахалинской красно- перки <i>Pseudaspius sachalinensis</i> (Nikolskii, 1889) (Cypriniformes, Leuciscidae)	2	124
Романов Р.Е. см. Михайлова Т.А. и др.	4	311
Русяев С.М., Павлова Л.В., Зуев Ю.А. Находки спаривающихся особей северного литода <i>Lithodes maja</i> Linnaeus, 1758 (Decapoda: Lithodidae) в российских водах Баренцева моря	5	361
Рычкова В.Н. см. Солдатов А.А. и др.	6	417
Рюмина А.А., Тищенко П.Я., Шкирикова Е.М., Барабанщиков Ю.А. Содержание тяже- лых металлов в морской траве <i>Zostera marina</i> Linnaeus 1753, в бухте Воевода (Амурский за- лив, Японское море).....	3	229
Рязанов С.Д. см. Пермяков П.А., Рязанов С.Д.	3	229
Садогурская С.А. см. Садогурский С.Е. и др.	1	79
Садогурский С.Е., Белич Т.В., Садогурская С.А. Распространение <i>Dasya hutchinsiae</i> Harvey, 1833 (Ceramiales, Rhodophyta) в Северном Причерноморье	1	79
Санамян К.Э. см. Морозов Т.Б. и др.	6	427
Санамян Н.П. см. Морозов Т.Б. и др.	6	427
Селифонова Ж.П. Вспышки численности чужеродных видов инфузорий <i>Rhizodamus tagat-</i> <i>zi</i> Strelkov & Wirketis, 1950 и <i>Amphorellopsis acuta</i> Schmidt, 1902 (Ciliophora, Tintinnida) в Та- манском порту (Черное море)	6	446
Сергеева Н.Г., Аникеева О.В. Первые исследования бентосных мягкоракровинных фора- минифер и громиид (Protozoa) в северо-западной части Японского моря	2	104
Силкин М.Ю. см. Силкин Ю.А. и др.	1	51
Силкин Ю.А., Силкина Е.Н., Силкин М.Ю., Василец В.Е. Гематологические показатели скор- пены <i>Scorpaena porcus</i> Linnaeus, 1758 в условиях экспериментальной гипотермии <i>in vivo</i>	1	51
Силкина Е.Н. см. Силкин Ю.А. и др.	1	51
Скрипцова А.В. см. Белоус О.С., Скрипцова А.В.	2	91
Скрипцова А.В., Стоник И.В. Диатомеи как эндофиты морских макроводорослей: разно- образие и взаимоотношения с базифитом	5	329
Солдатов А.А., Богданович Ю.В., Шалагина Н.Е., Рычкова В.Н. Влияние острой гипок- сии и сероводородного заражения на активность сукцинатдегидрогеназы и аденилатный комплекс тканей двустворчатого моллюска <i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906)	6	417
Стоник И.В. см. Скрипцова А.В., Стоник И.В.	5	329
Тиунов И.М., Катин И.О. Численность тонкокловый кайры <i>Uria aalge</i> (Pontoppidan, 1763) (Charadriiformes: Alcidae) залива Петра Великого Японского моря	5	401
Тищенко П.Я. см. Рюмина А.А. и др.	3	229
Требухова Ю.А. Нам — 50 лет! К юбилею журнала “Биология моря”	6	454
Тюнина М.А. см. Журавель Е.В. и др.	4	290
Усов Н.В. см. Михайлова Т.А. и др.	4	311
Федорова Н.Н. см. Нгуен Т.Х.В. и др.	3	245
Футоран П.А. см. Михайлова Т.А. и др.	4	311
Халаман В.В. см. Михайлова Т.А. и др.	4	311
Ханайченко А.Н. см. Аганесова Л.О., Ханайченко А.Н.	3	217
Харченко У.В. см. Беленева И.А., Харченко У.В.	3	203
Хотимченко Ю.С. см. Кузнецова Т.А. и др.	3	179
Хотимченко Ю.С., Щелканов М.Ю. Вирусы океана: на берегах <i>Aqua incognita</i> . Горизонты таксономического разнообразия	1	3

