

**УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ОБЪЕКТОВ
ENVIRONMENTS OF FISHERIES RESOURCES**

Научная статья

УДК 502.51(265.54):504.5**DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-609-628****EDN: RNOTHA****СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛОВ В МОРСКОЙ СРЕДЕ ПРИБРЕЖНЫХ
АКВАТОРИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ****О.В. Бадмаев***

Дальневосточный региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт,
690091, г. Владивосток, ул. Фонтанная, 24

Аннотация. Рассматривается общее содержание фенолов в морской воде и донных отложениях отдельных акваторий зал. Петра Великого в период 1998–2022 гг. Средне-многолетние значения во всех исследованных акваториях были выше предельно допустимой концентрации фенола в водных объектах рыбохозяйственного значения, но вполне сравнимы с фоновой концентрацией фенолов в незагрязненных поверхностных водах. Чаще всего пики концентраций фенолов в морской воде и донных осадках наблюдались на станциях, расположенных вблизи впадения рек, в связи с чем ключевое влияние на загрязнение фенолами акватории зал. Петра Великого отводится стоку рек: Раздольной в Амурском заливе, Шкотовки и Артемовки в Уссурийском заливе и Объяснения в бухте Золотой Рог. Другими существенными источниками загрязнения являются городские сточные воды, сбрасываемые в восточной части Амурского залива, судостроительные и судоремонтные заводы, а также эксплуатация морских судов. Несмотря на тенденцию к снижению содержания фенолов в воде для всех акваторий, в 2019–2022 гг. отмечалось интенсивное загрязнение донных отложений Уссурийского залива.

Ключевые слова: мониторинг, фенолы, загрязнение, экологическое состояние, залив Петра Великого

Для цитирования: Бадмаев О.В. Содержание фенолов в морской среде прибрежных акваторий залива Петра Великого Японского моря // Изв. ТИНРО. — 2024. — Т. 204, вып. 3. — С. 609–628. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-609-628. EDN: RNOTHA.

Original article

**Phenol content in the marine environments of the coastal waters
in Peter the Great Bay, Japan Sea****Oleg V. Badmaev**

Far-Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute,
24, Fontannaya Str., Vladivostok, 690091, Russia
leading engineer, badmaevoleg@gmail.com, ORCID 0009-0001-2136-7413

Abstract. Total content of phenols in seawater and bottom sediments of some water areas in Peter the Great Bay in 1998–2022 is considered. Mean annual values of phenol con-

* Бадмаев Олег Васильевич, ведущий инженер, badmaevoleg@gmail.com, ORCID 0009-0001-2136-7413.

© Бадмаев О.В., 2024

centration exceeded the maximum allowable level for the water of fishing grounds but were comparable with the background concentrations in water and bottom sediments. Peaks of phenol concentration were usually observed in the estuaries of rivers, so the rivers are considered as the main source of phenol pollution: the Razdolnaya in the Amur Bay, the Shkotovka and Artemovka in the Ussuri Bay, and the Obyasnenie in the Zolotoy Rog Bay. Other significant sources of pollution were the urban wastewater discharged to the eastern Amur Bay and wastes of shipbuilding and ship repair plants and marine vessels. Downward trend of the total phenol content was revealed for all water areas, but pollution of bottom sediments by phenols was still high in the Ussuri Bay in 2019–2022.

Keywords: monitoring, phenol, pollution, ecological condition, Peter the Great Bay

For citation: Badmaev O.V. Phenol content in the marine environment of the coastal waters in Peter the Great Bay, Japan Sea, *Izv. Tikhoookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2024, vol. 204, no. 3, pp. 609–628. (In Russ). DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-609-628. EDN: RNOTHA.

Введение

Среди тысяч загрязняющих веществ в морской среде фенолы занимают особое место в связи с их высокой токсичностью и масштабностью распространения. Фенолы — большая группа химических веществ, список которых увеличивается с каждым годом. Мировое производство фенолов для промышленных нужд занимает одно из первых мест среди синтетических ароматических соединений [Груздев, 2016], а потребление в 2019 г. превысило 10 млн т, ежегодно увеличиваясь на 3 % [Li et al., 2024]. Производные фенола широко используются практически во всех сферах деятельности человека, масштабы их использования невозможно переоценить.

Фенольные соединения крайне неблагоприятно влияют на процессы внутри водоёмов: включаются в пищевые цепи, прямо или косвенно воздействуют на рост и развитие водных организмов, а также человека [Янин, 2004]. Ущерб биоте от фенолов сопоставим с воздействием нефтяных углеводородов, металлов, детергентов [Недоросткова, 2001; Огородникова, 2001; Li et al., 2024].

Моря Российской Федерации в разной степени испытывают влияние загрязнения фенолом. Наиболее высокие уровни загрязнения наблюдаются в устьях рек, где размещены различные промышленные предприятия, а также крупные населенные пункты*. В арктических морях основными источниками загрязнения являются промышленные стоки и речной лесосплав, в результате которого разложение плавучей древесины приводило к появлению большого количества фенолов в воде (8–10 мкг/л) [Нерсесов, Римский-Корсаков, 2021]. Высокие уровни содержания фенолов в донных осадках (до 6,6 мкг/л) регистрировали на акватории морских портов Охотского моря — Холмск, Поронайск, в зал. Анива, тогда как большая часть акватории шельфа о. Сахалин имеет невысокий уровень загрязнения фенолами (в среднем, 2,5 мкг/г) [Лишавская и др., 2005]. Уровни содержания фенолов в воде и осадках Амурского залива и бухты Золотой Рог в 90-е гг. прошлого столетия составляли соответственно 4,0 и 5,0 мкг/л в морской воде, 0,7 и 0,8 мкг/г — в донных осадках [Tkalin et al., 1993]. В настоящее время реками побережья Японского моря в воды бассейна сбрасывается 979,762 кг фенолов*.

Поступление фенолов и их производных в морскую среду может быть обусловлено как антропогенными, так и природными процессами. Назовем **антропогенные источники**.

Сбросы химической, фармацевтической, деревообрабатывающей, мебельной и целлюлозно-бумажной промышленности. Фенольные соединения содержатся в сточных водах предприятий по производству пластмасс, резины, лаков, красок, кле-

* Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям (Японское море) за 2021 год. Владивосток: ПУГМС, 2022. 215 с.

ев, пластификаторов, антисептиков, фенолформальдегидных смол, лекарств, средств бытовой химии и ядохимикатов, где они используются в качестве основных или промежуточных продуктов. Стоки таких производств являются основным антропогенным источником загрязнения биосферы фенолом, концентрация которого может достигать сотен миллиграммов на кубический дециметр [Соловьева, Пенкин, 2009; Андреев, 2014; Груздев, 2016].

Хозяйственно-бытовые сточные воды и ливневой сток. Благодаря широкому спектру и масштабности применения фенольных соединений в быту сточные воды содержат огромное количество этих соединений. Высокотоксичные хлорфенолы образуются при обеззараживании питьевой воды хлором, в результате дезинфекции пищевых предприятий, медицинских учреждений, транспорта, а также при использовании хлорсодержащих чистящих и отбеливающих средств на предприятиях и в быту [Батоев и др., 2005]. Широко используемые антисептики, например триклозан (5-хлоро-2-(2,4-дихлорфенокси) фенол), входят в состав мыла, дезодорантов, зубных паст. Креозот, представляющий собой смесь метилфенолов, используется в качестве консерванта древесины для обработки шпал на железнодорожных путях и деревянных опор [Груздев, 2016]. С ливневым стоком в морскую среду поступают токсичные соединения, в том числе и фенольные, смытые с запредельно грязных городских территорий.

Стоки сельскохозяйственных угодий и животноводческих ферм. В сельском хозяйстве широко используют пестициды — гербициды, инсектициды и фунгициды, содержащие в качестве действующего начала фенольные соединения. Так, на основе хлорфенолов применяются гербициды 2,4-Д, 2,4,5-Т, пентахлорфенол [Андреев, 2014]; инсектицид трихлорметафос-3 [Сибгатуллин и др., 2007]; на основе нитрофенолов — пестициды ДНФ (2,4-динитрофенол), ДНОК (2-метил-4,6-динитрофенол) и др., а также метилфенолов — метоксона, ландрина [Груздев, 2016].

Особое место занимает гербицид 2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота и ее производные), который является одним из старейших и наиболее широкодоступных гербицидов и дефолиантов в мире. Гербицид коммерчески доступен с 1945 г. и в настоящее время производится многими химическими компаниями, поскольку срок действия патента на него давно истек. Он содержится в многочисленных смесях с гербицидами и используется в качестве средства от сорняков при выращивании зерновых культур, на пастбищах и садах. В РФ ежегодно используется более 70 000 т гербицида 2,4-Д [Федоров, Яблоков, 1999; Ахметченко и др., 2014].

Период разложения на 95 % внесенного ядохимиката 2,4-Д в почвах варьирует от 10 до 170 сут. После применения гербицид легко переносится в подземные воды из-за его высокой растворимости (600 мг/л при 25 °C) [Хмелевская и др., 2016]. В водной среде гербицид 2,4-Д при воздействии ультрафиолета разлагается с образованием токсичного 2,4-дихлорфенола [Андреев, 2014].

Инсектицид трихлорметафос-3 широко используется для борьбы с насекомыми крупного рогатого скота, в организме которых образуются его метаболиты — моно-, ди-, трихлорфенолы. Главным метаболитом является 2,4,5-трихлорфенол, который токсичнее исходного соединения в 2–3 раза. Кроме того, образуются 2,4-дихлорфенол и орто-хлорфенол [Методические указания, 1982*; Сибгатуллин и др., 2007].

