Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 71, № 1. С. 201–208.
Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2025. Vol. 71, no 1. P. 201–208.

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 574.62/574.24
DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2025-71-22
EDN: YZUKFR

Влияние физико-химических показателей морской среды прибрежных акваторий Японского моря на репродуктивные характеристики серого морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*

Игорь Сергеевич Слепченко[1], Инга Владимировна Матросова[2]
[1, 2] Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия
[1] super_mw2@mail.ru
[2] matrosova.iv@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-5316-4955

Аннотация. Произведен сбор и биологический анализ особей серого морского ежа *S. intermedius* в весенне-летный период 2024 г. на трех акваториях залива Петра Великого Японского моря (бухта Средняя, заливы Восток, Стрелок). В исследуемых районах были отобраны пробы поверхностных морских вод и донных отложений с целью оценки влияния физико-химических показателей морской среды на состояние гидробионтов. Большинство особей соответствовали возрасту 3 года (22,38 %). Гонадосоматический индекс у 50,47 % иглокожих достиг преднерестового значения. Концентрации хлорид-ионов, превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК), были обнаружены в бухте Средней и в заливе Восток. В ходе определения концентраций тяжелых металлов в донных осадках превышения пороговых концентраций не было отмечено.

Ключевые слова: серый морской еж, антропогенное загрязнение, мониторинг качества водной среды, марикультура

Финансирование: исследование было выполнено за счёт средств научного гранта для молодых ученых Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета (ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз») по теме НИР № 877/2024 «Мониторинг параметров качества водной среды, влияющих на биологические характеристики серого морского ежа *Strongylocentrotus intermedius*».

***Для цитирования*:** Слепченко И. С., Матросова И. В. Влияние физико-химических показателей морской среды прибрежных акваторий Японского моря на репродуктивные характеристики серого морского ежа *Strongylocentrotus intermedius* // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 71, № 1. С. 201–208.

© Слепченко И. С., Матросова И. В., 2025

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

The influence of physico-chemical parameters of the marine environment of the coastal waters of the Sea of Japan on the reproductive characteristics of the gray sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*

Igor S. Slepchenko[1], Inga V. Matrosova[2]
[1, 2] Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
[1] super_mw2@mail.ru
[2] matrosova.iv@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-5316-4955

Abstract. The collection and biological analysis of individuals of the gray sea urchin S. intermedius in the spring-summer period of 2024 was carried out in three water areas of the hall. Peter the Great of the Sea of Japan (Srednyaya bay, Vostok bay, Strelok bay). Samples of surface marine waters and bottom sediments were taken in the studied areas in order to assess the influence of physico-chemical parameters of the marine environment on the condition of aquatic organisms. The majority of individuals corresponded to the age of 3 years (22.38%). The gonadosomatic index in 50.47% of echinoderms reached the pre-spawning value. Concentrations of chloride ions exceeding the maximum permissible concentrations (MPC) were found in the Srednyaya bay, Vostok bay. During the determination of heavy metal concentrations in bottom sediments, no threshold concentrations were exceeded.

Keywords: grey sea urchin, anthropogenic pollution, monitoring of the quality of the aquatic environment, mariculture

Funding: the study was carried out at the expense of a scientific grant for young scientists from the Far Eastern State Technical Fisheries University on the topic of research No. 877/2024 "Monitoring the quality parameters of the aquatic environment affecting the biological characteristics of the gray sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*".

For citation: Slepchenko I. S., Matrosova I. V. The influence of physico-chemical parameters of the marine environment of the coastal waters of the Sea of Japan on the reproductive characteristics of the gray sea urchin *Strongylocentrotus intermedius*. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2025; 71(1): 201–208. (In Russ.).

Введение

Серый морской еж *Strongylocentrotus intermedius* широко используется в качестве модельного организма в биологических исследованиях [1, 2]. Биологическое состояние морских ежей находится в прямой зависимости от содержания токсичных веществ в морской среде, воздействует на их иммунную систему, механизмы размножения и развитие [3]. Обитание в верхнесублиторальной зоне в неоднородных условиях со значительными колебаниями океанических и антропогенных факторов способствует приобретению *S. intermedius* определенных эколого-физиологических особенностей, касающихся его репродуктивного цикла и темпов роста [4]. Морские ежи чувствительны к гидробиологическим условиям морской среды, изменениям климата и загрязнениям окружающей среды, которые оказывают негативное воздействие на представителей данного вида. Сильнее всего эти факторы влияют на интенсивность роста молодых особей как более чувствительных к условиям среды [3].

