

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.2023.07

Оценка состояния сообществ макрозообентоса на акваториях вокруг Владивостока в 2022 г.

РЕФЕРАТ

В обзоре представлены данные по видовому составу, структуре и количественному распределению макрозообентоса на акваториях вблизи г. Владивостока в 2022 г. Приведены данные по уровню химического загрязнения донных отложений отдельными поллютантами. Рассмотрены многолетние изменения в донном населении отдельных акваторий.

Авторы:

Белан Т.А. (вед.н.с., ФГБУ «ДВНИГМИ»); Борисов Б.М. (н.с., ФГБУ «ДВНИГМИ»); Кадун Е.А. (техник ФГБУ «ДВНИГМИ»); Калюкина А.В. (техник ФГБУ «ДВНИГМИ»);

Дата составления: 15.12.2023 г.

Оглавление

Введение.....	4
Классификация, общая характеристика и источники поступления загрязняющих веществ в морскую среду	6
Материалы и методы	7
Краткая характеристика районов исследования.....	9
Характеристика уровня загрязнения исследуемых акваторий в 2022 г.....	10
Видовой состав и распределение макрозообентоса в 2022 г.....	11
Долговременные изменения в бентосе.....	18
Заключение.....	24
Список используемых источников.....	25

Введение

В течение многих тысячелетий хозяйственная деятельность человека не оказывала негативного воздействия на состояние морской прибрежной среды. Рыбный промысел и другие виды деятельности приводили лишь к локальным нарушениям в прибрежной зоне. Однако во второй половине XX столетия угроза прибрежным экосистемам во многих внутренних и окраинных морях достигла критического уровня, что связано, прежде всего, с поступлением в морскую среду сотен тысяч различных загрязняющих веществ.

В последние годы выполнены обширные исследования по оценке уровня химического загрязнения различных районов Мирового океана и состояния морских экосистем. Данные свидетельствуют, что открытый океан относительно “чист”, тогда как прибрежные зоны являются районами хронического загрязнения токсичными металлами, хлорированными и нефтяными углеводородами, фенолами, биогенными элементами. Темп поступления последних в морскую среду продолжает нарастать, и области эвтрофикации, как и поля хронического загрязнения, расширяются. В условиях высокой антропогенной нагрузки, когда опасность деградации экосистем достигает критического уровня, важна информация об уровне загрязнения морской среды, а также о количественных и качественных показателях биоты, что позволяет интегрально оценить фактическое состояние экосистем.

Залив Петра Великого, благодаря особенностям географического положения, представляет собой уникальное явление природы по разнообразию населяющих его организмов. Здесь обитают представители всех важнейших типов животных, многие из которых имеют промысловую ценность (моллюски, ракообразные иглокожие). За последние несколько десятилетий многие районы залива утратили свою былую ценность промысловых и рекреационных зон, так как прибрежные воды давно стали местом сброса загрязняющих веществ и активной хозяйственной деятельности.

Это, прежде всего, относится к прибрежным урбанизированным зонам вблизи крупных индустриальных центров (г. Владивосток, Находка), где происходит сброс муниципальных и промышленных сточных вод, где проводятся строительные дноуглубительные работы, где развито судоходство и рыболовство. Все эти факторы приводят к такому уровню антропогенной нагрузки, который превышает способность экосистем к самоочищению и восстановлению. Так, наблюдения последних лет показали, что в некоторых районах Амурского залива происходит вымирание и сокращение численности отдельных видов донных животных. В бухте Золотой Рог обнаружены «мертвые зоны», где живые организмы бентоса не встречаются вовсе.

Это в равной мере относится и к удаленным от крупных индустриальных центров прибрежным зонам залива, где происходит разрушение среды обитания вследствие гидромеханических работ.

К сожалению, становится очевидным, что на данном этапе развития технологий и в условиях острого экономического кризиса, нанесение ущерба морской среде является неизбежным, поскольку радикальные меры по борьбе с загрязнением требуют колоссальных финансовых вложений. В данной ситуации важна оценка фактического состояния прибрежных морских экосистем и выявление основных факторов воздействия для минимизации ущерба, наносимого этим экосистемам.

Контроль за загрязнением водных объектов исключительно по химическим показателям недостаточен. Контроль по гидробиологическим показателям является приоритетным, поскольку обеспечивает возможность прямой оценки состояния водных экосистем. Морские организмы и их популяции являются чувствительными индикаторами на присутствие в загрязняющих веществ. Биологические эффекты и отклики на загрязнение и другие стрессовые воздействия принципиально различны на разных уровнях организации жизни в море, и поэтому методы их регистрации также различаются – от измерений индуцированных специфических реакций ферментных систем в рыбах и других гидробионтах до наблюдений за видовым составом, структурой и численностью популяций в сообществах пелагиали и бентоса.

В отличие от водной среды донные осадки обладают способностью аккумулировать и локализовать большинство примесей. Донные сообщества, состоящие в основном из малоподвижных и прикрепленных форм, являются чувствительной системой, способной отражать новые условия в морской среде. В результате происходят качественные и количественные изменения, так, например, исчезновение наиболее чувствительных к загрязнению форм и сохранение организмов, которые приспособились к новым условиям. Именно поэтому донные осадки, бентосные организмы и их сообщества чаще всего находятся в центре внимания многих программ морского мониторинга.

Таким образом, комплексная оценка качества морской прибрежной среды и фактического состояния морских прибрежных экосистем по физико-химическим и гидробиологическим показателям позволит дать более объективную характеристику состояния морской среды, прогноз ее возможных изменений, определить допустимый уровень антропогенной нагрузки и выработать рекомендации для минимизации ущерба морской среде и биологическим ресурсам.

Цель настоящего обзора заключается в том, чтобы получить представление об уровне антропогенной нагрузки (загрязнения) на акватории зал. Петра Великого, а также об

особенностях обилия и видового состава макрозообентоса, что позволит дать интегральную характеристику экологического состояния залива.

Классификация, общая характеристика и источники поступления загрязняющих веществ в морскую среду

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» [1].

В настоящее время к основными источниками поступления загрязняющих веществ в море относят:

1. Промышленные береговые предприятия.
2. Городские системы канализации.
3. Загрязненный речной сток.
4. Захоронение материалов дночерпания (дампинг).
5. Морской транспорт и рыбодобывающий флот.

Загрязняющие вещества, поступающие в морскую среду, группируются по степени возрастания опасности следующим образом [1, 2]:

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

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.

Специалисты США и Канады выявили диапазоны концентраций ряда загрязняющих веществ в грунтах, вызывающих негативные изменения в морских донных организмах и их сообществах. В сводной таблице 1 приведены величины минимальных пороговых концентраций, приводящих к начальным, зачастую обратимым изменениям в организмах и их сообществах, и максимальных пороговых концентраций, вызывающих значительное

снижение обилия и видового разнообразия бентоса, а также 50% гибель животных в токсикологических экспериментах [2-5].