Следует упомянуть и еще один инсектицид, продуктами распада которого являются фенолы, — линдан, или γ -изомер гексахлорциклогексана (γ -ГХЦГ). Так, метаболизм линдана в культурах плесневых грибов и организмах теплокровных животных и человека происходит с образованием 2,4,6-трихлорфенола и 2,3,4,6-тетрахлорфенола [Энгст и др., 1978; Илларионова и др., 2022]. Линдан применялся в качестве основного средства для борьбы с гусеницами, почвообитающими насекомыми, широко ис-

* Методические указания по определению трихлорметафоса-3 и его метаболитов в биологическом материале методом газожидкостной хроматографии. № 2647–82.

пользовался для фумигации складских помещений, а также для обработки древесины, мехов, натуральной шерсти с целью защиты от порчи насекомыми. На постсоветском пространстве линдан используется как лекарственный препарат для борьбы с чесоткой и педикулезом.

Таким образом, широкое применение в сельском хозяйстве пестицидов, промежуточными продуктами разложения которых являются фенолы, обуславливает значительное поступление этих токсикантов в водные экосистемы в результате вымывания их из почвы.

Производственные процессы судоремонтных и судостроительных компаний. В процессе строительства и ремонта образуется огромный объем отходов и загрязняющих веществ, основная часть которых представлена летучими органическими веществами (52 %), в том числе фенолами. Для подготовки и отделки поверхности корпуса судна используется большое количество химических веществ — моющих средств, смазочных материалов и растворителей, растворов для металлических покрытий, красок, полимеризованных смол, содержащих фенольные соединения. Процессы окраски и нанесения покрытий происходят практически на каждом участке верфи. В процессе судостроения и ремонта образуются жидкие отходы, в том числе моечная вода, замасленная вода от мойки трюмов и резервуаров, моторные жидкости, гидравлические жидкости, смазки и антифриз. Стоки с территории завода захватывают масла и мусор, накопившиеся в доках, и выносят в море [Картамышева, Иванченко, 2018].

Химическое окисление и фотоллиз нефтепродуктов. Химические превращения нефти в море носят в основном окислительный характер, а на морской поверхности они обычно сопровождаются фотохимическими реакциями под воздействием УФ-излучения. К промежуточным продуктам окисления относятся и фенолы, обычно имеющие повышенную растворимость в воде и повышенную токсичность [Патин, 1997]. Таким образом, разливы сырой нефти и сбросы нефтепродуктов — моторного топлива, смазочных масел и т.д., в которых дополнительно в качестве присадок используются соединения фенолов, являются одной из причин появления фенольных соединений в морских водах. В Невской губе Балтийского моря превышение содержания фенолов в воде (до 47 ПДК) относят на счет трансформации нефтяных углеводородов, попадающих в воду как из-за потерь при транспортировке, так и вследствие эксплуатации различных видов водного транспорта [Тютюнник и др., 2018].

Природные источники. В водной среде фенолы образуются в результате биохимической деструкции и трансформации органических веществ воды и донных отложений (гумуса, лигнина и фульвовых кислот), а также в процессе метаболизма водных организмов. Содержание фенолов в незагрязненных поверхностных водах не превышает 0,3 мкг/л [Долматова и др., 2004; Андреев, 2014; Груздев, 2016].

Отдельные хлорфенолы (ди- и трихлорфенолы) продуцируют некоторые виды почвенных грибов, лишайников, насекомых. 2,4,6-трихлорфенол считается самым распространенным хлорфенолом природного происхождения, который обнаружен в незагрязненных озерных и речных водах Швеции и Финляндии [Батоев и др., 2005]. Огромное количество природных фенолов присутствует в таежных и тундровых реках РФ, а наибольшее содержание характерно для болотных вод. Обогащение природных вод фенолами происходит благодаря разложению торфа и гниению топлива [Овечкин, Овечкина, 2016; Нерсесов, Римский-Корсаков, 2021]. Метилфенолы найдены в эфирных маслах многих наземных хвойных и цветковых растений [Груздев, 2016].

Фенольные соединения находят как в клетках, так и в среде обитания морских и пресноводных водорослей: бурые водоросли выделяют их до 1 г на квадратный метр [Сиротский, Климин, 2009]. В дальневосточных бурых водорослях общее содержание полифенолов может меняться от 0,4 мг/г сухой массы у *Saccharina cichorioides* до 6,2 мг/г сухой массы у *Fucus evanescens* [Аминина и др., 2020]. В зал. Петра Великого широкий спектр полифенолов и высокое их содержание обнаружены в морской траве *Zostera asiatica* и *Z. marina* [Аминина и др., 2021].

Поступая в морскую среду, фенольные соединения, например хлорфенолы, могут активно сорбироваться из воды взвесью и накапливаться в донных отложениях до значительных концентраций. Фенолы — соединения нестойкие и подвергаются биохимическому и химическому окислению, зависящему от температуры воды (с ростом температуры скорость распада всех фенолов увеличивается), величины pH, содержания кислорода, УФ-излучения и ряда других факторов [Долматова и др., 2004; Янин, 2004]. Концентрации фенолов в речных водах подвержены заметным сезонным изменениям: их содержание в воде летом падает и увеличивается при понижении температуры [Долматова и др., 2004].

Скорость деструкции для различных фенольных соединений в воде неодинакова и зависит как от химического строения, так и от внешних условий. Простые фенолы под действием солнечного света, кислорода и микроорганизмов полностью распадаются за 7 дней [Некрасова и др., 2019]. В то же время полихлорфенолы более устойчивы по сравнению с нехлорированными аналогами. В воде в аэробных условиях период полураспада пентахлорфенола оценивается от 72–80 до 100 дней [Янин, 2004; Андреев, 2014].

В донных отложениях устойчивость полихлорфенолов еще выше, так как их деградация существенно ускоряется при действии УФ-излучения, которое поглощается водной толщей. Поскольку хлорпроизводные фенола являются слабыми кислотами, степень сорбции зависит от величины pH, уменьшаясь в щелочной среде, а также от количества органического вещества в составе отложений [Андреев, 2014].

Большое влияние на содержание фенолов в донных отложениях оказывает тип осадков (ил, песок). В случае илов проявляется так называемый «иловый эффект», когда фенолы распадаются в результате преобладания биохимических процессов окисления фенолов над физико-химическими процессами — окислением растворенным кислородом, адсорбцией донными отложениями [Долматова и др., 2004]. В целом деградация фенолов в донных отложениях включает последовательные процессы деароматизации, карбоксилирования и разложения до метана и углекислого газа [Zhang, Wiegel, 1990].

Кроме того, в морской среде могут происходить процессы, обратные разложению фенольных соединений. Так, нитрофенолы могут образовываться в водной среде при взаимодействии обычного фенола с нитрит-ионами в присутствии УФ-излучения [Андреев, 2014; Груздев, 2016].

Водные растения могут активно поглощать фенолы. Одно растение камыша озерного *Scirpus lacustris* при биомассе 100 г извлекает из воды до 4 мг монофенола, а также производные фенола: крезол, ксиленол, пирокатехин, резорцин, гидрохинон, пирогаллол, пиридин и др. Список видов, способных извлекать из воды фенольные соединения, постоянно расширяется [Кислицина, 2017].

Содержание фенолов в водной среде отличается высокой сезонной изменчивостью, что является общей тенденцией, наблюдаемой в различных регионах мира. Наиболее высокие концентрации фенолов в водной среде отмечаются во влажный сезон, когда осадки наиболее интенсивны [Zhou et al., 2017].

Таким образом, токсичность этих соединений и широкое распространение в биосфере обуславливают необходимость постоянного наблюдения за их содержанием в морской среде.

Цель данного исследования — оценить уровень загрязнения фенолами вод и донных отложений отдельных акваторий зал. Петра Великого (заливов Амурский, Уссурийский, бухты Золотой Рог, прол. Босфор Восточный) в современных условиях, проанализировав многолетнюю изменчивость их содержания, и выявить возможные пути поступления фенольных соединений в морскую среду залива.

Материалы и методы

Для оценки загрязнения морской среды пробы воды и донных отложений отбирали на станциях государственной сети наблюдений (ГСН) в 1998–2022 гг. Отбор проб

воды для каждой станции выполняли с периодичностью 2–3 раза в год: в апреле-мае, июне-августе и сентябре-октябре. Однако в отдельные годы отбор проб воды для некоторых станций производился ежемесячно в период с марта по ноябрь. Отбор проб донных отложений, как правило, проводили 2 раза в год — в апреле-июне и сентябре-октябре. Исключением является 2003 г., когда отбор проб воды и донных осадков вовсе не выполняли.

Пробы воды отбирали батометром на двух или трех горизонтах — поверхность (до 0,8 м), придонный слой и промежуточный (10 м) — в зависимости от глубины места. В работе использованы данные 27 станций в заливах Амурском, Уссурийском, прол. Босфор Восточный, бухтах Золотой Рог и Диомид в интервале глубин 3–67 м (рис. 1).

