АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Загрязнение вод и донных отложений залива Петра Великого в 2021 г.

Мощенко А.В.[1], Подкопаева В.В.[2]

[1] Отдел океанографии и гидрометеорологии, ФГБУ «ДВНИГМИ»

- [2] Лаборатория мониторинга загрязнения морских вод, ФГБУ «Приморское УГМС»

Экспедиционные работы на акватории залива Петра Великого в по программе ОГСН осуществлены в рамках соглашения № 300322 от 30.03.2022 г. «О совместном ведении мониторинга загрязнения морской среды» между ФГБУ «ДВНИГМИ» и ФГБУ «Приморское УГМС».

Наблюдения на сети станций Общегосударственной службы наблюдений (ОГСН) в прибрежных районах зал. Петра Великого выполняют специалисты ФГБУ «ДВНИГМИ» и ФГБУ «Приморское УГМС» (рис. 1–3, табл. 1). Исследования проводят на 39 станциях в заливах Амурский, Уссурийский, Находка, включая бухты Золотой Рог, Диомид, Улисс, Находка, Врангеля, Козьмино, а также в прол. Босфор Восточный. Отбор и анализ проб морской воды и донных отложений производятся на основе действующих руководств и стандартных методик Росгидромета РФ [1-4].

Рис. 1. Схема расположения станций ОГСН в прол. Босфор Восточный, в бухтах Золотой Рог, Диомид и Улисс

Рис. 2. Схема расположения станций ОГСН в Амурском и Уссурийском заливах

Рис. 3. Схема расположения станций ОГСН в зал. Находка, включая бухты Находка, Врангель и Козьмино

Табл. 1. — Параметры среды, полученные на сети станций ОГСН на акватории зал. Петра Великого, анализируемые в рамках обзора

МОРСКАЯ ВОДА	ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ
Общее содержание нефтяных углеводородов (ОСНУ)	ОСНУ
Фенолы	Фенолы
Детергенты (АПАВ)	Металлы
Металлы (МЕ)	Хлорорганические пестициды (ХОП)
Хлорорганические пестициды (ХОП)	

Химическое загрязнение морских вод

В табл. 2 приведены средние значения и другие статистические характеристики концентраций исследованных загрязняющих веществ (ЗВ) на станциях ОГСН (абсолютные и нормированные по ПДК величины) на акватории морского порта Владивосток (б. Золотой Рог и прол. Босфор Восточный), Амурском, Уссурийском заливах и в зал. Находка в 2021 г. В качестве приоритетных ЗВ были выбраны следующие – ОСНУ, фенолы, СПАВ, а также металлы – свинец, медь, кадмий, никель, ртуть и цинк. Распределение всех исследованных соединений и элементов, усредненных для всех съемок 2021 г., представлено на рис. 4–9.

Табл. 2. Некоторые статистические характеристики абсолютных и нормированных по ПДК концентраций исследованных ЗВ в морской воде на акваториях зал. Петра Великого в 2021 г.

ЗВ, ед. изм. (ПДК)	Абсолютные значения				По отношению к ПДК			
	M	±SE	Min	Max	M	SE	Min	Max
Акватория морского порта Владивосток (72)								
НУ, мг/л (0,05)	0,05	0,01	0,00	0,35	0,95	0,13	0,00	**7,00**
Фенолы, мкг/л (1,0)	1,23	0,02	0,70	1,80	**1,23**	0,02	0,70	**1,80**
СПАВ, мкг/л (500)	88,3	6,84	4,00	255	0,18	0,01	0,01	0,51
Pb, мкг/л (10)	0,20	0,02	0,00	0,90	0,02	0,00	0,00	0,09
Cu, мкг/л (5)	1,06	0,05	0,40	3,40	0,21	0,01	0,08	0,68
Cd, мкг/л (10)	0,04	0,02	0,00	1,40	0,00	0,00	0,00	0,14
Ni, мкг/л (10)	0,49	0,08	0,10	5,80	0,05	0,01	0,01	0,58
Hg, мкг/л (0,10)	0,03	0,01	0,00	0,29	**2,85**	0,55	0,00	**29,0**
Zn, мкг/л (50)	4,33	0,35	0,30	12,8	0,09	0,01	0,01	0,26
Fe, мкг/л (50)	14,1	2,07	1,80	111	0,28	0,04	0,04	**2,22**
Mn, мкг/л (50)	2,78	0,57	0,00	32,7	0,06	0,01	0,00	0,65
Амурский залив (n=48)								
НУ, мг/л (0,05)	0,04	0,00	0,01	0,12	0,75	0,07	0,20	**2,40**
Фенолы, мкг/л (1,0)	1,54	0,10	0,80	4,20	**1,54**	0,10	0,80	**4,20**
СПАВ, мкг/л (500)	97,7	8,8	0,00	250	0,20	0,02	0,00	0,50
Pb, мкг/л (10)	0,11	0,02	0,00	0,40	0,01	0,00	0,00	0,04
Cu, мкг/л (5)	0,80	0,03	0,40	1,20	0,16	0,01	0,08	0,24
Cd, мкг/л (10)	0,02	0,01	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,02
Ni, мкг/л (10)	0,67	0,14	0,20	6,85	0,07	0,01	0,02	0,68
Hg, мкг/л (0,10)	0,02	0,00	0,00	0,17	**2,10**	0,38	0,00	**17,0**
Zn, мкг/л (50)	7,26	0,53	0,40	17,3	0,15	0,01	0,01	0,35
Fe, мкг/л (50)	10,4	2,25	0,00	91,9	0,21	0,04	0,00	**1,84**
Mn, мкг/л (50)	3,55	0,80	0,00	32,7	0,07	0,02	0,00	0,65
Уссурийский залив (n=72)								
ОСНУ, мг/л (0,05)	0,04	0,00	0,01	0,13	0,82	0,06	0,20	**2,60**
Фенолы, мкг/л (1,0)	1,12	0,05	0,40	3,50	**1,12**	0,05	0,40	**3,50**
СПАВ, мкг/л (500)	101	7,75	2,00	380	0,20	0,02	0,00	0,76
Pb, мкг/л (10)	0,13	0,01	0,00	0,60	0,01	0,00	0,00	0,06
Cu, мкг/л (5)	0,95	0,12	0,10	7,20	0,19	0,02	0,02	**1,44**
Cd, мкг/л (10)	0,02	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01
Ni, мкг/л (10)	0,76	0,17	0,10	8,30	0,08	0,02	0,01	0,83
Hg, мкг/л (0,10)	0,05	0,00	0,00	0,16	**4,83**	0,46	0,00	**16,0**
Zn, мкг/л (50)	5,83	0,50	1,70	29,6	0,12	0,01	0,03	0,59
Fe, мкг/л (50)	10,0	1,72	0,00	116	0,20	0,03	0,00	**2,33**
Mn, мкг/л (50)	2,73	0,75	0,00	37,8	0,05	0,01	0,00	0,76
Залив Находка (n=96)								
ОСНУ, мг/л (0,05)	0,04	0,00	0,00	0,23	0,78	0,08	0,00	**4,60**
Фенолы, мкг/л (1,0)	1,37	0,05	1,00	5,30	**1,37**	0,05	1,00	**5,30**
СПАВ, мкг/л (500)	96,4	5,27	6,00	223	0,19	0,01	0,01	0,45
Pb, мкг/л (10)	0,17	0,01	0,00	0,50	0,02	0,00	0,00	0,05
Cu, мкг/л (5)	0,88	0,03	0,27	2,00	0,18	0,01	0,05	0,40
Cd, мкг/л (10)	0,05	0,01	0,00	0,60	0,00	0,00	0,00	0,06
Ni, мкг/л (10)	2,24	0,44	0,04	29,8	0,22	0,04	0,00	**2,98**
Hg, мкг/л (0,10)	0,01	0,00	0,00	0,10	**1,38**	0,19	0,00	10,0
Zn, мкг/л (50)	5,83	0,47	0,71	20,1	0,12	0,01	0,01	0,40
Fe, мкг/л (50)	26,3	2,82	1,20	153	0,53	0,06	0,02	**3,07**
Mn, мкг/л (50)	2,84	0,30	0,00	17,7	0,06	0,01	0,00	0,35

Примечание. M, Min и Max – среднее, минимальное и максимальное значение, SE – ошибка репрезентативности, n – число станций, в скобках – ПДК. Красным выделены нормированные концентрации, превышающие ПДК.