В плане мониторинга все большее значение приобретает изучение влияния гидробиологического режима и других абиотических факторов среды на жизненные циклы морских орга-

низмов, особенно в связи с повышенной антропогенной нагрузкой, которые отмечаются многими исследователями. Недостаточная изученность условий морской среды, районов обитания и воспроизводства *S. intermedius* в Японском море, отсутствие сведений о воздействии колебаний антропогенных факторов необходимо восполнить для обеспечения экологически устойчивого развития гидробионтов.

На сегодняшний день гидрохимическая и экотоксикологическая оценка среды обитания гидробионтов является необходимой составляющей биологического мониторинга при осуществлении искусственного воспроизводства, для обоснованной оценки изменения состояния среды и ее влияния на организмы на всех стадиях жизненного цикла. При этом исследования о влиянии различных компонентов антропогенного загрязнения среды на основные биологические и репродуктивные характеристики серого морского ежа *S. intermedius* на акваториях Японского моря носят ограниченный характер.

Объекты и методы исследований

В основу работы положен материал – данные по серому морскому ежу *S. intermedius*, собранные на глубинах от 10 до 25 м в весенне-летний период 2024 г.

В исследуемых районах были также отобраны пробы поверхностных морских вод и донных отложений в местах вылова особей серого морского ежа на акваториях трех рыбоводных участков (табл. 1).

Таблица 1

Материал, положенный в основу работы

Table 1

The material used as the basis of the work

Дата	Наименование района	Координаты района работ	Количество особей, изъятых для биологического анализа, экз.	Количество проб поверхностных морских вод и донных отложений, шт.
20.05.2024 – 18.06.2024	Бухта Средняя	42.88284 с.ш. 132.72052 в.д.	67	6
	Залив Восток (пос. Волчанец)	42.89074 с.ш. 132.75468 в.д.	71	6
	Залив Стрелок	42.91048 с.ш. 132.43753 в.д.	72	6
		Итого:	210	18

Районами исследований биологических характеристик серого морского ежа *S. intermedius* являлись прибрежная часть акватории бухты Средней (залив Восток, Японское море), залив Восток вблизи пос. Волчанец (северное побережье залива Петра Великого, Японское море) и залива Стрелок (мористая часть северо-восточного побережья залива Петра Великого, Японское море) (рис. 1).

Исследования биологических характеристик проводили у особей с диаметром панциря не менее 25 мм. В ходе биологического анализа особей серого морского ежа были исследованы: диаметр панциря ($D_{панц}$, мм), общая масса тела ($W_{общ}$, г), масса гонад ($W_{гонад}$, г), возрастной состав ($Y_{лет}$), пол, гонадосоматический индекс ($G_{\%}$).

У морских ежей измеряли диаметр панциря с помощью штангенциркуля с точность до 1 мм. Общую массу тела и массу гонад взвешивали на аналитических весах ADAM HCB-302 с дискретностью ± 0,01 г. Возрастной состав определялся согласно данным о сравнении теоретических и эмпирических модальных размеров панцирей серого морского ежа в разном возрасте [6]. Половую принадлежность особей определяли по классификации Хотимченко на прижизненных мазках, с использованием микроскопа ЛОМО Микмед-6 [7]. Гонадосоматический индекс (ГИ) определяли как отношение массы гонады к общей массе тела [7].