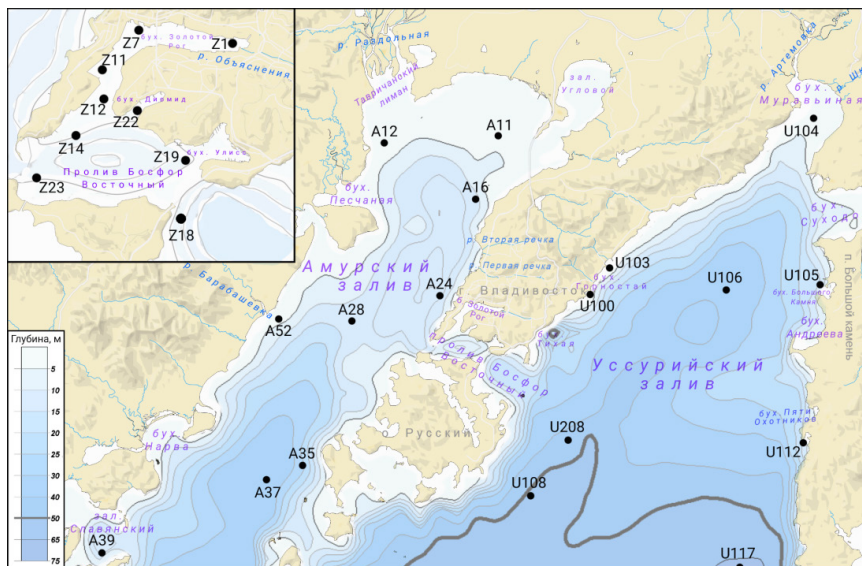


Рис. 1. Схема расположение станций ГЧН на исследуемых акваториях

Fig. 1. Sampling location

Суммарное содержание фенолов в воде и донных отложениях анализировали в лаборатории мониторинга загрязнения природных вод и почв Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Анализ содержания фенолов в воде выполняли согласно методике (ПНД Ф 14.1:2.4.182-02). Метод основан на экстракции фенолов из воды бутилацетатом, реэкстракции их раствором щёлочи и измерении массовой концентрации на анализаторе «Флюорат 02-2М» по интенсивности флюоресценции фенолов после подкисления реэкстракта. Минимально определяемая концентрация фенола — 0,5 мкг/л, погрешность 65 % при доверительной вероятности $P = 0,95$.

Определение фенолов в грунте выполняли спектрофотометрическим методом. Пробу, отобранную из поверхностного слоя грунта (50 см³), консервировали концентрированной соляной кислотой (5 см³) и до проведения анализа хранили в морозильной камере. Метод основан на извлечении фенолов из проб донных осадков щелочью с последующим определением продуктов конденсации определяемых фенолов с 4-аминоантипирином. Оптическую плотность переведённых в раствор фенолов измеряли на фотоэлектроколориметре КФК-3. Минимально определяемая масса фенолов — 5,0 или 0,5 мкг на 1 г сухой массы донных осадков в пробе; относительное стандартное отклонение не более 10 %*.

* Методика измерений спектрофотометрическим методом. Массовая доля фенолов в пробах почв и донных отложений пресных и морских водных объектов с 4-аминоантипирином. Ростов н/Д, 2020. 10 с.

Для анализа многолетних данных использованы материалы базы данных, структурированной в Региональном центре океанологических данных по дальневосточному региону (ДВНИГМИ).

Станции ГСН расположены в относительно изолированных заливах Амурском, Уссурийском, бухте Золотой Рог и в прол. Босфор Восточный, соединяющем эти акватории. Поскольку источники поступления фенолов в указанных акваториях могут быть разными, загрязнение морской среды в дальнейшем рассматривается по отдельности в каждой акватории.

В бухте Золотой Рог анализировали данные, полученные на станциях Z1, Z7, Z11 и Z12; в прол. Босфор Восточный — Z14, Z18 и Z23. Материалы, полученные в бухтах Диомид и Улисс, не использовали по причине малой репрезентативности наблюдений вследствие нерегулярности проводимых здесь отборов проб.

Средние значения концентрации фенолов в морской воде определяли путем осреднения данных отбора проб для каждой станции на всех наблюдаемых горизонтах, затем данные осредняли для каждой акватории.

Результаты и их обсуждение

Морская вода. Как следует из анализа многолетних данных, наиболее загрязненной является бухта Золотой Рог (табл. 1). Так, среднемноголетнее содержание фенолов в водной толще бухты составило 2,6 мкг/л. Концентрации фенольных соединений в Амурском заливе и в прол. Босфор Восточный ниже — 1,9 мкг/л. В наиболее «чистом» Уссурийском заливе эта величина не превышала 1,5 мкг/л. Следует отметить, что наибольшие значения концентраций фенолов наблюдались в поверхностном слое. Все измеренные значения были выше предельно допустимой концентрации фенола в водных объектах рыбохозяйственного значения (1 мкг/л)*, но вполне сравнимы с фоновой концентрацией фенолов в незагрязненных поверхностных водах (< 2 мкг/л)**.

Как свидетельствуют результаты изучения долговременной динамики концентраций фенолов с 1998 по 2022 г. (рис. 2), наибольшее содержание фенолов в водах исследованных акваторий регистрировалось в период с 1998 по 2004 г. с максимумом в 1998 г. После некоторого снижения в 2005–2006 гг. рост концентраций возобновился. Следующие менее выраженные пики значений среднегодовых концентраций были в 2008, 2014, 2020 и 2022 гг. (рис. 2). Заметно, что для всех акваторий наблюдается убывающий тренд.

Пространственное распределение среднемноголетних концентраций фенолов в водной толще показывает, что наибольшие их значения наблюдаются в прибрежных станциях и областях, локализованных в районах интенсивной хозяйственной деятельности (рис. 3). Рассмотрим случаи максимальных уровней концентраций фенолов, их локализацию и вариабельность.

В 1998–2022 гг. наибольшую частоту максимумов концентраций фенолов отмечали в бухте Золотой Рог, где максимальные концентрации в толще воды могут достигать 28 ПДК, что превышает фон более чем в 10 раз. Чаще всего случаи максимального содержания фенолов в воде отмечали в кутовой части бухты (ст. Z1) в зоне влияния р. Объяснения (12 случаев ежегодных максимальных значений за 24 года наблюдения). Концентрации варьировали от 1,6 в апреле 2013 и августе 2021 гг. до 28,0 мкг/л в июне 1998 г.

В Амурском заливе в этот же период случаи максимальных концентраций чаще наблюдали в приустьевом участке р. Раздольной (ст. A12 — 8 случаев). Причем эти

* Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 306 с.

** Environment Canada. Canadian water quality guidelines for phenols. Supporting document. Environment Canada, Environmental Quality Branch, Ottawa, 1998. Unpub. draft doc.

Таблица 1

Некоторые статистические характеристики содержания фенолов в морской воде
исследуемых акваторий в 1998–2022 гг., мкг/л

Table 1

Some statistical characteristics of phenols concentration in water column in 1998–2022, by areas,
ppb

Горизонт	<i>n</i>	<i>M</i>	$\pm SE$	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Бухта Золотой Рог					
Поверхность	411	2,9	0,1	0,0	28,0
10 м	199	2,0	0,1	0,0	8,0
Придонный слой	409	2,5	0,1	0,0	15,4
Вся толща воды	1019	2,6	0,1	0,0	28,0
Прол. Босфор Восточный					
Поверхность	562	2,1	0,1	0,0	13,8
10 м	441	1,8	0,1	0,0	13,0
Придонный слой	522	1,8	0,1	0,0	13,3
Вся толща воды	1525	1,9	0,0	0,0	13,8
Амурский залив					
Поверхность	757	2,0	0,1	0,0	18,0
10 м	488	1,9	0,1	0,0	44,0
Придонный слой	696	1,8	0,1	0,0	17,0
Вся толща воды	1941	1,9	0,1	0,0	44,0
Уссурийский залив					
Поверхность	559	1,5	0,1	0,0	17,0
10 м	353	1,5	0,1	0,0	14,0
Придонный слой	540	1,5	0,1	0,0	12,0
Вся толща воды	1452	1,5	0,0	0,0	17,0

Примечание. Здесь и далее: *n* — число измерений; *M*, *Min* и *Max* — среднее, минимальное и максимальные значения, *SE* — ошибка репрезентативности.

максимумы были отмечены в разные месяцы. Содержание фенолов в периоды максимумов на ст. А12 (2000, 2002, 2006–2007, 2013, 2019–2020, 2022 гг.) варьировало от 1,6 мкг/л в сентябре 2019 г. до 18,0 мкг/л в августе 2002 г.

На другой станции приустьевого участка (ст. А11) зафиксировано 4 случая максимальной концентрации фенолов (2001, 2005, 2010, 2017 гг.), а пределы изменений значений составили 1,7–6,0 мкг/л.

В восточной части Амурского залива на ст. А16 пики регистрировали реже — в пяти (1998–1999, 2012, 2014, 2018 гг.). При этом абсолютный максимум содержания был отмечен именно на этой станции (44,0 мкг/л) в июне 1998 г., а пределы изменения значений составляли 3,2–44,0 мкг/л. Следует отметить, что на этой станции часто регистрировались концентрации, близкие к максимальным, а величина содержания в июне 1998 г. сравнима с уровнем экстремально-высокого загрязнения — 50 ПДК*.

Принимая во внимание наибольшее число случаев максимального содержания фенолов в приустьевом участке залива (ст. А12 — восемь случаев; ст. А11 — четыре), можно сделать вывод о преобладающем влиянии стока р. Раздольной на содержание фенолов в водах Амурского залива. Однако также весьма значительную долю фенолов поставляют сбросы сточных вод в восточной части залива (ст. А16, А24), где пики концентраций фиксируются реже, но значения содержания фенолов иногда превышают аналогичные величины в кутовой части.

* Временное положение о порядке взаимодействия федеральных органов исполнительной власти при аварийных выбросах и сбросах загрязняющих веществ и экстремально высоком загрязнении окружающей природной среды. М., 1995, Зарегистрировано Министерством юстиции РФ 11 сентября 1995 г. № 946.