Акватория морского порта Владивосток. В 2021 г. ОСНУ на поверхности варьировало от 0,01 до 0,24 мг/л, в среднем составляя 0,06 мг/л. У дна ОСНУ изменялось от 0,01 до 0,35 мг/л (в среднем – 0,05 мг/л). Максимум ОСНУ зафиксирован на ст. Z11 у дна (7,0 ПДК), расположенной напротив причалов торгового порта (рис. 4).

Концентрации фенолов изменялись от 1,0 до 1,6 мкг/л на поверхности и от 0,8 до 1,8 мкг/л у дна (в среднем – соответственно 1,24 и 1,22 мкг/л). Превышение ПДК этими соединениями наблюдалось почти на всех станциях; их максимальные концентрации были отмечены на ст. Z1 (1,8 ПДК), расположенной вблизи устья р. Объяснения.

Содержание АПАВ, как на поверхности, так и у дна варьировало в весьма широких пределах, соответственно от 8 до 194 мкг/л и от 16 до 243 мкг/л (в среднем – 79 и 94 мкг/л). Превышение ПДК детергентами отмечено не было; наибольшие концентрации зафиксированы на ст. Z14.

Рис. 4. Распределение органических ЗВ на акватории морского порта Владивосток на поверхности и у дна (соответственно слева и справа)

Содержание большинства металлов в воде в 2021 г. (рис. 5) было в среднем невелико и не превышало существующих ПДК (за исключение ртути). Концентрации свинца на

поверхности варьировали от 0,0 до 0,8 мкг/л, у дна – от 0,0 до 0,6 мкг/л (в среднем – 0,2 мкг/л). Содержание меди на поверхности изменялось от 0,5 до 1,9 мкг/л, у дна – от 0,4 до 1,7 мкг/л (1,1 мкг/л). Концентрации кадмия варьировали от аналитического нуля до 0,6 мкг/л на поверхности и до 1,4 мкг/л у дна (0,04 и 0,07 мкг/л). Концентрации цинка — на поверхности от 0,3 до 11,5 мкг/л, а у дна – от 0,7 до 12,8 мкг/л (4,5 и 4,2 мкг/л), содержание никеля варьировало в пределах 0,1–0,7 (в среднем 0,4 мкг/л) и 0,2–5,8 мкг/л (0,7) соответственно на поверхности и у дна. Содержание марганца изменялось от 0,0 до 32,7 (в среднем 3,5 мкг/л) и до 19,0 (2,8), железа – от 1,8 до 111 (17,8) и от 3,1 до 48,9 (12,7).

Рис. 5. Распределение исследованных металлов на акватории морского порта Владивосток на поверхности и у дна (соответственно слева и справа)

Рис. 5. Продолжение. Распределение исследованных металлов в прол. на акватории морского порта Владивосток на поверхности и у дна (соответственно слева и справа)

У поверхности максимальные концентрации свинца отмечены на ст. Z12 и Z18, меди, цинка и железа – на ст. Z1, кадмия – на ст. Z18, марганца – на ст. Z12, никеля – на ст. Z7, Z12 и Z19. В придонном слое наибольшее содержание свинца, меди и кадмия наблюдалось на ст. Z14, никеля – на ст. Z14, марганца и железа – на ст. Z1.

Превышение ртутью ПДК отмечено почти на всех станциях, исключение – Z7 и Z22 у поверхности и Z1 – у дна. В поверхностном слое и у дна концентрация этого элемента в среднем составляла 0,03 мкг/л (пределы изменчивости соответственно 0,00–0,18 и 0,00–

0,29 мкг/л). Максимальные концентрации ртути у поверхности отмечены в б. Улисс на ст. Z19, у дна – на ст. Z23.

Амурский залив. В исследуемый период ОСНУ в поверхностном слое изменялось от 0,01 до 0,12 мг/л, в среднем составляя 0,04 мг/л (рис. 6). В придонном слое концентрации НУ менялись от 0,01 до 0,08 мг/л (в среднем 0,03 мг/л). Превышения ПДК на поверхности было отмечено на ст. А11, А16 и А24, у дна – на ст. А16 и А24; максимальная концентрация НУ (2,4 ПДК) зафиксирована на ст. А24.

Концентрация фенолов варьировала в пределах 0,8–2,2 мкг/л на поверхности и от 0,8 до 4,2 мкг/л у дна, в среднем составляя соответственно 1,3 и 1,6 мкг/л. Превышение ПДК этими соединениями отмечено почти на всех станциях, как в поверхностном, так и в придонном слое воды. Наибольшая концентрация фенолов у поверхности и у дна наблюдалась на ст. А39 (соответственно 2,2 и 4,2 ПДК).

Содержание АПАВ на поверхности и у дна менялось в широких пределах (соответственно 39–250 и 0–230 мкг/л, в среднем – 95 и 104 мкг/л). Максимальные концентрации детергентов у поверхности зафиксированы – на ст. А35, у дна – на ст. А39; превышения ПДК отмечено не было (рис. 6).

Содержание большинства металлов (кроме ртути) в морской воде в исследуемый период было невелико и не превышало существующих ПДК (рис. 7). Концентрации свинца изменялись от аналитического нуля до 0,3 мкг/л на поверхности воды и от 0,0 до 0,4 мкг/л у дна (в среднем – примерно 0,1 мкг/л в обоих случаях). Концентрации меди варьировали в пределах 0,5–1,2 мкг/л в поверхностном слое, в среднем составляя 0,9 мкг/л, а у дна – от 0,4 до 1,2 мкг/л (0,8 мкг/л).

Концентрации кадмия менялись от 0,0 до 0,2 мкг/л на поверхности и от 0,0 до 0,1 мкг/л у дна (в среднем соответственно 0,01 и 0,03 мкг/л), содержание цинка на поверхности и у дна варьировали в пределах 0,4–17,3 и 2,9–16,7 мкг/л (6,9 и 7,4 мкг/л). У никеля, железа, марганца эти показатели составили 0,2–2,0 и 0,2–6,9 (0,6 и 0,8), 0–48 и 0–28 (8,8 и 9,9), 0–10 и 0,5–19 (2,9 и 3,7). Максимальные концентрации рассматриваемых элементов, как у поверхности, так и у дна, фиксировались на самых различных участках акватории Амурского зал. – на севере, у побережья п-ова Муравьева-Амурского и т.д.

Рис. 6. Распределение органических ЗВ в Амурском и Уссурийском заливах на поверхности и у дна (соответственно слева и справа)

Превышение ртутью ПДК в поверхностном слое отмечено на большинстве станций за исключением – А12, А16 и А52, а у дна – во всех точках отбора. У поверхности концентрация ртутив среднем составляла 0,01, у дна – 0,03 мкг/л (пределы изменчивости соответственно 0,00–0,04 и 0,00–0,17 мкг/л). Максимальные концентрации, как у поверхности, так и у дна отмечены на ст. А39 (4 и 17 ПДК).

Уссурийский залив. ОСНУ (рис. 6) менялось от 0,01 до 0,13 мг/л на поверхности, и от 0,01 до 0,09 мг/л – у дна (в среднем – 0,05 и 0,03 мг/л). Наибольшее превышение ПДК отмечено на ст. U105 в поверхностном слое, а на ст. U106 – у дна (в 2,6 и 1,6 раза).

Содержание фенолов изменялось на поверхности от 0,6 до 3,5 мкг/л, у дна – от 0,5 до 2,0 мкг/л (в среднем — соответственно 1,2 и 1,1 мкг/л). Превышение ПДК наблюдалось на всех станциях, как в поверхностном, так и в придонном слое воды. Наибольшая концентрация фенолов, как у поверхности, так и у дна отмечена на ст. U108 (3,5 и 2,0 ПДК).

Концентрация АПАВ (рис. 6) варьировала в пределах 6–259 мкг/л на поверхности, у дна этот диапазон составлял 2–170 мкг/л (в среднем – 113 и 87 мкг/л). Превышение ПДК

отмечено не было; максимальные концентрации детергентов в поверхностном и придонном горизонте зафиксированы, соответственно, на ст. U103 и U112.

