

Стойкие органические загрязняющие вещества и программа Mussel Watch в Азиатско-Тихоокеанском регионе: краткий обзор

Александра Дмитриевна БОРОВКОВА¹
младший научный сотрудник
borovkovasdm@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3285-822X>

Максим Михайлович ДОНЕЦ¹
младший научный сотрудник
maksim.donecz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2108-4448>

Максим Андреевич БЕЛАНОВ¹
младший научный сотрудник
belanov.ma@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0974-9176>

Кристина Руслановна МАСАЛЕВА¹
младший научный сотрудник
masaleva.kr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-6393-8533>

Андрей Александрович ШЕСТЁРА²
студент
shestera.2017@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-1217-7423>

Никита Дмитриевич ВАСИЛЕНКО²
студент
skameika00@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2364-4658>

Василий Юрьевич ЦЫГАНКОВ¹
доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник
tsig_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, международная кафедра ЮНЕСКО «Морская экология» Института Мирового океана, Владивосток, Россия

Аннотация. В настоящее время большую опасность представляет все увеличивающееся загрязнение окружающей среды химическими веществами антропогенного происхождения. Одной из групп опасных для естественных экосистем соединений являются стойкие органические загрязняющие вещества, о негативном воздействии которых известно уже с 1960-х гг. Для организации глобального наблюдения за состоянием вод Мирового океана в конце XX в. запущена международная программа International Mussel Watch, основной задачей которой стал мониторинг распростра-

нения токсичных веществ с использованием двусторчатых моллюсков в качестве биоиндикаторов. В 1990-х гг. начался новый этап исследований в рамках программы, сосредоточенный на изучении циркуляции опасных поллютантов в странах Азиатско-Тихоокеанского региона. В работе представлен анализ и обобщение научных данных об уровнях СОЗ в двусторчатых моллюсках стран АТР. Результаты анализа показали, что морские акватории региона преимущественно загрязнены хлорорганическими пестицидами (ХОП), среди которых доминировали ДДТ и его метаболиты. Наиболее высокие концентрации токсикантов среди исследуемых районов зафиксированы в Китае, Таиланде и Индонезии. Согласно результатам большинства исследований отмечается преобладание форм распада исходного пестицида (ДДЕ и ДДД), что указывает на длительную циркуляцию ксенобиотиков в среде и отсутствие «свежего загрязнения». Анализ распределения полихлорированных бифенилов (ПХБ) выявил неравномерность их распределения, при этом полученные данные не подтвердили первоначальные гипотезы о преимущественном загрязнении промышленно развитых стран, что свидетельствует о сложной динамике переноса и накопления опасных соединений в различных регионах мира и необходимости продолжения мониторинговых исследований уровней поллютантов в акваториях стран АТР.

Ключевые слова: СОЗ, ХОП, ПХБ, двусторчатые моллюски, Asia-Pacific Mussel Watch Program

Для цитирования: Боровкова А.Д., Донец М.М., Беланов М.А., Масалева К.Р., Шестёра А.А., Василенко Н.Д., Цыганков В.Ю. Стойкие органические загрязняющие вещества и программа Mussel Watch в Азиатско-Тихоокеанском регионе: краткий обзор // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 93–104. https://doi.org/10.35735/26870509_2026_25_7.

Original article

Persistent organic pollutants and the Mussel Watch Program in the Asia-Pacific Region: a brief review

Aleksandra D. BOROVKOVA¹

Junior research

borovkovasdm@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3285-822X>

Maksim M. DONETS¹

Junior research

maksim.donecz@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2108-4448>

Maksim A. BELANOV¹

Junior research

belanov.ma@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0974-9176>

Kristina R. MASALEVA¹

Junior research

masaleva.kr@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-6393-8533>

Andrey A. SHESTERA²

Student

shestera.2017@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-1217-7423>

Nikita D. VASILENKO²

Student

skameika00@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0004-2364-4658>

Vasily Yu. TSYGANKOV¹
Doctor of Biological Sciences, Leader research
tsig_90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract. Currently, one of the most pressing environmental threats is the increasing pollution caused by anthropogenic chemical compounds, xenobiotics. Among the most hazardous groups of pollutants for natural ecosystems are persistent organic pollutants (POPs), whose detrimental effects have been recognized since the 1960s. To address the need for global monitoring of ocean pollution, the International Mussel Watch Program was launched in the late 20th century. This initiative uses bivalve mollusks as bioindicators to track the spread of toxic substances in marine environments. In the 1990s, a new phase of research under this program began, focusing specifically on the distribution and circulation of hazardous pollutants in the Asia-Pacific region (APR). This paper presents an analysis and summary of scientific data on POP levels in bivalve mollusks from the APR. The findings indicate that the region is predominantly contaminated with organochlorine pesticides (OCPs), particularly DDT and its metabolites. The highest concentrations of DDT were recorded in China, Thailand, and Indonesia. Interestingly, most studies show a prevalence of degraded forms of DDT (DDE and DDD), suggesting long-term environmental persistence rather than recent contamination. This pattern implies that the original pesticide has undergone extensive breakdown over time. However, some researchers still detect metabolites indicative of recent pollution, pointing to possible ongoing local sources of xenobiotic release. The analysis of polychlorinated biphenyls (PCBs) revealed an uneven distribution across the APR. Contrary to initial hypotheses, the data did not confirm that industrialized nations were the primary contributors to PCB contamination. This unexpected finding highlights the complex dynamics of pollutant transport and accumulation, which are influenced by ocean currents, atmospheric deposition, and regional industrial practices. The persistence of these pollutants in marine ecosystems underscores the need for continued monitoring under programs like International Mussel Watch. Given the ecological and health risks associated with POPs, further research is essential to assess contamination trends, identify emerging sources, and develop mitigation strategies. The Asia-Pacific region, with its diverse industrial and agricultural activities, remains a critical area for such environmental surveillance.