Таблица 1 - Диапазоны концентраций некоторых загрязнителей в донных осадках, вызывающих негативные изменения в морских бентосных организмах и их сообществах

Загрязнители	Минимальные пороговые концентрации	Максимальные пороговые концентрации
HU (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 ДЦТ (нг/г)	1,58	46,10
Σ ПХБ (нг/г)	22,7	180
Σ ПАУ ₁ (нг/г)	552	3160
Σ ПАУ ₂ (нг/г)	1700	9600

Примечание: Σ ПАУ₁ – сумма полиароматических низкомолекулярных углеводородов, Σ ПАУ₂ - сумма полиароматических высокомолекулярных углеводородов

Материалы и методы

Гидробиологическая съемка акваторий вокруг Владивостока была выполнена 27 сентября 2022 г. на ИС «Атлас». Работы проведены на станциях ОГСН акваторий заливов Амурский, Уссурийский и прол. Босфор Восточный (рисунок 1). Всего выполнено восемь станций и отобрано 11 проб макрозообентоса в интервале глубин 10–35 м.

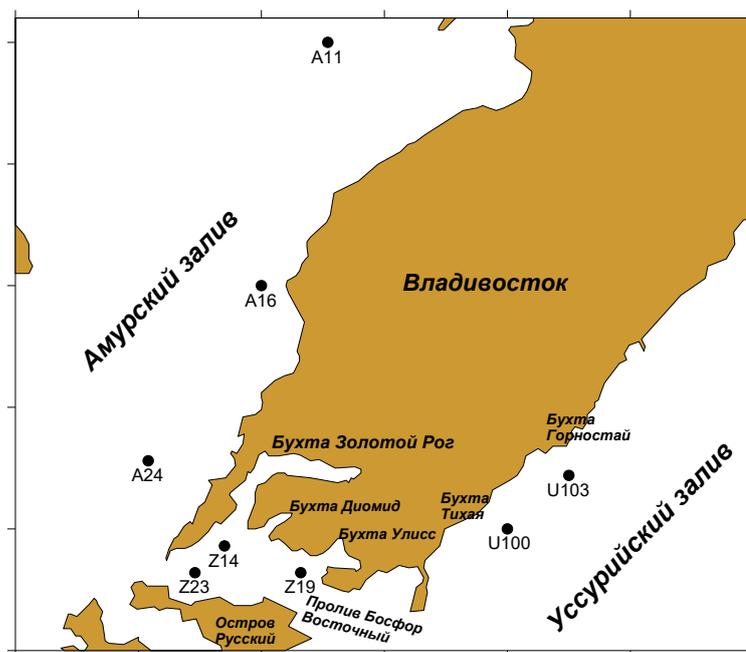


Рисунок 1 — Карта-схема районов отбора проб макрозообентоса в 2022 г.

На каждой станции отбирали по одной-двум пробам донных осадков дночерпателем ван Вина площадью захвата 0,11 м². Грунт промывали через сито с ячейей 1 мм, организмы макрозообентоса фиксировали 4% буферным раствором формальдегида.

Лабораторную обработку проб бентоса проводили в Отделе региональной океанографии и гидрометеорологии (ОРОГ) ДВНИГМИ по стандартным методикам [6]. Сырую массу животных определяли на электронных весах и пересчитывали на 1 м² площади дна. Организмы макрозообентоса определяли по возможности до вида. В некоторых случаях определить видовую принадлежность особей не удавалось, тогда в названии таксона использовали обозначение – sp. Доминирующими считали виды, составляющие не менее 30% от общей биомассы и численности бентоса в пробе, субдоминантными видами – от 15 до 29%.

Для каждой пробы определяли суммарные значения биомассы и численности бентоса, число видов, индексы видового богатства Маргалефа (R) и видового разнообразия Шеннона-Винера (H). Экологические индексы подсчитывали в соответствии с Руководством [7] по формулам:

$$H = -\sum p_i \times (\log_2 p_i); R = (S-1)/\log_2 N^2 \quad (1)$$

где: p_i — доля вида i от общей численности; S — общее число видов в пробе, N — общее число особей в пробе.

Для описания структуры сообществ использовали методы множественного статистического анализа, включающие классификацию (кластер—анализ, пакет прикладных программ PRIMER). Процедуры отбора, обработки и анализа проб соответствовали российским и зарубежным методикам [6, 7].

Все расчеты выполняли в программе MS EXCEL, при этом факт присутствия колониальных животных (гидроиды, губки, мшанки, асцидии) или фрагментов отдельных видов, обозначенных в карточках знаком +, заменяли на 1. Из расчетов исключены представители ихтиофауны.

Для выделения донных сообществ использовали иерархический агломеративный кластерный анализ [7]. Первичной основой кластер-анализа служила четырехугольная матрица данных, представляющая собой перечень видов бентоса для каждой станции с количественной характеристикой видов. На основе матрицы данных рассчитывался коэффициент подобия Брея-Кертиса между каждой парой проб. При этом использовали матрицу данных по биомассе, после трансформации ее значений:

$$S_{jk} = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^p 2 \min(Y_{ij}, Y_{ik})}{\sum_{i=1}^p (Y_{ij} + Y_{ik})}, \quad (2)$$

где: Y_{ij} – значение биомассы (численности) вида i в пробе j .

Построение дендрограммы осуществлялось по методу средней связи [7]. Кластеры с уровнем сходства не менее 40% относили к одному сообществу. Для анализа и интерпретации данных использовали пакет прикладных программ PRIMER.

Под термином сообщество, синонимом которого выступал термин группировка, подразумевалась совокупность донных животных второго и третьего трофических уровней (населяющих определенный биотоп), которая характеризуется определенными количественными соотношениями между видами [8-9].

Краткая характеристика районов исследований

Амурский залив расположен в северо-западной части зал. Петра Великого. Максимальная глубина составляет 53 м, а средняя — 20 м. Осадки характеризуются преобладанием ила, но в южной части района грунты представлены мелкими песками. При этом в прибрежных участках донные отложения часто содержат заметное количество гравелистых фракций. В пелитах преобладает фракция размером менее 0,01 мм, самое высокое содержание которой отмечено в ктовой части залива. Область повышенных концентраций $C_{орг.}$ в осадках наблюдается в прибрежных зонах вблизи Владивостока, подверженных влиянию сбросов муниципальных и промышленных сточных вод, ливневого стока. Благодаря значительному поступлению сточных вод залив подвергается хроническому загрязнению и эвтрофированию [10-12].

Уссурийский залив является самой крупной акваторией зал. Петра Великого, максимальная глубина которого составляет 75 м. Наиболее распространенным типом донных осадков являются алевроито-пелитовые илы, которые залегают в средней части залива, а также в бухтах Муравьиной и Суходол. Загрязнение вод залива происходит вследствие сбросов сточных вод от населенных пунктов и предприятий, расположенных на побережье залива – г. Владивостока, Артема, пос. Большого Камня, где с 2016 г. введен в эксплуатацию ССК «Звезда». Существенный вклад в загрязнение залива вносит городская свалка мусора, находящаяся вблизи б. Горностай. С водами рек Артемовки и Партизанской поступают стоки от городов Артема и Партизанска. В водах залива наблюдается значительное содержание кадмия, меди, свинца, нефтяных и хлорированных углеводородов [13].