Рис. 7. Распределение исследованных металлов в Амурском и Уссурийском заливах на поверхности и у дна (соответственно слева и справа)

Рис. 7. Продолжение. Распределение исследованных металлов в Амурском и Уссурийском заливах на поверхности и у дна (соответственно слева и справа)

Содержание большинства металлов в морской воде исследуемого района (рис. 7) было невелико и не превышало действующих ПДК, исключение – ртуть и медь. Концентрации свинца на поверхности изменялись от 0,0 до 0,6 мкг/л, у дна – от 0,0 до 0,3 мкг/л (в среднем – 0,16 и 0,11 мкг/л). Содержание меди менялось от 0,14 до 5,4 мкг/л на поверхности и от 0,1 до 2,1 мкг/л у дна (1,0 и 0,75 мкг/л). Концентрации кадмия варьировали в узких пределах, как на поверхности, так и у дна (0,0–0,1 мкг/л, в среднем – 0,02 мкг/л). Диапазоны изменений содержания цинка были заметно шире, от 2,5 до 29,6 мкг/л на поверхности и от 1,7 мкг/л до 9,7 мкг/л у дна (6,2 и 5,2 мкг/л). У железа, марганца, никеля эти показатели составили 0–18 и

0–26 (7,2 и 9,7), 0,2–6,4 и 0,1–7,5 (2,4 и 2,9), 0–10 и 0,5–19 (0,7 и 0,8). Максимальные концентрации рассматриваемых элементов, как у поверхности, так и у дна, фиксировались на самых различных участках акватории Уссурийского зал. – на севере, у побережья п-ова Муравьева-Амурского, в открытой части и т.д.

Превышение ПДК ртутью наблюдалось на всех станциях, как в поверхностном, так и в придонном слое. У поверхности концентрация этого элемента в среднем составляла 0,04, у дна – 0,05 мкг/л (пределы изменчивости соответственно 0,00–0,16 и 0,00–0,11 мкг/л). Максимальные концентрации ртути на поверхности отмечены на ст. U103, у дна – на ст. U100 и U106 (16 и по 11 ПДК). Незначительное (в 1,1 раза) и единственное превышение ПДК медью зафиксировано у поверхности на ст. U208.

Залив Находка (включая бухты Находка, Врангеля и Козьмино). В поверхностном и придонном слое воды ОСНУ (рис. 8) варьировало в широких пределах - от аналитического нуля до 0,08 и от 0,01 до 0,23 мг/л, в среднем составляя 0,04 мг/л в обоих случаях. Превышение ПДК отмечено в разных участках залива: в поверхностном горизонте – на ст. N2, N7, N12, N18, N25, N36 и N152, у дна – на ст. N2, N7, N12, N18 и N25. Максимальная концентрация НУ у поверхности зафиксирована в северной части залива на ст. N18, в придонном слое – в б. Врангеля на ст. N25 (1,6 и 4,6 ПДК).

Концентрации фенолов на поверхности и у дна варьировали соответственно от 1,0 до 3,0 и 5,3 мкг/л (в среднем — примерно 1,4 мкг/л в обоих случаях). Превышение ПДК этими соединениями отмечено на всех станциях. Наибольшие концентрации и превышение ПДК на поверхности воды зафиксированы в кутовой части б. Находка на ст. N1, у дна – на ст. N12 (3,0 и 5,3 ПДК).

Содержание детергентов варьировало в пределах 6–196 мкг/л и 14–208 мкг/л, соответственно, в поверхностном и придонном горизонтах (в среднем 87 и 96 мкг/л). Превышения ПДК этими соединениями отмечено не было; максимальная концентрация в поверхностном слое зафиксирована к северу от б. Козьмино на ст. N35, у дна – на ст. N15 почти в самом центре залива (рис. 8).

Содержание большинства металлов в морской воде (рис. 9) было невелико и не превышало существующих ПДК, за исключением ртути, железа и, в единичных случаях, и никеля. На поверхности концентрации свинца варьировали в пределах 0,1–0,5 мкг/л, у дна — от 0,0 до 0,3 мкг/л (в среднем, примерно 0,2 мкг/л в обоих случаях). Содержание меди на поверхности изменялось от 0,3 до 2,0 мкг/л, у дна — от 0,3 до 2,7 мкг/л (в среднем — 1,0 и 0,8 мкг/л). Концентрации кадмия менялись от 0,0 до 0,2 и 0,6 мкг/л, соответственно, на поверхности и у дна (0,05 и 0,06 мкг/л). Содержание цинка на поверхности варьировало в пределах 1,4–20,1 мкг/л, у дна — между 0,7 и 18,8 мкг/л (в среднем 6,3 и 5,4 мкг/л). У железа,

марганца, никеля эти показатели составили 1–153 и 6–133 (23 и 28), 0,0–6,4 и 0,6–18 (2,2 и 3,3), 0,2–12 и 0,4–30 (1,6 и 2,7).

Рис. 8. Распределение органических ЗВ в зал. Находка на поверхности и у дна (соответственно слева и справа)

На поверхности набольшие концентрации меди и железа отмечены на ст. N152, свинца и никеля – на ст. N25. Максимальное обогащение поверхностных вод кадмием наблюдалось на ст. N25, N33 и N36, марганцем – на ст. N1, цинком – на ст. N36. Наибольшее загрязнение придонного горизонта свинцом отмечено на ст. N7, N18, N33, N35 и N152; концентрация меди максимальна на ст. N152, кадмия – на ст. N18, никеля – на ст. N1, цинка – на ст. N12, железа – на ст. N14, марганца – на ст. N35.

Превышение ПДК ртутью наблюдалось на большинстве станций, как в поверхностном, так и в придонном слое, исключение – ст. N1, N15, N18 и N33. У поверхности и у дна концентрация этого элемента в среднем составляла 0,01 мкг/л (пределы изменчивости соответственно 0,00–0,10 и 0,00–0,07 мкг/л). Максимальные концентрации

ртути на поверхности отмечены на ст. N14, у дна – на ст. N35 (10 и 7 ПДК). Наибольшее превышение ПДК железом на поверхности наблюдалось на ст. N152, у дна – на ст. N14 (в 3,1 и 2,7 раза), никелем – на ст. N25 и N1 (соответственно в поверхностном и придонном слоях, в 1,2 и 3,0 раза).

Рис. 9. Распределение исследованных металлов в зал. Находка на поверхности и у дна (соответственно слева и справа)

Рис. 9. Продолжение. Распределение исследованных металлов в зал. Находка на поверхности и у дна (соответственно слева и справа)

Химическое загрязнение донных отложений

В табл. 3 приведены средние значения и другие статистические характеристики концентраций исследованных поллютантов на станциях ОГСН в 2021 г. Распределение всех

изученных соединений и элементов, усредненных для всех выполненных в 2021 г. съемок, представлено ниже на рис. 10–15.

Табл. 3. Средние концентрации некоторых поллютантов в донных отложениях зал. Петра Великого в 2021 г.