Keywords: POPs, OCPs, PCBs, Bivalvia, Asia-Pacific Mussel Watch Program

For citation: Borovkova A.D., Donets M.M., Belanov M.A., Masaleva K.R., Shestera A.A., Vasilenko N.D., Tsygankov V.Yu. Persistent organic pollutants and the Mussel Watch Program in the Asia-Pacific Region: a brief review. *Pacific Geography*. 2026;(1):94-104. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/2687050_9_2026_25_7.

Введение

Ключевой проблемой остается загрязнение Мирового океана, требующее постоянного мониторинга. Среди наиболее опасных поллютантов — стойкие органические загрязняющие вещества (СОЗ), обладающие высокой токсичностью, способностью накапливаться в организмах и переноситься на большие расстояния [1]. Даже в малых концентрациях они нарушают работу нервной, эндокринной и других систем, а при длительном воздействии могут проявлять мутагенные и тератогенные свойства [2, 3].

Водные экосистемы особенно уязвимы: СОЗ попадают в них через сточные воды и атмосферные осадки, далее накапливаются в морях и океанах. Из-за медленного разложения они циркулируют между водой, донными отложениями и воздухом, угнетая гидробионты и снижая способность экосистем к самоочищению [4]. Для мониторинга загрязнения с 1990-х гг. действует программа Mussel Watch, использующая двустворчатых моллюсков как биоиндикаторы. Исследования охватили Америку, Азиатско-Тихоокеанский регион (АТР) и тропические зоны стран АСЕАН [5].

К настоящему времени опубликовано значительное количество работ, посвященных изучению содержания СОЗ в различных компонентах экосистем стран АТР. Однако по-

следний подробный обзор данных о накоплении ксенобиотиков в морских беспозвоночных этого региона проводился в 2007 г. [6]. В связи с этим целью работы является анализ и обобщение научных данных об уровнях содержания стойких органических загрязнителей в мягких тканях двусторчатых моллюсков в рамках программы Asia-Pacific Mussel Watch (1997–2024 гг.).

Стойкие органические загрязняющие вещества: свойства, источники, распространение

Стойкие органические загрязняющие вещества – группа химических соединений антропогенного происхождения, характеризующихся высокой токсичностью, летучестью, биоаккумуляцией и биотрансформацией [7, 8]. Наиболее распространенными СОЗ являются хлорорганические пестициды, которые широко применялись в сельском и лесном хозяйстве для борьбы с вредителями, а также в санитарно-эпидемиологических целях для уничтожения переносчиков малярии (например, ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ). Другой значимой группой выступают полихлорированные бифенилы (ПХБ), использовавшиеся в производстве пластмасс, красителей, копировальной бумаги и в качестве диэлектриков в электрооборудовании (см. рис.) [1].

К настоящему времени детально исследованы физико-химические свойства СОЗ, их миграционные пути, распространение в экосистемах, а также негативное воздействие на живые организмы [1, 2, 6, 9, 10]. Основными источниками поступления СОЗ в окружающую среду являются энергетический сектор (тепловые и электростанции, бытовые печи), промышленность (химические производства, цементные заводы, переработка алюминия), утилизация отходов (мусоросжигательные заводы, свалки), сельское хозяйство (применение пестицидов), транспорт и строительство (снос зданий, ремонт оборудования), медицина (медицинские отходы) [11, 12].

В 2001 г. в Швеции была принята Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях (СОЗ), которая начала действовать с 17 мая 2004 г. Участники конвенции взяли на себя обязательства полностью запретить производство и применение (с некоторыми исключениями) 12 опасных химических веществ из перечня СОЗ, который далее дополнялся. К 2024 г. к соглашению присоединились 152 государства [13]. В АТР в период с 2004 по 2011 г. документ ратифицировали все страны, за исключением Брунея и Малайзии.

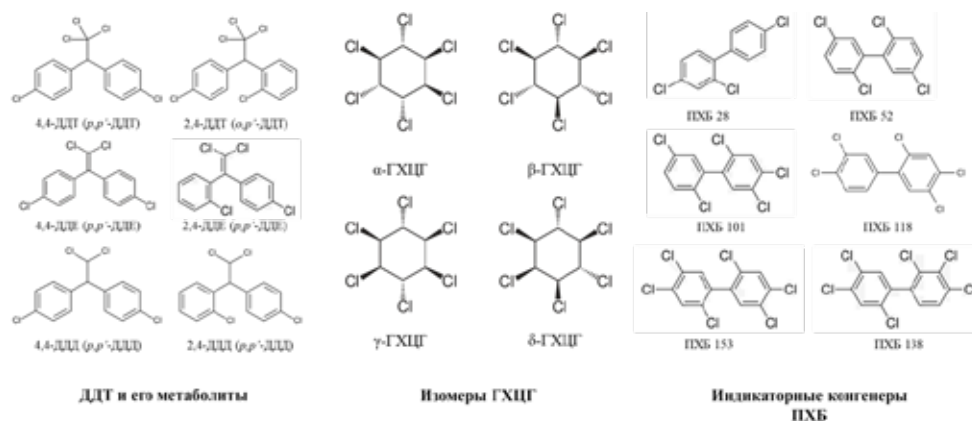


Рис. Структурные формулы хлорорганических пестицидов (ДДТ и его метаболиты, изомеры ГХЦГ) и полихлорированных бифенилов (индикаторные конгенеры ПХБ)

Fig. The structural formulas of organochlorine pesticides (DDT and its metabolites, HCH isomers) and polychlorinated biphenyls (indicator PCB congeners).

Двустворчатые моллюски как индикаторы загрязнения морских экосистем СОЗ

Среди морских беспозвоночных двустворчатые моллюски представляют особый интерес благодаря их высокой чувствительности к воздействию разных ксенобиотиков [14] и используются для мониторинга загрязнения прибрежных акваторий. Как представители бентосной фауны, они ведут малоподвижный или прикрепленный образ жизни, что позволяет оценить уровни локального загрязнения. Эти организмы широко распространены по всему миру, занимают экологические ниши практически во всех известных местообитаниях [15], характеризуются длительным жизненным циклом, высокой экологической пластичностью [16].