Пролив Босфор Восточный расположен между п-овом Муравьева-Амурского и о. Русский и соединяет Амурский и Уссурийский заливы. Характерная глубина пролива вдоль осевой линии составляет 28–36 м, за исключением углубления дна в крайней западной части пролива до 48 м в районе м. Токаревского.

В прол. Босфор Восточный по данным экспедиции ДВНИГМИ 2001 г. преобладают песчанистые (псаммитовые) грунты со значительной примесью гальки и гравия. Для этих осадков характерно высокое содержание фракций 0,5-0,25 и 0,25-0,1 мм, плохая и, реже, умеренная сортированность.

Пролив соединяет Амурский залив, находящийся под воздействием интенсивного стока р. Раздольной и коммунальных стоков г. Владивостока, с более открытым и хорошо промываемым морскими водами Уссурийским заливом. В 2008 г. в проливе начались масштабные строительные работы, что обуславливает необходимость экологических наблюдений с целью выявления негативных изменений для минимизации ущерба.

Характеристика уровня загрязнения исследуемых акваторий в 2022 г.

В таблице 1 приведены средние концентрации некоторых металлов (МЕ), общего содержания нефтяных углеводородов (ОСНУ), фенолов и хлорорганических пестицидов (Σ ДДТ) в донных осадках на станциях ОГСН в 2022 г., где выполняли отбор проб бентоса. В таблице также приведены величины пороговых концентраций для рассматриваемых загрязняющих веществ в донных отложениях [2-5].

Таблица 1 — Среднее содержание ОСНУ, некоторых МЕ, фенолов и ХОП в донных осадках заливов Амурский и Уссурийский и пролива Босфор Восточный по данным 2022 г.

Показатель/ акватория	Амурский залив (6 проб)	Уссурийский залив (4 пробы)	Пролив Босфор Восточный (6 проб)	Минимальные пороговые концентрации
ОСНУ, мг/г	0,38±0,19	0,05±0,01	0,94±0,53	0,1-1,0
Фенолы, мкг/г	5,2±0,9	2,3±0,8	3,0±0,2	—
Σ ДДТ, нг/г	2,52±0,56	9,42±7,85	9,92±1,45	1,58
Pb, мкг/г	10,5±1,3	18,2±11,6	52,6±7,2	30,2-46,7
Cu, мкг/г	10,9±0,6	11,4±8,5	36,1±5,7	18,7-34,0
Zn, мкг/г	41,2±2,9	39,7±16,0	100,0±8,8	124-150

Примечание — приведены средние значения \pm стандартное отклонение. Красным цветом выделены концентрации, превышающие минимальные пороговые концентрации

Как следует из данных таблицы, наиболее высокое среднее значение ОСНУ на уровне пороговой концентрации зафиксировано в прол. Босфор Восточный. Самое высокое содержание всех перечисленных МЕ также зарегистрировано в прол. Босфор Восточный.

Самые низкие концентрации ЗВ (ниже пороговых значений) в донных отложениях отмечены на акватории Уссурийского залива, за исключением Σ ДДТ, величина

концентрации которого находилась на уровне таковой в грунтах прол. Босфор Восточный. Уровень загрязнения грунтов Амурского залива занимает промежуточное положение.

Следует отметить, что в последние годы наметилась тенденция к увеличению содержания фенолов в донных отложениях заливов Амурский и Уссурийский. Причем в 2022 г. среднегодовое содержание фенолов в осадках Амурского залива было выше таковых, отмеченных в отложениях пролива Босфор Восточный и даже бухты Золотой Рог.

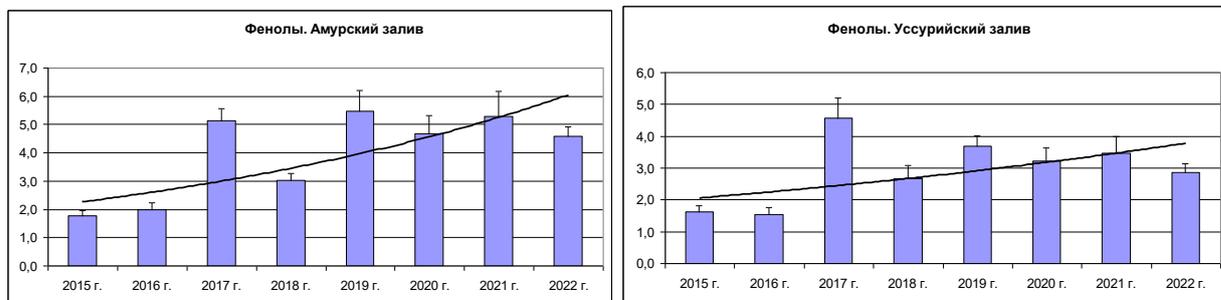


Рисунок 2 — Долговременные изменения концентрации фенолов (мкг/г) в донных отложениях в 2015-2022 гг. Планки погрешности — стандартная ошибка

Видовой состав и распределение макрозообентоса в 2022 г.

В 2022 г. на исследуемой акватории было идентифицировано 86 видов донных беспозвоночных (10 групп), из которых большинство видов (45) было представлено многощетинковыми червями. На трех станциях Амурского залива обнаружено 25 видов (6 групп), в Уссурийском заливе – 47 (9 групп), в прол. Босфор Восточный – 47 вида (8 групп). В таблице 2 приведены обнаруженные виды каждой обследованной акватории и их количественные показатели.

Таблица 2 — Видовой состав и количественные показатели обнаруженных видов в районах исследований в 2022 г.