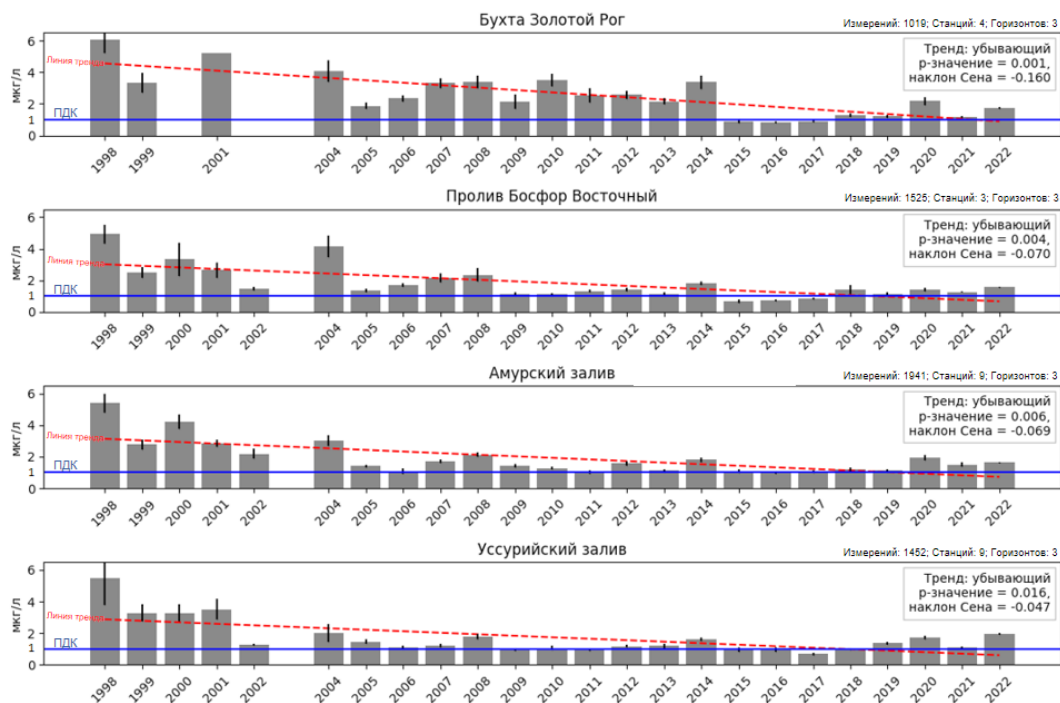


Рис. 2. Долговременные изменения средних концентраций фенолов (мкг/л) в толще воды исследуемых акваторий в 1998–2022 гг.: пунктир — линия тренда, сплошная линия — ПДК (1 мкг/л*); планки погрешности — стандартная ошибка. Количество измерений на каждом горизонте указано в табл. 1

Fig. 2. Long-term changes of average annual concentration of phenols in water column (ppb), by areas. Linear trends for 1998–2022 (dotted line), maximum allowable concentration (1.0 ppb, solid line), and standard errors for each year (whiskers) are shown. See the number of measurements in Table 1

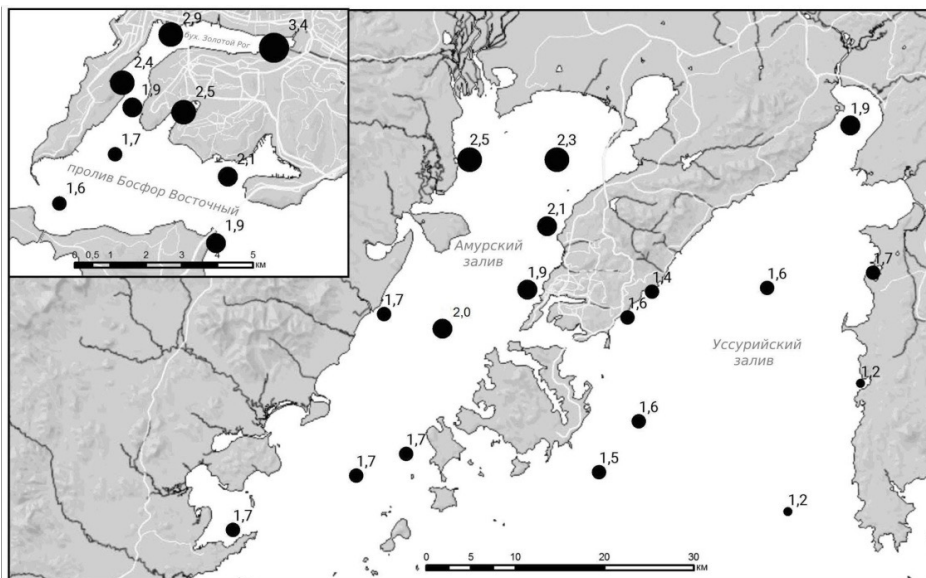


Рис. 3. Распределение среднемноголетнего содержания фенолов (мкг/л) в водной толще в 1998–2022 гг.

Fig. 3. Total phenol content in water column averaged for 1998–2022, ppb

* Перечень... (1999).

В Уссурийском заливе максимальные концентрации фенолов в воде чаще наблюдались в приустьевой зоне рек Артемовка и Шкотовка (ст. U104). Эти максимумы (восемь случаев) также были отмечены в разные месяцы. Содержание фенолов в периоды максимумов на ст. U104 (1998, 2006, 2009, 2012, 2015–2016, 2018, 2020 гг.) изменялось от 2,0 мкг/л в сентябре 2009 г. до 17,0 мкг/л в апреле 1998 г.

До 2008 г. пики концентраций (четыре случая) фиксировали и на ст. U100 в районе бухты Тихой, где осуществлялся сброс неочищенных сточных вод от жилого массива. Самое высокое содержание фенолов в воде (9,5 мкг/л) здесь было отмечено в апреле 2004 г. Четыре случая максимальных концентраций зарегистрированы на ст. U108, где наиболее высокое содержание фенолов составляло 10,0 мкг/л в апреле 2001 г.

В 2022 г. в водах Уссурийского залива были отмечены самые высокие средние годовые концентрации фенолов среди всех исследованных акваторий, причем высокие значения наблюдали на всех станциях этой акватории (рис. 4, табл. 2).

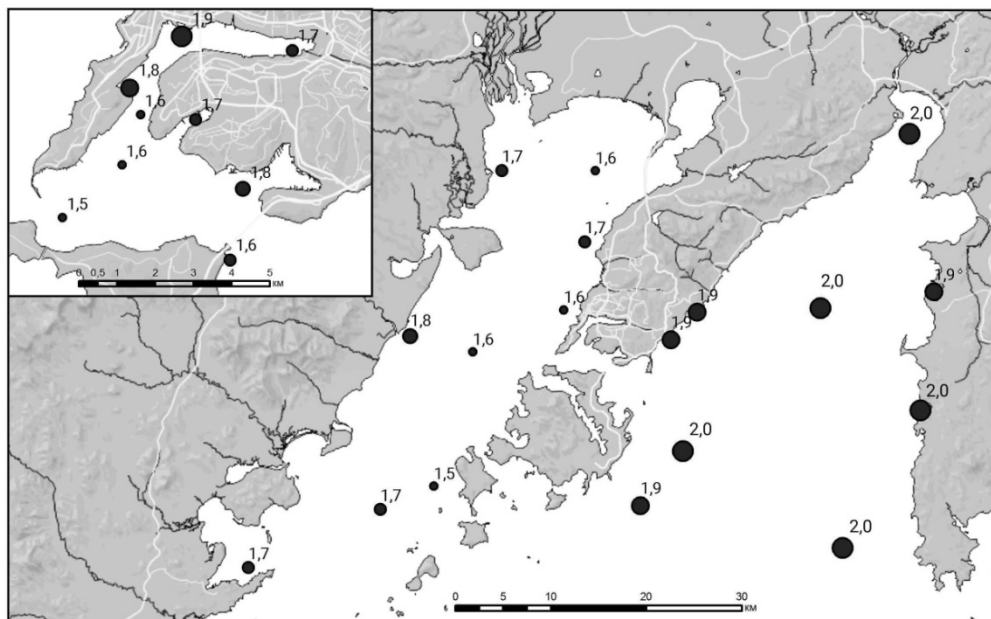


Рис. 4. Распределение среднего содержания фенолов (мкг/л) в водной толще исследуемых акваторий в 2022 г.

Fig. 4. Total phenol content in water averaged for 2022, ppb

В последние годы в Уссурийском заливе происходит заметное ухудшение экологической ситуации. Так, исследования на его побережье (бухта Лазурная), проведенные ДВНИГМИ в августе 2019–2022 гг., свидетельствовали об очень сильном загрязнении пляжей пластиком, мусором и строительным материалом, которые предположительно поступают в результате переноса с восточного побережья этой акватории, возможно, с судостроительного комплекса (ССК) «Звезда», а также с морских судов. В первой декаде августа 2022 г. было зафиксировано сильное загрязнение поверхности вод и береговой черты нефтепродуктами. Здесь же отмечено массовое развитие макрофитов, в огромных количествах выбрасываемых на берег, что может быть результатом органического загрязнения вод вследствие возросшей антропогенной нагрузки туристической отрасли.

