



Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации
Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
(ФГБУ «ДВНИГМИ»)

Аналитический материал

АМ.2025.02

Химическое загрязнение морской среды отдельных акваторий залива Петра Великого в 2015–2024 гг.

Владивосток 2025

РЕФЕРАТ

В обзоре представлены данные по химическому загрязнению вод и донных отложений отдельных прибрежных акваторий залива Петра Великого за период 2015–2024 гг. Рассмотрены акватории вблизи Владивостока – бухта Золотой Рог, пролив Босфор Восточный, заливы Амурский и Уссурийский.

На протяжении всего периода наблюдений (2015–2024 гг.) наиболее загрязненными в отношении ОСНУ были воды бухты Золотой Рог. Фенольное загрязнение вод характерно для всех исследованных акваторий. Практически ежегодно в поверхностном горизонте всех акваторий отмечаются случаи превышения ПДК для фенолов. Средние концентрации МЕ на всех акваториях были ниже ПДК.

Самыми загрязненными были осадки бухты Золотой Рог и пролива Босфор Восточный. В донных отложениях этих акваторий содержание почти всех анализируемых ЗВ значительно превышали минимальные пороговые концентрации.

В донных осадках для всех акваторий отмечена тенденция к снижению ОСНУ, для фенолов в Амурском заливе наблюдается тенденция к возрастанию, каких-либо тенденций для металлов не выявлено.

Авторы:

Белан Т.А. (вед.н.с., ФГБУ «ДВНИГМИ»); Бадмаев О.В. (м.н.с. ФГБУ «ДВНИГМИ»).

Дата составления: 08.12.2025 г.

Оглавление

Введение.....	4
1. Основные источники загрязнения акваторий залива Петра Великого вблизи Владивостока.....	5
2. Результаты исследований химического загрязнения вод и донных отложений залива в 2024 г.	8
3. Межгодовая изменчивость загрязнения морской среды залива	16
4. Заключение.....	24
5. Список используемых источников	25

Введение

Своевременный анализ данных ежегодного мониторинга прибрежных акваторий дальневосточных морей должен обеспечивать репрезентативной информацией об изменениях основных характеристик морской среды и экосистем, а также о возможных тенденциях в их многолетней динамике. В данном обзоре анализируются следующие параметры – общее содержание нефтяных углеводородов (ОСНУ); концентрации отдельных токсичных металлов (МЕ) – свинца, меди и цинка; суммарное содержание фенолов и ДДТ в воде и донных отложениях (ДО) залива Петра Великого.

Работы выполняются по Программе государственного мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морской среды в рамках соглашения между ФГБУ «ДВНИГМИ» и ФГБУ «Приморское УГМС». Химический анализ проб, полученных в ходе экспедиционных исследований, производился в Центре мониторинга загрязнения окружающей среды (ЦМС) ФГБУ «Приморское УГМС». Для анализа многолетних данных использованы материалы базы данных, структурированной в Региональном центре океанологических данных по дальневосточному региону ФГБУ «ДВНИГМИ».

Цель исследования – оценка состояния морской среды залива в условиях высокой антропогенной нагрузки, определение возможных тенденций в изменении качества среды, а также выявление экологически напряженных районов за период 2015–2024 гг.

Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) дает следующее определение загрязнения морской среды. «Загрязнение моря – это непосредственное или косвенное внесение человеком веществ или энергии в морскую среду, влекущее за собой такие неблагоприятные последствия, как нанесение ущерба биологическим ресурсам; опасность для здоровья людей, помехи для морских отраслей хозяйственной деятельности, включая рыболовство; снижение пригодности морской воды для использования и ухудшение эстетических достоинств морских ландшафтов» [GESAMP, 1990].

В настоящее время к основными источникам поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в море относят:

1. Сбросы химической, фармацевтической, деревообрабатывающей, мебельной и целлюлозно-бумажной промышленности.
2. Хозяйственно-бытовые сточные воды и ливневой сток.
3. Загрязненный речной сток.
4. Морской транспорт и рыбодобывающий флот.
5. Добыча и транспортировка углеводородного сырья.

6. Аварийные разливы нефти и залповые выбросы токсичных соединений.
7. Атмосферный перенос.

Загрязняющие вещества, поступающие в морскую среду, группируются по степени возрастания опасности следующим образом [GESAMP, 1990; Патин, 1997; Тищенко и др., 2021]:

1. Пластиковый мусор, взвешенное вещество.
2. Биогенные элементы, органическое вещество.
3. Нефтяные углеводороды, токсичные металлы, хлорорганические соединения.

К первой группе относят вещества с механическим воздействием, поражающие органы дыхания, пищеварения и т.д. Вещества второй группы вызывают бурное развитие фитопланктона с последующим нарушением баланса водных систем, что приводит к заморным явлениям. В третью группу входят токсиканты с различными механизмами действия на организмы – от физических и физико-химических повреждений до канцерогенных и мутагенных эффектов.

1. Основные источники загрязнения акваторий залива Петра Великого вблизи Владивостока

Прибрежная территория полуострова Муравьева-Амурского является наиболее загрязненным участком залива Петра Великого (особенно западная и южная части). Здесь расположен крупный город Владивосток с развитой промышленностью – имеются предприятия судоремонтной, рыбообрабатывающей, строительной, энергетической, пищевой и легкой промышленности. Сточные воды от различных предприятий сбрасываются в прибрежные воды недостаточно очищенными или полностью не очищенными, поэтому наблюдаются значительные превышения норм предельно допустимых концентраций (ПДК) по многим показателям [Дулепов, Кочеткова, 2012].

Самыми загрязненными в прибрежной зоне Японского моря в течение многих десятилетий остаются бухты Золотой Рог и Диомид [Tkalin et al, 1993; Давыдкова и др., 2005; Ежегодник, 2022; Бадмаев, 2024]. Эти акватории наиболее интенсивно подвергаются влиянию стоков г. Владивостока – сюда поступают воды городской канализации; негативное воздействие оказывают порты и судоремонтные заводы, маломерный и крупнотоннажный флот. Ливневой сток приносит в акваторию чрезвычайно загрязненные воды с автомобильных и железнодорожных путей; значительный вклад в загрязнение бухты Золотой Рог вносит р. Обьяснения, являющаяся приемником сточных вод ВТЭЦ-2 и канализационных стоков жилых микрорайонов. В течение последних 50 лет в бухту сливались стоки с различными нефтепродуктами, вследствие чего на дне образовался осадочный нефтебитумный слой, который местами достигает толщины 0,7–1,5 м. В

результате воздействия донные отложения внутренней акватории бухты Золотой Рог представлены жидкими и полужидкими черными илами, пропитанными нефтепродуктами, содержащими различные антропогенные включения [Ежегодник, 2022].

По данным авторов [Шорников, Зенина, 2014], толщина антропогенного слоя осадков в срединной части бухты составляет около двух метров. На выходе из бухты преобладают сильно заиленные гравелистые осадки. В проливе Босфор Восточный встречаются илистые грунты, часто с заметной примесью гравия, песка, ракуши и шлака.

Об очень высоком органическом загрязнении вод акваторий морского порта, и, главным образом, бухты Золотой Рог свидетельствует значительное обилие фитопланктона и преобладание видов, известных как показатели органического загрязнения. Регистрируемые практически ежегодные «цветения» воды обусловлены видами-индикаторами неблагоприятного экологического состояния вод, достигающими массового развития в наиболее загрязненных высокоэвтрофных районах залива Петра Великого, прибрежных водах Японии, Черного моря, а также восточного побережья США и Канады [Стоник, 2018; Тевс, Шевченко, 2022]. В настоящее время бухта Золотой Рог утратила свое рыбохозяйственное значение, превратившись в безжизненную транспортную артерию [Дулепов, Кочеткова, 2012].

Значительная часть бытовых сточных вод сбрасывается в восточную часть Амурского залива. Один из важнейших источников поступления ЗВ – сток р. Раздольной. С водами р. Раздольной в Амурский залив поступают ЗВ с агропромышленного комплекса всех районов, расположенных в ее бассейне, а также со стоками промышленных и жилищно-коммунальных предприятий г. Уссурийска [Ежегодник, 2022; Бадмаев, 2024].

В Уссурийском заливе источниками поступления ЗВ являются коммунальные сбросы, речной сток, городской полигон твердых бытовых отходов. Сточные воды г. Артема поступают на север Уссурийского залива через реки Шкотовка и Артемовка. Коммунальные сбросы населенных пунктов восточного побережья залива – в бухту Суходол (со стоком рек Суходол, Петровка, Смолянинка), а также в бухты Андреева и Большой Камень. В последние годы увеличиваются объемы сбросов в прибрежные воды с ТОР «Большой Камень» и ССК «Звезда» [Ежегодник, 2022].