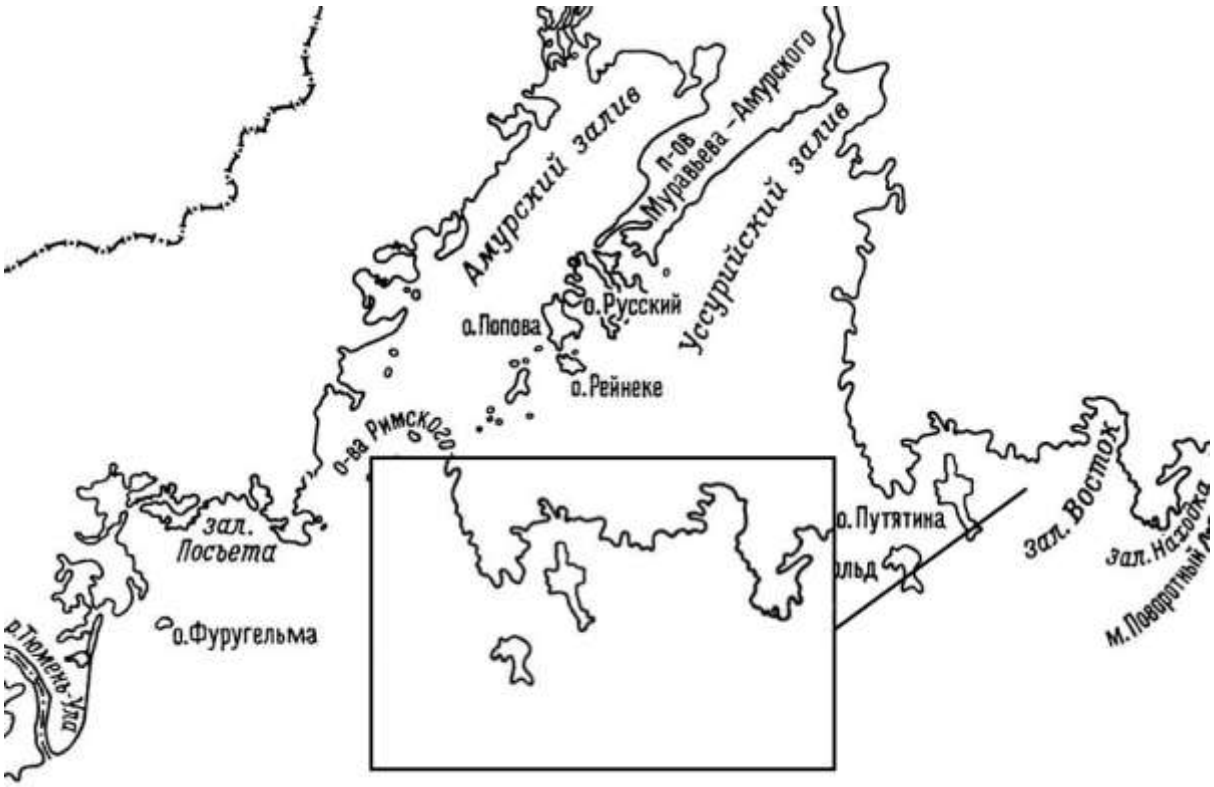

Рис. 1. Карта района отбора проб [5]
Fig. 1. Map of the sampling area [5]

Сбор проб поверхностных морских вод производился в соответствии с ГОСТ Р 59024-2020 «Общие требования к отбору проб» [8]. Сбор проб донных отложений осуществлялся водолазным способом для предотвращения негативного воздействия на донные организмы. С каждого района отбиралось 6 проб поверхностных морских вод и донных отложений. Измерения массовой концентрации общих фенолов, хлорид-ионов, сульфат-ионов проводилось с применением системы капиллярного электрофореза «Капель» [9]. Содержание органических соединений определялось спектрофотометрическим методом. Измерение массовой концентрации АПАВ осуществлялось экстракционно-фотометрическим методом. Определение концентрации тяжелых металлов в донных отложениях проводилось методом атомно-абсорбционного анализа на спектрофотометре Shimadzu. Расчет среднего и стандартного отклонения осуществляли в программе MS Office Excel.

Результаты и их обсуждение

Точки отбора проб расположены в границах трех рыбоводных участков, где в настоящее время осуществляется пастбищное культивирование *S. intermedius*. Однако данные районы подвергаются различной антропогенной и техногенной нагрузке. На северном побережье залива Стрелок расположены судоремонтные заводы [10]. Залив Восток, который ранее являлся сравнительной акваторией 2-го порядка, при оценках загрязнения других водных объектов не был подвержен аграрному и индустриальному прессу. На сегодняшний день из-за развития рекреационной деятельности акватория залива подвержена антропогенному воздействию [11].

Согласно данным, представленным в табл. 2, концентрации хлорид-ионов, превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК), были обнаружены в бухте Средняя и в заливе Восток. Содержание Cl^- в поверхностных водах подвержено сезонным колебаниям вследствие опреснения, однако высокие значения данного показателя могут свидетельствовать о загрязнении водоема сточными водами.