ЗВ, ед. изм. (ПДУ)	Абсолютные значения				По отношению к ПДУ			
	m	±SE	Min	Max	m	SE	Min	Max
Бухта Золотой Рог и пролив Босфор Восточный (18)								
ОСНУ, мг/г (1,0)	6,36	1,72	0,28	**26,67**	**6,36**	1,72	0,28	**26,67**
Фенолы, мкг/г (130)	5,34	0,64	2,50	12,00	0,04	0,00	0,02	0,09
ДДТ, нг/г (1,58)	**15,27**	3,28	0,70	**42,70**	**9,67**	2,08	0,44	**27,03**
ГХЦГ, нг/г (–)	0,29	0,05	0,10	1,10	–	–	–	–
Mn, мкг/г (260)	119,79	9,45	70,60	208,50	0,46	0,04	0,27	0,80
Cu, мкг/г (34)	**120,86**	32,18	19,00	**457,50**	**3,55**	0,95	0,56	**13,46**
Co, мкг/г (10)	4,43	0,28	2,80	6,40	0,44	0,03	0,28	0,64
Cd,мг/г (1,2)	**1,62**	0,35	0,20	**4,30**	**1,35**	0,29	0,17	**3,58**
Pb, мкг/г (47)	**121,20**	19,35	27,10	**282,80**	**2,58**	0,41	0,58	**6,02**
Ni, мкг/г (35)	14,05	1,02	7,30	24,40	0,40	0,03	0,21	0,70
Zn, мкг/г (150)	**215,06**	46,18	23,50	**646,40**	**1,43**	0,31	0,16	**4,31**
Fe, мкг/г (220000)	19250	2060	6110	35708	0,09	0,01	0,03	0,16
Cr, мкг/г (81)	40,52	9,93	11,20	**187,10**	0,50	0,12	0,14	**2,31**
Hg, мкг/г (0,15)	**1,03**	0,18	**0,27**	**2,23**	**6,89**	1,18	**1,80**	**14,87**
Амурский залив (n=18)								
ОСНУ, мг/г (1,0)	0,21	0,07	0,01	**1,03**	0,21	0,07	0,01	**1,03**
Фенолы, мкг/г (130)	5,28	0,92	1,60	15,00	0,04	0,01	0,01	0,12
ДДТ, нг/г (1,58)	4,32	1,78	0,20	**32,40**	2,74	1,12	0,13	**20,51**
ГХЦГ, нг/г (–)	0,16	0,04	0,00	0,70	–	–	–	–
Mn, мкг/г (260)	130,16	20,95	40,00	**367,70**	0,50	0,08	0,15	**1,41**
Cu, мкг/г (34)	12,20	1,60	4,80	25,50	0,36	0,05	0,14	0,75
Co, мкг/г (10)	6,54	0,89	2,70	**15,80**	0,65	0,09	0,27	**1,58**
Cd,мг/г (1,2)	0,41	0,04	0,10	0,60	0,34	0,03	0,08	0,50
Pb, мкг/г (47)	16,65	2,23	2,20	35,60	0,35	0,05	0,05	0,76
Ni, мкг/г (35)	20,20	5,54	1,30	**102,40**	0,58	0,16	0,04	**2,93**
Zn, мкг/г (150)	55,11	6,43	25,80	125,70	0,37	0,04	0,17	0,84
Fe, мкг/г (220000)	17700	2414	4791	43211	0,08	0,01	0,02	0,20
Cr, мкг/г (81)	19,79	1,87	8,70	35,10	0,24	0,02	0,11	0,43
Hg, мкг/г (0,15)	0,10	0,02	0,03	**0,31**	0,64	0,11	0,20	**2,07**
Уссурийский залив (n=18)								
ОСНУ, мг/г (1,0)	0,06	0,01	0,03	0,13	0,06	0,01	0,03	0,13
Фенолы, мкг/г (130)	3,46	0,55	1,60	10,10	0,03	0,00	0,01	0,08
ДДТ, нг/г (1,58)	2,72	1,23	0,60	**22,40**	1,72	0,78	0,38	**14,18**
ГХЦГ, нг/г (–)	0,36	0,04	0,10	0,60	–	–	–	–
Mn, мкг/г (260)	118,16	22,53	25,70	**367,70**	0,45	0,09	0,10	**1,41**
Cu, мкг/г (34)	9,72	1,47	2,90	23,00	0,29	0,04	0,09	0,68
Co, мкг/г (10)	5,22	1,01	1,10	**15,80**	0,52	0,10	0,11	**1,58**
Cd,мг/г (1,2)	0,34	0,04	0,10	0,60	0,28	0,03	0,08	0,50
Pb, мкг/г (47)	18,04	3,00	3,60	**55,50**	0,38	0,06	0,08	**1,18**
Ni, мкг/г (35)	16,69	5,64	4,40	**102,40**	0,48	0,16	0,13	**2,93**
Zn, мкг/г (150)	47,13	6,77	15,10	125,70	0,31	0,05	0,10	0,84
Fe, мкг/г (220000)	14397	2725	2768	43211	0,07	0,01	0,01	0,20
Cr, мкг/г (81)	16,92	2,17	4,70	35,10	0,21	0,03	0,06	0,43
Hg, мкг/г (0,15)	0,07	0,01	0,03	**0,19**	0,49	0,07	0,20	**1,27**
Залив Находка (n=24)								
ОСНУ, мг/г (1,0)	0,31	0,12	0,02	**2,48**	0,31	0,12	0,02	**2,48**

ЗВ, ед. изм. (ПДУ)	Абсолютные значения				По отношению к ПДУ			
	m	±SE	Min	Max	m	SE	Min	Max
Фенолы, мкг/г (130)	4,75	0,25	2,80	6,70	0,04	0,00	0,02	0,05
ДДТ, нг/г (1,58)	2,17	0,64	0,50	**13,10**	1,37	0,40	0,32	**8,29**
ГХЦГ, нг/г (–)	0,29	0,04	0,00	0,80	–	–	–	–
Mn, мкг/г (260)	172,50	24,14	49,20	**573,00**	0,66	0,09	0,19	**2,20**
Cu, мкг/г (34)	27,07	6,31	3,40	**112,20**	0,80	0,19	0,10	**3,30**
Co, мкг/г (10)	6,34	0,73	1,00	**14,90**	0,63	0,07	0,10	**1,49**
Cd,мг/г (1,2)	0,33	0,04	0,10	0,90	0,27	0,04	0,08	0,75
Pb, мкг/г (47)	24,41	4,76	3,70	**87,10**	0,52	0,10	0,08	**1,85**
Ni, мкг/г (35)	18,02	2,44	4,10	**57,70**	0,51	0,07	0,12	**1,65**
Zn, мкг/г (150)	99,80	18,92	3,30	**382,40**	0,67	0,13	0,02	**2,55**
Fe, мкг/г (220000)	31460	4304	1252	74945	0,14	0,02	0,01	0,34
Cr, мкг/г (81)	18,96	1,77	5,60	33,40	0,23	0,02	0,07	0,41
Hg, мкг/г (0,15)	0,15	0,03	0,02	**0,52**	0,97	0,17	0,13	**3,47**

Примечание – M, Min и Max – среднее, минимальное и максимальное значение, SE – ошибка репрезентативности, n – число станций, в скобках – ПДУ (прочерк – ПДУ не установлено). Красным выделены нормированные концентрации, превышающие ПДУ.

В качестве предельно-допустимого уровня в табл. 3 приведены величины ERL (effects range-low). В настоящее время в России не установлены ПДК для ЗВ в донных отложениях, поэтому для интерпретации данных используются так называемые пороговые концентрации. Эти концентрации, или предельно-допустимые уровни (ПДУ или ERL) представляют собой такие величины, ниже которых неблагоприятное воздействие на биоту не наблюдается вообще или встречается в редких случаях (<10 %) [5-6]. При превышении указанных пороговых концентраций начинается снижение обилия и разнообразия бентоса вплоть до катастрофического. Под катастрофическим понимается такое состояние экосистемы, при котором начинается массовая гибель морских животных. К таким последствиям приводят, в частности, так называемые ураганные концентрации, превышающие ПДУ на порядок и более.

Акватория морского порта Владивосток. На рисунках 10–11 представлено распределение усредненных концентраций исследованных ЗВ в донных отложениях в 2021 г. В период работ ОСНУ варьировало в пределах 0,28–26,67 мг/г, в среднем составляя 6,36 мг/г. Наибольшие концентрации НУ, более чем на порядок превышающие пороговое значение (0,1–1,0 мг/г), отмечены в бухтах Золотой Рог и Диомид на ст. Z1, Z7, Z11, Z12 и Z22, с максимумом на первой.

Концентрация фенолов достигала в среднем 5,34 мкг/г, изменяясь от 2,50 до 12,0 мкг/г. Наибольшее содержание этих соединений наблюдалось на тех же станциях, как и ОСНУ, максимум – на ст. Z1. Превышения ПДУ (130 мкг/г) отмечено не было.

Рис. 10. Усредненное содержание некоторых органических ЗВ в донных отложениях акватории морского порта

Содержание хлорорганического пестицида дихлордифенил трихлорметилметана (сумма ДДТ и его метаболитов ДДД и ДДЕ) в грунтах менялось в пределах 0,7–42,7 нг/г (в среднем – 15,3 нг/г). Наибольшие концентрации этого токсиканта в разы превосходящие ПДУ (1,58 нг/г), зафиксированы все на тех же станциях, с максимумом на ст. Z1.

Рис. 11. Усредненное содержание некоторых металлов в донных отложениях акватории морского порта

Содержание другого пестицида – гексахлорциклогексана (ГХЦГ, сумма его α- и γ-изомеров) все еще не нормировано ПДУ. Его концентрации в среднем составляли 0,29 нг/г с вариациями от 0,1 до 1,1 нг/г и максимумом все на той же ст.Z1.

Как и концентрации органических ЗВ, содержание большинства изученных металлов также существенно превышало ПДУ (исключение – марганец, кобальт, никель и железо). Концентрация меди менялась в пределах 19–458 мкг/г, в среднем составляя 121 мкг/г (ПДУ – 34 мкг/г). Содержание кадмия варьировало от 0,2 до 4,3 мкг/г, в среднем достигая 1,6 мкг/г (ПДУ 0,8 мкг/г). Концентрация свинца менялась в пределах 27–283 мкг/г (в среднем – 121 мкг/г, ПДУ – 47 мкг/г), хрома – от 11,2 до 187 мкг/г (40,5 мкг/г, ПДУ 81 мкг/г). Содержание цинка изменялось в пределах 24–646 мкг/г (215 мкг/г, ПДУ 150 мкг/г), у ртути диапазон изменения составил 0,27–2,23 и 1,03 мкг/г. Следует отметить, что у всех этих элементов даже средние концентрации превышали ПДУ, а у ртути – и минимальные.