Следует сказать и о нефтяном загрязнении прибрежной зоны моря, которое происходит за счет сброса балластных и льяльных вод с судов в связи с отсутствием береговых нефтеочистных сооружений или недостаточной их мощностью. Наиболее высокий уровень нефтяного загрязнения отмечается в бухте Золотой Рог и прилегающих акваториях – проливе Босфор Восточный, бухтах Диомид и Улисс.

Для морских ДО в российских территориальных водах в настоящее время не существует нормативно закреплённых характеристик их качества по уровню концентрации ЗВ аналогично ПДК в водной толще. Однако существует возможность оценивать степень загрязнения ДО на основе критериев, разработанных в других странах. Так, в «голландских листах» [Neue Niederlandische Liste, 2002] приводятся так называемые «допустимые концентрации» (ДК), которые не являются юридическим нормативным значением ни в европейских странах, ни в РФ. Эти величины только наглядно представляют, насколько реальное содержание вредного вещества в пробе превышает некий относительно разумный предел. Они могут быть использованы для упрощённой сравнительной характеристики загрязнённости различных участков акватории моря или для оценки межгодовой изменчивости.

В ЕС, США и Канаде выделяют две степени загрязнения почв и осадков [Circular..., 2000; Buchman, 2008]. Первая, так называемое «заданное значение» (target value) – это уровень, к которому следует стремиться, чтобы восстановить функциональные свойства почвы (осадка) для жизни людей, растений и животных. Вторая – «значение коррекции» (intervention value) – уровень, когда такие свойства сильно снижены или представляют опасность.

Однако в вышеперечисленных источниках не учитывается отклик биоты на существующий уровень загрязнения ДО. Специалисты США и Канады на основе обширных данных по биологическим параметрам и факторам антропогенного происхождения выявили диапазоны концентраций ряда загрязняющих веществ в ДО, вызывающих редукцию видового богатства и уменьшения обилия бентоса на тихоокеанском побережье. Основу положила работа Е.Р. Лонга с соавторами [Long et al., 1995], которые ввели понятие пороговых показателей *ERL* и *ERM* (effect range-low и effect range-medium). Первый отделяет минимальный уровень воздействия, когда эффекты редки, и концентрации ЗВ не оказывают заметного влияния на состав и структуру донного населения. Между *ERL* и *ERM* лежит область постепенного роста проявления таких воздействий; после *ERM* эти эффекты становятся практически постоянными. Подобное деление для морских акваторий Канады выполнили Дж. Бойд с коллегами [Boyd et al., 1998], определив *TEL* и *PEL* (threshold и probable effect levels).

В таблице 1, основываясь на результатах вышеназванных работ, мы приводим диапазоны, которые обозначили как минимальные пороговые концентрации ($ПК_{min}$), соответствующие *ERL*, и максимальные ($ПК_{max}$), соответствующие *ERM* для отдельных МЕ и $\Sigma ДДТ$, согласно данным авторов [Long et al., 1995; Boyd et al., 1998].

Для ОСНУ диапазоны $ПК_{min}$ приводятся согласно С.А. Патину (1997), который свидетельствует, что минимальные концентрации нефтепродуктов в донных осадках, при которых биологические эффекты отсутствуют, либо проявляются в виде первичных обратимых реакций, лежат в диапазоне 0,01–0,10 мг/г. Этот диапазон рассматривает автор как область допустимых концентраций нефтяных углеводородов, аккумулируемых в донных отложениях. В качестве максимальных ПК для ОСНУ нами взяты величины содержания свыше 1–4 мг/г. Доказательством этого факта могут служить многочисленные исследования, которые обнаружили токсичные эффекты для морских организмов при воздействии осадков с концентрациями свыше 1–4 мг/г [Обзорная информация, 1986].

Таблица 1 — Диапазоны $ПК_{min}$ и $ПК_{max}$ для донных отложений

Поллютанты	$ПК_{min}$	$ПК_{max}$
ОСНУ (мг/г)	0,01–0,10	1,0–4,0
Cd (мкг/г)	0,676–1,2	4,21–9,6
Cr	52,3–81,0	160–370
Cu	18,7–34,0	108–270
Pb	30,2–46,7	112–218
Hg	0,13–0,15	0,70–0,71
Ni	15,9–20,9	42,8–51,6
Zn (мкг/г)	124–150	271–410
Σ ДДТ нг/г	1,58	46,10

В настоящем обзоре для оценки уровня загрязнения ДО залива используются пороговые значения, представленные в таблице 1.

2. Результаты исследований химического загрязнения вод и донных отложений залива в 2024 г.

Для оценки загрязнения морской среды пробы воды и донных отложений отбирали на станциях государственной сети наблюдений (ГСН) два-три раза в год в период 1998–2024 гг. (рисунок 2.1). Пробы воды отбирали на двух или трех горизонтах в зависимости от глубины места. Работы выполняются по Программе государственного мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морской среды в рамках соглашения между ФГБУ «ДВНИГМИ» и ФГБУ «Приморское УГМС».

Для анализа многолетних данных использованы материалы базы данных, структурированной в Региональном центре океанологических данных по ДВ региону ФГБУ «ДВНИГМИ». В данной работе рассматривали прибрежные акватории залива – заливы Амурский и Уссурийский, бухту Золотой Рог и пролив Босфор Восточный. Анализировали следующие показатели: ОСНУ; концентрации отдельных МЕ – свинца, меди и цинка; суммарное содержание фенолов и ДДТ.

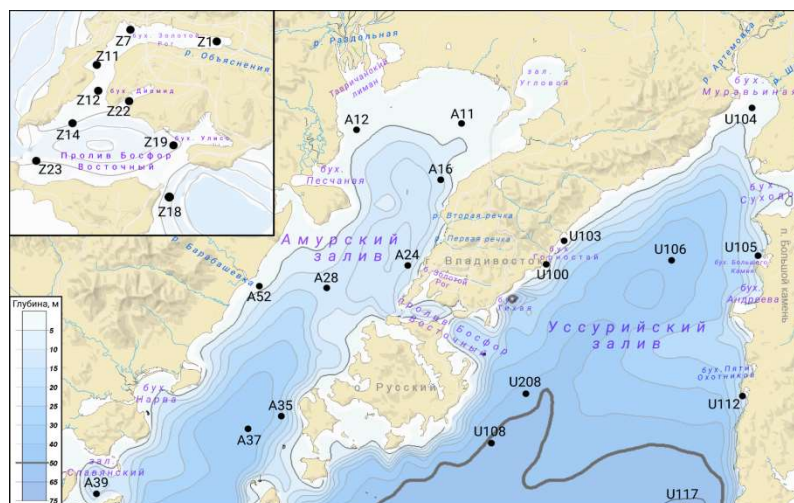


Рисунок 2.1 — Схема расположения станций ГСН на исследуемых акваториях

Отбор проб морской воды и донных отложений выполнен на станциях ГСН. Анализ проб выполнен на основе действующих руководств и стандартных методик Росгидромета РФ [Руководство, 1993; Методические указания, 1996].

2.1 Химическое загрязнение морских вод

В таблице 2.1 приведены средние значения концентраций исследованных ЗВ в 2024 г. в бухтах Золотой Рог (ст. Z1, 7, 11–12), Диомид (ст. Z22), на входе в бухту Улисс (ст. Z19); проливе Босфор Восточный (ст. Z14, 18, 23), а также в Амурском и Уссурийском заливах (рисунок 2.1). Распределение всех исследованных соединений и элементов, осредненных для всех выполненных в 2024 г. съемок, представлено на рисунках 2.2–2.3.

Как следует из данных таблицы 2.1, в 2024 г. на всех исследуемых акваториях наблюдалось превышение уровня ПДК по фенолам, составляющей 1,0 мкг/л, с максимумом в бухте Золотой Рог (1,8 мкг/л, поверхностный горизонт). Следом идет бухта Улисс (1,7 мкг/л).

Превышение ПДК по ОНУ наблюдали в проливе Босфор Восточный, бухтах Золотой Рог, Диомид и в Амурском заливе. Превышение средних значений по отношению к ПДК наблюдали в поверхностном горизонте. Концентрации МЕ в среднем были ниже ПДК, однако на отдельных станциях отмечали превышение для меди и цинка.

