



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
AM.2025.01

**Гидрохимические условия отдельных
акваторий залива Петра Великого
в 2017–2024 гг.**

Владивосток 2025

РЕФЕРАТ

В обзоре представлены данные многолетней изменчивости гидрохимических показателей отдельных акваторий залива Петра Великого в 2017–2024 гг. Наиболее неблагоприятные условия относительно стандартных гидрохимических показателей в 2024 г. были отмечены на акватории морского порта Владивосток, а именно, в бухте Золотой Рог и проливе Босфор Восточный. Об этом свидетельствует пониженное содержание кислорода (и процент его насыщения), сопровождаемое превышением ПДК по биохимическому потреблению O_2 (около 2 ПДК), высокая концентрация биогенных элементов – нитритов, аммонийного азота, фосфатов.

Подобная ситуация относительно содержания растворенного кислорода, величины БПК₅ наблюдается в восточной части Амурского залива вдоль городской черты. В целом, Амурский залив подвержен достаточно высокому экологическому стрессу.

Уссурийский залив следует рассматривать как акваторию, подверженную антропогенному воздействию в гораздо меньшей степени по сравнению с другими, рассматриваемыми в данном разделе. Тем не менее, на отдельных станциях залива наблюдается падение насыщения придонных вод кислородом менее 100%, а также превышение ПДК (1,9) для биохимического потребления кислорода.

Авторы:

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

Дата составления: 08.12.2025 г.



Оглавление

Введение.....	4
Материалы и методы	6
Результаты исследований в 2024 г.....	6
Межгодовая динамика гидрохимических показателей	15
Выводы.....	19
Список используемых источников	20

Введение

Гидрохимический мониторинг морских прибрежных акваторий имеет большое значение для оценки состояния и анализа процессов функционирования экологических систем. Знание современных гидрохимических условий и прогноз их изменений является необходимым условием для рационального использования морских прибрежных зон, которые обеспечивают высокий уровень биологической продуктивности, в то же время являясь районами с высокой антропогенной нагрузкой. Прибрежные зоны морей и океанов, где сосредоточена основная хозяйственная деятельность человека, в первую очередь подвержены длительному воздействию разнообразных антропогенных факторов, в том числе загрязнения и эвтрофирования. Избыточное поступление органического вещества и биогенных элементов в морскую среду вызывают бурное развитие фитопланктона с последующим нарушением баланса водных систем, что приводит к заморным явлениям, неблагоприятным микробиологическим условиям, снижению прозрачности вод и ухудшению эстетических достоинств прибрежных зон отдыха [GESAMP, 1990].

Нитраты и фосфаты относятся к биогенным элементам, наиболее активно участвующим в жизнедеятельности водных организмов. Нитраты образуются в воде в результате биохимического разложения и окисления органических остатков как природного происхождения, так и попадающих в реки и водоемы со сточными водами. Высокие концентрации фосфатов в водных объектах обычно связаны с антропогенными факторами, в частности, с поступлением с хозяйственно-бытовыми стоками и стоками с сельскохозяйственных территорий [Григорьева, Кузовлев, 2020].

Как свидетельствуют исследования, муссонный климат Приморья создает импульсный характер потоков биогенных веществ (БВ) и растворенного органического углерода (РОУ) в прибрежной зоне. Так, кратковременные большие потоки БВ в Амурский залив создают благоприятные условия для «цветения» фитопланктона, которое формирует его «избыточную» биомассу. Годовые потоки БВ и РОУ, поставляемые р. Раздольной в залив, существенно больше в сравнении с канализационными стоками г. Владивостока. За период с 2003 по 2017 гг. наблюдается тенденция к увеличению годовых потоков БВ и РОУ, обусловленная ростом годового речного стока [Михайлик и др., 2020].

Об очень высоком органическом загрязнении прибрежных вод акваторий вблизи Владивостока свидетельствует значительное обилие фитопланктона и преобладание видов, известных как показатели органического загрязнения.

Регистрируемые практически ежегодные «цветения» воды в Амурском заливе обусловлены микроводорослями, известными как индикаторы неблагоприятного экологического состояния вод. Эти виды являются факультативными гетеротрофами,

достигающими массового развития в наиболее загрязненных высокоеутрофных районах залива Петра Великого, прибрежных водах Японии, Черного моря, а также восточного побережья США и Канады. В бухте Золотой Рог в период с начала 90-х гг. по 2010 г. выявлено увеличение видов микроводорослей – индикаторов высокого органического загрязнения [Стоник, 2018]. Изменение качественного и количественного состава фитопланктона с преобладанием жгутикового компонента свидетельствует об органическом загрязнении акватории [Тевс, Шевченко, 2022].

В результате процесса эвтрофирования и, как следствие, бурного «цветения» фитопланктона на отдельных акваториях залива в летний сезон в придонном слое формируются анаэробные условия («мертвые зоны»), которые приводят к гибели донного населения и рыб. Так, у дна мелководной кутовой части бухты Золотой Рог ежегодно отмечается очень низкое содержание растворенного кислорода и сероводородное загрязнение осадков, что связывают исключительно с антропогенным воздействием. В проливе Босфор Восточный также выявлены случаи низкого и экстремально низкого содержания кислорода (19–31% насыщения). Причина – отсутствие вертикального перемешивания из-за ярко-выраженного сезонного термоклина [Севастьянов и др., 2012], а также адвекция гипоксийных придонных вод [Тищенко и др., 2021]. Таким образом, прибрежная гипоксия (около 30% насыщения кислородом), вызывающая сублетальные и летальные эффекты у многих видов беспозвоночных [Levin et al., 2009], регулярно регистрируется на исследованной акватории.

Следует отметить, что в Мировом океане последние два десятилетия наблюдается экспоненциальный рост площади прибрежных акваторий, подверженных гипоксии или даже аноксии. Это явление рассматривается как новая глобальная проблема, вставшая в последние десятилетия перед человечеством [Тищенко и др., 2021]. Гипоксия изменяет как структуру, так и функцию бентосных сообществ, что приводит к снижению видового разнообразия, а, следовательно, и стабильности экосистем, а также и продуктивности. Реакции бентосной фауны, возникающие при уровнях кислорода ниже 2 мл/л, обычно включают гибель крупных видов и увеличение численности видов-оппортунистов, иногда до полного уничтожения исходной популяции. Восстановление донной фауны может занимать несколько лет [Levin et al., 2009].

Изучение и отслеживание многолетней изменчивости гидрохимических параметров может оказаться важнейшим знанием, позволяющим не только диагностировать состояние морской экосистемы, но и служить важнейшим прогностическим материалом.

Цель данного обзора – рассмотреть межгодовую динамику (2017–2024 гг.) отдельных гидрохимических показателей – растворенного кислорода, величины БПК₅,

концентраций биогенных элементов (нитритов, нитратов, аммонийного азота, фосфатов) в водной толще акваторий залива Петра Великого. Районы исследований включали заливы Амурский и Уссурийский, а также акваторию морского порта Владивосток – пролив Босфор Восточный и бухту Золотой Рог (рисунок 1).