Диапазон изменений содержания у никеля составлял 7,3–24,4 мкг/г (в среднем – 14,1 мкг/г, ПДУ 35 мкг/г), у кобальта – 2,8–6,4 мкг/г (4,4 и 10 мкг/г), у марганца – 71–209 мкг/г (120 и 260 мкг/г), у железа – 0,6–3,6 % (1,9 и 22 %). Максимальное загрязнение донных отложений всеми металлами отмечено на тех же станциях, как и у органических соединений.

Амурский залив. Распределение концентраций ЗВ в донных отложениях акватории, исследованной в 2021 г. представлено на рис. 12–13. ОСНУ в Амурском зал. варьировало в весьма широких пределах, от 0,01 до 1,03 мг/г, в среднем составляя 0,21 мг/г. Незначительное превышение ПДУ у ОСНУ зафиксировано только на ст. А24 в восточной части залива (в 1,03 раза). Заметное повышение ОСНУ отмечено здесь же на ст. А16.

Концентрация фенолов достигала в среднем 5,3 мкг/г, изменяясь от 1,6 до 15,0 мкг/г. Превышения ПДУ у этих соединений не зафиксировано, наибольшие концентрации наблюдались в Славянском зал., вблизи Тавричанского зал. и в восточной части Амурского зал. (соответственно ст. А39, А12, А16 и А24).

Содержание суммы ДДТ и его метаболитов менялось в пределах 0,2–32,4 нг/г (в среднем – 4,3 нг/г). Превышение ПДУ отмечено почти на всех станциях, причем, главным образом, в период паводка (съемка 20–21 апреля 2021 г.), исключение – ст. А28. Максимальное загрязнение грунтов этими пестицидами отмечено в северной и восточной частях Амурского зал. (ст. А11, А12, А16 и А24), а также в Славянском зал. на ст. А39.

Суммарные концентрации изомеров ГХЦГ варьировали от аналитического нуля до 0,70 нг/г, в среднем достигая 0,16 нг/г. Наибольшее содержание этих соединений наблюдалось все на тех же ст. А16 и А24 в восточной части Амурского зал.

Рис. 12. Усредненное содержание некоторых органических ЗВ в осадках Амурского и Уссурийского заливов

Концентрации металлов были относительно невелики и в большинстве случаев не превышали существующие ПДУ (исключение – марганец, кобальт, никель и ртуть). Концентрация меди варьировала в пределах 4,8–25,5 мкг/г (в среднем 12,2 мкг/г), у кадмия эти показатели составили 0,1–0,6 и 0,4 мкг/г, у свинца – 2,2–35,6 и 24,3, у цинка – 26–126 и 55, у хрома – 8,7–35,1 и 19,8, у железа – 0,5–4,3 и 1,7 %.

Среднее содержание ртути достигало 0,10 мкг/г (диапазон изменения 0,03–0,31 мкг/г), кобальта – 6,5 (2,7–15,8), марганца – 130 (40–368), никеля – 20,2 (1,3–102). Концентрации марганца, кобальта и никеля превысили ПДУ (в 1,2–1,6 раза) на ст. А12 и А39 соответственно в северной части Амурского зал. и в районе Славянского зал. Превышение ПДУ у ртути отмечено в восточной части Амурского зал. (ст. А16 и А24; 1,5–2,1 раза), причем у всех этих элементов превышения установленных норм наблюдались в апреле, во время паводка.

Уссурийский залив. ОСНУ в донных отложениях менялось несущественно, от 0,03 до 0,13 мг/г, в среднем составляя 0,06 мг/г, и не превышало верхнюю границу ПДУ. Максимальное ОСНУ зафиксировано на ст. U106, заметно повышенное содержание этих соединений (больше среднего в два и более раз) отмечено на ст. U100, U105 и U108 (рис. 12).

Рис. 13. Усредненное содержание некоторых металлов в осадках Амурского и Уссурийского заливов

Содержание фенолов достигало в среднем 3,5 мкг/г, изменяясь от 1,6 до 10,1 мкг/г и не превышало ПДУ. Наибольшие концентрации фенолов отмечены в северной и срединной части залива на ст. U104 и U106, причем их содержание в апреле 2021 г., во время весеннего паводка, было заметно больше, чем в июле.

Концентрация суммы ДДТ и его метаболитов варьировала в широких пределах, от 0,6 до 22,4 нг/г (в среднем — 2,7 нг/г). Наибольшее ее значение отмечено на ст. U100 в районе жилого массива б. Тихой с превышением ПДУ более чем в 14 раз. Кроме того, содержание этих пестицидов было больше ПДУ и на ст. U103, U104, U106 и U208 (в 1,1–3,5 раза).

Суммарная концентрация изомеров ГХЦГ составляла в среднем 0,4 нг/г (диапазон изменчивости 0,1–0,6 нг/г). Максимальное содержание этих соединений, как и суммы ДДТ, зафиксировано на ст. U100, явно повышенное – на ст. U106.

Содержание рассматриваемых металлов было сравнительно невелико (рис. 13), но, в отличие от Амурского зал., было ниже пороговых значений лишь у половины из них. Превышение ПДУ было зафиксировано у марганца, кобальта, свинца, ртути и никеля (в 1,2–2,9), причем самое существенное – у последнего элемента.

Концентрация меди менялась в пределах 2,9–23,0 мкг/г (в среднем – 9,7 мкг/г), кадмия – 0,1–0,6 (0,3), цинка – 15–126 (47), хрома – 4,7–35,1 мкг/г (16,9 мкг/г), железа – 0,3–4,3 % (1,4 %). Содержание марганца составило в среднем 118 мкг/г (диапазон вариаций 26–368 мкг/г), кобальта – 5,2 (1,1–15,8), свинца – 18,4 (3,6–55,5), ртути – 0,07 (0,03–0,19), никеля – 16,7 (4,4–102).

Превышение ПДУ у марганца и кобальта было отмечено на ст. U104 и U105, у свинца и ртути – на ст. U100 (у последнего элемента – еще и на ст. U105). У никеля оно наблюдалось на ст. U104 и U106, причем максимальное – на последней из них.

Залив Находка (включая бухты Находка, Врангеля и Козьмино). Значение ОСНУ в донных отложениях сильно варьировало, от 0,02 до 2,48 мг/г, в среднем составляя 0,31 мг/г. Максимальные концентрации, превышающие верхнюю границу ПДУ, отмечены непосредственно в б. Находка на ст. N1 и N2. Здесь ОСНУ менялось в пределах 0,54–2,48 мг/г (в среднем – 1,34 мг/г). На остальной части акватории зал. Находка ОСНУ в грунтах изменялось от 0,03 до 0,40 мг/г (в среднем – 0,11 мг/г), не превышая верхнюю границу ПДУ (рис. 14).

Содержание фенолов достигало в среднем 4,8 мкг/г, меняясь в диапазоне 2,8–6,7 мкг/г и не превышая ПДУ. Как и у ОСНУ, наибольшие концентрации фенолов наблюдались в б. Находка на ст. N1 и N2, а также в непосредственной близости от нее и в б. Врангеля (соответственно ст. N7, N36, N15 и N25).

Рис. 14. Усредненное содержание некоторых органических ЗВ в осадках зал. Находка

Содержание суммы ДДТ и его метаболитов в варьировало в пределах 0,5–13,1 нг/г (в среднем – 2,2 нг/г). Как и у ОСНУ, максимальные концентрации, превышающие ПДУ (в 1,7–8,3 раза), отмечены на ст. N1 и N2 (7,1 и 2,7–13,1 нг/г). В самом зал. Находка концентрации этих пестицидов изменялись от 0,5 до 5,3 нг/г, составляя в среднем 1,2 нг/г и не превышая ПДУ в большинстве случаев. Исключение – ст. N15, N152, N33 и N7; на первых трех превышение не существенно (менее чем в 1,15 раза), на последней – в 3,4 раза.

Суммарные концентрации изомеров ГХЦГ изменялись от аналитического нуля до 0,8 нг/г, достигая в среднем 0,3 нг/г. Наибольшее их содержание наблюдалось на ст. N2, и лишь немного в этом отношении ей уступала б. Врангеля (0,7 нг/г, ст. N25).

Среднее содержание металлов в грунтах б. Находка (рис. 15) было заметно выше, чем в самом заливе (в 1,2–5,8 раза), что в наибольшей степени было выражено у меди, свинца, цинка и ртути (более чем в 3,7 раза, у остальных элементов – менее чем 2,1 раза).