Бухта Золотой Рог, пролив Босфор Восточный и прилегающие акватории

На рассматриваемых акваториях ЗВ в воде распределены неравномерно. ОНУ варьировало в пределах 0,01–0,10 мг/л на поверхности и 0,03–0,04 мг/л у дна. Максимальные значения наблюдали в бухте Золотой Рог на ст. Z1 в поверхностном горизонте (0,10 мг/л). Значения ОНУ на поверхности и у дна на большинстве станциях было ниже ПДК (рисунок 2.2).

Наиболее высокие величины содержания фенолов (2,0 мкг/л) наблюдали непосредственно в бухте Золотой Рог и на входе в бухту Улисс (рисунк 2.2).

В проливе Босфор Восточный концентрации фенолов были ниже, однако их содержание по всей акватории превышало ПДК. Распределение МЕ дано на рисунке 2.3.

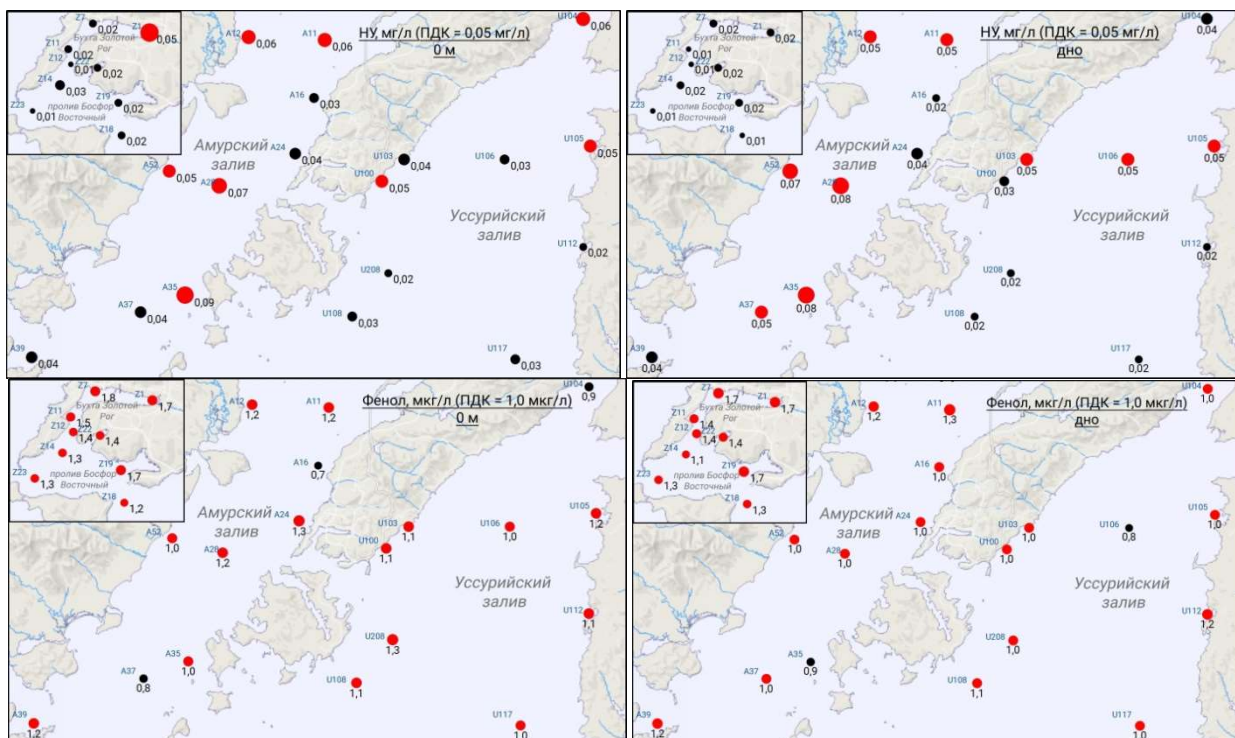


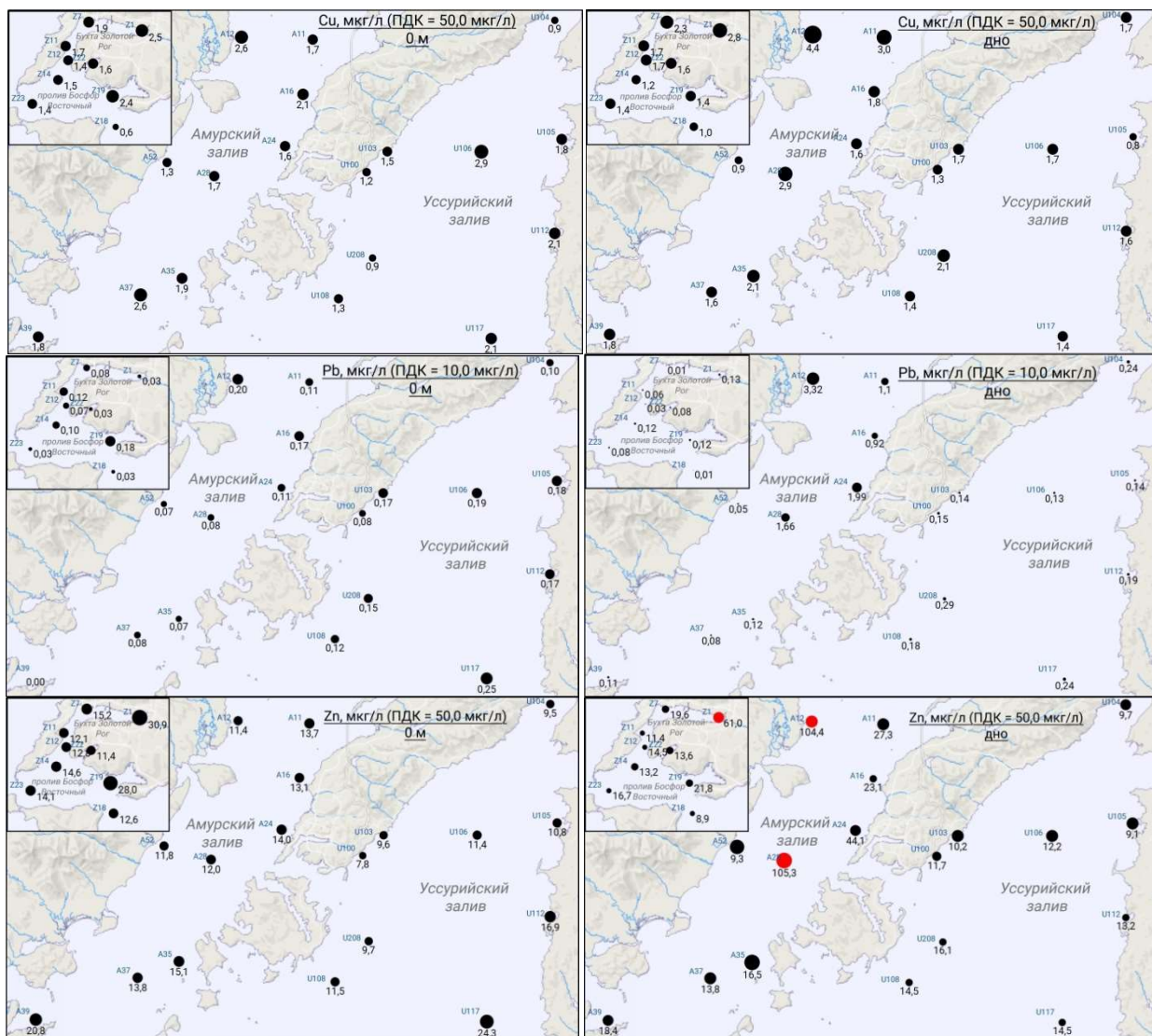


Таблица 2.1 — Средние концентрации некоторых загрязнителей в морской воде на акваториях залива Петра Великого в 2024 г.