Использование двустворчатых моллюсков для индикации загрязнения, в том числе стойкими органическими загрязняющими веществами, началось еще в прошлом столетии. Так, в исследовании 1976 г., посвященном мониторингу галогенированных углеводородов на побережье Калифорнии, авторы определяли содержание ДДТ и его метаболитов и ПХБ в мягких тканях мидии *Mytilus californianus* [17]. В Бразилии в 1985–1986 гг. проведено определение уровней ДДТ и ПХБ в семи видах двустворчатых моллюсков разных экологических групп [18]. В 1990-е гг. со стартом программы International Mussel Watch возрос и интерес к использованию двустворчатых моллюсков как индикаторов загрязнения морских акваторий ксенобиотиками [19–22].

По сравнению с рыбами и ракообразными двустворчатые моллюски обладают очень низким уровнем активности ферментных систем, способных метаболизировать стойкие органические загрязняющие вещества. Следовательно, концентрация токсикантов в тканях пластинчатожаберных более точно отражает степень загрязнения окружающей среды [23]. Таким образом, двустворчатые моллюски являются одними из наиболее точных индикаторов загрязнения прибрежных акваторий органическими токсикантами благодаря их уникальным характеристикам, таким как прикрепленный и малоподвижный образ жизни и массовость. Кроме того, регулярный мониторинг содержания СОЗ в мягких тканях двустворчатых моллюсков позволит отслеживать временные тренды накопления ксенобиотиков в естественных экосистемах.

Реализация программы Mussel Watch в Азиатско-Тихоокеанском регионе с 2002 по 2024 г.

Первые систематические исследования накопления СОЗ в тканях двустворчатых моллюсков были начаты в 1990-х гг. В работах Li [6], Monirith et al. [24] и Tanabe et al. [25] выявлено значительное загрязнение прибрежных акваторий Китая, Гонконга и Индии хлорорганическими пестицидами, особенно ДДТ и его метаболитами, а также изомерами ГХЦГ. Эти исследования заложили основу для последующего мониторинга в регионе. Ниже представлены данные об исследованиях в рамках программы Asia-Pacific Mussel Watch за период с 1997 по 2024 г. (см. табл.).

В Азиатско-Тихоокеанском регионе преобладает загрязнение хлорорганическими пестицидами, особенно ДДТ и его метаболитами. Наибольшие концентрации зафиксированы в Китае, Таиланде и Индонезии, что связано с историческим использованием ДДТ в сельском хозяйстве и санитарии. Преобладание продуктов распада (ДДЕ, ДДД) свидетельствует о давнем загрязнении, однако в некоторых работах отмечаются и свежие поступления, указывающие на локальные источники. В отдельных регионах (Россия, Гонконг, Макао) доминируют изомеры ГХЦГ, которые, вероятно, попадают в экосистемы за счет трансграничного переноса.

Высокие уровни ПХБ характерны для промышленно развитых стран (Япония, Южная Корея, Сингапур) из-за активного производства и судоходства. Неожиданно высокие кон-

Таблица 1

Стойкие органические загрязняющие вещества в некоторых районах Азиатско-Тихоокеанского региона

Table 1. Persistent organic pollutants in some areas of the Asia-Pacific region

Вид	Год отбора	∑ДДТ ¹	∑ГХЦГ ²	∑СНЛс ³	∑ПХБ ⁴	∑ПАУ ⁵	С, нг/г ... ⁶	Ист.
Таиланд								
<i>Perna viridis</i>	1997–1999	5.7	5	– ⁷	–	–	сыр. массы	[26]
<i>P. viridis</i>	2006–2007	–	–	–	79–454 ⁸	–	липидов	[27]
<i>Saccostrea commercialis</i>					304–193			
Сингапур								
<i>P. viridis</i>	1999	110	12	520	90	–	липидов	[24]
	2002	–	–	–	6.1–82	–	сух. массы	[28]
Южная Корея								
<i>Mytilus edulis</i>	2005	21–400	1.1–82	2.6–62	17–1000	–	липидов	[29]
<i>Mytilus coruscus</i>	2001–2007	4.2	0.7	–	7.5	176	сух. массы	[30]
<i>M. edulis</i>								
<i>Crassostrea gigas</i>								
<i>Ruditapes philippinarum</i>	2001–2003	46	13	–	91	–	липидов	[31]
<i>M. coruscus</i>		69	11	–	118	–		
<i>M. edulis</i>	2018	–	31 ⁹	–	5.5	194	липидов	[32]
<i>C. gigas</i>								
<i>Anadara granosa</i>								
<i>Venerupis philippinarum</i>								
Индонезия								
<i>P. viridis</i>	2012–2013	20	–	–	–	20–360	сух. массы	[33]
	2017	116	–	–	–	–	сух. массы	[34]
Китай								
<i>Scapharca broughtonii</i>	2007	48	4	0.9	8.9	–	липидов	[35]
<i>Panopea japonica</i>		108	40	1.6	7.9	–		
<i>P. viridis</i>	2016	807	–	–	–	–	липидов	[36]
Гонконг								
<i>P. viridis</i>	1998–1999	640–61000	2.1–29	10–860	40–710	–	липидов	[24]
<i>M. meretrix</i>	2018	<ПО ¹⁰	37	–	–	–	липидов	[37]
<i>Anadara subcrenata</i>								
<i>P. viridis</i>								
Вьетнам								
<i>Meretrix lyrata</i>	2024	2.9–4.1	2.6–3.3	–	5.4–28	–	сыр. массы	[38]
<i>P. viridis</i>		1.1–39	1.3–11	–	5.8–26	–		
<i>A. granosa</i>		2.4–8	2.2–5.9	–	4.6–20	–		
<i>Atrina pectinata</i>		1.2–16	3.4–8.8	–	29–63	–		
<i>C. gigas</i>		1.2–27	1.9–3.2	–	10–45	–		
Япония								
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	2011–2014	33–62	–	77–130	210–480	–	липидов	[39]
<i>Saccostrea mordax</i>	2017–2019	18–1400	–	13–5800	21–4100	–	липидов	[40]
<i>Phreagena okutanii</i>	2020	–	–	–	14–36	–	липидов	[41]