Донные отложения. В течение исследуемого периода наиболее высокое содержание фенолов в донных отложениях отмечали в бухте Золотой Рог, а минимальное — в Уссурийском заливе (табл. 3, рис. 5). При этом самые резкие колебания среднегодовых концентраций наблюдали в бухте Золотой Рог (0,1–25,8 мкг/г) с выраженным пиком в 2008 г. В 2007 г. отмечен максимум в прол. Босфор Восточный (16,1 мкг/г), менее вы-

Таблица 2

Некоторые статистические характеристики концентраций фенолов в толще воды
исследованных акваторий в 2022 г., мкг/л

Table 2

Some statistical characteristics of phenols concentration in water in 2022, by areas, ppb

Горизонт	<i>M</i>	$\pm$ SE	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Бухта Золотой Рог (n = 30)				
Поверхность	1,8	0,1	1,4	2,0
10 м	1,7	0,1	1,5	1,8
Придонный слой	1,8	0,1	1,4	2,0
Вся толща воды	1,8	0,0	1,4	2,0
Прол. Босфор Восточный (n = 42)				
Поверхность	1,6	0,0	1,4	1,9
10 м	1,6	0,1	1,4	2,0
Придонный слой	1,7	0,0	1,4	2,0
Вся толща воды	1,6	0,0	1,4	2,0
Амурский залив (n = 48)				
Поверхность	1,6	0,1	1,2	1,9
10 м	1,6	0,0	1,3	1,8
Придонный слой	1,7	0,0	1,2	1,8
Вся толща воды	1,6	0,0	1,2	1,9
Уссурийский залив (n = 72)				
Поверхность	2,0	0,0	1,6	2,6
10 м	2,0	0,0	1,7	2,1
Придонный слой	2,0	0,0	1,6	2,3
Вся толща воды	2,0	0,0	1,6	2,6

раженный пик — в 2008 г. на акватории Амурского залива (21,5 мкг/г), а в Уссурийском заливе максимум (12,7 мкг/г) пришелся на 2006 г. (рис. 5).

Таблица 3

Некоторые статистические характеристики содержания фенолов в донных отложениях
исследованных акваторий в 1998–2022 гг., мкг/г

Table 3

Some statistical characteristics of phenols concentration in bottom sediments in 1998–2022,
by areas, ppm

Акватория	<i>n</i>	<i>M</i>	$\pm$ SE	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Бухта Золотой Рог	159	6,0	0,3	0,1	25,8
Прол. Босфор Восточный	209	4,3	0,2	0,6	16,1
Амурский залив	373	3,5	0,1	0,0	21,5
Уссурийский залив	367	2,4	0,1	0,0	12,7

В пространственном распределении среднесноголетних концентраций фенолов в донных отложениях отмечаются несколько областей повышенных значений. Так, в Амурском заливе эти области локализованы в восточной части, в приустьевом участке, в центральной части и в зал. Славянском (рис. 6).

Чаще всего область максимальных концентраций фенолов располагалась в приустьевой области р. Раздольной (ст. А12 и А11). В 11 случаях наблюдались самые высокие и близкие к ним значения содержания фенолов. При этом максимальные концентрации изменялись от 2,8 до 21,5 мкг/г, а большинство значений превышало 5,0 мкг/г.

В восточной части залива (ст. А16, А24) наивысшие концентрации фенолов и близкие к ним наблюдали в 12 случаях. На этом участке самые высокие значения варьировали от 1,5 до 12,2 мкг/г, в пяти случаях превышая 5,0 мкг/г.

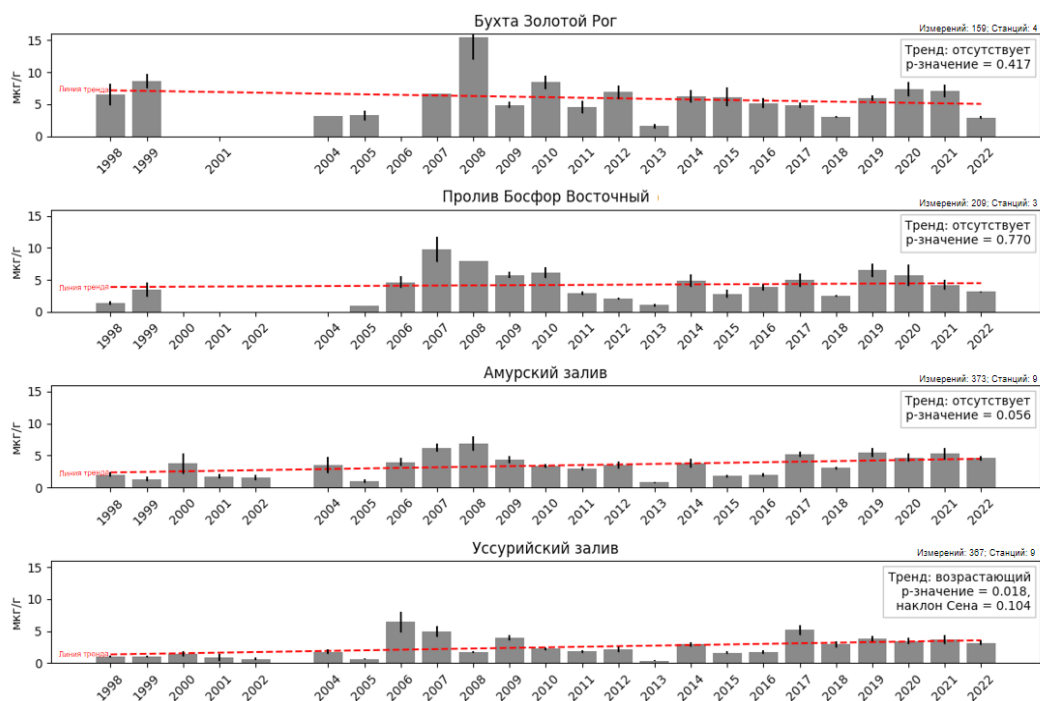


Рис. 5. Долговременные изменения среднегодовых концентраций фенолов (мкг/г) в донных отложениях в 1998–2022 гг.: *пунктир* — линия тренда; *планки погрешности* — стандартная ошибка

Fig. 5. Long-term changes of average annual concentration of phenols in bottom sediments (ppm), by areas. Linear trends for 1998–2022 (dotted line) and standard errors for each year (whiskers) are shown

В акватории бухты Золотой Рог область высоких среднесуточных значений расположена в кутовой части (рис. 6). Именно здесь наиболее часто фиксировали пики содержания фенолов, а их максимальные концентрации превышали 10,0 мкг/г.

В Уссурийском заливе участки с повышенным содержанием фенолов расположены в центральной части на ст. U106 (3,2 мкг/г) и в приустьевом участке (2,7 мкг/г). Пики значений чаще всего отмечали в приустьевой части в зоне рек Артемовка и Шкотовка (ст. U104). Так, в 1998–2022 гг. на этой станции было зафиксировано пять максимальных случаев и три близких к максимальным значениям. Диапазон изменений составлял 1,0 мкг/г (апрель 2013 г.) — 10,1 мкг/г (август 2021 г.).

Четыре случая максимальных концентраций и три близких к ним фиксировали на ст. U106 (1,8–12,7 мкг/г). Три пика отмечено на ст. U100 (1,8–6,6 мкг/г) в районе бухты Тихой.

Отдельно рассмотрим содержание фенолов в 2022 г. (табл. 4). В этот период наиболее загрязненными фенолами были осадки Амурского залива, наименее — Уссурийского залива и бухты Золотой Рог.

В 2022 г. наиболее высокие среднегодовые концентрации фенолов в осадках (рис. 7) отмечены в восточной и южной частях Амурского залива (ст. A24, A16, A37 и A39). Самое высокое среднее значение зарегистрировано на ст. A24 — 6,9 мкг/г, тогда как максимальная концентрация на этой станции составила 7,2 мкг/г в апреле.

Близкая величина среднегодового содержания (5,4 мкг/г) отмечена на выходе из Амурского залива (ст. A37), при этом максимум (7,4 мкг/г) здесь также был в апреле. В зал. Славянском (ст. A39) среднегодовое содержание фенолов составляло 5,1 мкг/г (рис. 7). В восточной части Амурского залива (ст. A16) величины среднего и максимального содержания — соответственно 4,8 и 5,3 мкг/г.

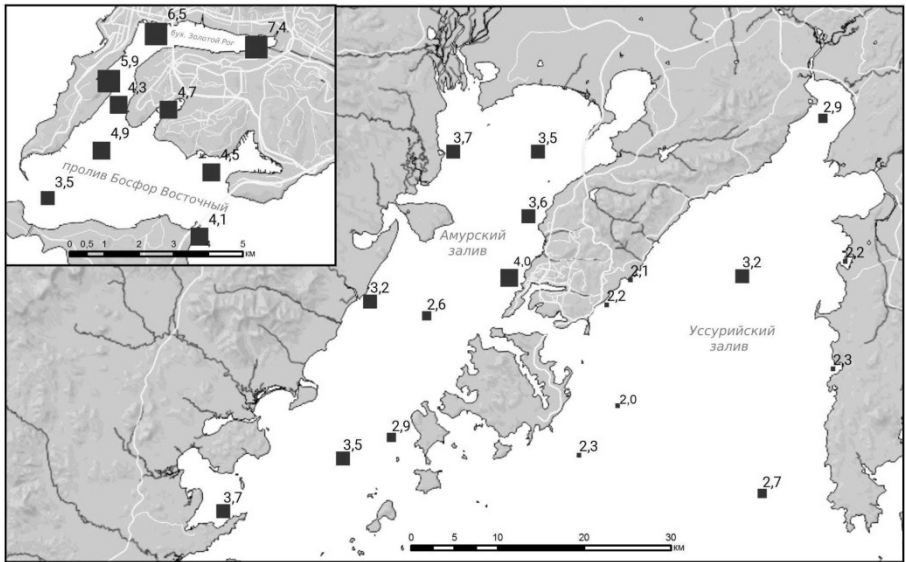


Рис. 6. Распределение среднеемноголетнего содержания фенолов (мкг/г) в донных отложениях в 1998–2022 гг.