Христофорова Н.К. см. Лазарюк А.Ю. и др.	5	366
Цициашвили Г.Ш. см. Шатилина Т.А. и др.	6	407
Чаплыгин В.А. см. Нгуен Т.Х.В. и др.	3	245
Шалагина Н.Е. см. Солдатов А.А. и др.	6	417
Шатилина Т.А., Цициашвили Г.Ш., Осипова М.А., Радченкова Т.В. Оценка влияния региональных климатических условий на численность горбуши <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> Японского моря в 1980–2023 гг.	6	407
Шкирникова Е.М. см. Рюмина А.А. и др.	3	229
Шульгина М.А., Качур Д.И. Новый для морей России вид диатомовой водоросли <i>Thalassiosira tealata</i> Takano, 1980 (Bacillariophyta)	1	70
Щелканов М.Ю. см. Кузнецова Т.А. и др.	3	179
Щелканов М.Ю. см. Хотимченко Ю.С., Щелканов М.Ю.	1	3
Щербакова Е.А. см. Басараба А.Д. и др.	4	280

Index of authors

V. 50, 2024

	№	P.
Abdrakhmanova O.T. see Zhuravel E.V. et al.	4	290
Abdullin Sh.R. see Afanasyev D.F., Abdullin Sh.R.	2	143
Afanasyev D.F., Abdullin Sh.R. Syntaxonomy of the Class <i>Zosteretea</i> Pignatti 1953 of the Eastern Part of the Black and Azov Seas	2	143
Aganesova L.O., Khanaychenko A.N. Effect of Microalgae Species and Concentration on Grazing Rate and Egg Production of Copepods <i>Calanipeda aquaedulcis</i> Kritschagin, 1873 and <i>Arctodiaptomus salinus</i> (Daday, 1885)	3	217
Andreenko T.I. see Gostyukhina O.L., Andreenko T.I.	3	191
Anikeeva O.V. see Sergeeva N.G., Anikeeva O.V.	2	104
Aristov D.A. see Mikhaylova T.A. et al.	4	311
Artemenkov D.V. see Pronina G.I. et al.	4	257
Bakunina I.Yu. see Kiseleva M.I. et al.	5	380
Barabanshchikov Yu.A. see Ryumina A.A. et al.	3	229
Basaraba A.D., Esipova P.V., Scherbakova E.A., Katin I.O. Diet and Body Weight Dynamics in the Spotted Seal, <i>Phoca largha</i> Pallas, 1811, Kept in Sea Pens	4	280
Beleneva I.A., Kharchenko U.V. Ecological and Biological Aspects of Effect of Nanoparticles and Toxic Forms of Metals on Marine and Opportunistic Bacteria	3	203
Belich T.V. see Sadogurskiy S.Ye. et al.	1	79
Belous O.S., Skriptsova A.V. The Systematic History of the Tribe Laurencieae (Ceramiales, Rhodophyta) and the problems in studying representatives of this Taxon in the Far Eastern Seas of Russia	2	91
Besednova N.N. see Kuznetsova T.A. et al.	3	179
Bogdanovich Yu.V. see Soldatov A.A. et al.	6	417
Bomko S.P. see Pronina G.I. et al.	4	257
Boychenko T.V. see Lazaryuk A.Yu. et al.	5	366
Chaplygin V.A. see Nguyen H.V. et al.	3	245
Esipova P.V. see Basaraba A.D. et al.	4	280
Ezhova E.E. see Karaseva E.M., Ezhova E.E.	1	62
Fedorova N.N. see Nguyen H.V. et al.	3	245
Futoran P.A. see Mikhaylova T.A. et al.	4	311
Glubokovsky M.K., Zhivotovsky L.A. A New Species of Pacific Salmon – Rosy Salmon <i>Oncorhynchus gorbuschka</i> sp. nova: Description and Genesis of the Taxon	2	166

Goryaev Yu.I. see Goryaeva A.A., Goryaev Yu.I.	2	157