Концентрация меди менялась в диапазоне 59,8–112,2 мкг/г, в среднем составляя 87,5 мкг/г, у свинца эти показатели составили – 43,8–87,1 и 67,6, у цинка – 156–382 и 258, у ртути – 0,30–0,52 и 0,4.

Содержание марганца достигало в среднем 198 мкг/г, варьируя в пределах 151–257 мкг/г, кобальта – 7,8 и 5,0–10,6, кадмия – 0,6 и 0,2–0,9, никеля – 21,2 и 17,3–24,0, хрома – 30,1 и 26,4–33,4 мкг/г, железа – 3,4 и 0,1–6,5 %.

Рис. 15. Усредненное содержание некоторых металлов в осадках зал. Находка

В б. Находка превышение ПДУ не было найдено у Mn, Ni, Cd, Cr и Fe, причем у последних трех элементов оно отсутствовало и на всей остальной акватории залива. Превышение ПДУ у Hg составило 2,0–3,5 раза, у Cu – 1,8–3,3, у Zn – 1,04–2,6, Pb – 1,4–1,9, у Co – единожды на ст. N1 (в 1,1 раза).

В самом заливе концентрация меди изменялась в пределах 3,8–37,7 мкг/г, в среднем составляя 15,0 мкг/г, у свинца эти показатели составили – 3,7–40,8 и 15,8, у цинка – 3,3–176 и 68,3, у ртути – 0,02–0,25 и 0,10. Содержание марганца достигало в среднем 167 мкг/г, варьируя в пределах 49–573 мкг/г, кобальта – 6,1 и 1,0–14,9, никеля – 17,4 и 4,1–57,7 мкг/г, железа – 3,1 и 0,9–7,5 % (у всех перечисленных элементов максимальные концентрации были больше таковых в б. Находка), кадмия – 0,3 и 0,1–0,7, хрома –16,7 и 5,6–31,3 мкг/г.

Наибольшее превышение ПДУ отмечено у марганца и наблюдалось на ст. N18, N15, N36 и N7 (в 1,1–2,2 раза, максимальное – на первой из указанных станций). У остальных элементов это превышение было выражено в меньшей степени (1,1–1,7 раза) и фиксировалось на самых различных участках акватории зал. Находка.

Донные отложения – один из конечных этапов миграции вещества в морских экосистемах. Большинство поллютантов накапливается в грунтах, и их содержание может служить интегральным показателем степени загрязнения прибрежных вод [7-10]. Поэтому наиболее показательными в системе оценки воздействия является именно осадки как более надежный, чем вода, индикатор загрязнения водных объектов. В этом отношении, исходя из распределения концентраций ЗВ в грунтах, наиболее экологически напряженными являются бухты Золотой Рог, Диомид, Находка. Кроме того заметному стрессу подвержены зал. Славянский и восточная и южная части Амурского зал. и б. Большого Камня в Уссурийском зал. В зал. Находка некоторое беспокойство вызывают бухты Врангеля и Козьмино.

Сравнение данных, полученных в 2021 г., с материалами предыдущих лет исследований

В табл. 4 представлены средние значения ЗВ в воде исследованной акватории за последние пять лет (2017–2021 гг.). Эти величины подвержены значительным флуктуациям с чередованием о роста и падения, оставаясь, в среднем на одном уровне без выраженных трендов и тенденций. Так, в 2021 г. по сравнению с 2020 г., произошло заметное увеличение содержания ОСНУ всех рассматриваемых районов примерно в два раза. При этом их концентрации находились в среднем ниже уровня ПДК, как на поверхности, так и у дна. Концентрации поверхностно активных веществ, резко уменьшившиеся в 2020 г. относительно 2019 г., в 2021 г. почти не изменились. Содержание фенолов, показавшее отчетливый положительный тренд в 2016–2020 гг., в 2021 г. вновь снизилось, как и ОСНУ.

Табл. 4. Средние концентрации некоторых ЗВ в толще воды на акватории зал. Петра Великого в 2017–2021 гг.

Показатель, ЗВ	2017 г.		2018 г.		2019 г.		2020 г.		2021 г.	
	m	±SE	m	±SE	m	±SE	m	±SE	m	±SE
Пролив Босфор Восточный, бухты Золотой Рог, Диомид и Улисс (n=72)										
ОСНУ, мг/л (0,05)	0,20	0,02	0,10	0,01	0,04	0,00	0,03	0,00	0,05	0,01
Фенолы, мкг/л (1,0)	0,9	0,0	1,3	0,1	1,1	0,0	1,8	0,1	1,2	0,0
СПАВ, мкг/л (500)	286	14	333	26	251	19	87	8	88	7
Pb, мкг/л (10)	0,3	0,0	2,0	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0
Cu, мкг/л (5)	1,7	0,1	1,5	0,1	0,7	0,1	2,2	0,2	1,1	0,1
Cd, мкг/л (10)	0,9	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Ni, мкг/л (10)	0,9	0,1	0,7	0,1	0,4	0,1	1,8	0,4	0,5	0,1
Hg, мкг/л (0,10)	0,04	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,03	0,01
Zn, мкг/л (50)	16,8	2,2	15,4	1,4	4,7	0,8	14,1	1,5	4,3	0,4
Fe, мкг/л (50)	56,7	4,8	34,4	3,2	26,2	3,8	16,8	3,2	14,1	2,1
Mn, мкг/л (50)	2,9	0,7	1,4	0,3	1,9	0,6	7,3	1,7	2,8	0,6
Амурский залив (n=48)										
ОСНУ, мг/л (0,05)	0,07	0,01	0,04	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,04	0,00
Фенолы, мкг/л (1,0)	1,1	0,1	1,2	0,1	1,2	0,1	1,9	0,1	1,5	0,1
СПАВ, мкг/л (500)	235	17	302	20	319	36	93	9	98	9
Pb, мкг/л (10)	0,2	0,0	1,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0
Cu, мкг/л (5)	1,2	0,1	1,3	0,1	3,3	2,8	1,2	0,1	0,8	0,0
Cd, мкг/л (10)	0,3	0,0	0,2	0,0	0,7	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0
Ni, мкг/л (10)	0,7	0,0	1,0	0,2	1,2	0,4	0,8	0,1	0,7	0,1
Hg, мкг/л (0,10)	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00
Zn, мкг/л (50)	11,0	1,2	19,6	1,6	10,3	1,8	7,7	1,1	7,3	0,5
Fe, мкг/л (50)	40,1	3,0	43,9	12,8	42,4	13,4	18,8	3,2	10,4	2,2
Mn, мкг/л (50)	12,7	4,1	5,2	0,9	2,8	0,9	3,1	0,4	3,5	0,8
Уссурийский залив (n=72)										
ОСНУ, мг/л (0,05)	0,20	0,02	0,06	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00
Фенолы, мкг/л (1,0)	0,7	0,0	1,0	0,0	1,4	0,0	1,7	0,1	1,1	0,0
СПАВ, мкг/л (500)	245	17	341	16	269	20	83	7	101	8
Pb, мкг/л (10)	0,3	0,1	0,5	0,1	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
Cu, мкг/л (5)	0,9	0,1	0,7	0,1	0,5	0,0	1,1	0,1	0,9	0,1
Cd, мкг/л (10)	0,3	0,0	0,2	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Ni, мкг/л (10)	0,7	0,2	0,8	0,2	0,3	0,0	1,1	0,3	0,8	0,2
Hg, мкг/л (0,10)	0,02	0,00	0,03	0,01	0,03	0,00	0,01	0,00	0,05	0,00
Zn, мкг/л (50)	9,1	0,7	13,4	1,1	7,9	0,8	8,6	0,8	5,8	0,5
Fe, мкг/л (50)	78,3	5,5	36,9	4,5	16,7	2,0	17,8	1,7	10,0	1,7
Mn, мкг/л (50)	3,7	0,3	2,0	0,2	0,5	0,1	1,0	0,1	2,7	0,7
Залив Находка (n=96)										
ОСНУ, мг/л (0,05)	0,08	0,01	0,04	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00
Фенолы, мкг/л (1,0)	0,9	0,0	1,1	0,0	1,2	0,0	1,8	0,0	1,4	0,1
СПАВ, мкг/л (500)	241	15	294	18	390	14	102	8	96	5
Pb, мкг/л (10)	0,2	0,0	0,9	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0
Cu, мкг/л (5)	0,9	0,1	0,9	0,1	0,9	0,1	1,1	0,1	0,9	0,0
Cd, мкг/л (10)	0,4	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Ni, мкг/л (10)	0,6	0,1	0,4	0,0	0,9	0,2	1,0	0,2	2,2	0,4
Hg, мкг/л (0,10)	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
Zn, мкг/л (50)	12,1	0,9	9,9	0,6	7,7	0,4	8,2	0,4	5,8	0,5
Fe, мкг/л (50)	53,9	3,6	21,5	1,5	16,6	1,5	18,7	1,5	26,3	2,8
Mn, мкг/л (50)	8,9	1,5	2,3	0,5	0,9	0,2	5,3	1,6	2,8	0,3

Примечание – m – среднее значение, SE – ошибка репрезентативности, n – число станций, в скобках – ПДК.