Fig. 6. Total phenol content in bottom sediments averaged for 1998–2022, ppm

Таблица 4

Некоторые статистические характеристики концентраций фенолов в донных отложениях исследуемых акваторий в 2022 г., мкг/г

Table 4

Some statistical characteristics of phenols concentration in bottom sediments in 2022, by areas, ppm

Акватория	<i>n</i>	<i>M</i>	$\pm$ SE	<i>Min</i>	<i>Max</i>
Бухта Золотой Рог	8	2,9	0,2	1,6	3,5
Прол. Босфор Восточный	6	3,1	0,1	2,7	3,6
Амурский залив	18	4,6	0,3	2,6	7,4
Уссурийский залив	18	2,9	0,3	1,1	6,1

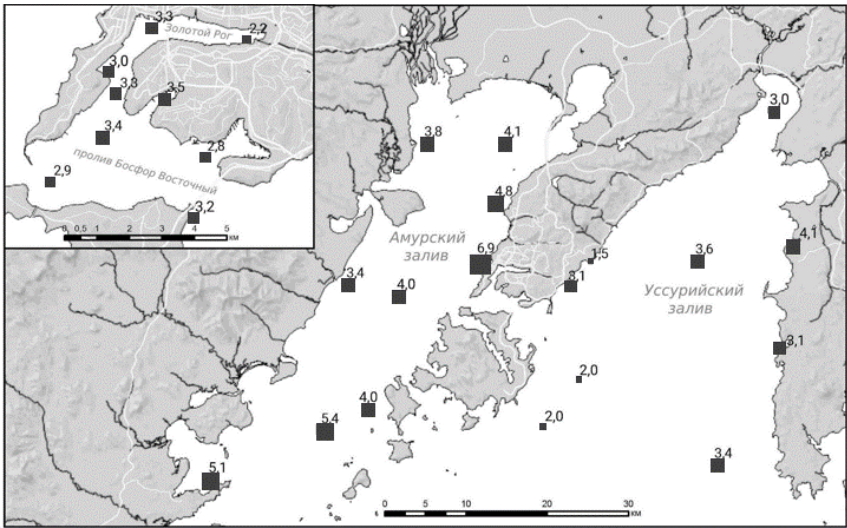


Рис. 7. Распределение среднего содержания фенолов (мкг/г) в донных отложениях исследуемых акваторий в 2022 г.

Fig. 7. Total phenol content in bottom sediments averaged for 2022, ppm

Рассмотрим возможные источники поступления фенолов в морскую среду отдельных акваторий. В Амурском заливе, как отмечали выше (см. рис. 3, 6, 7), области повышенных концентраций фенолов в воде и донных осадках обнаружены в восточной, южной частях, а также в приустьевом участке р. Раздольной.

Станции А16 и А24, расположенные в восточной части залива (см. рис. 1), находятся в районах сброса бытовых сточных вод г. Владивостока. Особого внимания заслуживают предприятия, находящиеся в бассейне р. Первая Речка по ул. Снеговой, — Дальхимпром, завод ЖБИ, предприятия стройиндустрии, авторемонтные мастерские и стоянки, небольшие заводы, железнодорожное депо, склады. Одним из крупных возможных источников поступления фенолов являются Владивостокская нефтебаза, а также бытовые стоки в районе Моргородка и Второй Речки. Кроме того, вдоль восточного берега залива расположены зоны отдыха, гостиничные комплексы, городские пляжи и многочисленные пункты общественного питания (Спортивная Гавань), вносящие свой вклад в загрязнение вод залива.

Важнейшим источником поступления фенолов является сток р. Раздольной. Установлено, что годовые потоки биогенных элементов и растворенного органического вещества, поставляемых р. Раздольной, составляют примерно 2/3 от общего потока в залив [Михайлик, 2023]. Со стоком этой реки в Амурский залив поступает терригенный материал и ядохимикаты, содержащиеся в почвах сельскохозяйственных угодий, животноводческих ферм, садоводческих товариществ. Поскольку продуктами распада многих пестицидов и органического вещества являются многочисленные фенольные соединения, можно предположить, что р. Раздольная является одним из основных поставщиков фенольных соединений в Амурский залив.

Накопление фенольных соединений в донных отложениях в северной части Амурского залива может быть результатом трансформации органического вещества осевшего фитопланктона. Об этом свидетельствует сильная коррелированность концентраций органического углерода и фенолов, наиболее заметная в начале июня после весеннего пика фитопланктона. Однако это утверждение нуждается в проверке после определения компонентного состава фенолов [Мощенко и др., 2020].

На выходе из Амурского залива периодически отмечаются участки дна с высокими значениями содержания фенолов (ст. А37). Станция ГСН А37, когда-то выбранная в качестве фоновой для Амурского залива, расположена в районе впадины (глубины более 38 м), где донные отложения представлены песчанистыми илами. Как известно, такие депрессии в рельефе дна являются седиментационными ловушками, где происходит накопление как органической взвеси, так и загрязняющих веществ [Тищенко и др., 2021]. Кроме того, во время рейдовых стоянок на судах осуществляется мелкий ремонт, связанный с очисткой корпуса и палубы от старого покрытия и нанесением грунтовки и свежей краски, в состав которых входят многочисленные соединения на основе фенолов [Андреев, 2014; Картамышева, Иванченко, 2018].

Еще один участок с высокими концентрациями фенолов расположен на акватории зал. Славянского (ст. А39), который может испытывать влияние расположенного здесь судоремонтного завода.

В Уссурийском заливе в пространственном распределении фенолов отмечены участки с самыми высокими значениями — в приустьевом участке рек Артемовка и Шкотовка, вблизи пос. Большой Камень, где базируется ССК «Звезда», а также участок в центре залива на ст. 106 (район впадины, глубина — 35 м) и в бухте Тихой (см. рис. 3, 7). Стоки рек Артемовка и Шкотовка, а также ССК «Звезда» могут быть источниками фенольного загрязнения Уссурийского залива. Менее значимыми являются сточные воды бухты Тихой и эксплуатация морских судов, загрязняющих центральную часть залива.

Наиболее сильно антропогенное воздействие проявляется в бухте Золотой Рог и в прол. Босфор Восточный. Нагрузка на эти акватории обусловлена огромным количеством источников поступления загрязняющих веществ. Здесь расположены судостро-

ительные и судоремонтные предприятия, стоянки судов торгового, рыболовного и военно-морского флота, морские вокзалы и грузовые терминалы. Ливневой сток приносит в акваторию чрезвычайно загрязненные воды с автомобильных и железнодорожных путей, охватывающих бухту, а основной вклад в загрязнение вносит р. Объяснения, являющаяся приемником сточных вод ТЭЦ-2 и предприятия «Приморский водоканал»*.

Заключение

Анализ многолетних данных содержания фенолов в морской среде зал. Петра Великого свидетельствует, что в водах и донных отложениях регулярно наблюдается значительное превышение как ПДК, так и концентраций, характерных для донных отложений акваторий, не затронутых антропогенной деятельностью. Согласно имеющимся данным, содержание фенолов в незагрязненных водах не превышает 0,3 мкг/л [Долматова и др., 2004; Андреев, 2014; Груздев, 2016], при этом фоновая концентрация может составлять < 2,0 мкг/л**.

Зал. Петра Великого подвергается интенсивному загрязнению уже много десятилетий, и фоновые концентрации фенолов в донных отложениях неизвестны. Поэтому для оценки загрязненности грунтов залива мы использовали данные, полученные на акваториях дальневосточных и арктических морей России [Лишавская и др., 2005].

Таким образом, на основе проведенного анализа многолетних данных о содержании фенолов в водах и донных отложениях зал. Петра Великого сделаны следующие выводы.

В исследованных акваториях зал. Петра Великого в 1998–2022 гг. наиболее загрязненными фенолами были воды и донные отложения бухты Золотой Рог. Максимальные концентрации фенолов в толще воды здесь составляли до 28 ПДК и превышали фон (2,0 мкг/л) более чем в 10 раз. Среднемноголетние концентрации фенолов в грунтах данной акватории превышают фоновые значения (0,40 мкг/г) более чем в 15 раз. Наименее загрязненными акваториями зал. Петра Великого могут считаться воды Уссурийского залива (до 17 ПДК), превышение фона — в несколько раз. Среднемноголетнее содержание фенолов в осадках здесь превышает фон в шесть раз.

Пространственное распределение среднемноголетних концентраций фенолов в воде и осадках показывает, что их наибольшие значения наблюдаются в прибрежных станциях и областях, локализованных в районах интенсивной хозяйственной деятельности. Таким образом, поступление фенолов в морскую среду зал. Петра Великого, по-видимому, обусловлено исключительно антропогенными процессами.

Основными источниками фенольного загрязнения, вероятно, являются стоки рек — Раздольной в Амурском заливе, Шкотовка и Артемовка в Уссурийском заливе и Объяснения в бухте Золотой Рог. Именно в приустьевых участках этих акваторий чаще всего в период 1998–2022 гг. наблюдались пики концентраций фенолов в воде и осадках.

Одними из существенных источников загрязнения могут быть городские сточные воды, сбрасываемые в восточной части Амурского залива, судостроительные и судоремонтные заводы в зал. Славянском, в бухтах Большой Камень и Золотой Рог, а также эксплуатация морских судов.