Goryaeva A.A., Goryaev Yu.I. The First Description of a Synanthropic Colony of Common Kittiwake <i>Rissa tridactyla</i> (Linnaeus, 1758) in the City of Murmansk	2	157
Gostyukhina O.L., Andreenko T.I. Antioxidant Complex of the Black Sea Bivalve <i>Flexopecten glaber ponticus</i> (Bucquoy, Dautzenberg et Dollfus, 1889) in Natural Habitat	3	191
Gritsai E.V. see Pronina G.I. et al.	4	257
Grushko M.P. see Nguyen H.V. et al.	3	245
Imbs T.I. see Kiseleva M.I. et al.	5	380
Ivshina E.R., Metlenkov A.V. Some Data on Distribution and Biology of the Japanese Sandfish <i>Arctoscopy japonicus</i> (Steindachner, 1881) in Coastal Waters of Sakhalin Island	5	387
Kachur D.I. see Shulgina M.A., Kachur D.I.	1	70
Karaseva E.M., Ezhova E.E. Long-Term Changes in the Seasonal and Interannual Dynamics of the Abundance of Eggs of Common Pelagophilic Fish Species in the Gdansk Deep of the Baltic Sea	1	62
Katin I.O. see Basaraba A.D. et al.	4	280
Katin I.O. see Tiunov I.M., Katin I.O.	5	401
Kavun V.Ya. A Comparative Assessment of the Content of a Number of Heavy Metals in the Soft Tissues of <i>Mytilus trossulus</i> A. Gould, 1850, <i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819 (Bivalvia: Mytilidae) and Their Hybrid Forms From Minonosok Bay of Peter the Great Bay (Sea of Japan) ...	1	42
Khalaman V.V. see Mikhaylova T.A. et al.	4	311
Khanaychenko A.N. see Aganesova L.O., Khanaychenko A.N.	3	217
Kharchenko U.V. see Beleneva I.A., Kharchenko U.V.	3	203
Khotimchenko Yu.S. see Kuznetsova T.A. et al.	3	179
Khotimchenko Yu.S., Shchelkanov M.Yu. Viruses of the Ocean: On the Shores of the Aqua Incognita. Horizons of the Taxonomic Diversity	1	3
Khristorova N.K. see Lazaryuk A.Yu. et al.	5	366
Kiseleva M.I., Imbs T.I., Bakunina I.Yu. Effect of Phlorethol from the Brown Alga <i>Costaria costata</i> (Turn.) Saund. (Order Laminariales) on Gametes and Embryogenesis of the Sea Urchin <i>Strongylocentrotus intermedius</i> (A. Agassiz, 1864)	5	380
Kokoulin M.S. see Kuznetsova T.A. et al.	3	179
Kornienko E.S. Reproductive Characteristics of the Hermit Crab <i>Pagurus middendorffii</i> Brandt, 1851 (Decapoda: Paguridae) from Peter the Great Bay, Sea of Japan	5	349
Kovardakov S.A., Rodionova N.Yu. Interannual Dynamics of Structural and Functional Characteristics of Macrophytobenthos in the Coastal Zone of a Recreational Complex (Sevastopol, Black Sea)	5	337
Kuznetsova T.A., Besednova N.N., Zaporozhets T.S., Kokoulin M.S., Khotimchenko Yu.S., Shchelkanov M.Yu. Antiviral Potential of Marine Bacteria Polysaccharides	3	179
Lazaryuk A.Yu., Khristorova N.K., Boychenko T.V. Amur Bay: Hydrological, Hydrochemical, and Microbiological Characteristics during Summer Monsoon	5	366
Markina Zh.V. The anniversary of the birth of Nina Alexandrovna Aizdaicher, the founder of a collection of marine unicellular algae cultures at the Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences	4	325