Группа	Вид	P%	B, mean	B, SE	A, mean	A, SE
Амурский залив						
Polychaeta	<i>Sigambra bassi</i>	100,0	10,46	6,26	256,67	100,51
Polychaeta	<i>Schistomeringos japonica</i>	100,0	3,42	3,30	140,00	110,13
Nemertea	Nemertea fam. gen. sp.	66,7	13,57	12,50	86,67	81,81
Polychaeta	<i>Maldane sarsi</i>	66,7	10,87	9,18	253,33	229,06
Phoronida	Phoronida fam. gen. sp.	66,7	10,77	10,63	80,00	70,32
Polychaeta	<i>Scoletoma</i> sp.	66,7	6,21	6,15	313,33	293,91
Polychaeta	<i>Aricidea catherinae</i>	66,7	0,70	0,65	33,33	28,51
Polychaeta	<i>Aphaelochaeta pacifica</i>	66,7	0,45	0,38	43,33	33,87
Polychaeta	<i>Notomastus latericeus</i>	66,7	0,34	0,20	36,67	20,30
Polychaeta	Ampharetidae gen. sp.	66,7	0,31	0,25	30,00	25,20
Polychaeta	<i>Anobothrus gracilis</i>	66,7	0,16	0,10	16,67	8,83
Polychaeta	<i>Glycinde armigera</i>	66,7	0,15	0,12	10,00	5,78
Polychaeta	<i>Magelona longicornis</i>	33,3	9,17	9,18	40,00	40,05
Ophiuroidea	<i>Ophiura sarsii vadicola</i>	33,3	4,30	4,31	16,67	16,69
Actiniaria	<i>Edwardsia</i> sp.	33,3	2,50	2,50	3,33	3,34
Polychaeta	<i>Ampharete sibirica</i>	33,3	1,85	1,85	173,33	173,54
Polychaeta	<i>Scalibregma inflatum</i>	33,3	1,37	1,37	26,67	26,70
Polychaeta	<i>Pherusa plumosa</i>	33,3	0,80	0,80	3,33	3,34
Polychaeta	<i>Nephtys</i> sp.	33,3	0,65	0,65	73,33	73,42
Polychaeta	<i>Melinna elisabethae</i>	33,3	0,17	0,17	6,67	6,67
Polychaeta	Nereidae gen. sp. №2	33,3	0,10	0,10	3,33	3,34
Cumacea	<i>Diastylopsis dawsoni calmani</i>	33,3	0,07	0,07	33,33	33,37
Polychaeta	Nereidae gen. sp. №1	33,3	0,04	0,04	3,33	3,34
Polychaeta	Terebellidae gen. sp.	33,3	0,03	0,03	3,33	3,34
Polychaeta	<i>Eteone</i> sp.	33,3	0,01	0,01	3,33	3,34
Уссурийский залив						
Ophiuroidea	<i>Amphiodia fissa</i>	100	13,53	2,97	80,00	19,58
Polychaeta	<i>Chaetozone setosa</i>	100	4,41	3,23	827,50	405,08
Polychaeta	<i>Glycinde armigera</i>	100	0,99	0,41	177,50	16,01
Polychaeta	Spionidae gen. sp.	100	0,38	0,20	15,00	5,00
Polychaeta	<i>Eteone</i> sp.	100	0,31	0,09	45,00	20,21
Amphipoda	<i>Grandifoxus longirostris</i>	100	0,25	0,07	167,50	48,71
Polychaeta	<i>Scoletoma</i> sp.	75	1,53	0,67	85,00	42,52
Polychaeta	<i>Chone</i> sp.	75	1,18	0,61	15,00	8,66
Amphipoda	<i>Eohaustorius eous eous</i>	75	0,03	0,02	27,50	13,15
Polychaeta	<i>Spiophanes uschakovi</i>	50	17,75	14,67	2 000,00	1 683,25
Bivalvia	<i>Acila insignis</i>	50	4,25	2,48	5,00	2,89
Polychaeta	<i>Spiophanes</i> sp.	50	3,50	2,02	375,00	217,47
Polychaeta	<i>Nephtys</i> sp.	50	1,20	1,01	5,00	2,89
Nemertea	Nemertea fam. gen. sp.	50	0,35	0,24	32,50	23,58
Polychaeta	Polydoridae gen. sp.	50	0,34	0,24	35,00	21,79

Группа	Вид	P%	B, mean	B, SE	A, mean	A, SE
Decapoda	<i>Alpheidae gen.sp</i>	50	0,03	0,02	12,50	9,46
Amphipoda	<i>Orchomenella pinguis</i>	50	0,02	0,01	15,00	8,66
Decapoda	<i>Chionoecetes opilio</i>	25	11,53	11,53	2,50	2,50
Bivalvia	<i>Macra chinensis</i>	25	9,88	9,88	2,50	2,50
Bivalvia	<i>Heatella arctica</i>	25	3,65	3,65	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Glycera sp.</i>	25	3,08	3,08	2,50	2,50
Polychaeta	Polychaeta fam.gen.sp. №1	25	0,63	0,63	5,00	5,00
Polychaeta	Polychaeta fam.gen.sp. №2	25	0,55	0,55	5,00	5,00
Bivalvia	<i>Astarte montagui</i>	25	0,48	0,48	2,50	2,50
Actiniaria	Actiniaria fam. gen. sp.	25	0,38	0,38	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Onuphis sp.</i>	25	0,34	0,34	5,00	5,00
Phoronida	Phoronida fam. gen. sp.	25	0,20	0,20	37,50	37,50
Polychaeta	<i>Axiothella catenata</i>	25	0,20	0,20	2,50	2,50
Gastropoda	<i>Philine orientalis</i>	25	0,18	0,18	2,50	2,50
Polychaeta	Polynoidae gen. sp.	25	0,10	0,10	2,50	2,50
Polychaeta	Paraonidae gen. sp.	25	0,08	0,08	5,00	5,00
Gastropoda	<i>Philine sp.</i>	25	0,08	0,08	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Scoloplos armiger</i>	25	0,08	0,08	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Eulalia bilineata</i>	25	0,05	0,05	2,50	2,50
Bivalvia	<i>Mytilus trossulus</i>	25	0,05	0,05	2,50	2,50
Bivalvia	<i>Tetrarca boucardi</i>	25	0,05	0,05	2,50	2,50
Bivalvia	<i>Mytilisepta keenae</i>	25	0,04	0,04	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Praxillella sp.</i>	25	0,04	0,04	2,50	2,50
Bivalvia	<i>Mysella planata</i>	25	0,03	0,03	5,00	5,00
Polychaeta	<i>Glycera capitata</i>	25	0,03	0,03	5,00	5,00
Polychaeta	<i>Spio sp.</i>	25	0,03	0,03	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Sigambra bassi</i>	25	0,02	0,02	5,00	5,00
Amphipoda	<i>Pacificolodes latimanus</i>	25	0,01	0,01	7,50	7,50
Decapoda	Paguridae gen. sp.	25	0,01	0,01	5,00	5,00
Bivalvia	Mactridae gen.sp.	25	0,01	0,01	2,50	2,50
Amphipoda	Pleustidae gen.sp.	25	0,01	0,01	2,50	2,50
Amphipoda	<i>Grandifoxus sp.</i>	25	0,001	0,001	2,50	2,50
Пролив Босфор Восточный						
Ophiuroidea	<i>Ophiura sarsii vadicola</i>	100,0	25,33	4,45	415,00	50,74
Polychaeta	<i>Ampharete sibirica</i>	100,0	10,76	6,83	1 155,00	702,49
Polychaeta	<i>Scoloplos armiger</i>	100,0	2,38	1,32	115,00	37,53
Polychaeta	<i>Schistomeringos japonica</i>	100,0	0,73	0,40	72,50	37,05
Polychaeta	<i>Notomastus latericeus</i>	100,0	0,55	0,12	32,50	6,29
Polychaeta	<i>Aphaelochaeta pacifica</i>	75,0	1,42	0,88	105,00	73,65
Polychaeta	<i>Scoletoma sp.</i>	75,0	1,38	1,14	197,50	137,26
Polychaeta	<i>Glycinde armigera</i>	75,0	0,05	0,02	7,50	2,50
Bivalvia	<i>Cymatoica orientalis</i>	50,0	131,00	75,91	10,00	5,77
Gastropoda	<i>Neptunea constricta</i>	50,0	111,20	105,03	5,00	2,89
Polychaeta	<i>Pherusa plumosa</i>	50,0	4,33	2,52	15,00	8,66
Polychaeta	<i>Scalibregma inflatum</i>	50,0	3,78	2,71	22,50	19,31
Nemertea	Nemertea fam. gen. sp.	50,0	1,75	1,03	7,50	4,79
Polychaeta	<i>Melinna elisabethae</i>	50,0	0,19	0,17	5,00	2,89
Gastropoda	<i>Lepeta lima</i>	50,0	0,15	0,15	10,00	7,07
Polychaeta	<i>Sigambra bassi</i>	50,0	0,10	0,06	15,00	9,57
Polychaeta	Polydoridae gen. sp.	50,0	0,09	0,05	17,50	11,81
Bivalvia	<i>Mytilus trossulus</i>	50,0	0,08	0,06	5,00	2,89
Polychaeta	<i>Anobothrus gracilis</i>	50,0	0,06	0,04	10,00	5,77
Amphipoda	<i>Pacificolodes latimanus</i>	50,0	0,01	0,00	5,00	2,89
Bivalvia	<i>Macoma calcarea</i>	25,0	82,50	82,50	20,00	20,00
Bivalvia	<i>Mya truncata</i>	25,0	35,53	35,53	5,00	5,00
Bivalvia	<i>Heatella arctica</i>	25,0	24,55	24,55	2,50	2,50
Bivalvia	<i>Macoma sp.</i>	25,0	2,70	2,70	2,50	2,50
Bivalvia	Bivalvia fam. gen. sp.	25,0	0,53	0,53	12,50	12,50
Gastropoda	<i>Philine sp.</i>	25,0	0,48	0,48	10,00	10,00