Концентрация изученных металлов в морской воде зал. Петра Великого в 2021 г. осталась на уровне аналогичных значений 2017–2020 гг., и в большинстве случаев в среднем не превышала установленных для них ПДК, за исключением экстремально загрязненных акваторий бухт Золотой Рог и Находка. В то же время, изменения их содержания в 2021 г., по сравнению с 2021 г., на разных акваториях показали разные тенденции. Например, концентрации свинца в зал. Находка в среднем выросли, а в Уссурийском зал. остались на прежнем уровне, а в Амурском зал. – уменьшились. Содержание меди и кадмия снизилось, хотя и в разной степени (Cu), на всех акваториях, марганца возросло в Амурском и Уссурийском заливах, и уменьшилось в б. Золотой Рог и зал. Находка, и т.д.

В табл. 5 приведены средние концентрации приоритетных ЗВ в донных отложениях исследуемых акваторий в 2017–2021 г. Превышение ПДУ чаще всего встречается у углеводородов, суммы ДДТ и, особенно, ртути [11]. Кроме того, содержание фенолов, начиная с 1995–1996 гг., заметно увеличилось по сравнению с предыдущим периодом [12, 13] и, поэтому, данные соединения также привлекают особое внимание и являются наиболее приоритетными при анализе многолетних изменений состояния морской среды. На рис. 16–19 представлена динамика концентраций этих ЗВ в донных отложениях отдельных акваторий зал. Петра Великого.

Табл. 5. Средние концентрации некоторых ЗВ в донных отложениях на акватории зал. Петра Великого в 2017-2021 гг.

ЗВ	2017 г.		2018 г.		2019 г.		2020 г.		2021 г.	
	m	±SE	m	±SE	m	±SE	m	±SE	m	±SE
Пролив Босфор Восточный, бухты Золотой Рог, Диомид и Улисс (n=9-18 в разные годы)										
ОСНУ, мг/г (1,0)	9,22	1,88	12,76	3,93	11,85	4,00	8,65	2,36	6,36	1,72
Фенолы, мкг/г (130)	4,5	0,4	2,7	0,1	7,7	0,9	6,6	0,9	5,3	0,6
ДДТ, нг/г (1,58)	34,8	11,4	83,2	34,1	63,5	21,0	25,4	5,7	15,3	3,3
ГХЦГ, нг/г (–)	5,2	0,8	1,0	0,2	1,6	0,3	0,2	0,0	0,3	0,1
Mn, мкг/г (260)	188	19	190	29	209	40	154	12	120	9
Cu, мкг/г (34)	230	94	211	90	252	140	135	37	121	32
Co, мкг/г (10)	4,6	0,5	5,0	0,4	4,5	0,5	4,6	0,4	4,4	0,3
Cd,мг/г (1,2)	2,7	0,6	2,0	0,7	2,1	0,7	2,1	0,5	1,6	0,3
Pb, мкг/г (47)	131,9	25,7	175,6	59,4	147,8	30,5	124,7	23,7	121,2	19,3
Ni, мкг/г (35)	19,8	7,0	13,6	1,3	17,3	3,3	13,6	1,6	14,1	1,0
Zn, мкг/г (150)	406	102	535	189	601	215	297	60	215	46
Fe, мкг/г (220000)	26312	998	26848	866	27591	2322	25132	1888	19250	2060
Cr, мкг/г (81)	20,8	4,1	33,4	4,4	48,8	21,5	48,3	12,6	40,5	9,9
Hg, мкг/г (0,15)	0,90	0,16	1,02	0,28	0,34	0,07	1,01	0,22	1,03	0,18
Амурский залив (n=9-18 в разные годы)										
ОСНУ, мг/г (1,0)	0,20	0,07	0,14	0,06	0,24	0,11	0,21	0,08	0,21	0,07
Фенолы, мкг/г (130)	5,1	0,4	2,5	0,3	7,6	1,1	4,7	0,6	5,3	0,9
ДДТ, нг/г (1,58)	11,1	2,8	5,8	2,2	6,3	0,9	3,2	0,8	4,3	1,8
ГХЦГ, нг/г (–)	1,6	0,3	0,8	0,2	0,5	0,1	0,5	0,0	0,2	0,0
Mn, мкг/г (260)	109	13	138	27	162	27	109	12	130	21
Cu, мкг/г (34)	13,7	1,4	12,9	2,5	13,7	2,9	13,6	1,8	12,2	1,6
Co, мкг/г (10)	6,1	0,9	4,3	0,7	4,1	0,6	4,2	0,6	6,5	0,9
Cd,мг/г (1,2)	0,7	0,2	0,4	0,0	0,1	0,1	0,4	0,1	0,4	0,0

ЗВ	2017 г.		2018 г.		2019 г.		2020 г.		2021 г.	
	m	±SE	m	±SE	m	±SE	m	±SE	m	±SE
Pb, мкг/г (47)	12,6	2,2	13,8	3,1	16,5	2,9	24,3	3,3	16,6	2,2
Ni, мкг/г (35)	12,6	1,0	12,9	2,1	10,8	1,8	31,4	7,5	20,2	5,5
Zn, мкг/г (150)	60,8	7,6	63,7	12,7	70,2	11,6	59,2	7,1	55,1	6,4
Fe, мкг/г (220000)	24935	1260	18566	2544	23379	3723	22434	2243	17700	2414
Cr, мкг/г (81)	16,1	1,4	23,7	3,0	19,5	3,2	23,3	1,9	19,8	1,9
Hg, мкг/г (0,15)	0,17	0,05	0,16	0,03	0,04	0,01	0,10	0,02	0,10	0,02
Уссурийский залив (n=9-18 в разные годы)										
ОСНУ, мг/г (1,0)	0,09	0,01	0,05	0,01	0,06	0,01	0,07	0,01	0,06	0,01
Фенолы, мкг/г (130)	4,6	0,7	1,6	0,3	4,3	0,5	3,2	0,4	3,5	0,6
ДДТ, нг/г (1,58)	13,0	6,4	4,3	2,8	6,6	3,0	2,1	0,7	2,7	1,2
ГХЦГ, нг/г (–)	1,3	0,4	1,1	0,6	0,8	0,3	0,3	0,1	0,4	0,0
Mn, мкг/г (260)	90	13	78	16	40	6	82	15	118	23
Cu, мкг/г (34)	12,5	3,2	7,6	2,5	7,9	2,0	7,3	1,0	9,7	1,5
Co, мкг/г (10)	3,8	0,4	2,3	0,4	2,8	0,6	3,8	0,4	5,2	1,0
Cd,мг/г (1,2)	0,6	0,1	0,3	0,0	0,3	0,1	0,5	0,1	0,3	0,0
Pb, мкг/г (47)	12,0	3,2	10,4	2,4	13,1	3,2	11,3	1,3	18,0	3,0
Ni, мкг/г (35)	7,9	0,6	6,1	0,9	6,0	1,3	14,8	4,9	16,7	5,6
Zn, мкг/г (150)	18,0	3,2	30,8	4,1	30,0	4,7	30,1	3,9	47,1	6,8
Fe, мкг/г (220000)	18147	1171	11743	1153	10407	1972	11102	1680	14397	2725
Cr, мкг/г (81)	9,5	1,0	12,0	1,4	10,5	2,0	12,3	1,4	16,9	2,2
Hg, мкг/г (0,15)	0,10	0,03	0,04	0,01	0,03	0,01	0,05	0,01	0,07	0,01
Залив Находка (n=12-24 в разные годы)										
ОСНУ, мг/г (1,0)	0,57	1,01	0,55	0,78	0,51	0,87	0,34	0,45	0,31	0,56
Фенолы, мкг/г (130)	6,15	3,52	2,8	1,1	6,0	1,6	4,99	2,99	4,75	1,19
ДДТ, нг/г (1,58)	18,0	37,8	6,7	5,2	15,3	39,5	7,3	13,9	2,2	3,1
ГХЦГ, нг/г (–)	1,2	1,2	2,0	1,6	0,5	0,5	0,2	0,1	0,3	0,2
Mn, мкг/г (260)	117	62	126	44	120	45	105	32	173	116
Cu, мкг/г (34)	20,3	24,8	17,9	29,6	21,5	24,1	19,3	24,2	27,1	30,3
Co, мкг/г (10)	5,4	1,7	4,1	1,8	3,9	1,5	4,1	2,7	6,3	3,5
Cd,мг/г (1,2)	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2
Pb, мкг/г (47)	14,8	13,2	19,2	32,5	21,4	17,7	15,6	14,2	24,4	22,8
Ni, мкг/г (35)	8,7	4,8	9,6	4,8	10,8	4,4	20,6	19,6	18,0	11,7
Zn, мкг/г (150)	84	74	71	90	141	66	76	73	100	91
Fe, мкг/г (220000)	21823	7652	23174	7354	17727	7142	17303	6926	31460	20642
Cr, мкг/г (81)	38,8	33,3	17,0	7,3	17,3	7,7	10,6	5,6	19,0	8,5
Hg, мкг/г (0,15)	0,16	0,15	0,20	0,34	0,08	0,08	0,14	0,18	0,15	0,12