Работы выполняются по Программе государственного мониторинга гидрохимического состояния и загрязнения морской среды в рамках соглашения между ФГБУ «ДВНИГМИ» и ФГБУ «Приморское УГМС».

Материалы и методы

Пробы воды отбирали на станциях государственной сети наблюдений (ГСН) два-три раза в год на двух или трех горизонтах в зависимости от глубины места (рисунок 2.1). 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».

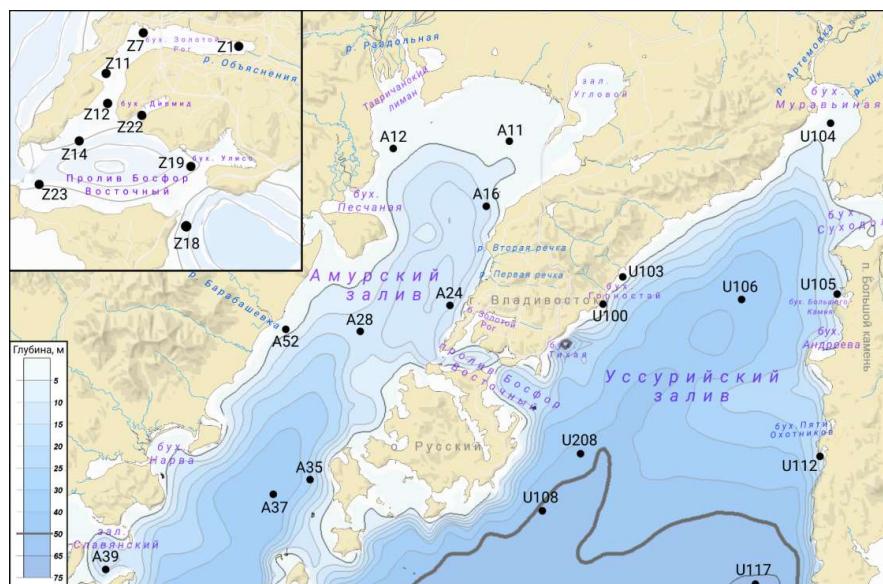


Рисунок 1 — Схема расположения станций ГСН на исследуемых акваториях

Результаты исследований в 2024 г.

Бухта Золотой Рог

Акватория включала станции Z1–Z12. В 2024 г. концентрации кислорода в толще воды изменились в пределах 4,5–8,7 мг/л, в среднем составляя 7,5 мг/л (таблица 1). Недостаток насыщения (менее 100%) отмечали как на поверхности, так и в придонном слое вод. В придонном горизонте это явление было более выраженным (рисунки 2, 3). Минимум

содержания на поверхности (65,1%) зафиксирован на ст. Z1 в мае 2024 г., в придонном слое – на ст. Z11 (67,3%) в октябре.

Таблица 1 — Некоторые статистические характеристики абсолютных и нормированных по ПДК значений гидрохимических показателей в бухте Золотой Рог в 2024 г. Число измерений – 24

Показатель	M	±SE	Min	Max	M_ПДК	Max_ПДК	C	Горизонт, м/ст.
Кислород мг/л (6,0)	7,5	0,2	4,5	8,7	0,8	1,3	2	
Кислород (%)	87,4	3,1	65,1	121,9				
БПК₅ мг/л (2,1)	3,0	0,2	1,9	4,0	1,4	1,9	21	0,0/Z7
N-NO₂ мкг/л (20)	21,1	7,7	2,7	189,6	1,1	9,5	6	0,0/Z1
N-NO ₃ мкг/л (9000)	21,7	3,5	5,1	85,3	0,0	0,0	0	
N-NH₄ мкг/л (400)	128,5	26,8	11,3	486,6	0,3	1,2	2	0,0/Z1
P-PO ₄ мкг/л (200)	32,3	2,8	14,9	66,2	0,7	1,3	0	

Примечание — здесь и далее: M, Min и Max – среднее, минимальное и максимальное значение, SE – ошибка репрезентативности, в скобках – ПДК. Красным выделены нормированные концентрации, превышающие ПДК. С – общее количество случаев превышения норм ПДК. Нормализация концентраций фосфатов выполнена для олиготрофных, мезотрофных и эвтрофных водоемов.

Значения биохимического потребления кислорода (БПК₅) варьировали в диапазоне 1,9–4,0 мг/л (таблица 1), в среднем – 3,0. Максимальная величина БПК₅ (4,0) зарегистрирована в мае на ст. Z1 и Z11 на поверхности и на ст. Z11 и Z12 в придонном слое. Превышение ПДК (2,1 мг/л, 21 случай) наблюдали на всех станциях, как на поверхности, так и у дна (рисунок 4).

Содержание нитритов находилось в пределах 2,7–189,6 мкг/л, среднее значение составило 21,1 мкг/л, что превысило ПДК в 9,5 раз (таблица 1). Самая высокая концентрация отмечена на ст. Z1 в июле (189,6 мкг/л, поверхность). Всего зарегистрировано шесть случаев превышения ПДК (таблица 1, рисунок 5).

Концентрации нитратного азота изменялись в пределах от 5,1 до 85,3 мкг/л, в среднем составляя 21,7 мкг/л (таблица 1). Превышения ПДК отмечено не было, однако наиболее высокие концентрации были зарегистрированы в кутовой части на ст. Z1 (рисунок 6) как на поверхности, так и у дна.

Содержание аммонийного азота варьировало в диапазоне 11,3–486,6 мкг/л (таблица 1), составляя в среднем 128,5 мкг/л. Максимум отмечали в кутовой части бухты (рисунок 6). Зафиксировано два случая превышения ПДК. Высокие значения наблюдали на ст. Z7, 11, 12.

Содержание фосфатов находилось в пределах 14,9–66,2 мкг/л, в среднем – 32,3 мкг/л (таблица 1). Наибольшие концентрации отмечены на станции Z11 (рисунок 8). ПДК фосфатов установлены отдельно для олиготрофных, мезотрофных и эвтрофных водоемов (50, 150 и 200 мкг/л соответственно).

Пролив Босфор Восточный. Станции Z18–19, Z23

Содержание растворенного кислорода находилось в пределах 6,0–9,2 мг/л (таблица 2), в среднем составляя 8,1 мг/л. На поверхности средние концентрации варьировали от 6,7 мг/л на ст. Z18 (июль) до 8,8 мг/л на ст. Z19 (май). В придонном горизонте – от 6,0 (ст. Z23) (июль) до 9,2 мг/л (октябрь) на ст. Z19 (рисунок 1). Недостаток насыщения на поверхности отмечен в девяти случаях из 12, в придонном горизонте – во всех 12 случаях наблюдений (рисунок 3).