¹Сумма о,р'-ДДТ, р,р'-ДДТ, о,р'-ДДЕ, р,р'-ДДЕ, о,р'-ДДД, р,р'-ДДД; ²Сумма α-ГХЦГ, β-ГХЦГ, γ-ГХЦГ, δ-ГХЦГ; ³Сумма транс-хлордана, цис-хлордана, транс-нонахлора, цис-нонахлора и оксихлордана; ⁴Сумма индикаторных конгенов ПХБ; ⁵Сумма 16 индикаторных ПАУ; ⁶Единицы измерения концентрации; ⁷Нет данных; ⁸Диапазон средних концентраций; ⁹Сумма изомеров ГХЦГ, ДДТ и его метаболитов, гексахлорбензола, гептахлора, хлордана, 24 короткоцепочечных хлорированных парафинов; ¹⁰Ниже пределов обнаружения.

центрации также обнаружены в Таиланде и Вьетнаме, что может быть связано с особенностями накопления токсикантов у разных видов моллюсков.

В целом наблюдается снижение уровней СОЗ в регионе, что, вероятно, связано с отказом все большего количества стран от использования и производства ксенобиотиков. Однако в Индонезии фиксируется рост концентраций ХОП, в том числе исследования показывают присутствие форм, свидетельствующих о недавнем поступлении поллютантов в среду.

Данные по многим странам (Лаос, Мьянма, Бруней) отсутствуют, а в Таиланде, Сингапуре, Малайзии и на Филиппинах мониторинг не проводился десятилетиями. Это затрудняет оценку динамики загрязнения и подчеркивает необходимость продолжения исследований.

Многолетние исследования в России [4, 42, 43] выявили устойчивое присутствие стойких органических загрязнителей в моллюсках дальневосточных морей. В тканях *Crenomytilus grayanus* и *Mizuhopecten yessoensis* обнаружены ДДТ и его метаболиты (преимущественно *p,p'*-ДДЕ и *p,p'*-ДДД), изомеры ГХЦГ (с доминированием β -формы) и значительные количества ПХБ. Хотя преобладание продуктов распада свидетельствует о давнем загрязнении, обнаружение свежего ДДТ в 2000 г. указывает на возможные нарушения запрета. Последние данные программы Mussel Watch [43] показывают снижение ДДТ и ПХБ при одновременном росте ГХЦГ, что связано с историческим использованием линдана в регионе. Эти результаты подчеркивают необходимость продолжения мониторинговых исследований загрязнения прибрежных акваторий дальневосточных морей России СОЗ.

Заключение

Анализ данных свидетельствует о продолжающемся загрязнении морских акваторий Азиатско-Тихоокеанского региона стойкими органическими загрязняющими веществами. Тем не менее в последние годы в ряде стран наблюдается снижение концентраций токсикантов благодаря предпринимаемым государствами мерам по прекращению или ограничению использования СОЗ в медицинских и сельскохозяйственных целях. Наибольшие концентрации ДДТ зафиксированы в Китае, Индии и Таиланде, в России и Гонконге преобладают ГХЦГ, вероятно, за счет явления трансграничного переноса. В промышленно развитых странах, таких как Япония и Южная Корея, наиболее характерно загрязнение ПХБ, их сравнительно высокие уровни также обнаружены в Таиланде и Вьетнаме, что, возможно, связано с особенностями накопления токсикантов разными видами моллюсков. Преобладание продуктов распада указывает на давний характер загрязнения, но необходимость регулярного мониторинга сохраняется, поскольку моллюски являются важным промысловым ресурсом, а их потребление может создавать долгосрочные риски для здоровья населения.

Литература

1. Tsygankov V.Yu. Persistent Organic Pollutants in the Ecosystems of the North Pacific. Earth and Environmental Sciences Library. Springer Nature Switzerland, Cham., 2023. 348 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-44896-6>
2. Kaiser J., Enserink M. Treaty Takes a POP at the Dirty Dozen // Science. 2000. Vol. 290, N 5499. P. 2053. [10.1126/science.290.5499.20](https://doi.org/10.1126/science.290.5499.20)
3. Ngoubeyou P.S., Wolkendorfer C., Ndibewu P.P., Augustyn W. Toxicity of polychlorinated biphenyls in aquatic environments – A review // Aquatic Toxicology, 2022. Vol. 251, N 251. 106284. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106284>
4. Боярова М.Д., Лукьянова О.Н. Хлорированные углеводороды в гидробионтах залива Посёта Японского моря // Известия ТИНРО, 2006. Т. 145. С. 271–278.
5. Tanabe S. Asia-Pacific Mussel Watch Progress Report // Marine Pollution Bulletin. 2000. Vol. 40, N 8. P. 651. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00019-9)