В период 1998–2022 гг. отмечен убывающий тренд среднегодового содержания фенолов в водной толще всех исследованных акваторий. При этом тренд среднегодовых концентраций фенолов в донных отложениях отсутствует, за исключением Уссурийского залива, где наблюдался рост среднегодовых концентраций фенолов.

Полученные результаты свидетельствуют о сложной динамике загрязнения фенолами акваторий зал. Петра Великого. Несмотря на общую тенденцию к снижению, содержание фенолов в ряде районов все еще превышает предельно допустимые концентрации.

* Ежегодник... (2022).

** Environment Canada... (1998).

Концентрации фенолов в водной среде подвержены постоянным изменениям под воздействием разнообразных физико-химических и биологических факторов. Это свидетельствует об исключительной сложности всего комплекса взаимосвязей между условиями среды, химико-биологическими процессами и динамикой содержания фенольных соединений в морской экосистеме.

Данная многофакторность значительно усложняет выявление закономерностей пространственно-временного распределения фенолов в акватории залива. Кроме того, существенную трудность представляет разграничение степени влияния различных источников фенольного загрязнения. Это связано как с их многочисленностью, так и с отсутствием достоверных сведений об объемах сбросов.

Проблема загрязнения фенолами зал. Петра Великого требует дальнейшего комплексного изучения с применением современных методов исследования и моделирования для более глубокого понимания процессов, происходящих в морской среде и разработки эффективных мер по снижению антропогенной нагрузки на данную акваторию.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор выражает искреннюю благодарность канд. биол. наук, ведущему научному сотруднику ДВНИГМИ Т.А. Белан за существенную помощь, оказанную при написании статьи, и ценные рекомендации по ее улучшению. Отдельная благодарность начальнику регионального центра океанографических данных ДВНИГМИ А.А. Круц за предоставленные данные и пояснение их ключевых аспектов.

The author expresses his sincere gratitude to T.A. Belan for valuable recommendations and substantial assistance in the article writing and special thanks to A.A. Krutz for the data providing with key aspects explanation.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

This study did not receive any special funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The author states that he has no conflict of interest.

Список литературы

Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Караулова Е.П. и др. Перспективы использования промысловых и потенциально промысловых бурых водорослей дальневосточных морей в качестве источника полифенолов // Биол. моря. — 2020. — Т. 46, № 1. — С. 37–44. DOI: 10.31857/S0134347520010027.

Аминина Н.М., Остапенко В.М., Караулова Е.П. Характеристика антиоксидантной активности отдельных фракций полифенолов морской травы рода *Zostera* // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 2. — Р. 505–515. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-505-515.

Андреев Ю.А. Идентификация и определение полихлорфенолов в воде газохроматографическим методом : дис. ... канд. хим. наук. — Ростов н/Д, 2014. — 175 с.

Ахметченко З.А., Муфазалова Н.А., Муфазалова Л.Ф. Биологические эффекты хлорфеноксигербицидов // Фундам. исслед. — 2014. — № 7-4. — С. 817–824.

Батоев В.Б., Нимацыренова Г.Г., Дабалаева Г.С., Палицына С.С. Оценка загрязненности хлорированными фенолами бассейна реки Селенги // Химия в интересах устойчивого развития. — 2005. — Т. 13, вып. 1. — С. 31–35.

Груздев И.В. Многофункциональная дериватизация для газохроматографического определения следов замещенных фенолов и анилинов в водных средах : дис. ... д-ра хим. наук. — Сыктывкар, 2016. — 456 с.

Долматова Л.А., Егорова Л.С., Михайленко М.А. Летучие фенолы в объектах экосистемы р. Барнаулки // Изв. АлтГУ. — 2004. — № 3 (33). — С. 10–14.

Илларионова Е.А., Сыроватский И.П., Митина А.Э. Химико-токсикологический анализ пестицидов : учеб. пособие. — Иркутск : ИГМУ, 2022. — 51 с.

Каргамышева Е.С., Иванченко Д.С. Основные источники загрязнения окружающей среды в судостроительной промышленности // Молодой ученый. — 2018. — № 25(211). — С. 18–20.

Кислицина М.Н. Влияние экзогенных фенольных соединений на структурно-функциональные характеристики высших водных растений : дис. ... канд. биол. наук. — Екатеринбург, 2017. — 168 с.

Лишавская Т.С., Мощенко А.В., Чернова А.С. Некоторые органические поллютанты в донных отложениях прибрежных акваторий острова Сахалин // Изв. ТИНРО. — 2005. — Т. 142. — С. 296–309.

Михайлик Т.А. Гидрохимия реки Раздольной и ее влияние на экологическое состояние Амурского залива : автореф. дис. ... канд. хим. наук. — Владивосток : ДВФУ, 2023. — 26 с.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Лишавская Т.С. и др. Многолетняя динамика концентраций приоритетных поллютантов и общего уровня химического загрязнения прибрежных акваторий Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 2. — С. 377–400. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-377-400.

Недоросткова И.Г. Фенолы в водах залива Петра Великого и их биологическое действие : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2001. — 125 с.

Некрасова Л.П., Малышева А.Г., Абрамов Е.Г. Трансформация фенола и двухатомных фенолов в поверхностной воде под действием природных физико-химических факторов // Гигиена и санитария. — 2019. — № 98(11). — С. 1206–1211. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1206-1211.

Нерсесов Б.А., Римский-Корсаков Н.А. Результаты экологических исследований российских арктических морей // Российская Арктика. — 2021. — № 13. — С. 14–25. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-2-14-25.

Овечкин Ф.Ю., Овечкина Е.С. Природа фенольного загрязнения реки Вах // 2-я Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы науки и практики XXI в.». — Нижневартовск, 2016. — С. 77–85. DOI: 10.5281/zenodo.292969.

Огородникова А.А. Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого : моногр. — Владивосток : ТИНРО-центр, 2001. — 193 с.

Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа : моногр. — М. : ВНИРО, 1997. — 349 с.

Сибгатуллин Р.С., Равилов Р.Х., Садыков Н.И. Ветеринарная санитария : учеб. пособие. — Казань : Казан. гос. акад. ветеринар. мед. им. Н.Э. Баумана, 2007. — 148 с.

Сиротский С.Е., Климин М.А. Источники поступления фенольных соединений в природные воды на примере бассейна реки Амур // Вопр. рыб-ва. — 2009. — Т. 10, № 3(39). — С. 598–617.

Соловьева Т.В., Пенкин А.А. Технология древесноволокнистых плит, технология древесностружечных плит, технология композиционных материалов и пластиков : лабораторный практикум. — Минск : БГТУ, 2009. — 142 с.

Тищенко П.П., Звалинский В.И., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Гипоксия залива Петра Великого // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201, вып. 3. — С. 600–639. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-600-639.

Тютюнник В.В., Резниченко О.П., Каурова З.Г. Исследования концентраций фенола в воде прибрежной части Невской губы // Междунар. вестн. ветеринарии. — 2018. — № 2. — С. 87–90.

Федоров Л.А., Яблоков А.В. Пестициды — токсический удар по биосфере и человеку : моногр. — М. : Наука, 1999. — 462 с.

Хмелевская М.С., Ахрамович Т.И., Игнатовец О.С. и др. Естественные пути деградации пестицидов на основе 2,4-дихлорфеноксиуксусных кислот // Тр. БГТУ. — 2016. — № 4(186). — С. 175–181.

Энгст Р., Махольц Р.М., Куява М. Метаболизм линдана в организме микробов, теплокровных животных и человека // Гигиена и санитария. — 1978. — № 10. — С. 64–65.

Янин Е.П. Органические вещества техногенного происхождения в водах городских рек // Экологическая экспертиза. — 2004. — № 4. — С. 42–67.

Li H., Meng F., Leng Yu., Li A. Emergency response to ecological protection in maritime phenol spills: Emergency monitor, ecological risk assessment, and reduction // Mar. Pollut. Bull. — 2024. — Vol. 200. 116073. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2024.116073.

Tkalin A.V., Belan T.A., Shapovalov E.N. The state of the marine environment near Vladivostok, Russia // Mar. Pollut. Bull. — 1993. — Vol. 26, № 8. — P. 418–422.

Zhang X., Wiegel J. Sequential anaerobic degradation of 2,4-dichlorophenol in freshwater sediments // Appl. Environ. Microbiol. — 1990. — Vol. 56. — P. 1119–1127. DOI: 10.1128/aem.56.4.1119-1127.1990.

Zhou M., Zhang J., Sun C. Occurrence, Ecological and Human Health Risks, and Seasonal Variations of Phenolic Compounds in Surface Water and Sediment of a Potential Polluted River Basin in China // Int. J. Environ. Res. Public Health. — 2017. — Vol. 14. 1140. DOI: 10.3390/ijerph14101140.

References

Aminina, N.M., Vishnevskaya, T.I., Karaulova, E.P., Epur, N.V., and Yakush, E.V., Prospects for the use of commercial and potentially commercial brown algae of the far eastern seas as a source of polyphenols, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2020, vol. 46, no. 1, pp. 34–41. doi 10.31857/S0134347520010027

Aminina, N.M., Ostapenko, V.M., and Karaulova, E.P., Characteristics of antioxidant activity for certain fractions of polyphenols from seagrass of genus *Zostera*, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 505–515. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-505-515

Andreev, Yu.A., Identification and determination of polychlorophenols in water by gas chromatographic method, *Cand. Sci. (Chem.) Dissertation*, Rostov-on-Don, 2014.

Akhmetchenko, Z.A., Mufazalova, N.A., and Mufazalova, L.F., Biological effects of chlorophenoxyherbicides, *Fundam. issled.*, 2014, no. 7–4, pp. 817–824.