Величина биохимического потребления кислорода (БПК₅) изменялась от 1,9 мг/л до максимальной величины 4,0 мг/л, отмеченной в июле на ст. Z23 на поверхности и у дна. В среднем превышение ПДК (2,1 мг/л, 22 случаев) было отмечено на всех станциях, как на поверхности, так и у дна (рисунок 4).

Концентрации нитритного азота изменялись в пределах от 2,6 до 6,9 мкг/л, в среднем составляя 4,9 мкг/л (таблица 2). Случаев превышения ПДК не отмечено (рисунок 5).

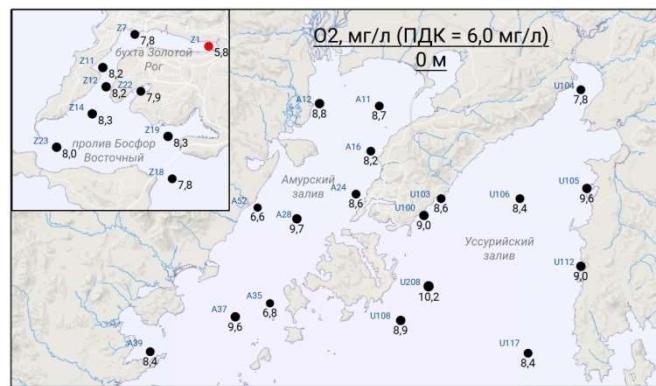
Содержание нитратов находилось в пределах 3,2–72,0 мкг/л, среднее значение составило 14,3 мкг/л (таблица 2). Превышения ПДК не зарегистрировано (рисунок 6).

Значения концентраций аммонийного азота варьировали в диапазоне 16,4–133,0 мкг/л (таблица 2), в среднем составляя 50,7 мкг/л. Случаев превышения ПДК не зафиксировано (рисунок 7).

Таблица 2 — Некоторые статистические характеристики абсолютных и нормированных по ПДК значений гидрохимических показателей в проливе Босфор Восточный. Число измерений – 24

Показатель	M	±SE	Min	Max	M_ПДК	Max_ПДК	C	Горизонт, м /ст.
Кислород мг/л (6,0)	8,1	0,2	6,0	9,2	0,7	1,0	1	
Кислород (%)	89,2	2,1	66,2	109,0				
БПК₅ мг/л (2,1)	2,9	0,1	1,9	4,0	1,4	1,9	22	0,0/Z23
N-NO ₂ мкг/л (20)	4,9	0,3	2,6	6,9	0,2	0,3	0	
N-NO ₃ мкг/л (9000)	14,3	3,3	3,2	72,0	0,0	0,0	0	
N-NH ₄ мкг/л (400)	50,7	5,7	16,4	133,0	0,1	0,3	0	
P-PO ₄ мкг/л (200)	22,9	0,8	17,7	32,8	0,5	0,7	0	

Содержание фосфатов изменялось в диапазоне 17,7–32,8 мкг/л, в среднем – 22,9 мкг/л. Случаев превышения ПДК не отмечено (рисунок 8). ПДК фосфатов установлены отдельно для олиготрофных, мезотрофных и эвтрофных водоемов (50, 150 и 200 мкг/л соответственно).



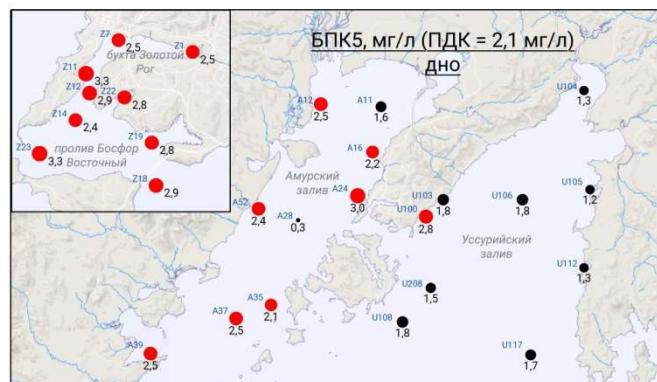
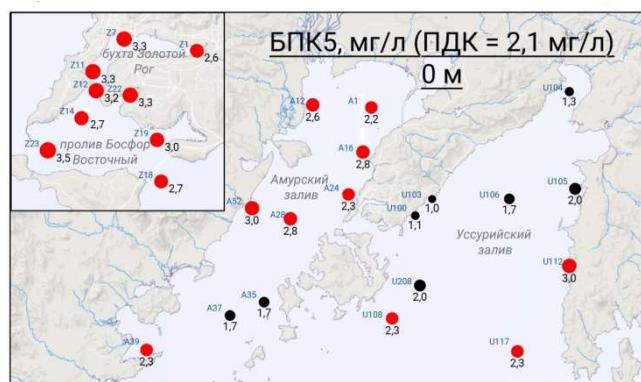


Рисунок 4 — Распределение средних значений БПК₅ на поверхности и у дна. Красным цветом выделены станции с превышением ПДК

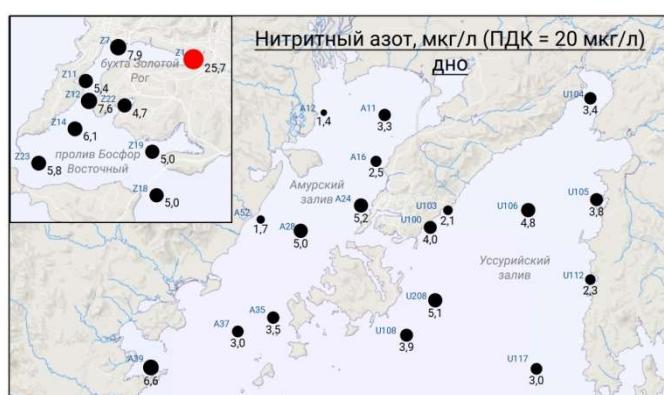
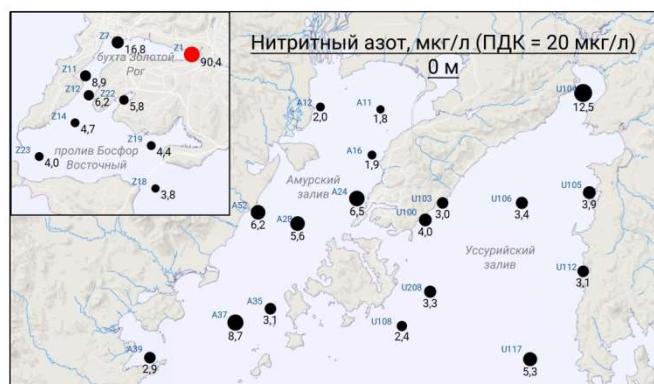


Рисунок 5 — Распределение средних концентраций нитритов на поверхности и у дна. Красным цветом выделены станции с превышением ПДК