6. Li A. Persistent organic pollutants in Asia: sources, distributions, transport and fate // *Developments in environmental science*, Elsevier, 2007. 825 p.
7. Tsygankov V.Yu., Boyarova M.D., Kiku P.F., Yarygina M.V. Hexachlorocyclohexane (HCH) in human blood in the south of the Russian Far East // *Environmental Science and Pollution Research*. 2015. Vol. 22, N 18. P. 14379–14382. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4951-3>
8. Tsygankov V.Yu., Lukyanova O.N., Khristoforova N.K. The Sea of Okhotsk and the Bering Sea as the region of natural aquaculture: Organochlorine pesticides in Pacific salmon // *Marine Pollution Bulletin*. 2016. Vol. 113, N 1–2. P. 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.060>
9. Mamontova E.A., Tarasova E.N., Goreglyad A.V., Tkachenko L.L., Mamontov A.A., Kuzmin M.I. Polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in atmospheric air of the Northern Hovsgol region in 2008–2013 // *Doklady Earth Sciences*. 2015. Vol. 264, N 2. P. 1066–1068. <https://doi.org/10.1134/S1028334X15100153>
10. El-Shahawi M.S., Hamza A., Bashammakh A.S., Al-Saggaf W.T. An overview on the accumulation, distribution, transformations, toxicity and analytical methods for the monitoring of persistent organic pollutants // *Talanta*. 2010. Vol. 80, N 5. P. 1587–1597. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.09.055>
11. Wenzl T., Simon R., Anklam E., Kleiner J. Analytical methods for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in food and the environment needed for new food legislation in the European Union // *TrAC*. 2006. Vol. 25, N 3. P. 716–725. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2006.05.010>
12. Xing Y., Lu Y., Dawson R., Shi Y., Zhang H., Wang T., Liu W., Ren H. A spatial temporal assessment of pollution from PCBs in China // *Chemosphere*. 2005. Vol. 60, N 6. P. 731–739. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.05.001>
13. Status of ratifications of the Stockholm Convention [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatoires/tabid/4500/Default.aspx> (Дата обращения: 04.05.2025).
14. Gouveia N., Harayashiki C., Márquez F., Lourenço R., Taniguchi S., Castro I. Mollusc shell shape as pollution biomarkers: Which is the best biological model? // *Marine Pollution Bulletin*. 2022. Vol. 179. 113663. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113663>
15. Castro I. Improper environmental sampling design bias assessments of coastal contamination // *TrAC*. 2019. Vol. 24. e00068. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2019.e00068>
16. Chahouri A., Yacoubi B., Moukrim A., Banaoui A. Bivalve molluscs as bioindicators of multiple stressors in the marine environment: Recent advances // *Continental Shelf Research*. 2023. Vol. 264. 105056. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.105056>
17. Young D.R., Heesen T.C., McDermott D.J. An offshore biomonitoring system for chlorinated hydrocarbons // *Marine Pollution Bulletin*. 1976. Vol. 7, N 8. P. 156–159. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(76\)90134-X](https://doi.org/10.1016/0025-326X(76)90134-X)
18. Tavares T.M., Rocha V.C., Porte C., Barceló D., Albaigés J. Application of the mussel watch concept in studies of hydrocarbons, PCBs and DDT in the Brazilian Bay of Todos os Santos (Bahia) // *Marine Pollution Bulletin*. 1988. Vol. 19, N 11. P. 575–578. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(88\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(88)90022-7)
19. Picer M., Picer N. Levels and long-term trends of polychlorinated biphenyls and DDTs in bivalves collected from the south Adriatic coastal waters // *Chemosphere*. 1995. Vol. 30, N 1. P. 31–38. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)00374-4](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)00374-4)
20. Lee K.M., Kruse H., Wassermann O. The pattern of organochlorines in mussels *Mytilus edulis* L. from the south west Baltic Sea // *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 1996. Vol. 31, N 1. P. 68–76. <https://doi.org/10.1007/BF00203909>
21. Sbriz L., Aquino M.R., Alberto De Rodriguez N.M., Fowler S.W., Sericano J.L. Levels of chlorinated hydrocarbons and trace metals in bivalves and nearshore sediments from the Dominican Republic // *Marine Pollution Bulletin*. 1998. Vol. 36, N 12. P. 971–979. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00097-6)
22. Thompson S., Budzinski H., Garrigues P., Narbonne J.F. Comparison of PCB and DDT Distribution between Water-column and Sediment-dwelling Bivalves in Arcachon Bay, France // *Marine Pollution Bulletin*. 1999. Vol. 38, N 8. P. 655–662. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)90197-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)90197-7)
23. Walker C.H. *Organic Pollutants: An Ecotoxicological Perspective*, Second Edition // CRC Press, 2008, N 2. 408 p. <https://doi.org/10.1201/9781420062595>
24. Monirith I., Ueno D., Takahashi S., Nakata H., Sudaryanto A., Subramanian A., Karuppiah S., Ismail A., Mughtar M., Zheng J., Richardson B.J., Prudente M., Hue N., Tana T.S., Tkalin A.V., Tanabe S. Asia-Pacific mussel watch: monitoring contamination of persistent organochlorine compounds in coastal waters of Asian countries // *Marine Pollution Bulletin*. 2003. Vol. 46, N 3. P. 281–300. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00400-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00400-9)
25. Tanabe S., Prudente M.S., Kan-aitireklap S., Subramanian A. Mussel watch: marine pollution monitoring of butyltins and organochlorines in coastal waters of Thailand, Philippines and India // *Ocean & Coastal Management*. 2000. Vol. 43, N 8–9. P. 819–839. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(00\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(00)00060-0)
26. Boonyatumanond R., Jaksakul A., Pancharoen P., Tabucanon M.S. Monitoring of organochlorine pesticides residues in green mussels (*Perna viridis*) from the coastal area of Thailand // *Environmental Pollution*, 2002. Vol. 119, N 2. P. 245–252. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00329-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00329-3)
27. Jaikanlaya C., Settachan D., Denison M., Ruchirawat M., Van Den Berg M. PCBs contamination in seafood species at the Eastern Coast of Thailand // *Chemosphere*. 2009. Vol. 76, N 2. P. 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.03.018>
28. Obbard J.P., Wurl O., Bayen S. Chapter 15 Persistent Organic Pollutants in Singapore's Marine Environment // *Developments in Environmental Science*, Elsevier. 2007. Vol. 7. P. 657–720. [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(07\)07015-5](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(07)07015-5)