Markina Zh.V., Podoba A.V., Orlova T.Yu. Cell Number Dynamics, Chlorophyll <i>a</i> Fluorescence Intensity, and Photosynthetic Pigment Content in <i>Thalassiosira nordenskioeldii</i> Cleve 1873 (Bacillariophyta) Exposed to Environmental Copper Pollution	4	320
Matveev A.A. see Pronina G.I. et al.	4	257
Mazur M.A. see Zhuravel E.V. et al.	4	290
Metlenkov A.V. see Ivshina E.R., Metlenkov A.V.	5	387
Mikhaylova T.A., Khalaman V.V., Futoran P.A., Usov N.V., Aristov D.A., Vishnyakov V.S., Romanov R.E. Checklist of Macroalgae from Unskaya Inlet, White Sea	4	311
Morozov T.B., Sanamyan N.P., Sanamyan K.E. Consequences of Impact of Harmful Algal Bloom on Benthic Invertebrates in the Eastern Kamchatka Shelf	6	427
Nguyen H.V., Grushko M.P., Fedorova N.N., Chaplygin V.A. Structural Changes in Liver Histology in Common Kilka <i>Clupeonella caspia</i> Svetovidov, 1941 under Anthropogenic Pressure	3	245

Orlov A.M. see Pronina G.I. et al.	4	257
Orlova T.Yu. see Markina Zh.V. et al.	4	320
Osipova M.A. see Shatilina T.A. et al.	6	407
Pavlova L.V. see Rusyaev S.M. et al.	5	361
Permyakov P.A., Ryazanov S.D. Results of Transect Observations of Marine Mammals in the Tatar Strait and During Passages within Adjacent Water Areas in the Fall of 2018	3	239
Podoba A.V. see Markina Zh.V. et al.	4	320
Poezzhalova-Chegodaveva E.A. Morphological Variation in Antlered Sculpins of the Genus <i>Enophrys</i> Swainson, 1839 (Cottidae)	4	266
Pronina G.I., Orlov A.M., Artemenkov D.V., Bomko S.P., Gritsai E.V., Matveev A.A. Hematological Features of Codfishes (Gadidae) from the Northwest Pacific	4	257
Radchenkova T.V. see Shatilina T.A. et al.	6	407
Rodionova N.Yu. see Kovardakov S.A., Rodionova N.Yu.	5	337
Romanov N.S. Fluctuating Asymmetry of Some Characters in the Sakhalin Redfin <i>Pseudaspius sachalinensis</i> (Nikolskii, 1889) (Cypriniformes, Cyprinidae)	2	124
Romanov R.E. Mikhaylova T.A. et al.	4	311
Rusyaev S.M., Pavlova L.V., Zuyev Yu.A. Findings of Mating Individuals of the Northern Stone Crab <i>Lithodes maja</i> Linnaeus, 1758 (Decapoda: Lithodidae) in Russian Waters of the Barents Sea	5	361
Ryazanov S.D. see Permyakov P.A., Ryazanov S.D.	3	239
Rychkova V.N. see Soldatov A.A. et al.	6	417
Ryumina A.A., Tishenko P.Ya., Shkirnikova E.M., Barabanshchikov Yu.A. Heavy Metal Content in the Seagrass <i>Zostera marina</i> Linnaeus 1753, in Voevoda Bay (Amur Bay, Sea of Japan)	3	229
Sadogurskaya S.A. see Sadogurskiy S.Ye. et al.	1	79
Sadogurskiy S.Ye., Belich T.V., Sadogurskaya S.A. Distribution of <i>Dasya hutchinsiae</i> Harvey, 1833 (Ceramiales, Rhodophyta) in the Northern Black Sea Region	1	79
Sanamyan K.E. see Morozov T.B. et al.	6	427
Sanamyan N.P. see Morozov T.B. et al.	6	427
Scherbakova E.A. see Basaraba A.D. et al.	4	280
Selifonova Zh.P. Outbreaks of Alien Tintinnid Ciliates <i>Rhizodorus tagatz</i> Strelkow & Wirketis, 1950 and <i>Amphorellopsis acuta</i> (Schmidt, 1902) (Ciliophora, Tintinnida) in the Port of Taman, Black Sea	6	446