Акватория	Число измерений	ОСНУ, мг/л	Фенолы, мкг/л	Pb, мкг/л	Cu, мкг/л	Zn, мкг/л
Поверхностный горизонт						
Амурский залив	18	0,05±0,01	1,0±0,1	0,10±0,03	1,93±0,24	13,96±0,91
Уссурийский Залив	27	0,04±0,01	1,1±0,1	0,16±0,02	1,64±0,21	12,38±1,46
Бухта Золотой Рог	12	0,03±0,01	1,6±0,01	0,08±0,02	1,89±0,17	17,77±2,96
Бухта Диомид	3	0,02±0,00	1,4±0,06	0,03±0,02	1,63±0,09	11,37±0,97
Бухта Улисс	3	0,02±0,00	1,7±0,2	0,18±0,14	2,40±0,97	28,03±6,18
Пролив Босфор Восточный	9	0,02±0,00	1,3±0,1	0,05±0,02	1,17±0,19	13,76±1,77
Придонный горизонт						
Амурский залив	18	0,05±0,01	1,1±0,1	1,04±0,37	2,23±0,34	40,25±13,87
Уссурийский Залив	27	0,03±0,01	1,0±0,00	0,19±0,02	1,39±0,19	11,82±1,19
Бухта Золотой Рог	12	0,02±0,00	1,6±0,01	0,06±0,02	2,12±0,36	26,63±11,39
Бухта Диомид	3	0,02±0,00	1,4±0,01	0,08±0,03	1,57±0,19	13,59±2,60
Бухта Улисс	3	0,02±0,01	1,7±0,2	0,12±0,07	1,37±0,07	21,77±3,59
Пролив Босфор Восточный	9	0,01±0,00	1,3±0,01	0,09±0,02	1,20±0,08	13,86±1,66
ПДК		0,05	1,0	10,0	5,0	50,0

Примечание — красным цветом выделены значения ЗВ, превышающие ПДК. Приведены средние значения ± ошибка репрезентативности.

Содержание анализируемых растворенных металлов свидетельствует, что превышение ПДК отмечено для ионов цинка в бухте Золотой Рог (ст. Z1) в придонном горизонте (рисунок 2.3).



0,4 мкг/л на поверхности и от 0,4 до 7,0 мкг в придонном слое. Концентрации цинка находились в пределах 7,9–25,8 мкг/л на поверхности и 8,5–196,1 мкг/л у дна. Превышение ПДК отмечено на ст. А12 и А28 (рисунок 2.3).

Уссурийский залив

Величины ОСНУ варьировали в пределах 0,01–0,07 мг/л на поверхности и 0,01–0,11 мг/л у дна. Превышение ПДК отмечено на ряде станций, как на поверхности, так и в придонном горизонте (рисунок 2.2).

Содержание фенолов изменялось от 0,5 до 2,0 мкг/л на поверхности и от 0,7 до 1,45 мкг/л у дна, на подавляющем большинстве станций превышая ПДК (рисунок 2.2).

Содержание рассматриваемых металлов не превышало ПДК (рисунок 2.3).

Анализ распределения рассматриваемых ЗВ в воде исследуемых акваторий вблизи Владивостока позволяет сделать вывод о том, что наиболее загрязненными в 2024 г. нефтяными углеводородами были воды кутовой части бухты Золотой Рог и Амурского залива, где на отдельных станциях отмечено превышение ПДК в 2,2 раза.

Максимальные концентрации фенолов (1,6–1,7 ПДК) отмечены в бухтах Золотой Рог и Улисс. Растворенные металлы распределены по акваториям относительно равномерно, их концентрации были ниже ПДК. Исключение составил цинк, содержание которого превышало ПДК на отдельных станциях бухты Золотой Рог и Амурского залива.

2.2 Химическое загрязнение донных отложений

В таблице 2.2 приведены средние значения концентраций исследованных поллютантов в донных осадках рассматриваемых акваторий. Для сравнения уровней загрязнения также приводятся минимальные пороговые концентрации, которые были представлены ранее в таблице 1.

Таблица 2.2 — Средние концентрации некоторых поллютантов в донных отложениях на акваториях зал. Петра Великого в 2024 г.

Акватория	n	ОСНУ, мг/г	Фенолы, мкг/г	Cu, мкг/г	Pb, мкг/г	Zn, мкг/г
Амурский залив	18	0,10±0,03	5,5±0,7	14,45±1,38	16,36±1,71	72,23±5,11
Уссурийский Залив	18	0,03±0,00	2,3±0,2	6,67±0,76	9,55±1,10	39,27±4,49
Пролив Босфор Восточный	6	1,20±0,49	5,2±0,7	53,17±17,50	64,18±14,79	129,82±29,85
Бухта Золотой Рог	8	4,67±1,02	7,7±0,9	165,23±35,51	172,76±33,88	376,06±58,06
Бухта Диомид	2	3,46±2,05	12,0±0,9	720,25±51,67	245,60±37,68	1123,15±35,61
Бухта Улисс	2	0,78±0,07	5,5±0,8	51,25±0,35	98,65±13,69	119,95±10,05
ПК_{min}		0,01–0,10	—	18,7–34,0	30,2–46,7	124–150

Примечание — Приведено среднее значение ± стандартная ошибка, красным цветом выделены значения ЗВ, превышающие ПК_{min}; n – число измерений.

Распределение всех изученных соединений и элементов, осредненных для всех выполненных в 2024 г. съемок, представлено на рисунках 2.4–2.5.

Обращает на себя внимание загрязнение осадков металлами. Самыми загрязненными в этом отношении являются отложения пролива Босфор Восточный, бухт Золотой Рог, Диомид, и Улисс (по мере снижения концентраций), на этих участках дна содержание некоторых металлов превышало минимальные пороговые концентрации в десятки раз (таблица 2.2).

Загрязнение донных отложений нефтяными углеводородами относительно невелико за исключением бухт Золотой Рог и Диомид, где ОСНУ превышает пороговые концентрации в несколько раз.

Распределение фенолов достаточно однородно, при этом средние значения содержания фенолов были наиболее высоки в бухте Диомид (в среднем 11,9 мкг/г).

Бухта Золотой Рог, пролив Босфор Восточный и прилегающие акватории

Осадки акваторий в значительной степени загрязнены нефтяными углеводородами, концентрации которых на большинстве станций превышают пороговые значения – PK_{min} . Наиболее высокие величины ОСНУ зарегистрированы в бухте Золотой Рог (7,9 мг/г), близкое значение отмечено в бухте Диомид (5,5 мг/г). В проливе Босфор Восточный и в бухте Улисс значения ОСНУ были значительно ниже (рисунок 2.4).

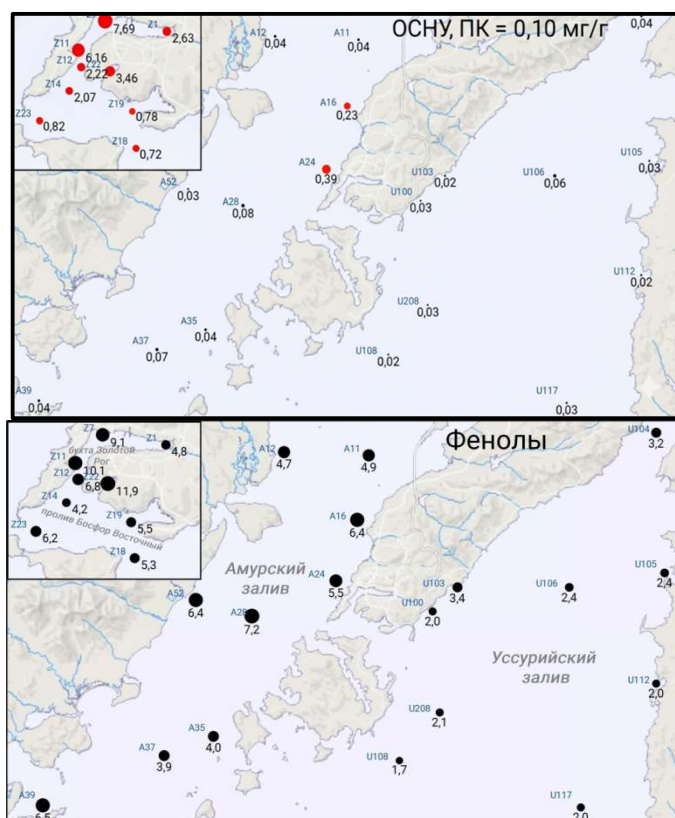


Рисунок 2.4 – Осредненные значения ОСНУ (мг/г) и фенолов (мкг/г) в донных отложениях в 2024 г.

Наибольшие значения суммы фенолов в донных отложениях отмечены в бухте Диомид (12,8 мкг/г) и на ст. Z12 (11,0 мкг/г) в бухте Золотой Рог.

Практически все рассматриваемые металлы в осадках находились выше уровня $ПК_{min}$. Максимальные концентрации всех рассматриваемых МЕ зафиксированы на ст. Z7. Превышение пороговых концентраций на этой станции составило: для меди в 9,7 раз, для свинца в 6,3 раза, для цинка в 4 раза.