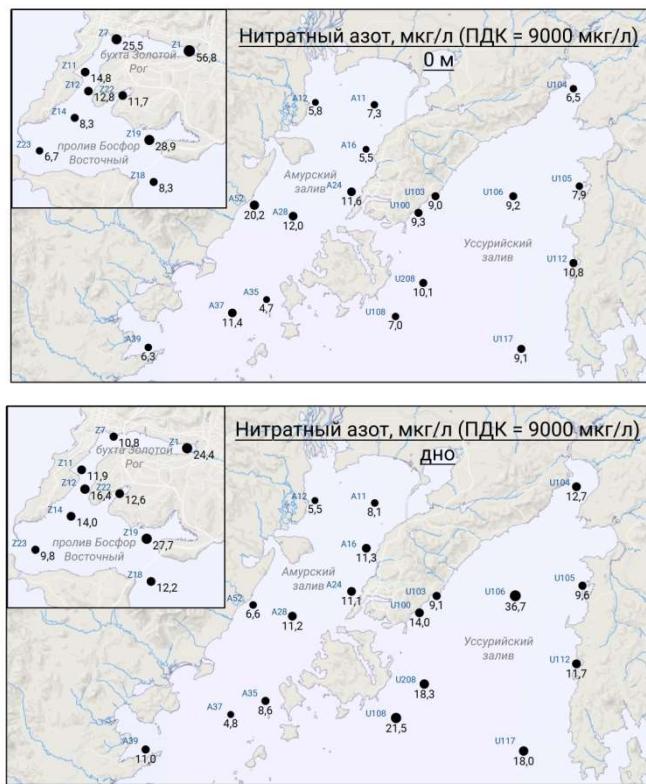


Рисунок 6 — Распределение средних концентраций нитратов на поверхности и у дна

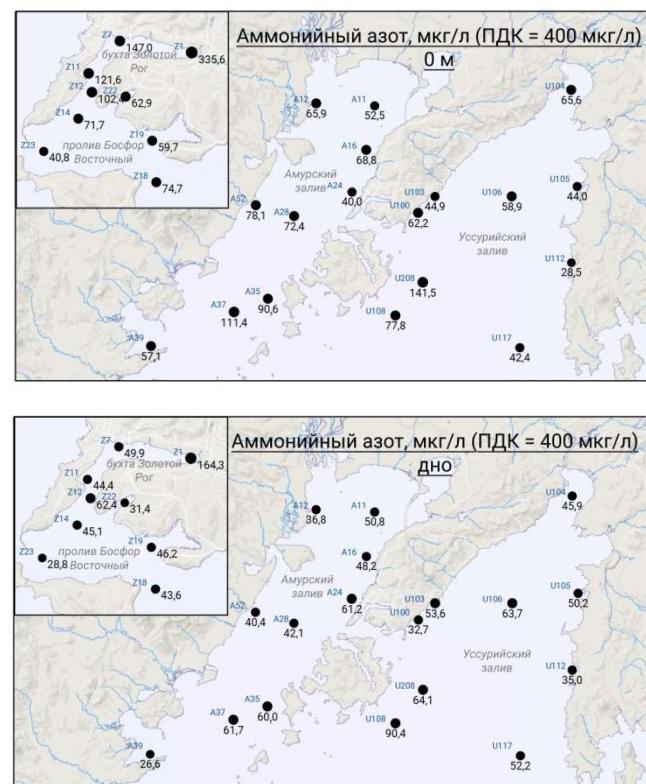


Рисунок 7 — Распределение средних концентраций аммонийного азота на поверхности и у дна

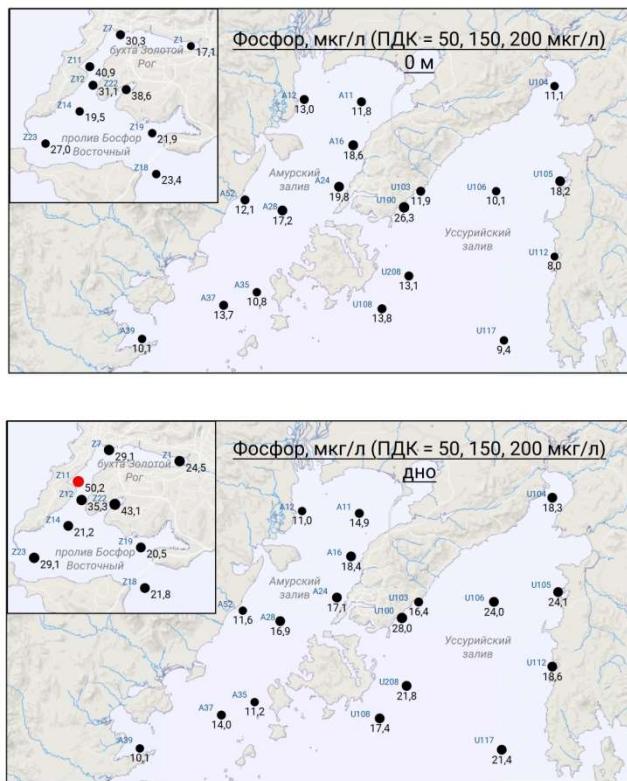


Рисунок 8 — Распределение среднего содержания фосфатов на поверхности и у дна.
Красным цветом выделены станции с превышением ПДК

Амурский залив

Содержание растворенного кислорода в толще воды находилось в пределах 3,9–11,1 мг/л (таблица 3). В поверхностном горизонте концентрации в среднем изменялись от 4,3 (ст. А52) до 11,1 мг/л (ст. А37) в мае, у дна – от 3,8 (ст. А35) до 10,7 мг/л на ст. А37 (рисунок 3.2). Падение насыщения на поверхности отмечено в 12 случаях из 18, в придонном горизонте дна – в 17 случаях (рисунок 3).

Таблица 3 — Некоторые статистические характеристики абсолютных и нормированных по ПДК значений гидрохимических показателей в Амурском заливе. Число измерений – 36

Показатель	M	±SE	Min	Max	M_ПДК	Max_ПДК	C	Горизонт, м /ст.
Кислород мг/л (6,0)	8,2	0,3	3,9	11,1	0,7	1,5	4	
Кислород (%)	90,2	2,9	38,3	121,2				
БПК₅ мг/л (2,1)	2,3	0,2	0,0	4,0	1,1	1,9	14	34,0/A37
N-NO ₂ мкг/л (20)	3,9	0,5	1,4	11,0	0,2	0,6	0	
N-NO ₃ мкг/л (9000)	9,1	1,0	2,5	29,0	0,0	0,0	0	
N-NH ₄ мкг/л (400)	59,1	6,6	20,3	190,0	0,2	0,5	0	
P-PO ₄ мкг/л (200)	14,0	0,6	8,0	20,7	0,3	0,4	0	

Величина БПК₅ изменялась от 0,0 до 4,0 мг/л, составляя в среднем 2,3 мг/л (таблица 3). Отмечены четырнадцать случаев превышения ПДК на семи станциях (рисунок 4).