Batoev, V.B., Nimatsyrenova, G.G., Dabalaeva, G.S., and Palitsyna, S.S., Assessment of pollution by chlorinated phenols in the Selenga River basin, *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*, 2005, vol. 13, no. 1, pp. 31–35.

Gruzdev, I.V., Multifunctional derivatization for gas chromatographic determination of traces of substituted phenols and anilines in aqueous media, *Doctoral (Chem.) Dissertation*, Syktyvkar, 2016.

Dolmatova, L.A., Egorova, L.S., and Mikhaylenko, M.A., Volatile phenols in the objects of Barnaulka River ecosystem, *Izvestiya Altaysk. Gos. Univ.*, 2004, no. 3 (33), pp. 10–14.

Illarionova, E.A., Syrovatsky, I.P., and Mitina, A.E., *Khimiko-toksikologicheskiy analiz pestitsidov* (Chemical and toxicological analysis of pesticides), Irkutsk: Irkutsk Gos. Med. Univ., 2022.

Kartamysheva, E.S. and Ivanchenko, D.S., The main sources of environmental pollution in the shipbuilding industry, *Molodoy uchenyy*, 2018, no. 25 (211), pp. 18–20.

Kislitsina, M.N., Influence of exogenous phenolic compounds on the structural and functional characteristics of higher aquatic plants, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Ekaterinburg, 2017.

Lishavskaya, T.S., Moshchenko, A.V., and Chernova, A.S., Interrelation of some organic contaminants and bottom sediment properties at the north-east shelf and inshore waters of Sakhalin Island, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2005, vol. 142, pp. 296–309.

Mikhailik, T.A., Hydrochemistry of the Razdolnaya River and its influence on the ecological state of the Amur Bay, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Chem.) Dissertation*, Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2023.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Lishavskaya, T.S., Sevastianov, A.V., and Borisov, B.M., Longterm dynamics of prior pollutants concentration and total level of chemical contamination in the coastal areas at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 2, pp. 377–400. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-377-400

Nedorostkova, I.G., Phenols in the waters of Peter the Great Bay and their biological action, *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 2001.

Nekrasova, L.P., Malysheva, A.G., and Abramov, E.G., Transformation of phenol and diatomic phenols in surface water under the impact of natural physical and chemical factors, *Gig. Sanit.*, 2019, vol. 98, no. 11, pp. 1206–1211. doi 10.18821/0016-9900-2019-98-11-1206-1211

Nersesov, B.A. and Rimsky-Korsakov, N.A., Results of ecological studies of the Russian Arctic seas, *Rossiyskaya Arktika*, 2021, no. 13, pp. 14–25. doi 10.24412/2658-4255-2021-2-14-25

Ovechkin, F. and Ovechkina, E., Nature of phenolic pollution of the Vakh River, in *Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference "Actual problems of science and practice of the XXI century"*, Nizhnevartovsk, 2016, pp. 77–85. doi 10.5281/zenodo.292969

Ogorodnikova, A.A., *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka vozdeistviya beregovykh istochnikov zagryazneniya na prirodnuyu sredu i bioresursy zaliva Petra Velikogo* (Ecological and Economic Assessment of the Impact of Coastal Pollution Sources on the Natural Environment and Bioresources of Peter the Great Bay), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001.

Patin, S.A., *Ekologicheskie problemy osvoeniya neftegazovykh resursov morskogo shel'fa* (Ecological Problems of Oil and Gas Resources Development of the Marine Shelf), Moscow: VNIRO, 1997.

Sibgatullin, R.S., Ravilov, R.Kh., and Sadykov, N.I., *Veterinarnaya sanitariya* (Veterinary sanitation), Kazan: Kazan. gos. akad. veterin. med. im. N.E. Bauman, 2007.

Sirotsky, S.E. and Klimin, M.A., Sources of the entering of phenol connections into the natural waters based on the example of Amur River basin, *Vopr. Rybolov.*, 2009, vol. 10, no. 3(39), pp. 598–617.

Solovieva, T.V. and Penkin, A.A., *Tekhnologiya drevesnovoloknistykh plit, tekhnologiya drevessnostuzhechnykh plit, tekhnologiya kompozitsionnykh materialov i plastikov* (Technology of wood-fiber boards, technology of wood-chip boards, technology of composite materials and plastics), Minsk: Beloruss. Gos. Technol. Univ., 2009.

Tishchenko, P.P., Zvalinsky, V.I., Mikhaylik, T.A., and Tishchenko, P.Ya., Hypoxia in Peter the Great Bay, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 3, pp. 600–639. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-600-639

Tyutyunnik, V.V., Reznichenko, O.P., and Kaurova, Z.G., Research of quality of water in a coastal part of the Neva Bay, *Mezhdunar. vestn. Veterinari*, 2018, no. 2, pp. 87–90.

Fedorov, L.A. and Yablokov, A.V., *Pestitsidy — toksicheskiy udar po biosfere i cheloveku* (Pesticides — a toxic blow to the biosphere and man), Moscow: Nauka, 1999.

Khmelevskaya, M.S., Akhramovich, T.I., Ignatovets, O.S., Leontyev, V.N., and Feskova, E.V., Natural pathways of degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid-based pesticides, *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, no. 4(186), pp. 175–181.

Engst, R., Makhholz, R.M., and Kujawa, M., Metabolism of lindane in the body of microbes, warm-blooded animals and humans, *Gig. Sanit.*, 1978, no. 10, pp. 64–65.

Yanin, E.P., Organic substances of technogenic origin in the waters of urban rivers, *Ekologicheskaya ekspertiza*, 2004, no. 4, pp. 42–67.

Li, H., Meng, F., Leng, Yu., and Li, A., Emergency response to ecological protection in maritime phenol spills: Emergency monitor, ecological risk assessment, and reduction, *Mar. Pollut. Bull.*, 2024, vol. 200, 116073. doi 10.1016/j.marpolbul.2024.116073

Tkalin, A.V., Belan, T.A., and Shapovalov, E.N., The state of the marine environment near Vladivostok, Russia, *Mar. Pollut. Bull.*, 1993, vol. 26, no. 8, pp. 418–422.

Zhang, X. and Wiegel, J., Sequential anaerobic degradation of 2,4-dichlorophenol in freshwater sediments, *Appl. Environ. Microbiol.*, 1990, vol. 56, pp. 1119–1127. doi 10.1128/aem.56.4.1119-1127.1990

Zhou, M., Zhang, J., and Sun, C., Occurrence, Ecological and Human Health Risks, and Seasonal Variations of Phenolic Compounds in Surface Water and Sediment of a Potential Polluted River Basin in China, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2017, vol. 14, 1140. doi 10.3390/ijerph14101140

Vremennoye polozheniye o poryadke vzaimodeystviya federal'nykh organov ispolnitel'noy vlasti pri avariynnykh vybrosakh i sbrosakh zagryaznyayushchikh veshchestv i ekstremal'no vysokom zagryaznenii okruzhayushchey prirodnoy sredy (Temporary Regulations on the Procedure for Interaction between Federal Executive Authorities in Cases of Emergency Emissions and Discharges of Pollutants and Extremely High Pollution of the Environment), Moscow, 1995, Registered by the Ministry of Justice of the Russian Federation on September 11, 1995, no. 946.

Yezhegodnik kachestva morskikh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam (Yaponskoye more) za 2021 god (Yearbook of marine water quality by hydrochemical indicators (Sea of Japan) for 2021), Vladivostok: PUGMS, 2022.

PND F 14.1.2:4.182-02. Kolichestvennyy khimicheskiy analiz vod. Metodika izmereniy massovoy kontsentratsii fenolov (obshchikh i letuchikh) v probakh prirodnnykh, pit'yevykh i stochnykh vod fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti «Flyuorat-02» (PND F 14.1.2:4.182-02. Quantitative chemical analysis of water. Methodology for measuring the mass concentration of phenols (total and volatile) in samples of natural, drinking and waste water using the fluorimetric method on the Fluorat-02 liquid analyzer).

Metodika izmereniy spektrofotometricheskim metodom. Massovaya dolya fenolov v probakh pochv i donnykh otlozheniy presnykh i morskikh vodnykh ob'yektov s 4-aminoantipirinom (Methodology of measurements by spectrophotometric method. Mass fraction of phenols in soil and bottom sediment samples of fresh and marine water bodies with 4-aminoantipyrine), Rostov-on-Don, 2020.

Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu trikhlormetafosa-3 i yego metabolitov v biologicheskoy materiale metodom gazozhidkostnoy khromatografii, № 2647–82 (Guidelines for the determination of trichlorometaphos-3 and its metabolites in biological material by gas-liquid chromatography, no. 2647–82).

Perechen' rybokhozyaystvennykh normativov: predel'no dopustimyykh kontsentratsiy (PDK) i oriyentirovochno bezopasnykh urovney vozdeystviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody vodnykh ob'yektov, imeyushchikh rybokhozyaystvennoye znachenie (List of fishery standards: maximum permissible concentrations (MPC) and estimated safe impact levels (ESIL) of harmful substances for water bodies of fishery importance), Moscow: VNIRO, 1999.

Environment Canada. Canadian water quality guidelines for phenols. Supporting document, Environment Canada, Environmental Quality Branch, Ottawa, 1998. Unpub. draft doc.

Поступила в редакцию 18.04.2024 г.

После доработки 12.08.2024 г.

Принята к публикации 13.09.2024 г.

*The article was submitted 18.04.2024; approved after reviewing 12.08.2024;
accepted for publication 13.09.2024*