Группа	Вид	P%	B, mean	B, SE	A, mean	A, SE
Gastropoda	<i>Gastropoda</i> fam. gen. sp.	25,0	0,45	0,45	2,50	2,50
Bivalvia	<i>Yoldia bartschi</i>	25,0	0,25	0,25	2,50	2,50
Decapoda	<i>Pinnixa rathbuni</i>	25,0	0,23	0,23	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Idanthyrsus macropaleus</i>	25,0	0,18	0,18	2,50	2,50
Gastropoda	<i>Margarites costalis</i>	25,0	0,18	0,18	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Goniada maculata</i>	25,0	0,10	0,10	2,50	2,50
Polychaeta	Ampharetidae gen. sp.	25,0	0,08	0,08	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Lepidonotus helotypus</i>	25,0	0,08	0,08	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Onuphis</i> sp.	25,0	0,08	0,08	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Potamilla</i> sp.	25,0	0,08	0,08	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Spiophanes</i> sp.	25,0	0,03	0,03	5,00	5,00
Polychaeta	Nereidae gen. sp. №3	25,0	0,03	0,03	2,50	2,50
Polychaeta	Spiochaetopteridae gen. sp.	25,0	0,03	0,03	2,50	2,50
Amphipoda	<i>Grandifoxus longirostris</i>	25,0	0,02	0,02	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Owenia</i> sp.	25,0	0,02	0,02	5,00	5,00
Amphipoda	<i>Eohaustorius eous eous</i>	25,0	0,02	0,02	2,50	2,50
Polychaeta	Polynoidae gen. sp.	25,0	0,01	0,01	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Eteone</i> sp.	25,0	0,01	0,01	5,00	5,00
Cumacea	<i>Diastylis paralaskensis</i>	25,0	0,01	0,01	2,50	2,50
Polychaeta	<i>Spiophanes uschakovi</i>	25,0	0,01	0,01	2,50	2,50
Amphipoda	<i>Westwoodilla rectangulata</i>	25,0	0,003	0,003	2,50	2,50

Примечание — жирным шрифтом выделены доминирующие и сбдоминантные виды

Как показал анализ, наиболее высокое значение общей биомассы бентоса ($443,42+206,85 \text{ г/м}^2$) зарегистрировано в прол. Босфор Восточный (рисунок 2, таблица 3). Основу биомассы в проливе составляли двустворчатые моллюски (более 60% всей биомассы), значительная доля приходилась на гастропод (25,4%). Биомасса на станциях в Амурском и Уссурийском заливах была невысокая – $78,46+26,76 \text{ г/м}^2$ и $81,77+25,31 \text{ г/м}^2$, соответственно. В Амурском заливе биомасса была сформирована многощетинковыми червями (60,2%); достаточно высокие доли имели немертины (17,3%) и форониды (13,7%). В Уссурийском заливе основу биомассы формировали полихеты - 45,0% и двустворчатые моллюски (22,5%). Значительную часть составляли офиуры (16,5%) и десятиногие раки (14,1%).

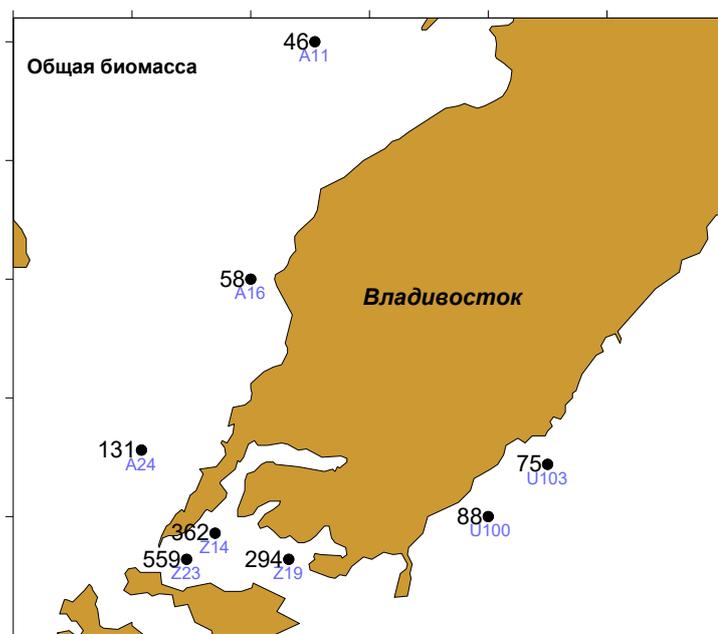


Рисунок 2 – Распределение общей биомассы (г/м²) на станциях в 2022 г.

Самое высокое значение численности бентоса ($4\,055,00 \pm 1\,930,58$ экз/м²) отмечено в Уссурийском заливе благодаря высокой плотности поселения полихет, составлявших около 90% (рисунок 3, таблица 3). Значения средней численности в Амурском заливе и в проливе Босфор Восточный составляли $1\,690,00 \pm 278,24$ и $2\,340,00 \pm 826,23$ экз/м², соответственно, при этом ее основу на этих акваториях формировали полихеты.