Концентрации нитритного азота изменялись в пределах 1,4–11,0 мкг/л, в среднем составляя 3,0 мкг/л (таблица 3) при ПДК=20 мкг/л. Превышение ПДК не отмечено (рисунок 5). Наиболее высокие значения зарегистрированы на ст. А24, 37, 52.

Содержание нитратов находилось в пределах 2,5–29,0 мкг/л при среднем значении 9,1 мкг/л (таблица 3). Превышения ПДК не отмечено (рисунок 6).

Значения концентраций аммонийного азота варьировали от 203 до 190,0 мкг/л, составляя в среднем 59,1 мкг/л (таблица 3). Превышения ПДК не зарегистрировано (рисунок 7). В поверхностном слое концентрации аммонийного азота превышали таковые у дна.

Содержание фосфатов изменялось в диапазоне 8,0–20,7 мкг/л, в среднем – 14,0 мкг/л (таблица 3). Превышения ПДК не отмечено (рисунок 8).

Уссурийский залив

Содержание растворенного кислорода в толще воды находилось в пределах 4,0–12,8 мг/л (таблица 4), в среднем составляя 8,6 мг/л. На поверхности концентрации изменялись от 6,3 мг/л (ст. U104, май) до 12,8 мг/л (ст. U208, август). У дна средние значения содержания варьировали от 4,0 мг/л в (ст. U103, май) до 10,3 мг/л на выходе из залива (ст. U108, май). Высокая степень насыщения кислородом на поверхности наблюдалась на всех станциях Уссурийского залива, за исключением ст. U104 в приустьевом участке. У дна на всех станциях отмечен недостаток насыщения (рисунки 2, 3).

Величина БПК₅ изменялась от 1,0 до 4,0 мг/л, составляя в среднем 1,8 мг/л. Отмечено 15 случаев превышения ПДК (таблица 4, рисунок 4).

Концентрации нитритного азота изменялись в пределах 0,9–32,4 мкг/л (таблица 4, рисунок 5), в среднем составляя 4 мкг/л. Отмечен один случай превышения ПДК в приустьевой части залива в поверхностном горизонте ст. U104 в августе.

Таблица 4 — Некоторые статистические характеристики абсолютных и нормированных по ПДК значений гидрохимических показателей в Уссурийском заливе. Число измерений – 54

Показатель	M	±SE	Min	Max	M_ПДК	Max_ПДК	C	Горизонт, м /ст.
Кислород мг/л (6,0)	8,6	0,2	4,0	12,8	0,7	1,5	1	
Кислород (%)	96,6	2,9	40,0	165,6				
БПК₅ мг/л (2,1)	1,8	0,1	1,0	4,0	0,8	1,9	15	0,0/U112
N-NO₂ мкг/л (20)	4,1	0,6	0,9	32,4	0,2	1,6	1	0,0/U104
N-NO ₃ мкг/л (9000)	12,8	1,7	0,7	83,8	0,0	0,0	0	
N-NH ₄ мкг/л (400)	58,5	5,1	12,8	228,1	0,2	0,6	0	
P-PO ₄ мкг/л (200)	17,3	0,8	7,1	29,8	0,4	0,6	0	

Содержание нитратов находилось в пределах 0,7–83,8 мкг/л, в среднем составляя 12,8 мкг/л (таблица 4). Случаев превышения ПДК не отмечено. Более высокие концентрации нитратов были выявлены в поверхностном слое (рисунок 6).

Значения концентраций аммонийного азота варьировали в диапазоне 12,8–228,1 мкг/л, в среднем – 58,5 мкг/л (таблица 4). Случаев превышения ПДК не отмечено (рисунок 7).

Содержание фосфатов изменялось в диапазоне 7,1–29,8 мкг/л (таблица 4), составляя в среднем 17,3 мкг/л. Случаев превышения ПДК не отмечено. В пространственном отношении значения содержания фосфатов распределялись равномерно по акватории, но увеличивались от поверхности к придонному слою (рисунок 8).

Анализ полученных данных показывает, что наиболее неблагоприятные условия в отношении растворенного кислорода наблюдались на акваториях бухты Золотой Рог и пролива Босфор Восточный (таблица 5). Недостаток насыщения наблюдался не менее, чем в 83,3% случаев, а процент насыщения в среднем не превышал 89,2. В Амурском заливе отмечена минимальная величина содержания кислорода (3,9 мг/л), а падение насыщения ниже 100% наблюдали на большинстве станций в обоих горизонтах. В Уссурийском заливе в поверхностном горизонте наблюдалась высокая степень насыщения кислородом, тогда как у дна содержание кислорода было ниже 100% на всех станциях.

Максимальные значения БПК₅ также регистрировали в бухте Золотой Рог и проливе Босфор Восточный (таблица 6). Превышения ПДК наблюдали в 88–92% случаев. Самые высокие содержания нитритов, нитратов и фосфатов характерно для бухты Золотой Рог (таблица 7, 8, 9).

Таблица 5 — Сравнительная характеристика акваторий по содержанию растворенного кислорода

Акватория	Число наблюдений	Минимум содержания O ₂ , мг/л	Среднее значение насыщения, %	Число случаев недостатка насыщения	Случаи недостатка насыщений, %
Б. Золотой Рог	24	4,5	87,4	20	83,3
Прол. Босфор Восточный	24	6,0	89,2	21	87,5
Амурский зал.	36	3,9	90,2	29	80,5
Уссурийский зал.	54	4,0	96,6	35	64,8

Таблица 6 — Сравнительная характеристика акваторий по значению БПК₅. ПДК – 2,1 мг/л

Акватория	Число наблюдений	Минимум	Максимум	Среднее	Случаи превышения ПДК (%)
Б. Золотой Рог	24	1,9	4,0	3,0	21 (88%)
Прол. Босфор Восточный	24	1,9	4,0	2,9	22 (92%)
Амурский зал.	36	0,0	4,0	2,3	14 (39%)
Уссурийский зал.	54	1,0	4,0	1,8	15 (28)

Таблица 7 — Сравнительная характеристика акваторий по содержанию нитритов. ПДК – 20 мкг/л

Акватория	Число наблюдений	Минимум	Максимум	Среднее	Случаи превышения ПДК (%)
Б. Золотой Рог	24	2,7	189,6	21,1	6 (25%)
Прол. Босфор Восточный	24	2,6	6,9	4,9	0
Амурский зал.	36	1,4	11,0	3,9	0
Уссурийский зал.	54	0,9	32,4	4,1	1 (2%)

Таблица 8 — Сравнительная характеристика акваторий по содержанию нитратов. ПДК – 9000 мкг/л