29. Ramu K., Kajiwara N., Isobe T., Takahashi S., Kim E., Min B., We S., Tanabe S. Spatial distribution and accumulation of brominated flame retardants, polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in blue mussels (*Mytilus edulis*) from coastal waters of Korea // *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 148, N 2. P. 562–569. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.11.034>
30. Choi H., Moon H., Choi M., Yu J., Kim S. Mussel watch program for organic contaminants along the Korean coast. 2001–2007 // *Environ Monit Assess*. 2010. Vol. 169, N 1–4. P. 473–485. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1190-4>
31. Choi J., Yang D., Hong G., Kim K., Shin K. Ecological and human health risk from polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in bivalves of Cheonsu Bay, Korea // *Environmental Engineering Research*. 2016. Vol. 21, N 4. P. 373–383. <https://doi.org/10.4491/eer.2016.010>
32. Choo G., Choi S., Lee I., Oh J. Nationwide monitoring of legacy and emerging persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons along the Korean coast // *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 206. 116764. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116764>
33. Dwiyitno, Dsikowitzky L., Nordhaus I., Andarwulan N., Irianto H., Lioe H., Ariyani F., Kleinertz S., Schwarzbauer J. Accumulation patterns of lipophilic organic contaminants in surface sediments and in economic important mussel and fish species from Jakarta Bay, Indonesia // *Marine Pollution Bulletin*. 2016. Vol. 110, N 2. P. 767–777. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.034>
34. Suryono C.A., Sabdono A., Subagyo Setyati W.A., Rochaddi B., Suryono Susilo E.S., Mahendrajaya R.T. The presence of organochlorine pesticide in Semarang Indonesia marine waters and their contamination on green mussel *Prna viridis* (*Bivalvia: Mytilidae, Linnaeus, 1758*) // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 246. 012069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/246/1/012069>
35. Byun G., Moon H., Choi J., Hwang J., Kang C. Biomagnification of persistent chlorinated and brominated contaminants in food web components of the Yellow Sea // *Marine Pollution Bulletin*. 2013. Vol. 73, N 1. P. 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.017>
36. Sun R., Yu J., Liao Y., Chen J., Wu Z., Mai B. Geographical distribution and risk assessment of dichlorodiphenyltrichloroethane and its metabolites in *Perna viridis* mussels from the northern coast of the South China Sea // *Marine Pollution Bulletin*. 2020. Vol. 151. 110819. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110819>
37. Ivorra L., Cardoso P., Chan S., Cruzeiro C., Tagulao K. Quantification of insecticides in commercial seafood sold in East Asian markets: risk assessment for consumers // *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 30, N 12. P. 34585–34597. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24413-7>
38. Thuy N., Tham T., Thuy T., Yen N., Giang D., Ha N., Anh H., Minh T. Persistent organochlorine pollutants in different bivalve species from central Vietnamese coasts: Concentrations, profiles, and biota-sediment accumulation factors // *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 209. 117097. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117097>
39. Ishiyama M., Matsuo Y., Nakai K., Tatsuta N., Nakata H., Mizukawa H., Miyawaki T., Nagasaka H., Someya T., Ueno D. Temporal trends in PCB concentrations in mussels collected from areas affected by the Great East Japan Earthquake and Tsunami // *Marine Pollution Bulletin*. 2019. Vol. 145. P. 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.031>
40. Mukai Y., Goto A., Tashiro Y., Tanabe S., Kunisue T. Coastal biomonitoring survey on persistent organic pollutants using oysters (*Saccostrea mordax*) from Okinawa, Japan: Geographical distribution and polystyrene foam as a potential source of hexabromocyclododecanes // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 739. 140049. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140049>
41. Ikuta T., Nomaki H., Nakajima R. Accumulation of polychlorinated biphenyls in the ovaries of deep-sea chemosynthetic clam *Phreagena okutanii* // *Front. Mar. Sci*. 2024. Vol. 11. 1358774. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1358774>
42. Tkalin A.V., Lishavskaya T.S., Hills J.W. Organochlorine Pesticides in Mussels and Bottom Sediments from Peter the Great Bay near Vladivostok // *Ocean and Polar Research*. 1997. Vol. 19. P. 115–119.
43. Borovkova A.D., Gavrilova V.A., Donets M.M., Belanov M.A., Tsygankov V.Yu. Mussel watch program in the Sea of Japan: Persistent organic pollutants in bivalves of the family Mytilidae // *Marine Pollution Bulletin*. 2024. Vol. 209. 117107. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117107>

References

1. Tsygankov, V.Yu. Persistent Organic Pollutants in the Ecosystems of the North Pacific. Springer Nature Switzerland: Cham, Switzerland, 2023; 348 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-44896-6>
2. Kaiser, J.; Enserink, M. Treaty Takes a POP at the Dirty Dozen. *Science*. 2000, 290(5499), 2053. <https://doi.org/10.1126/science.290.5499.2053>
3. Ngoubeyou, P.S.; Wolkersdorfer, C.; Ndibewu, P.P.; Augustyn, W. Toxicity of Polychlorinated Biphenyls in Aquatic Environments – A Review. *Aquatic Toxicology*. 2022, 251, 106284. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2022.106284>
4. Boyarova, M.D.; Lukyanova, O.N. Chlorinated Hydrocarbons in Hydrobionts of the Posyet Bay (Sea of Japan). *Izvestiya TINRO*. 2006, 145, 271–278. (In Russian)
5. Tanabe, S. Asia-Pacific Mussel Watch Progress Report. *Marine Pollution Bulletin*. 2000, 40(8), 651. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00019-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00019-9)