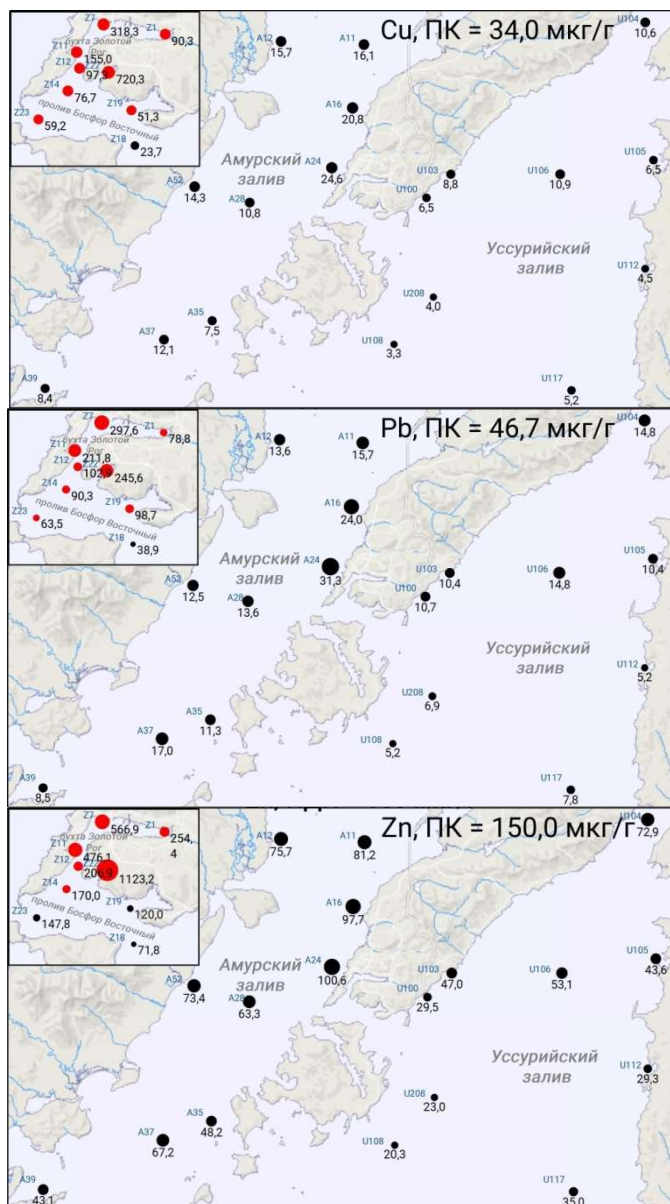


Рисунок 2.5 – Осредненное содержание некоторых металлов (мкг/г) в донных отложениях в 2024 г.

Амурский залив

Загрязнение осадков Амурского залива НУ относительно невелико, за исключением станций восточной части – A16 и A24 (0,30 и 0,53 мг/г). На остальной акватории эти величины варьируют в пределах – 0,02–0,12 мг/г (рисунок 2.4).

При этом содержание фенолов в отложениях залива – значительно, с максимумом на ст. A28 (12,6 мкг/г). Высокие концентрации отмечены в восточной части на ст. A39 и A52 – 10,7 и 9,8 мкг/г).

В распределении металлов в осадках выделяются локальные области с повышенным содержанием, эти области расположены в восточной части залива (рисунок 2.5), однако содержание рассматриваемых металлов ниже пороговых концентраций.

Уссурийский залив

Величины ОСНУ в донных осадках Уссурийского залива не превышали пороговой концентрации и изменялись в пределах 0,01–0,07 мг/г (рисунок 2.4). В распределении фенолов и рассматриваемых металлов закономерностей не отмечено (рисунок 2.5).

3. Межгодовая изменчивость загрязнения морской среды

В таблицах 3.1 и 3.2 представлены средние значения рассматриваемых ЗВ в морской воде за последние девять лет (2015–2024 гг.). Как следует из данных, приведенных в таблицах, на протяжении всего периода наблюдений наиболее загрязненными в отношении ОСНУ остается бухта Золотой Рог, где среднегодовые величины ОСНУ в поверхностном слое почти ежегодно превышали ПДК. В проливе Босфор Восточный превышение ПДК для ОСНУ в поверхностном горизонте регистрировалось только в 2016–2018 и в 2023 гг. В придонном горизонте обеих акваторий случае превышения ПДК регистрировались реже.



Таблица 3.1 — Изменчивость средних концентраций некоторых ЗВ в поверхностном горизонте вод на акватории залива Петра Великого в 2015–2024 гг.

Параметр/Годы	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	ПДК
Бухта Золотой Рог (ст. Z1, 7, 11, 12)											
ОСНУ, мг/л	0,1	0,18	0,20	0,11	0,07	0,06	0,09	0,07	0,06	0,03	0,05
Фенолы, мкг/л	0,9	1,1	1,0	1,3	1,2	2,2	1,2	1,8	1,5	1,6	1,0
Pb, мкг/л	0,3	0,4	0,6	1,6	0,0	0,2	0,2	1,4	1,4	0,08	10,0
Cu, мкг/л	2,3	2,3	1,8	1,6	0,8	2,6	1,3	2,7	2,8	1,89	5,0
Zn, мкг/л	19,6	10,4	28,7	13,9	3,6	13,7	4,9	46,5	37,0	17,77	50,0
Прол. Босфор Восточный (ст. Z14, 18, 23)											
ОСНУ, мг/л	0,04	0,12	0,18	0,09	0,04	0,02	0,03	0,02	0,09	0,02	0,05
Фенолы, мкг/л	0,7	0,8	0,8	1,2	1,2	2,4	1,2	1,6	1,6	1,3	1,0
Pb, мкг/л	0,1	0,6	0,4	2,1	0,0	0,2	0,2	1,5	2,1	0,05	10,0
Cu, мкг/л	1,3	1,7	1,7	1,4	0,6	2,9	1,0	2,1	2,1	1,17	5,0
Zn, мкг/л	11,0	9,9	11,0	21,5	3,5	9,9	3,6	51,1	40,4	13,76	50,0
Амурский залив											
ОСНУ, мг/л	0,03	0,14	0,05	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,06	0,05	0,05
Фенолы, мкг/л	1,2	1,4	1,1	1,2	1,1	2,0	1,3	1,6	1,5	1,0	1,0
Pb, мкг/л	0,1	2,5	0,2	1,8	0,2	0,4	0,1	0,9	3,0	0,10	10,0
Cu, мкг/л	1,1	2,5	0,2	1,8	0,2	0,4	0,9	2,0	3,3	1,93	5,0
Zn, мкг/л	8,6	16,7	10,7	16,1	7,6	6,9	6,9	35,5	38,1	13,96	50,0
Уссурийский залив											
ОСНУ, мг/л	0,04	0,12	0,22	0,05	0,02	0,02	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05
Фенолы, мкг/л	1,0	0,7	0,7	1,0	1,4	1,7	1,2	1,9	1,1	1,1	1,0
Pb, мкг/л	0,1	0,5	0,4	0,5	0,2	0,1	0,2	1,7	2,3	0,16	10,0
Cu, мкг/л	0,9	1,3	1,1	0,8	0,5	1,1	1,0	1,7	2,8	1,64	5,0
Zn, мкг/л	11,5	8,7	14,0	7,2	10,4	8,7	6,2	19,6	41,2	12,38	50,0

Примечание — красным цветом выделены значения ЗВ, превышающие ПДК.



Таблица 3.2 — Изменчивость средних концентраций некоторых ЗВ в придонном горизонте вод на акватории залива Петра Великого в 2015–2024 гг.