Таблица 2

Содержание органических и неорганических веществ в пробах поверхностных вод в бухте Средняя, заливе Восток и заливе Стрелок в мае–июне 2024 г.

Table 2

The content of organic and inorganic substances in surface water samples in Srednyaya bay, Vostok bay and Strelok bay in May–June 2024

Район исследования	БПК$_5$, мг/л	PO_4^{3-}, мг/л	АПАВ, мг/л	NO_3^-, мкг/л	NO_2^-, мкг/л	Нефте-продукты, мкг/л	Фенолы, мг/л	Cl^-, мг/л	SO_4^{2-}, мг/л
Бухта. Средняя	2,47 ±0,63	< 0,05	< 0,1	60,8 ±15,3	4,93 ±0,52	< 40,0	< 0,005	13400*	3076
Залив Восток	1,18 ±0,45	< 0,05	< 0,1	89,1 ±16,7	4,66 ±0,72	< 40,0	< 0,005	21290*	2818
Залив Стрелок	1,39 ±0,58	< 0,05	< 0,1	72,9 ±12,4	3,42 ±0,36	< 40,0	< 0,005	10370	2611

Основными источниками тяжелых металлов в морской среде являются речной сток и антропогенные источники, такие как бытовые и промышленные стоки, поверхностный смыв с урбанизированных территорий, сток от полигонов ТБО, коррозия объектов портовой инфраструктуры и затонувших судов, а также атмосферные осадки [12]. В ходе определения концентраций тяжелых металлов в донных осадках, превышение пороговых концентраций не было отмечено (табл. 3).

Наибольшие концентрации металлов встречаются непосредственно вблизи речного стока (в устье). В мористой части акваторий содержание металлов в поверхностных и донных пробах может превышать ПДК, если присутствуют локальные зоны высокого загрязнения (например, смыв поллютантов с полигона ТБО, расположенного вблизи водоохранной зоны).

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в пробах донных отложений в бухте Средней, заливе Восток и заливе Стрелок в мае–июне 2024 г.

Table 3

Heavy metal content in sediment samples in Srednyaya bay, Vostok bay and Strelok bay in May–June 2024

Район исследования	Pb, мкг/л	Cu, мкг/л	Cd, мкг/л	Ni, мкг/л	Zn, мг/л	Fe, мг/л	Mn, мг/л	Hg, мкг/л
Бухта Средняя	1,1 ±0,34	1,21 ±0,40	<0,05	2,36 ±0,27	0,024 ±0,005	0,035 ±0,009	0,034 ±0,008	0,041 ±0,009
Залив Восток	1,06 ±0,29	1,16 ±0,28	<0,05	1,27 ±0,37	0,017 ±0,003	0,028 ±0,006	0,019 ±0,006	0,050 ±0,018
Залив Стрелок	1,05 ±0,32	1,57 ±0,14	<0,05	1,13 ±0,49	0,011 ±0,003	0,012 ±0,008	0,0015 ±0,005	0,027 ±0,013

В бухте Средней, заливах Восток и Стрелок Японского моря наибольшую массу тела в выборке имели особи серого морского ежа в диапазоне 61–80 г, что составило 18,09 % от общего количества экземпляров (табл. 4).

Таблица 4

Общая масса тела и размер панциря серого морского ежа в бухте Средней, заливе Восток и заливе Стрелок в мае–июне 2024 г.

Table 4

The total body weight and shell size of the gray sea urchin in Srednyaya bay, Vostok bay and Strelok bay in May–June 2024

Наименование района	$W_{общ.}$, г			$D_{панц}$, мм			Кол-во, экз.
	X_{max}	$\bar{X} \pm m_{\bar{x}}$	X_{min}	X_{max}	$\bar{X} \pm m_{\bar{x}}$	X_{min}	
Бухта Средняя	147,39	79,03±4,01	6,99	77	49,49±1,73	25	67
Залив Восток	124,46	74,79±3,58	6,89	69	48,74±1,58	25	71
Залив Стрелок	160,13	38,62±3,46	6,63	75	52,58±1,74	25	72

Анализируя данные возрастного состава *S. intermedius* в исследуемых районах залива Петра Великого, установлено, что, в среднем, большинство особей соответствовали возрасту 3 года (22,38 %), при этом в бухте Средней преобладали особи, возраст которых составил 3 года (23,88 %), в заливе Восток – 3 года (25,35 %), в заливе Стрелок – 4 года (20,83 %). Данные представлены на рис. 2.