Sergeeva N.G., Anikeeva O.V. First Investigations of Benthic Soft-walled Foraminifera and Gromiids (Protozoa) in the northwestern Sea of Japan	2	104
Shalagina N.E. see Soldatov A.A. et al.	6	417
Shatilina T.A., Tsitsiashvili G.Sh., Osipova M.A., Radchenkova T.V. Assessment of the Effect of Regional Climate Conditions on Abundance of Pink Salmon, <i>Oncorhynchus gorbuscha</i> (Walbaum, 1792) (Salmonidae), in the Sea of Japan in 1980–2023	6	407
Shchelkanov M.Yu. see Khotimchenko Yu.S., Shchelkanov M.Yu.	1	3
Shchelkanov M.Yu. see Kuznetsova T.A. et al.	3	179
Shkirnikova E.M. see Ryumina A.A. et al.	3	229
Shulgina M.A., Kachur D.I. <i>Thalassiosira tealata</i> Takano, 1980 (Bacillariophyta), a Species of Diatoms New to the Seas of Russia	1	70
Silkin M.Yu. see Silkin Yu.A. et al.	1	51
Silkin Yu.A., Silkina E.N., Silkin M.Yu., Vasilets V.E. Hematological Parameters of Black Scorpionfish <i>Scorpaena porcus</i> Linnaeus, 1758 under Experimental Hypothermia <i>in vivo</i>	1	51
Silkina E.N. see Silkin Yu.A. et al.	1	51
Skriptsova A.V. see Belous O.S., Skriptsova A.V.	2	91
Skriptsova A.V., Stonik I.V. Diatoms as Endophytes of Marine Macroalgae: Diversity and Relationships with Basiphyte	5	329
Soldatov A.A., Bogdanovich Yu.V., Shalagina N.E., Rychkova V.N. Effect of Acute Hypoxia and Hydrogen Sulfide Contamination on the Succinate Dehydrogenase Activity and Adenylate Complex of Tissues in the Bivalve Mollusk <i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906)	6	417

Stonik I.V. see Skriptsova A.V., Stonik I.V.	5	329
Tishenko P.Ya. see Ryumina A.A. et al.	3	229
Tiunov I.M., Katin I.O. Abundance of Common Murre, <i>Uria aalge</i> (Pontoppidan, 1763) (Charadriiformes: Alcidae), in Peter the Great Bay, Sea of Japan	5	401
Trebukhova Yu.A. We are 50! On the jubilee of the <i>Biologiya morya</i> journal	6	454
Tsitsiashvili G.Sh. see Shatilina T.A. et al.	6	407
Tunina M.A. see Zhuravel E.V. et al.	4	290
Usov N.V. see Mikhaylova T.A. et al.	4	311
Vasilets V.E. see Silkin Yu.A. et al.	1	51
Vialova O.Yu. Metabolism Variations in the Bivalve Mollusk <i>Anadara Kagoshimensis</i> Tokunaga, 1906 (Bivalvia: Arcidae) under Upwelling Conditions in the Black Sea (Experimental Data)	4	301
Vishnyakov V.S. see Mikhaylova T.A. et al.	4	311
Zaporozhets T.S. see Kuznetsova T.A. et al.	3	179
Zhdanov S.V. Morphology of the Seismosensory System of thornfish <i>Bovichtus variegatus</i> Richardson, 1846 (Perciformes: Bovichtidae)	2	136
Zhivotovsky L.A. see Glubokovsky M.K., Zhivotovsky L.A.	2	166
Zhuravel E.V., Mazur M.A., Abdrakhmanova O.T., Tunina M.A. Application of Test Battery for Assessing the Toxicity of Marine Sediments in Vostok Bay (Peter the Great Bay, Sea of Japan)	4	290
Zuyev Yu.A. see Rusyaev S.M. et al.	5	361