Параметр/Годы	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	ПДК
Бухта Золотой Рог (ст. Z1, 7, 11, 12)											
ОСНУ, мг/л	0,03	0,20	0,19	0,10	0,04	0,04	0,06	0,07	0,04	0,02	0,05
Фенолы, мкг/л	0,9	0,7	0,9	1,3	1,1	2,2	1,2	1,8	1,7	1,6	1,0
Pb, мкг/л	0,3	0,6	0,2	2,1	0,0	0,2	0,2	1,4	1,8	0,06	10,0
Cu, мкг/л	1,4	1,8	1,9	1,9	0,6	1,7	1,1	2,3	3,3	26,63	5,0
Zn, мкг/л	24,4	8,8	11,5	11,8	3,6	10,6	4,2	48,1	40,1		50,0
Прол. Босфор Восточный (ст. Z14, 18, 23)											
ОСНУ, мг/л	0,03	0,28	0,22	0,09	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,01	0,05
Фенолы, мкг/л	0,7	0,7	0,8	2,0	1,1	1,4	1,3	1,6	1,6	1,3	1,0
Pb, мкг/л	0,1	0,9	0,2	2,1	0,1	0,2	0,2	1,5	2,7	0,09	10,0
Cu, мкг/л	1,5	1,7	1,3	1,3	0,5	1,7	1,0	2,1	2,7	1,20	5,0
Zn, мкг/л	16,8	8,1	13,1	16,1	4,1	17,3	4,6	51,1	28,5	13,86	50,0
Амурский залив											
ОСНУ, мг/л	0,02	0,10	0,07	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05
Фенолы, мкг/л	1,0	0,8	1,1	1,2	1,2	2,1	1,6	1,7	1,6	1,1	1,0
Pb, мкг/л	0,2	2,3	0,2	1,4	0,2	0,4	0,1	0,8	1,8	1,04	10,0
Cu, мкг/л	0,9	1,1	1,1	1,2	8,0	1,3	0,8	1,6	3,0	2,23	5,0
Zn, мкг/л	13,6	15,2	10,2	23,3	9,7	9,8	7,4	31,7	47,2	40,25	50,0
Уссурийский залив											
ОСНУ, мг/л	0,03	0,12	0,19	0,08	0,02	0,02	0,03	0,03	0,05	0,03	0,05
Фенолы, мкг/л	0,9	1,2	0,7	0,9	1,4	1,8	1,1	2,0	1,2	1,0	1,0
Pb, мкг/л	0,1	0,7	0,3	0,5	0,1	0,1	0,1	1,0	2,7	0,19	10,0
Cu, мкг/л	0,8	1,7	0,8	0,8	0,4	1,0	0,8	2,0	2,7	1,39	5,0
Zn, мкг/л	10,9	14,1	11,0	10,2	8,6	6,9	5,2	18,9	44,8	11,82	50,0

Примечание — красным цветом выделены значения ЗВ, превышающие ПДК.

Фенольное загрязнение вод характерно для всех исследованных акваторий. Практически ежегодно в поверхностном горизонте всех акваторий отмечаются случаи превышения ПДК.

Воды Уссурийского залива относительно «чисты», однако в отдельные годы наблюдается превышение ПДК для ОСНУ и фенолов.

В таблице 3.3 представлены средние значения рассматриваемых ЗВ в донных отложениях исследованных акваторий за последние десять лет (2015–2024 гг.). Как следует из данных, приведенных в таблицах, на протяжении всего периода самыми загрязненными были осадки бухты Золотой Рог и пролива Босфор Восточный. В донных отложениях этих акваторий содержание почти всех анализируемых ЗВ значительно превышали минимальные пороговые концентрации. Причем в 2018 г. средняя концентрация пестицидов превышала пороговое значение в 78 раз.

В Амурском и Уссурийском заливах следует отметить ежегодное превышение содержания суммы ДДТ (в 2023–2024 гг. анализ содержания ДДТ не выполняли) концентрации остальных ЗВ остаются на уровне фона.

На рисунках 3.1–3.4 показаны долговременные тенденции в изменении уровня содержания анализируемых ЗВ в донных отложениях.



Таблица 3.3 — Средние концентрации некоторых ЗВ в донных отложениях на акватории зал. Петра Великого в 2015–2024 гг.

Параметр/Годы	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	<i>ПК_{min}</i>
Бухта Золотой Рог (ст. Z1, 7, 11, 12)											
ОСНУ, мг/г	15,03	11,84	15,02	19,35	17,58	15,51	11,82	10,80	8,85	4,67	0,01-0,1
Фенолы, мкг/г	6,14	5,2	4,8	3,0	5,9	7,3	7,1	2,9	4,1	7,7	—
ΣДДТ, нг/г	34,9	52,3	51,8	123,5	107,4	44,7	21,8	32,5	—	—	1,58
Cu, мкг/г	164,8	102,1	169,5	225,9	103,1	152,4	124,4	130,5	131,8	165,2	18,7–34,0
Pb, мкг/г	228,0	100,6	195,1	238,0	116,6	169,2	149,1	147,9	100,3	172,8	30,2–46,7
Zn, мкг/г	438,9	326,4	438,1	539,2	564,8	399,4	312,9	303,9	301,5	376,1	124–150
Прол. Босфор Восточный (ст. Z14, 18, 23)											
ОСНУ, мг/г	3,09	2,09	2,79	3,50	2,13	1,17	1,11	1,00	0,46	1,20	0,01-0,1
Фенолы, мкг/г	2,8	3,9	5,0	2,5	6,5	5,7	4,2	3,1	2,9	5,2	—
ΣДДТ, нг/г	12,5	7,7	10,6	39,2	10,8	6,3	9,3	15,0	—	—	1,58
Cu, мкг/г	61,0	29,5	37,0	37,5	36,2	32,6	35,1	33,6	233,8	53,2	18,7–34,0
Pb, мкг/г	59,3	42,3	50,0	58,1	65,3	41,3	61,0	53,4	169,7	64,2	30,2–46,7
Zn, мкг/г	127,7	107,3	133,3	148,5	148,4	106,8	86,5	100,2	331,6	129,8	124–150
Амурский залив											
ОСНУ, мг/г	0,18	0,24	0,20	0,28	0,21	0,21	0,21	0,19	0,20	0,10	0,01-0,1
Фенолы, мкг/г	1,8	2,0	5,1	2,5	7,6	4,7	5,3	4,6	5,3	5,5	—
ΣДДТ, нг/г	2,6	2,8	11,0	6,6	4,1	3,2	4,3	2,5	—	—	1,58
Cu, мкг/г	16,0	12,0	13,7	13,8	14,1	13,6	12,2	9,9	14,3	14,5	18,7–34,0
Pb, мкг/г	16,1	11,5	12,6	14,6	16,7	24,3	16,6	9,9	16,7	16,4	30,2–46,7
Zn, мкг/г	69,0	62,0	61,0	71,0	74,0	59,0	55,1	36,4	44,9	72,3	124–150
Уссурийский залив											
ОСНУ, мг/г	0,08	0,07	0,09	0,08	0,09	0,07	0,06	0,09	0,07	0,03	0,01-0,1
Фенолы, мкг/г	1,6	1,5	4,6	1,6	4,3	3,2	3,5	2,9	3,7	2,3	—
ΣДДТ, нг/г	9,2	6,6	13,0	4,8	3,9	2,1	2,7	3,4	—	—	1,58
Cu, мкг/г	11,0	9,4	12,5	7,9	7,5	7,5	2,7	13,6	15,1	6,7	18,7–34,0
Pb, мкг/г	11,8	11,2	12,0	11,6	12,3	11,3	18,0	9,5	14,3	9,6	30,2–46,7
Zn, мкг/г	38,0	38,0	18,0	34,0	31,0	31,0	47,1	36,6	41,9	39,3	124–150

Примечание — красным цветом выделены значения ЗВ, превышающие ПК_{min}. Прочерк – исследования не выполняли.