Акватория	Число наблюдений	Минимум	Максимум	Среднее	Случаи превышения ПДК (%)
Б. Золотой Рог	24	5,1	85,3	21,7	0
Прол. Босфор Восточный	24	3,2	72,0	14,4	0
Амурский зал.	36	2,5	29,0	9,1	0
Уссурийский зал.	54	0,7	83,8	12,8	0

Таблица 9 — Сравнительная характеристика акваторий по содержанию аммонийного азота. ПДК – 400 мкг/л

Акватория	Число наблюдений	Минимум	Максимум	Среднее	Случаи превышения ПДК (%)
Б. Золотой Рог	24	11,3	486,6	128,5	1
Прол. Босфор Восточный	24	16,4	133,0	50,7	0
Амурский зал.	36	20,3	190,0	59,1	0
Уссурийский зал.	54	7,1	29,8	17,3	0

Таблица 10 — Сравнительная характеристика акваторий по содержанию фосфатов. ПДК – 200 мкг/л

Акватория	Число наблюдений	Минимум	Максимум	Среднее	Случаи превышения ПДК (%)
Б. Золотой Рог	24	14,9	66,2	32,2	0
Прол. Босфор Восточный	24	17,7	32,8	22,9	0
Амурский зал.	36	8,0	20,7	14,0	0
Уссурийский зал.	54	7,1	29,8	17,3	0

Таким образом, наиболее неблагоприятный гидрохимический режим создается в бухте Золотой Рог и проливе Босфор Восточный. Другие обследованные акватории характеризуются относительно благополучным состоянием, однако низкое насыщение кислородом придонных вод может свидетельствовать о нарушении кислородного режима.

Межгодовая динамика гидрохимических показателей

Ниже на рисунках приведены изменения содержания некоторых гидрохимических показателей на отдельных акваториях залива Петра Великого – морского порта Владивосток (бухты Золотой Рог, Диомид, пролив Босфор Восточный), заливов Амурский и Уссурийский. Как следует из представленных данных (рисунок 9), содержание растворенного кислорода на рассматриваемых акваториях в период 2017–2024 гг. было близко к 100%. Однако на протяжении всего периода наблюдений самые низкие значения

отмечали на акватории морского порта. В 2024 г. недостаток насыщения наблюдался не менее, чем в 83,3% случаев, а процент насыщения в среднем не превышал 89,2. Минимальные значения чаще наблюдаются на ст. Z1 в кутовой части бухты Золотой Рог, низкие величины также отмечают на отдельных станциях в проливе Босфор Восточный. Отмеченные случаи низкого содержания растворенного кислорода наблюдали как на поверхности, так и у дна.

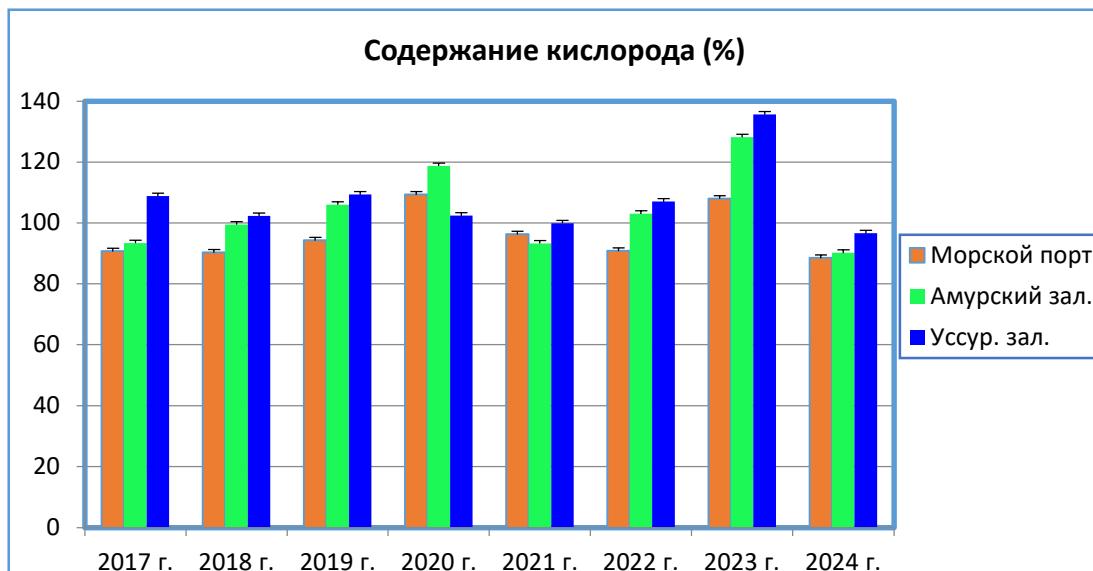


Рисунок 9 — Изменение содержание растворенного кислорода (%) в водной толще

В Амурском заливе в 2024 г. недостаток насыщения наблюдался не менее, чем в 80,5% случаев, а процент насыщения в среднем не превышал 90,2. Случаи пониженного содержания кислорода в 2024 г. отмечены в обоих горизонтах, однако у дна наиболее заметно это проявлялось в восточной части залива.

Воды Уссурийского залива хорошо аэрированы, в большинстве случаев содержание кислорода достаточно высоко. Однако иногда на отдельных станциях наблюдается падение насыщения вод кислородом. Так, в 2024 г. содержание кислорода у дна было в пределах 74,2–96,2%. В 2024 г. наиболее низкие значения регистрировали в районе бухты Тихой, в приустьевом участке, а также в центральной котловине залива.

Наиболее высокие показатели БПК₅ наблюдали на акватории морского порта – в бухтах Золотой Рог, Диомид, Улисс и в Амурском заливе (рисунок 10). Причем за весь период наблюдений максимум БПК₅ был отмечен на акватории морского порта в 2023 г и в среднем более, чем в два раза превышал ПДК. В Уссурийском заливе также отмечают случаи превышения ПДК, однако в большинстве случаев значения БПК₅ находятся в пределах нормы.