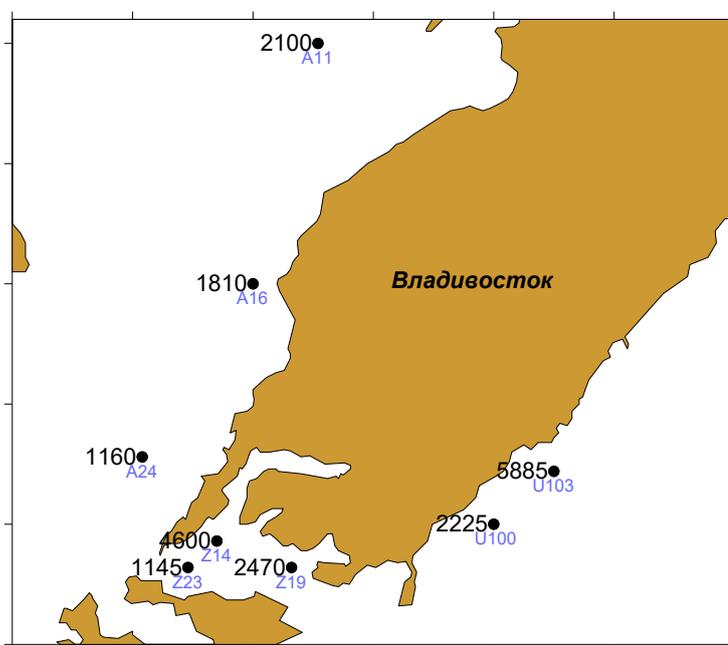


Рисунок 3 — Распределение общей численности (экз/м²)

На всех акваториях наиболее высокие значения частоты встречаемости, а также биомассы и численности, имели полихеты, двустворчатые и брюхоногие моллюски, офиуры, форониды и немертины, реже – амфиподы (таблица 3). Обращает на себя внимание

тот факт, что на обследованном участке Амурского залива отсутствовали двустворчатые и брюхоногие моллюски, а также амфиподы и декаподы, которые имели высокий коэффициент встречаемости в Уссурийском заливе и проливе Босфор Восточный.

В таблице 4 представлены значения структурных показателей бентоса исследованных прибрежных участков. Из приведенных данных следует, что наиболее высокие значения видового богатства бентоса характерны для пролива Босфор Восточный. При этом следует отметить, что в проливе уровень загрязнения донных отложений самый высокий из трех рассматриваемых участков.

Близкие значения отмечены в наиболее «чистом» исследуемом районе – на локальной акватории Уссурийского залива. Наиболее низкие структурные показатели зарегистрированы на акватории Амурского залива, где уровень загрязнения донных осадков занимает промежуточное положение.

Таблица 3 — Количественные показатели макробентоса и основных его групп в 2022 г.

Группа	P, %	S	B, mean	B, SE	B, %	A, mean	A, SE	A, %
Амурский залив								
Polychaeta	100,0	20	47,25	7,30	60,2	1 470,00	270,57	87,0
Nemertea	66,7	1	13,57	12,50	17,3	86,67	81,81	5,1
Phoronida	66,7	1	10,77	10,63	13,7	80,00	70,32	4,7
Ophiuroidea	33,3	1	4,30	4,31	5,5	16,67	16,69	1,0
Actiniaria	33,3	1	2,50	2,50	3,2	3,33	3,34	0,2
Cumacea	33,3	1	0,07	0,07	0,1	33,33	33,37	2,0
Всего	—	25	78,46	26,67	100,0	1 690,00	278,24	100,0
Уссурийский залив								
Polychaeta	100,0	23	36,78	16,59	45,0	3 627,50	1 927,02	89,5
Ophiuroidea	100,0	1	13,53	2,97	16,5	80,00	19,58	2,0
Amphipoda	100,0	6	0,31	0,11	0,4	222,50	75,98	5,5
Bivalvia	75,0	9	18,42	10,31	22,5	27,50	11,09	0,7
Decapoda	75,0	3	11,56	11,51	14,1	20,00	13,54	0,5
Nemertea	50,0	1	0,35	0,24	0,4	32,50	23,58	0,8
Gastropoda	50,0	2	0,26	0,17	0,3	5,00	2,89	0,1
Actiniaria	25,0	1	0,38	0,38	0,5	2,50	2,50	0,1
Phoronida	25,0	1	0,20	0,20	0,2	37,50	37,50	0,9
Всего	—	47	81,77	25,31	100,0	4 055,00	1 930,58	100,0
Пролив Босфор Восточный								
Bivalvia	100,0	8	277,13	114,09	62,5	60,00	19,15	2,6
Gastropoda	100,0	5	112,45	104,59	25,4	30,00	9,13	1,3
Polychaeta	100,0	26	26,49	5,45	6,0	1 810,00	839,30	77,4
Ophiuroidea	100,0	1	25,33	4,45	5,7	415,00	50,74	17,7
Nemertea	50,0	1	1,75	1,03	0,4	7,50	4,79	0,3
Amphipoda	50,0	4	0,04	0,04	0,01	12,50	9,46	0,5
Decapoda	25,0	1	0,23	0,23	0,1	2,50	2,50	0,1
Cumacea	25,0	1	0,01	0,01	0,002	2,50	2,50	0,1
Всего	—	47	443,42	206,85	100,0	2 340,00	826,23	100,0

Примечание — S — общее число видов, P — частота встречаемости (%), A — плотность поселения (экз/м²), B — биомасса (г/м²), SE — стандартная ошибка.

Таблица 4 — Структурные показатели макрофауны исследуемых районов в 2022 г.

Акватория	Число проб	S	R	H	e	Si
Амурский зал.	3	13,0±2,1	1,6±0,3	2,6±0,1	0,7±0,03	0,2±0,01
Уссурийский зал.	4	19,8±1,2	2,3±0,1	2,5±0,4	0,6±0,1	0,3±0,1
Прол. Босфор Восточный	4	20,0±2,9	2,5±2,0	2,5±0,3	0,6±0,1	0,3±0,1

Примечание — S – число видов; R – индекс видового богатства Маргалефа; H – индекс видового разнообразия Шеннона-Винера; e – индекс выровненности Пиелу; Si – индекс доминирования Симпсона. Приведены средние значения ± стандартная ошибка.

На рисунке 4 приведен результат кластер-анализа, который свидетельствует, что на исследуемой акватории в 2022 г. выделяются три донные группировки с уровнем видового подобия бентоса между станциями около 40%. Первая группировка расположена на двух станциях в Уссурийском заливе (U100, U103). Вторая охватывает станции пролива Босфор Восточный, сюда же вошла станция A16, расположенная в Амурском заливе. Третья группировка расположена в восточной части Амурского залива (станции A11 и A24).