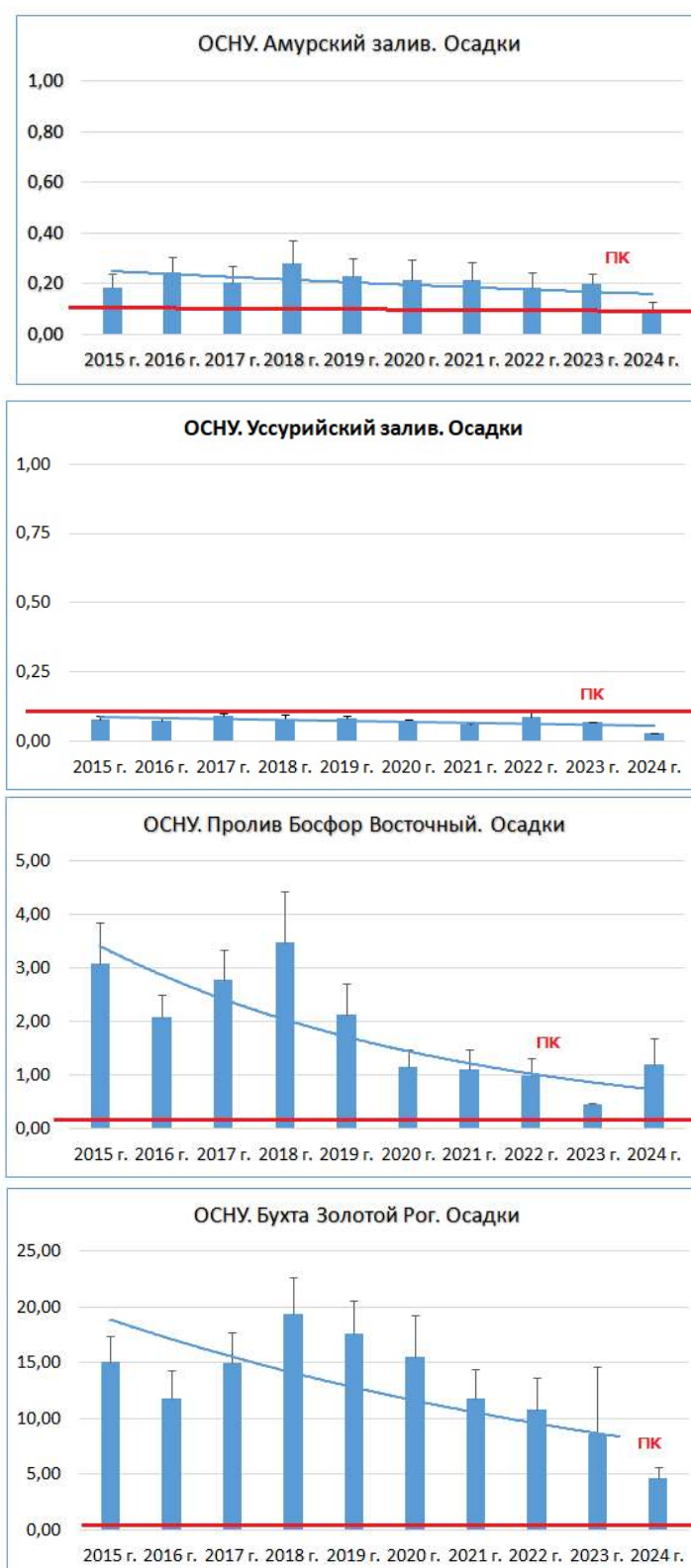


Рисунок 3.1 — Долговременные изменения ОСНУ (мг/г) в донных отложениях в 2015–2024 гг. Красная линия – пороговая концентрация. Планки погрешности – стандартная ошибка

Тенденции к снижению ОСНУ отмечается на всех акваториях. Тогда как для фенолов в Амурском заливе наблюдается тенденция к возрастанию (рисунок 3.2). Для металлов каких-либо тенденций не отмечено. В качестве примера приведены долговременные изменения концентраций свинца (рисунок 3.3).

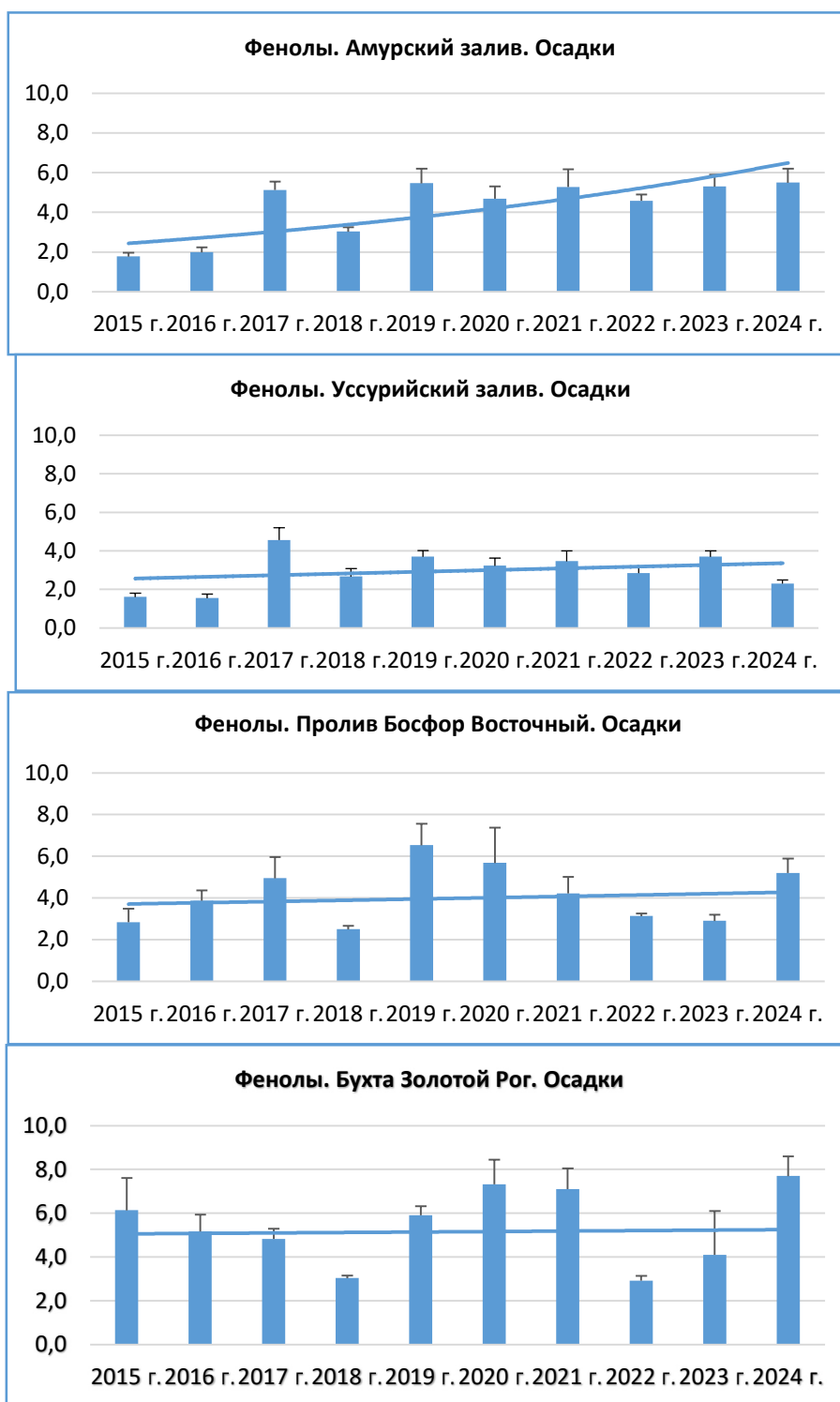


Рисунок 3.2 — Долговременные изменения концентрации фенолов (мкг/г) в донных отложениях в 2015–2024 гг. Планки погрешности — стандартная ошибка