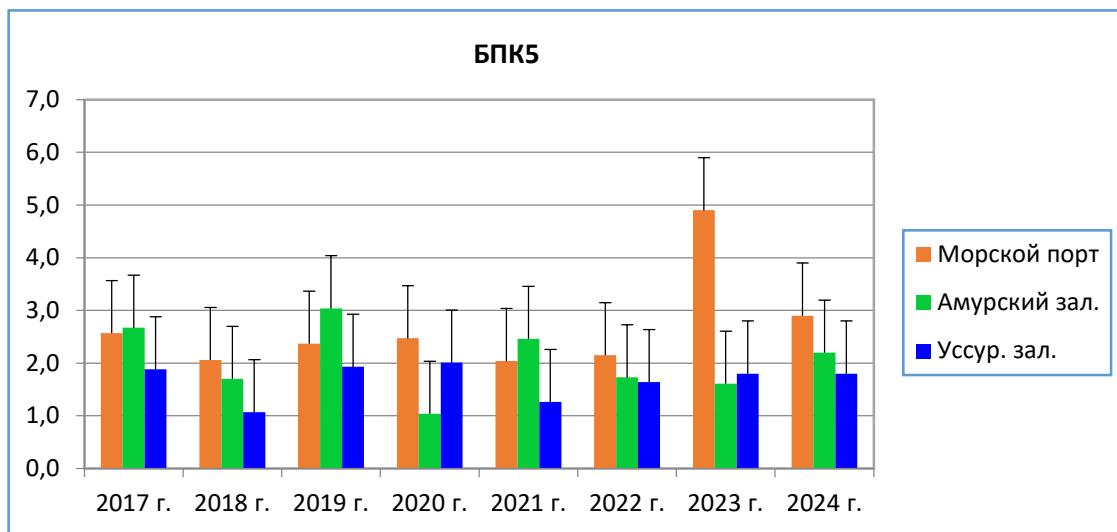


Рисунок 10 — Изменения значений БПК₅ (мг/л). ПДК=2,1 мг/л

Максимальные значения содержания нитратов регистрировали как в Амурском заливе (рисунок 11), так и на акватории морского порта. В 2024 г. их содержание снизилось на всех рассматриваемых акваториях по сравнению с тремя предыдущими годами. При этом все значения концентраций нитратного азота на протяжении рассматриваемого периода были много ниже ПДК.

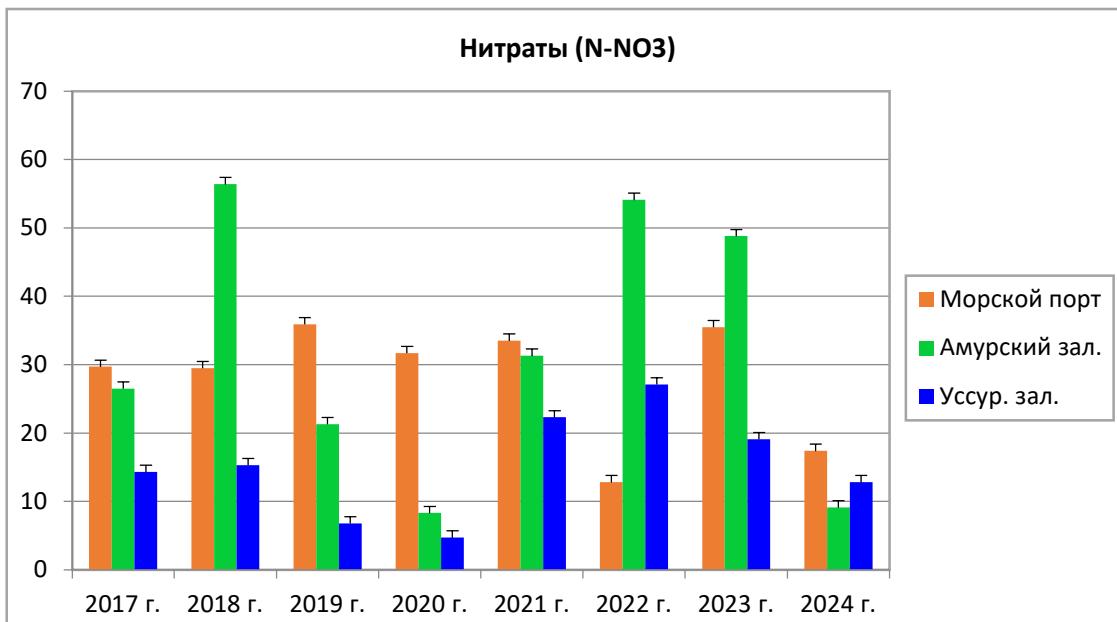


Рисунок 11 — Изменения содержания нитратного азота (мкг/л). ПДК= 9 000 мкг/л

В период 2017–2021 гг. максимум нитритов фиксировали на акватории морского порта. В 2022–2023 гг., наиболее высокие концентрации отмечали в Амурском заливе (рисунок 12). В 2024 г. по сравнению с предыдущим годом содержание нитритов повсеместно заметно снизилось. Одна область высоких значений с превышением ПДК располагалась в бухте Золотой Рог; другая – в Уссурийском заливе. В обоих случаях высокие значения фиксировались в приустьевых участках.

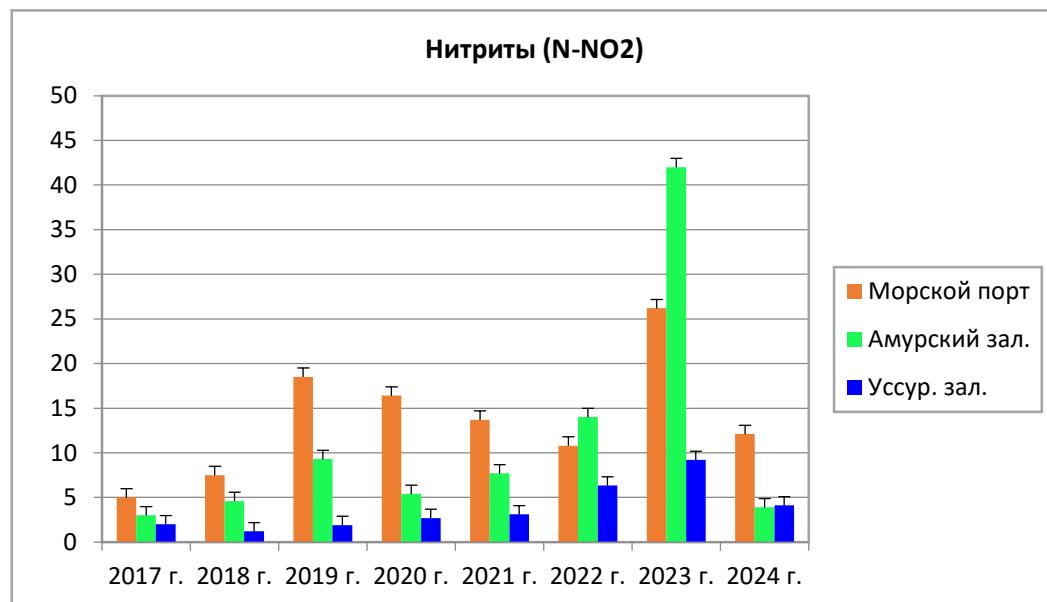


Рисунок 12 — Изменения содержания нитритного азота (мкг/л). ПДК= 20 мкг/л

Максимум концентраций аммонийного азота в течение всего периода (2017–2024 гг.) отмечали исключительно на акватории морского порта. В среднем их содержание не превышало ПДК (рисунок 13).