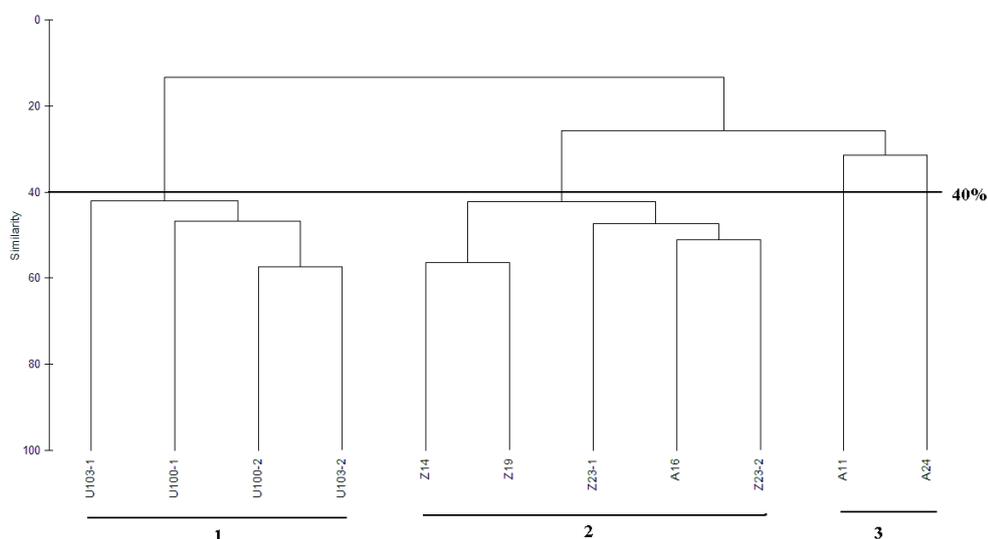


Рисунок 4 — Дендрограмма видового подобия бентоса исследуемой акватории в 2022 г.

Особенности состава, структуры и количественного обилия этих группировок отражают различные условия существования донных организмов в каждом из биотопов, а именно, глубину, тип грунта, уровень загрязнения донных отложений, содержание растворенного кислорода и т.д.

Так, сообщество 1 в Уссурийском заливе обитает в интервале глубин 12–20 м алевритовых осадках и представлено офиурой *Amphiodia fissa*, полихетами *Spiophanes* sp.

Сообщество 2, расположенное в прол. Босфор Восточный, а также включая бентос станции A16, на глубине от 19 до 35 м на смешанных грунтах, представлено офиурами *Ophiura sarsii vadicola*, двустворчатыми моллюсками *Cumatoica orientalis* и полихетой *Ampharete sibirica*.

На ст. А24 и А11 в Амурском заливе (10-22 м, илистые осадки) выделяется сообщество полихет *Maldane sarsi*, *Scoletoma* sp., *Sigambra bassi*, а также немертин и форонид.

Долговременные изменения в бентосе

Амурский залив. Первые детальные изучения донной фауны Амурского залива были предприняты в 1925–1933 гг. под руководством профессора К.М. Дерюгина, что позволило определить качественные и количественные характеристики бентоса [14-15]. Средняя биомасса бентоса в Амурском заливе составляла более 150 г/м², наиболее многочисленными и широко распространенными видами на илистых и илисто-песчаных грунтах (на глубинах 14–40 м) были полихеты *M. sarsi*, *S. armiger*, *Lumbrineris minuta*, *Sigambra bassi*, *Anobothrus gracilis*, двустворчатый моллюск *Nucula tenuis*, офиура *O. sarsii*, гидроид *Obelia longissima* [14-15].

Наиболее драматические изменения в структуре бентоса начались в 70-х гг. прошлого столетия, когда в сообществах стали появляться не отмеченные ранее оппортунистические виды во все возрастающих количествах [16-18], главным образом, представители многощетинковых червей – *Th. pacifica* (= *Aphelochaeta pacifica*), *Schistomeringos japonica*, *Polydora* sp.

В конце 80-х гг. было отмечено продолжающееся сокращение ареалов иглокожих и некоторых видов полихет (*S. armiger*, *Scalibregma inflatum*), а также появление в массовых количествах устойчивых к загрязнению донных организмов – вышеперечисленных видов полихет и представителей форонид [10, 12, 18]. Комплексные экологические исследования, выполненные в заливе, показали, что изменения в видовой структуре бентоса связаны, главным образом, с процессами эвтрофикации и загрязнения [11, 13]. Пик техногенного воздействия на природные комплексы прибрежной зоны зал. Петра Великого пришелся на 1960-1980 гг. [19]. Таким образом, высокая антропогенная нагрузка на морскую среду в 70–80-х гг. привела к серьезным негативным изменениям в структуре прибрежных экосистем [10, 11, 13].

Исследования, предпринятые в начале текущего столетия, показали, что на экосистему залива продолжает оказывать влияние процессы хронического загрязнения и прогрессирующей эвтрофикации [20]. Содержание многих поллютантов в донных отложениях превышали пороговые концентрации [12]. Материалы экспедиции ДВНИГМИ в 2019 г. и в 2021 г. показали, что в донных отложениях Амурского залива наиболее значительное превышение пороговых концентраций характерно для $C_{орг.}$ и ОСНУ [21, 22].

В таблице 5 приведены количественные показатели бентоса и доминирующие виды на исследуемых станциях Амурского залива в течение ряда лет 21 тысячелетия. Как видно

из данных, в течение ряда в бентосе преобладали позитивные индикаторы загрязнения и эвтрофирования, главным образом полихета *A. pacifica* и форониды. Значения общих величин биомассы и численности бентоса были велики и создавались в основном благодаря массовому развитию толератных видов полихет и форонид. В то же время виды, широко распространенные в начале прошлого столетия, имели крайне низкие количественные показатели (*M. sarsi*, офиура *O. sarsii*). В 2022 г. толерантные виды снизили численность и не вошли в состав доминирующих. Напротив, чувствительные к неблагоприятным условиям виды (*Scoletoma* sp., *Maldane sarsi*, *Ophiura sarsii vadicola*) были преобладающими.

При этом следует отметить отсутствие в пробах представителей двустворчатых и брюхоногих моллюсков, а также десятиногих раков и амфипод. Данный факт может свидетельствовать о неблагоприятной ситуации в восточной части залива, что подтверждается данными гидрохимических анализов. Распределение растворенного кислорода свидетельствовал, что в придонном горизонте наблюдалось снижение содержания кислорода в придонном горизонте на станциях A11, 16, при этом минимум (3,46 мг/л) отмечен на ст. A24 на горизонте 10 м.

Таким образом, в 2022 г. видовой состав бентоса и его количественные показатели на трех обследованных станциях Амурского залива позволяют сделать вывод о неблагоприятных условиях для донных сообществ в восточной части залива, при этом уровень загрязнения донных отложений на этих станциях был невысок. Вероятно, неблагоприятные условия связаны с органическим загрязнением, что приводит к дефициту кислорода.

Уссурийский залив. Рассматривая долговременные изменения бентоса, следует отметить, что в Уссурийском заливе они не были столь значительными, как в Амурском. Общая биомасса бентоса в 1930–х гг. составляла 170–200 г/м². Доминантные виды на глубинах 25–35 м на илисто-песчаных грунтах были представлены полихетами *Magelona longicornis*, *Chone cincta*, *A. gracilis*, *M. sarsi*, *S. armiger*, офиурами *O. sarsii vadicola* и *Amphiodia craterodmeta*, гастроподами *Turitella fortilirata*, двустворчатыми моллюсками *N. tenuis*, *Yoldia yohanni*, *Axinopsida subquadrata* [15].