Примечание — m – среднее значение, SE – ошибка репрезентативности, n – число станций, в скобках – ПДК.

Рис. 16. Долговременные изменения ОСНУ (мг/г) в донных отложениях в 2010–2021 гг. Планки погрешности – стандартное отклонение

Рис. 17. Долговременные изменения суммарной концентрации ДДТ (нг/г) в донных отложениях в 2010–2021 гг. Планки погрешности – стандартное отклонение

Изученные районы заметно отличаются в тенденциях изменения содержания перечисленных приоритетных ЗВ. В многолетней динамике усредненных концентраций углеводородов акватории порта Владивосток (включая прол. Босфор Восточный, бухты Золотой Рог, Диомид и Улисс) и, в меньшей степени, в б. Находка наблюдаются положительные тренды, а в Амурском и Уссурийском заливах – отрицательные. Среднее

содержание суммы ДДТ и его метаболитов оставалось примерно на одном уровне морского порта Владивосток, а на остальных акваториях проявило тенденцию к снижению.

Рис. 18. Долговременные изменения концентрации фенолов (мкг/г) в донных отложениях в 2010-2021 гг. Планки погрешности — стандартное отклонение

Рис. 19. Долговременные изменения концентрации ртути (мкг/г) в донных отложениях в 2010-2021 гг. Планки погрешности — стандартное отклонение

Усредненная концентрация фенолов, как и суммы ДДТ, была неизменной в акватории морского порта Владивосток, а в других районах – показала положительный тренд, в наименьшей степени выраженный в грунтах Амурского зал. У ртути некоторый рост

содержания отмечен на акватории порта, еще более слабое увеличение наблюдалось в б. Находка, а в Амурском и Уссурийском заливах какие-либо отчетливые тенденции отсутствовали.

Следует подчеркнуть, что концентрации всех ЗВ демонстрировали существенные межгодовые флуктуации, как на отдельных станциях, так и для районов работ в целом. Яркий пример этих отклонений от «среднего состояния» — содержание суммы ДДТ на всех исследованных акваториях. Такое состояние донных отложений в отношении загрязнения всеми исследованными ЗВ продолжается уже более 20 лет (с середины — конца 90-х гг. прошлого столетия) [12, 13].

Необходимо отметить, что одни только вышеперечисленные ЗВ, рассматриваемые в данном обзоре и присутствующие в донных осадках, способны вызывать массовую гибель морской фауны. Однако это далеко не полный перечень всех загрязняющих веществ, поступающих в воды зал. Петра Великого. При этом необходимо помнить о синергизме – совокупном воздействии всех ЗВ на организмы, которое, безусловно, превосходит токсичное влияние отдельно рассматриваемых поллютантов.

Итак, на основе проведенных наблюдений, анализа и расчетов можно сделать следующее заключение.

В 2021 г. на исследованной акватории наиболее неблагополучная обстановка сложилась в отношении фенолов и ртути. Превышение ПДК для морской воды этими ЗВ наблюдалось на большинстве станций всех изученных районов зал. Петра Великого. Наибольшие концентрации и превышение фенолами зафиксированы в Амурском зал., а ртутью – в прол. Босфор Восточный (соответственно 4,7 и 29 ПДК).

Ситуация с загрязнением водной толщи НУ выглядит менее угрожающей. Превышение ПДК этими соединениями наблюдалось лишь спорадически. В б. Золотой Рог максимальные концентрации НУ отмечены в ее южной части (7,0 ПДК). В Амурском заливе превышения ПДК углеводородами отмечено в его восточной части, где и была зафиксирована максимальная их концентрация (2,4 ПДК). В Уссурийском зал. наибольшее превышение ПДК (в 2,6 раза) отмечено у его восточного берега, в зал. Находка максимальное превышение ПДК этими соединениями наблюдалось в б. Врангеля (4,6 ПДК).

Менее угрожающей следует считать ситуацию с загрязнением водной толщи детергентами и металлами (кроме ртути). Концентрации СПАВ были ниже ПДК во всех случаях, а превышение ПДК было отмечено только у железа, но на всех акваториях, хотя и по одному разу (1,8–3,1 ПДК).

Наибольший антропогенный стресс испытывают бухты Золотой Рог, Диомид и Находка, о чем свидетельствует распределение концентраций всех ЗВ в донных отложениях.

Эти акватории подвержены долговременному, хроническому загрязнению, в результате чего содержание всех ЗВ здесь существенно, превышает ПДУ. Ситуацию в заливах Амурский, Уссурийский и Находка можно считать более умеренной, но она ухудшается с приближением к побережьям, на которых расположены города Владивосток и Находка. Кроме того, некоторое беспокойство вызывают зал. Славянский и бух. Большого Камня, а также бухты Врангеля и Козьмино.

В целом, сравнение данных по содержанию приоритетных ЗВ в 2017–2020 гг. и в 2021 г. свидетельствует о том, что за истекшие пять лет геоэкологическая ситуация в зал. Петра Великого не изменилась. Содержание ЗВ, как в водной толще, так и в донных отложениях от года к году демонстрирует заметные флуктуации, которые происходят внутри диапазонов их многолетних концентраций. В тоже время, наметившиеся тенденции в изменении целого ряда поллютантов, очевидно, потребуют в дальнейшем большего внимания и детального анализа.

Список литературы

1. Методические указания по определению токсичных загрязняющих веществ в морской воде на фоновом уровне — М.: Гидрометеоиздат, 1982. — №45. — 28 с.

2. РД 52.10.556-96. Методические указания по определению загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. — М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 1996. — 56 с.

3. Руководство по химическому анализу морских вод. — СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. — 264 с.

4. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. http://docs.cntd.ru/document/902199367.

5. 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.

6. 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. — Pp. 81–97.

7. Bradford W.L., Luoma S.N. Some perspectives on heavy metal concentrations in shellfish and sediment in San Francisco Bay, California // Contaminants and Sediments. Ed. Baker R.A. MI, Ann Arbor: Ann Arbor Scientific Publishing. — 1980. — Pp. 501–53.

8. Daskalakis K.D., O'Connor T.P. Distribution of chemical concentrations in US coastal and estuarine sediment // Marine Environmental Research. — 1995. — Vol. 40. — Pp. 381–398.

9. Goldberg E.D., Griffin J.J., Hodge V., Koide M., Windom H. Pollution history of the Savannah River estuary // Environ. Sci. Technol. — 1979. — Vol. 13. — Pp. 588–594.

10. Hirschberg D.J., Chin P., Feng H., Cochran J.K. Dynamics of sediment and contaminant transport in the Hudson River estuary: evidence from sediment distribution of naturally occurring radionuclides // Estuaries. — 1996. — Vol. 19. — Pp. 931–949.

11. Мощенко А.В., Белан Т.А., Лишавская Т.С., Севастьянов А.В., Борисов Б.М. 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.

12. Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М., Лишавская Т.С., Севастьянов А.В. Современное загрязнение донных отложений и экологическое состояние макрозообентоса в прибрежной зоне Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 155—181.

13. Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М., Лишавская Т.С., Севастьянов А.В. Основные тенденции временного хода концентраций приоритетных поллютантов в осадках прибрежных акваторий Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2021. — Т. 201.— Вып. 2. — С. 440—457.