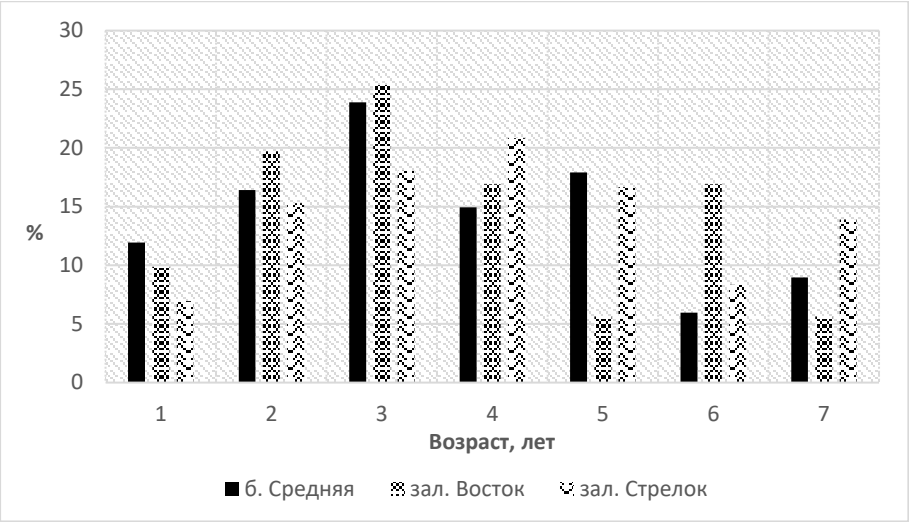

Рис. 2. Возрастной состав серого морского ежа в бухте Средней, заливе Восток и заливе Стрелок в мае–июне 2024 г.

Fig. 2. The age composition of the gray sea urchin in Srednyaya bay, Vostok bay and Strelok bay in May–June 2024

В исследуемых акваториях при изучении полового состава и репродуктивных характеристик серого морского ежа в выборках особи обоих полов присутствовали в равных количествах, с небольшим преобладанием самцов (51 %).

В обследованных акваториях масса гонад варьировалась от 0,77 до 47,55 г (табл. 5). В представленной выборке, по трем районам, большинство особей имели гонадосоматический индекс от 16 до 25 %, что составило 50,47 % от общего количества экземпляров (табл. 5).

Таблица 5

Масса гонад и гонадосоматический индекс серого морского ежа в бухте Средней, заливе Восток и заливе Стрелок в мае–июне 2024 г.

Table 5

Gonadal mass and gonadosomatic index of the grey sea urchin in Srednyaya bay, Vostok bay and Strelok bay in May–June 2024

Район исследования	$W_{гонад}$, г			G%			Объем выборки, экз.
	X_{max}	$\bar{X} \pm m_{\bar{x}}$	X_{min}	X_{max}	$\bar{X} \pm m_{\bar{x}}$	X_{min}	
Бухта Средняя	40,72	17,27±1,13	1,09	28,47	20,75±0,46	10,63	67
Залив Восток	18,38	14,59±1,004	0,77	29,87	17,94±0,61	7,84	71
Залив Стрелок	47,55	8,62±0,9	1,34	29,02	8,34±0,73	1,34	72

Заключение

Наиболее информативным фактором, который отражает экологическое состояние морских акваторий, является гаметогенез иглокожих. Эти данные подтверждаются ранее проведенными лабораторными исследованиями, в результате которых было установлено, что при концентрации углеводородов и ионов кадмия, превышающей ПДК (1 мкг/л), происходит необратимое нарушение процессов гаметогенеза, которое приводит к снижению качества половых продуктов [13].

Взрослые особи морских ежей способны сохранять жизненные функции лишь на протяжении 40 сут в среде с концентрацией Cd – 1 мг/л. Нарушения сперматогенеза у донных гидробионтов наблюдается уже при концентрации фенола 100 мкг/л.

В естественных условиях процесс формирования половых клеток также является наиболее чувствительной стадией жизненного цикла морских беспозвоночных и нарушение этого процесса под воздействием антропогенных факторов – наиболее ранний и информативный показатель экологического состояния водных объектов.