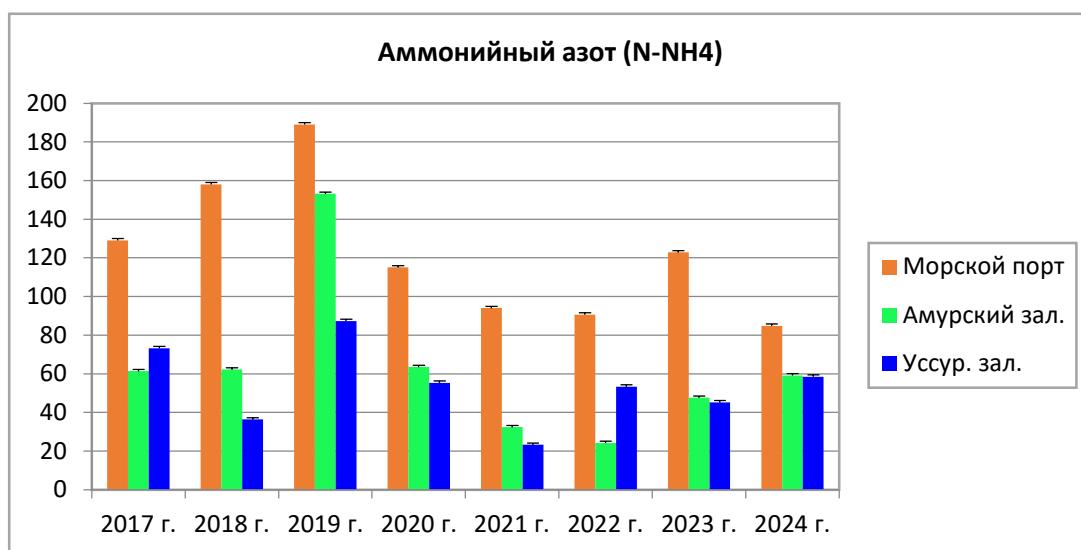


Рисунок 13 — Изменения содержания аммонийного азота (мкг/л). ПДК= 400 мкг/л

Наиболее высокие концентрации фосфатов чаще всего регистрировались на акватории порта (рисунок 14), в 2024 г. главным образом в бухтах Золотой Рог и Диомид, однако средние концентрации не превышали ПДК.

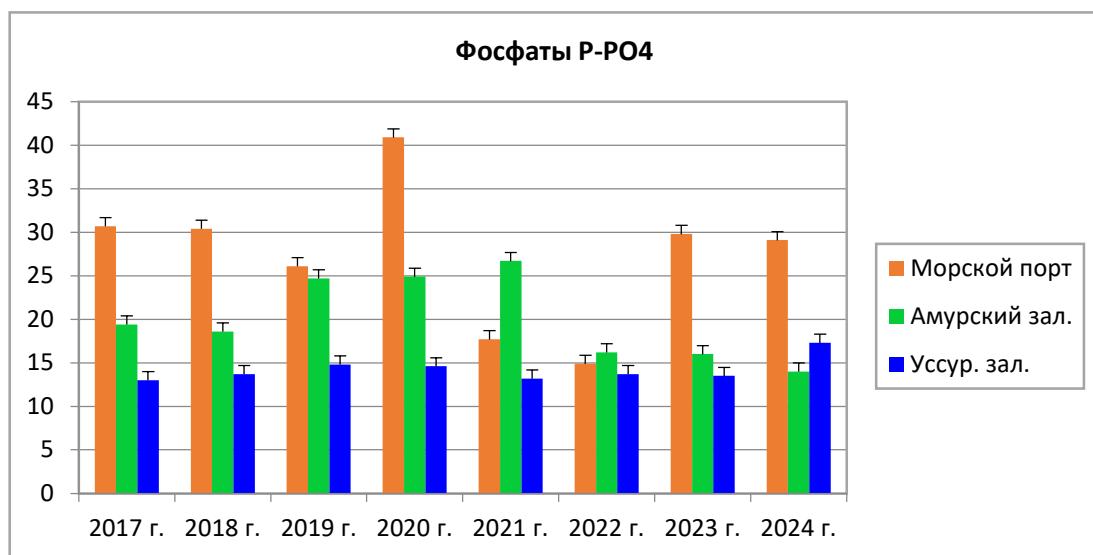


Рисунок 14 — Изменения содержания фосфатов (мкг/л). ПДК= 200 мкг/л

Выводы

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

Наиболее неблагоприятные условия относительно стандартных гидрохимических показателей в 2024 г. были отмечены на акватории морского порта Владивосток, а именно, в бухте Золотой Рог и проливе Босфор Восточный. Об этом свидетельствует пониженное содержание кислорода (и процент его насыщения), сопровождаемое превышением ПДК по биохимическому потреблению O_2 (около 2 ПДК), высокая концентрация биогенных элементов – нитритов, аммонийного азота, фосфатов.

Подобная ситуация относительно содержания растворенного кислорода, величины БПК₅ наблюдается и в восточной части Амурского залива вдоль городской черты. В целом, Амурский залив подвержен достаточно высокому экологическому стрессу.

Уссурийский залив следует рассматривать как акваторию, подверженную антропогенному воздействию в гораздо меньшей степени по сравнению с другими, рассматриваемыми в данном разделе. Хотя на отдельных станциях залива наблюдается падение насыщения придонных вод кислородом менее 100%, а также превышение ПДК (1,9) для биохимического потребления кислорода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. GESAMP: The state of marine environmental. UNEP Regional Seas Reports and Studies. 1990. — No. 115. — 111 p.
2. Стоник И.В. Качественный и количественный состав фитопланктона бухты Золотой Рог Японского моря. // Изв. ТИНРО, 2018. — Том. 194. — С. 167-174. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-194-167-174.
3. Тевс К.О., Шевченко О.Г. Динамика фитопланктона в прибрежных водах города Владивостока в 2019–2021 гг. // Изв. ТИНРО, 2022. — Т. 202. — Вып. 4. — С. 880-893. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-880-893.
4. Григорьева И.Л., Кузовлев В.В. Пространственно-временная изменчивость содержания нитратов и фосфатов в воде Иваньковского водохранилища и его основных притоков // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Часть 1. — Ростов-на-Дону, 2020. — С. 24-27.
5. Михайлик Т.А., Недашковский А.П, Ходоренко Н.Д., Тищенко П.Я. Особенности эвтрофикации Амурского залива (Японское море) рекой Раздольной. // Изв. ТИНРО, 2020. — Том 200. — Вып. 2. — С. 401-411. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-401-411.
6. Севастьянов А.В., Лишавская Т.С., Чаткина Т.В. Гипоксия придонных вод прибрежных районов залива Петра Великого. // Труды ДВНИГМИ. — Вып. 154. — Владивосток: «Дальнаука», 2012. — С. 226-245.
7. 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.
8. Levin L.A., Ekau W., Goodays A.J., Jorissen F., Middlburg J.J., Naqvi S.W.A., Neira C., Rabalais N.N., Zhang J. Effects of natural and human-induced hypoxia on coastal benthos // Biogeosciences. — 2009. — Vol. 6. — P. 2063-2098.