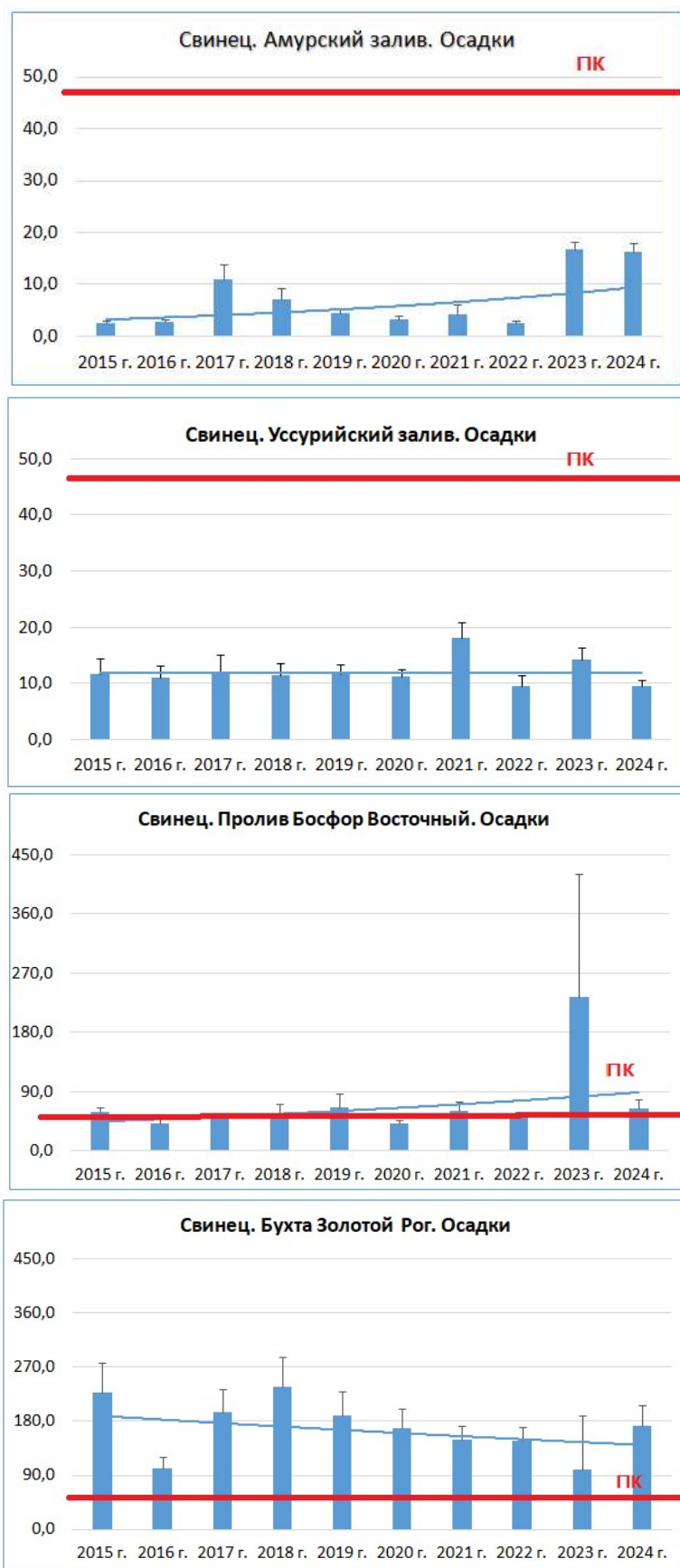


Рисунок 3.3 — Долговременные изменения концентрации свинца (мкг/г) в донных отложениях в 2015–2024 гг. Красная линия – пороговая концентрация. Планки погрешности — стандартная ошибка

4. Заключение

Морская вода

В 2024 г. наиболее загрязненными нефтяными углеводородами были воды Амурского залива и кутовой части бухты Золотой Рог. В бухте Золотой Рог значения ОНУ на поверхности и у дна на большинстве станциях было ниже ПДК, тогда как в Амурском заливе превышение ПДК (более 2,0 ПДК) фиксировали в более половине случаев как на поверхности, так и у дна. Максимальные концентрации фенолов (1,6–1,7 ПДК) отмечены в бухтах Золотой Рог и Улисс. Растворенные металлы распределены по акваториям относительно равномерно, их концентрации были ниже ПДК. Исключение составил цинк, содержание которого превышало ПДК на отдельных станциях бухты Золотой Рог и Амурского залива.

На протяжении всего периода наблюдений (2015–2024 гг.) наиболее загрязненными в отношении ОНУ были воды бухты Золотой Рог. Фенольное загрязнение вод характерно для всех исследованных акваторий. Практически ежегодно в поверхностном горизонте всех акваторий отмечаются случаи превышения ПДК. Средние концентрации МЕ на всех акваториях были ниже ПДК (за исключением цинка в проливе Босфор Восточный в 2022 г.).

В 2019–2023 гг. отмечалось интенсивное загрязнение вод Уссурийского залива пластиком, мусором, нефтепродуктами. Помимо деятельности ССК «Звезда» и активного судоходства, загрязнение залива может быть обусловлено результатом возросшей антропогенной нагрузки туристической отрасли.

Донные отложения

На протяжении всего периода самыми загрязненными были осадки бухты Золотой Рог и пролива Босфор Восточный. В донных отложениях этих акваторий содержание почти всех анализируемых ЗВ значительно превышали минимальные пороговые концентрации.

Наиболее высокое нефтяное загрязнение осадков характерно для бухт Золотой Рог, Диомид, пролива Босфор Восточный и бухты Улисс (по мере снижения концентраций). Для этих акваторий содержание НУ превышало минимальные ПК в несколько раз. Наиболее чистыми в отношении ОНУ были донные отложения Уссурийского залива. Фенольное загрязнение донных осадков было характерным для всех акваторий с максимумом в бухте Диомид.

Самыми загрязненными МЕ в 2024 г. были отложения пролива Босфор Восточный, бухт Золотой Рог, Диомид, и Улисс (по мере снижения концентраций), на этих участках дна содержание некоторых металлов превышало минимальные ПК в десятки раз. В

Амурском и Уссурийском заливах уровень содержания металлов может рассматриваться как невысокий.

В распределении ЗВ в донных отложениях выделяются локальные области с повышенным содержанием поллютантов. Так, на акватории морского порта область повышенных значений ОСНУ, фенолов, отдельных МЕ локализована в кутовой и срединной части бухты Золотой Рог и в бухте Диомид. В Амурском заливе выделены зоны повышенных значений ОСНУ и металлов (медь, свинец, цинк), которые локализованы в восточной части.

Тенденция к снижению ОСНУ отмечается на всех акваториях, тогда как для фенолов в Амурском заливе наблюдается тенденция к возрастанию. Для металлов каких-либо тенденций не выявлено.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. GESAMP: The state of marine environmental. UNEP Regional Seas Reports and Studies. 1990. — No. 115. — 111 p.
2. Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. — М.: ВНИРО, 1997. — 349 с.
3. Тищенко П.П., Звалинский В.И., Михайлик Т.А., Тищенко П.Я. Гипоксия залива Петра Великого // Известия ТИНРО. — 2021. — Т. 201. — Вып. 3. — С. 600-639. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-600-639.
4. Дулепов В.И., Кочеткова О.А. Эколого-гидрохимические исследования акваторий залива Петра Великого. // Подводные исследования и робототехника, 2012. — № 2(14). — С. 69-73.
5. Tkalin A.V., Belan T.A., Shapovalov E.N. The state of the Marine Environment near Vladivostok, Russia // Mar. Pollut. Bull. — 1993. — Vol. 26, No. 8. — Pp. 418-422.
6. Давыдкова И.Л., Фадеева Н.П., Ковековдова Л.Т., Фадеев В.И. Содержание тяжелых металлов в тканях доминирующих видов бентоса и в донных осадках бухты Золотой Рог Японского моря // Биол. моря. — 2005. — Т. 31, № 3. — С. 202-206.
7. Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям (Японское море) за 2021 год. — Владивосток: ПУГМС, 2022. — 215 с.
8. Бадмаев О.В. Содержание фенолов в морской среде прибрежных акваторий залива Петра Великого Японского моря. // Известия ТИНРО. — 2024. — Т. 204, Вып. 3. — С. 609–628. DOI: 10.26428/1606-9919-2024-204-609-628.
9. Шорников, Зенина, 2014 Остракоды как индикаторы состояния и динамики водных экосистем (на примере залива Петра Великого Японского моря) / Шорников Е.И., Зенина М.А. — Владивосток: Дальнаука, 2014. — 334 с.

10. Стоник И.В. Качественный и количественный состав фитопланктона бухты золотой рог Японского моря // Известия ТИНРО. – 2018. –Т. 194. – С. 167-174. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-194-167-174.
11. Тевс К.О., Шевченко О.Г. Динамика фитопланктона в прибрежных водах города Владивостока в 2019–2021 гг. // Известия ТИНРО. – 2022. – Т. 202, Вып. 4. – С. 880-893. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-880-893.
14. Neue Niederlandische Liste. Warmer H., van Dokkum R., Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice 2001, RIZA report 2002.009, Lelystad, 2002, 77 p.
15. Circular on Target Values and Intervention Values for Soil/Sediment Redemption, Spatial Planning and Environment of Netherlands, Amsterdam: Ministry of Housing, 2000. 75 p.
16. Buchman M.F. NOAA Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. — Seattle WA, 2008. — 34 p.
17. Long E.R., Macdonald D.D., Smith S.L., Calder F.D. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments // Environment Management. — 1995. — Vol. 19. — P. 81–97.
18. Boyd J., Baumann J., Hutton K., Bertold S., Moore B. Sediment Quality in Burrard Inlet Using Various Chemical and Biological Benchmarks // Burrard Inlet Environmental Action Program. — Burnaby, B.C., 1998. — 37 p.
19. Обзорная информация. Нефтяные углеводороды в морских донных отложениях: химические и биологические аспекты / Под. Ред. И.А. Шлыгина. — Обнинск, 1986. — 46 с.
20. Руководство по химическому анализу морских вод. — СПб.: Гидрометеиздат, 1993. — 264 с.
21. РД 52.10.556-96. Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. — М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1996. — 56 с.