6. Li, A. Persistent Organic Pollutants in Asia: Sources, Distributions, Transport and Fate. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2007; 825 p.
7. Tsygankov, V.Yu.; Boyarova, M.D.; Kiku, P.F.; Yarygina, M.V. Hexachlorocyclohexane (HCH) in Human Blood in the South of the Russian Far East. *Environmental Science and Pollution Research*. 2015, 22(18), 14379–14382. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4951-3>
8. Tsygankov, V.Yu.; Lukyanova, O.N.; Khristoforova, N.K. The Sea of Okhotsk and the Bering Sea as the Region of Natural Aquaculture: Organochlorine Pesticides in Pacific Salmon. *Marine Pollution Bulletin*. 2016, 113(1–2), 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.060>
9. Mamontova, E.A.; Tarasova, E.N.; Goreglyad, A.V.; Tkachenko, L.L.; Mamontov, A.A.; Kuzmin, M.I. Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Atmospheric Air of the Northern Hovsgol Region in 2008–2013. *Doklady Earth Sciences*. 2015, 264(2), 1066–1068. <https://doi.org/10.1134/S1028334X15100153>
10. El-Shahawi, M.S.; Hamza, A.; Bashammakh, A.S.; Al-Saggaf, W.T. An Overview on the Accumulation, Distribution, Transformations, Toxicity and Analytical Methods for the Monitoring of Persistent Organic Pollutants. *Talanta*. 2010, 80(5), 1587–1597. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.09.055>
11. Wenzl, T.; Simon, R.; Anklam, E.; Kleiner, J. Analytical Methods for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Food and the Environment Needed for New Food Legislation in the European Union. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2006, 25(3), 716–725. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2006.05.010>
12. Xing, Y.; Lu, Y.; Dawson, R.; Shi, Y.; Zhang, H.; Wang, T.; Liu, W.; Ren, H. A Spatial Temporal Assessment of Pollution from PCBs in China. *Chemosphere*. 2005, 60(6), 731–739. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.05.001>
13. Status of Ratifications of the Stockholm Convention. Available online: <https://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatoires/tabid/4500/Default.aspx> (accessed on 4 May 2025).
14. Gouveia, N.; Harayashiki, C.; Márquez, F.; Lourenço, R.; Taniguchi, S.; Castro, I. Mollusc Shell Shape as Pollution Biomarkers: Which Is the Best Biological Model? *Marine Pollution Bulletin*. 2022, 179, 113663. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113663>
15. Castro, I. Improper Environmental Sampling Design Bias Assessments of Coastal Contamination. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2019, 24, e00068. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2019.e00068>
16. Chahouri, A.; Yacoubi, B.; Moukrim, A.; Banaoui, A. Bivalve Molluscs as Bioindicators of Multiple Stressors in the Marine Environment: Recent Advances. *Continental Shelf Research*. 2023, 264, 105056. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2023.105056>
17. Young, D.R.; Heesen, T.C.; McDermott, D.J. An Offshore Biomonitoring System for Chlorinated Hydrocarbons. *Marine Pollution Bulletin*. 1976, 7(8), 156–159. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(76\)90134-X](https://doi.org/10.1016/0025-326X(76)90134-X)
18. Tavares, T.M.; Rocha, V.C.; Porte, C.; Barceló, D.; Albaigés, J. Application of the Mussel Watch Concept in Studies of Hydrocarbons, PCBs and DDT in the Brazilian Bay of Todos os Santos (Bahia). *Marine Pollution Bulletin*. 1988, 19(11), 575–578. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(88\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0025-326X(88)90022-7)
19. Picer, M.; Picer, N. Levels and Long-Term Trends of Polychlorinated Biphenyls and DDTs in Bivalves Collected from the South Adriatic Coastal Waters. *Chemosphere*. 1995, 30(1), 31–38. [https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)00374-4](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)00374-4)
20. Lee, K.M.; Kruse, H.; Wassermann, O. The Pattern of Organochlorines in Mussels *Mytilus edulis* L. from the South West Baltic Sea. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 1996, 31(1), 68–76. <https://doi.org/10.1007/BF00203909>
21. Sbriz, L.; Aquino, M.R.; Alberto De Rodriguez, N.M.; Fowler, S.W.; Sericano, J.L. Levels of Chlorinated Hydrocarbons and Trace Metals in Bivalves and Nearshore Sediments from the Dominican Republic. *Marine Pollution Bulletin*. 1998, 36(12), 971–979. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00097-6](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00097-6)
22. Thompson, S.; Budzinski, H.; Garrigues, P.; Narbonne, J.F. Comparison of PCB and DDT Distribution between Water-Column and Sediment-Dwelling Bivalves in Arcachon Bay, France. *Marine Pollution Bulletin*. 1999, 38(8), 655–662. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)90197-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)90197-7)
23. Walker, C.H. Organic Pollutants: An Ecotoxicological Perspective, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2008; 408 p. <https://doi.org/10.1201/9781420062595>
24. Monirith, I.; Ueno, D.; Takahashi, S.; Nakata, H.; Sudaryanto, A.; Subramanian, A.; Karuppiyah, S.; Ismail, A.; Mughtar, M.; Zheng, J. et al. Asia-Pacific Mussel Watch: Monitoring Contamination of Persistent Organochlorine Compounds in Coastal Waters of Asian Countries. *Marine Pollution Bulletin*. 2003, 46(3), 281–300. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00400-9](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00400-9)
25. Tanabe, S.; Prudente, M.S.; Kan-atireklap, S.; Subramanian, A. Mussel Watch: Marine Pollution Monitoring of Butyltins and Organochlorines in Coastal Waters of Thailand, Philippines and India. *Ocean & Coastal Management*. 2000, 43(8–9), 819–839. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(00\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(00)00060-0)
26. Boonyatumanond, R.; Jaksakul, A.; Pancharoen, P.; Tabucanon, M.S. Monitoring of Organochlorine Pesticides Residues in Green Mussels (*Perna viridis*) from the Coastal Area of Thailand. *Environmental Pollution*. 2002, 119(2), 245–252. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00329-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00329-3)
27. Jaikanlaya, C.; Settachan, D.; Denison, M.; Ruchirawat, M.; Van Den Berg, M. PCBs Contamination in Seafood Species at the Eastern Coast of Thailand. *Chemosphere*. 2009, 76(2), 239–249. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.03.018>
28. Obbard, J.P.; Wurl, O.; Bayen, S. Persistent Organic Pollutants in Singapore's Marine Environment. In *Developments in Environmental Science*. Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2007; 7, 657–720. [https://doi.org/10.1016/S1474-8177\(07\)07015-5](https://doi.org/10.1016/S1474-8177(07)07015-5)