По результатам исследований основных биологических, в том числе репродуктивных характеристик *S. intermedius* в акваториях Японского моря, состояние гидробионтов удовлетворительное. Концентрации органических и неорганических веществ в исследованных районах не превышают ПДК.

Список источников

1. Лебедев Е. Е., Остромышенский Д. И., Соловьева А. И. Транспозоны морского ежа Strongylocentrotus intermedius A. Agassiz, 1863: in silico versus in vitro // Биол. моря. 2019. Т. 45, №. 6. С. 384–391.

2. Косман В. М., Карлина М. В., Макаров В. Г., Макарова М. Н. Использование биомаркеров в фармакокинетических исследованиях лекарственных препаратов природного происхождения // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. 2021. Т. 11, №. 1. С. 24–35.

3. Pikula K., Zakharenko A., Stratidakis A., Razgonova M., Nosyrev A., Mezhuev Y., Tsatsakis A., Golokhvast K. The Advances and Limitations in Biodiesel Production: Feedstocks, Oil Extraction Methods, Production, and Environmental Life Cycle Assessment // Green Chemistry Letters and Reviews. 2020. Vol. 13, № 4. P. 275-94. DOI 10.1080/17518253.2020.1829099.

4. Чалиенко М. О., Калинина М. В., Кулепанов В. Н., Матвеев В. И. Размер и возраст наступления половозрелости серого морского ежа Strongylocentrotus intermedius у северо-западного побережья Японского моря // Океанология. 2021. Т. 61, № 1. С. 79–90. DOI 10.31857/S0030157421010044.

5. Карта. Залив Петра Великого. URL: https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen_doc/5233638/pub_64dc0aeed9846708a1d199cb_64dc27fe8dbf9b6d1566d5ec/scale_1200 (дата обращения : 29.11.2024).

6. Брегман Ю. Э. К изучению популяционной структуры и роста серого морского ежа Strongylocentrotus intermedius (A. Agassiz) у северо-западного побережья Японского моря // Изв. ТИНРО. 2000. Т. 127, вып. 2. С. 397–415.

7. Хотимченко Ю. С., Деридович И. И., Мотавкин П. А. Биология размножения и регуляция гаметогенеза и нереста у иглокожих. М. : Наука, 1993. 167 с.

8. ГОСТ Р 59024-2020. Вода. Общие требования к отбору проб // Кодекс: [сайт]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200175475 (дата обращения : 29.11.2024).

9. ПНД Ф 14.1:2:4.157-99. Методика выполнения измерений массовых концентраций хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природных, питьевых и очищенных сточных вод с применением системы капиллярного электрофореза «Капель» // Кодекс: [сайт]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200080615 (дата обращения : 29.11.2024).

10. Христофорова Н. К., Гамаюнова О. А., Афанасьев А. П. Состояние бухт Козьмина и Врангеля (залив Петра Великого, Японское море): динамика загрязнения тяжелыми металлами // Изв. ТИНРО. 2015. Т. 180. С. 179–186.

11. Христофорова Н. К., Пелех (Кобзарь) А. Д., Колышкина А. В. Тяжелые металлы в бурых водорослях залива Восток // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. 2020. С. 327–341.

12. Коженкова С. И., Христофорова Н. К., Чернова Е. Н., Кобзарь А. Д. Долговременный биомониторинг загрязнения Уссурийского залива Японского моря тяжелыми металлами // Биол. моря. 2021. Т. 47, №. 4. С. 235–243.

13. Ващенко М. А., Жадан П. М. Исследование влияния хронического загрязнения морской среды на состояние репродуктивной функции беспозвоночных животных // Тихоокеанский медицинский журнал. 2012. №. 2(48). С. 110–114.

Информация об авторах

И. С. Слепченко – аспирант кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура».

И. В. Матросова – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой «Водные биоресурсы и аквакультура», ORCID: 0000-0001-5316-4955.

Information about the authors

I. S. Slepchenko – Postgraduate student of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture.

I. V. Matrosova – PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture, ORCID: 0000-0001-5316-4955.

Статья поступила в редакцию 09.12.2024; одобрена после рецензирования 23.01.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 09.12.2025; approved after reviewing 23.01.2025; accepted for publication 17.03.2025.