29. Ramu, K.; Kajiwara, N.; Isobe, T.; Takahashi, S.; Kim, E.; Min, B.; We, S.; Tanabe, S. Spatial Distribution and Accumulation of Brominated Flame Retardants, Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Blue Mussels (*Mytilus edulis*) from Coastal Waters of Korea. *Environmental Pollution*. 2007, 148(2), 562–569. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.11.034>
30. Choi, H.; Moon, H.; Choi, M.; Yu, J.; Kim, S. Mussel Watch Program for Organic Contaminants along the Korean Coast, 2001–2007. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2010, 169(1–4), 473–485. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1190-4>
31. Choi, J.; Yang, D.; Hong, G.; Kim, K.; Shin, K. Ecological and Human Health Risk from Polychlorinated Biphenyls and Organochlorine Pesticides in Bivalves of Cheonsu Bay, Korea. *Environmental Engineering Research*. 2016, 21(4), 373–383. <https://doi.org/10.4491/eer.2016.010>
32. Choo, G.; Choi, S.; Lee, I.; Oh, J. Nationwide Monitoring of Legacy and Emerging Persistent Organic Pollutants and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons along the Korean Coast. *Marine Pollution Bulletin*. 2024, 206, 116764. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116764>
33. Dwiyitno; Dsikowitzky, L.; Nordhaus, I.; Andarwulan, N.; Irianto, H.; Lioe, H.; Ariyani, F.; Kleinertz, S.; Schwarzbauer, J. Accumulation Patterns of Lipophilic Organic Contaminants in Surface Sediments and in Economic Important Mussel and Fish Species from Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*. 2016, 110(2), 767–777. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.034>
34. Suryono, C.A.; Sabdono, A.; Subagyo; Setyati, W.A.; Rochaddi, B.; Suryono; Susilo, E.S.; Mahendrajaya, R.T. The Presence of Organochlorine Pesticide in Semarang Indonesia Marine Waters and Their Contamination on Green Mussel *Perna viridis* (*Bivalvia: Mytilidae, Linnaeus, 1758*). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, 246, 012069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/246/1/012069>
35. Byun, G.; Moon, H.; Choi, J.; Hwang, J.; Kang, C. Biomagnification of Persistent Chlorinated and Brominated Contaminants in Food Web Components of the Yellow Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2013, 73(1), 210–219. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.017>
36. Sun, R.; Yu, J.; Liao, Y.; Chen, J.; Wu, Z.; Mai, B. Geographical Distribution and Risk Assessment of Dichlorodiphenyltrichloroethane and Its Metabolites in *Perna viridis* Mussels from the Northern Coast of the South China Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2020, 151, 110819. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110819>
37. Ivorra, L.; Cardoso, P.; Chan, S.; Cruzeiro, C.; Tagulao, K. Quantification of Insecticides in Commercial Seafood Sold in East Asian Markets: Risk Assessment for Consumers. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022, 30(12), 34585–34597. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24413-7>
38. Thuy, N.; Tham, T.; Thuy, T.; Yen, N.; Giang, D.; Ha, N.; Anh, H.; Minh, T. Persistent Organochlorine Pollutants in Different Bivalve Species from Central Vietnamese Coasts: Concentrations, Profiles, and Biota-Sediment Accumulation Factors. *Marine Pollution Bulletin*. 2024, 209, 117097. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117097>
39. Ishiyama, M.; Matsuo, Y.; Nakai, K.; Tatsuta, N.; Nakata, H.; Mizukawa, H.; Miyawaki, T.; Nagasaka, H.; Someya, T.; Ueno, D. Temporal Trends in PCB Concentrations in Mussels Collected from Areas Affected by the Great East Japan Earthquake and Tsunami. *Marine Pollution Bulletin*. 2019, 145, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.031>
40. Mukai, Y.; Goto, A.; Tashiro, Y.; Tanabe, S.; Kunisue, T. Coastal Biomonitoring Survey on Persistent Organic Pollutants Using Oysters (*Saccostrea mordax*) from Okinawa, Japan: Geographical Distribution and Polystyrene Foam as a Potential Source of Hexabromocyclododecanes. *Science of The Total Environment*. 2020, 739, 140049. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140049>
41. Ikuta, T.; Nomaki, H.; Nakajima, R. Accumulation of Polychlorinated Biphenyls in the Ovaries of Deep-Sea Chemosynthetic Clam *Phreagena okutanii*. *Frontiers in Marine Science*. 2024, 11, 1358774. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1358774>
42. Tkalin, A.V.; Lishavskaya, T.S.; Hills, J.W. Organochlorine Pesticides in Mussels and Bottom Sediments from Peter the Great Bay near Vladivostok. *Ocean and Polar Research*. 1997, 19, 115–119.
43. Borovkova, A.D.; Gavrilova, V.A.; Donets, M.M.; Belanov, M.A.; Tsygankov, V.Yu. Mussel Watch Program in the Sea of Japan: Persistent Organic Pollutants in Bivalves of the Family Mytilidae. *Marine Pollution Bulletin*. 2024, 209, 117107. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117107>

Статья поступила в редакцию 1.08.2025; одобрена после рецензирования 30.10.25; принята к публикации 11.12.2025.

The article was submitted 1.08.2025; approved after reviewing 30.10.2025; accepted for publication 11.12.2025.