Таблица 5 — Сравнительная характеристика бентоса исследуемой акватории Амурского залива по годам

Годы	Кол-во проб	Доминирующие виды, (экз/м ²)	В	А	S	Доминирующие группы (экз/м ²)	Доминирующие группы (г/м ²)
2001	12	<i>Aphelocheata pacifica</i>	99,1±28,0	2 073,7±633,2	63	Polychaeta	Polychaeta
2016	6	Phoronida	1 183,9±585,0	2 848,3±1 604,5	34	Phoronida, (Polychaeta)	Bivalvia
2018	6	<i>Aphelocheata pacifica</i> + Phoronida+ <i>Maldane sarsi</i>	553,0±267,7	4 968,0±813,8	42	Polychaeta (Phoronida)	Phoronida (Polychaeta)
2019	4	<i>Asabellides sibirica</i> (Phoronida)	396,5±199,5	6 651,0±768,9	31	Polychaeta (Phoronida)	Phoronida
2021	6	Phoronida (<i>Aphelocheata pacifica</i>)	311,7±143,1	4 630,0±1 491,6	35	Polychaeta, Phoronida	Phoronida
2022	3	<i>Scoletoma</i> sp., <i>Maldane sarsi</i> , <i>Ophiura sarsii vadicola</i>	78,5±26,8	1 690,0±278,2	25	Polychaeta	Polychaeta, Nemertea, Phoronida, Ophiuroidea

Примечание – А – плотность поселения (экз/м²), В – биомасса (г/м²), приведены средние значения ± стандартная ошибка. S – общее число обнаруженных видов. В скобках указаны субдоминантные виды (группы).

Таблица 6 — Сравнительная характеристика бентоса исследуемой акватории Уссурийского залива по годам

Годы	Число проб	Доминирующие виды (экз/м ²)	В	А	S	Доминирующие группы (экз/м ²)	Доминирующие группы (г/м ²)
2001	8	<i>Dipolydora cardalia</i>	132,8±58,8	3 114,4±1 055,6	63	Polychaeta	Polychaeta (Ophiuroidea)
2016	4	<i>Ophiura sarsii vadicola</i> + <i>Chaetozone setosa</i> + <i>Leionucula ovatotruncata</i>	114,8±77,3	880,0±145,2	30	Polychaeta	Bivalvia (Ophiuroidea)
2018	4	<i>Scoletoma longifolia</i> (<i>Dipolydora cardalia</i>)	128,3±30,8	2 407,5±562,5	42	Polychaeta	Bivalvia (Polychaeta, Ophiuroidea)
2019	4	<i>Scoletoma longifolia</i> (<i>Scoloplos armiger</i>)	373,8±218,5	978,8±396,4	27	Polychaeta	Bivalvia

Годы	Число проб	Доминирующие виды (экз/м ²)	В	А	S	Доминирующие группы (экз/м ²)	Доминирующие группы (г/м ²)
2021	4	<i>Scoletoma longifolia</i>	188,9±114,6	2 545,0±793,6	48	Polychaeta	Echinoidea
2022	4	<i>Spiophanes uschakovi</i> , <i>Chaetozone setosa</i>	81,8+25,38	4 055,0±1 930,6	47	Polychaeta	Bivalvia, Decapoda, Ophiuroidea

Примечание – А – плотность поселения (экз/м²), В – биомасса (г/м²), приведены средние значения ± стандартная ошибка. S – общее число обнаруженных видов. В скобках указаны субдоминантные виды (группы).

Таблица 5.7 — Сравнительная характеристика бентоса исследуемой акватории пролива Босфор Восточный по годам

Годы	Кол-во проб	Доминирующие виды (экз/м ²)	В	А	S	Доминирующие группы (экз/м ²)	Доминирующие группы (г/м ²)
2001	4	<i>Aphelochaeta pacifica</i> (<i>Dipolydora cardalia</i>)	29,9±8,3	1 918,0±573,1	41	Polychaeta	Ophiuroidea
2016	6	<i>Ophiura sarsii vadicola</i> , (<i>Aphelochaeta pacifica</i> , <i>Dipolydora cardalia</i>)	412,2±108,1	1 813,3±444,2	40	Ophiuroidea, Polychaeta	Bivalvia
2019	6	<i>Aphelochaeta pacifica</i>	512,9±155,6	1 627,5±629,4	46	Polychaeta	Bivalvia
2021	6	<i>Ophiura sarsii vadicola</i>	553,4±148,9	1 911,7±348,7	53	Ophiuroidea, Polychaeta	Bivalvia
2022	4	<i>Ampharete sibirica</i>	443,4+206,9	2 340,0±826,2	47	Polychaeta	Bivalvia (Gastropoda)

Примечание – А – плотность поселения (экз/м²), В – биомасса (г/м²), приведены средние значения ± стандартная ошибка. S – общее число обнаруженных видов. В скобках указаны субдоминантные виды (группы).



Общая биомасса бентоса в 1970 г. составила 218 г/м² и была сопоставимой с биомассой, отмеченной в Уссурийском заливе в 30-х гг. Однако, согласно данным В.Л. Климовой [16], в Уссурийском заливе также наблюдалось сокращение биомассы и численности некоторых видов (*T. fortilirata*, *M. sarsi*, *S. armiger*).

В 1994 г. биомасса бентоса (264,7 г/м²) и видовой состав были сравнимы с аналогичными показателями, полученными в 30-х и 70-х гг. Кластер-анализ позволил выделить два донных сообщества, расположенных в разных частях залива. Первое сообщество занимало восточную и западную мелководные части залива (12-18 м) и было представлено ежом *Echinocardium cordatum*, моллюсками *Callithaca adamsi*, *Acila insignis* и полихетой *M. sarsi*. Второе сообщество располагалось в глубоководной части залива (45-55 м). Здесь доминировали эхиурида *Echiurus echiurus*, моллюск *Macoma orientalis* и полихета *Asychis* sp. Судя по содержанию приоритетных поллютантов в донных осадках залива, антропогенная нагрузка на Уссурийский залив в 90-е гг. была значительно ниже, чем на экосистему Амурского залива [13].

В 2001 г. средняя общая биомасса в Уссурийском заливе была сравнима с биомассой, полученной в 30-х, 70-х и 1994 гг.: 170-200, 218,0 и 264,7 г/м², соответственно. Вклад различных фаунистических групп в суммарную биомассу был также почти одинаков [23]. Количественные показатели бентоса в 2001 г. были сопоставимы с таковыми, полученными в 1994 г. Так же как и в 1994 г. чувствительные к загрязнению виды определяли структуру сообществ. Однако некоторые изменения в видовой структуре бентоса по сравнению с предыдущими годами все же были обнаружены. Так, наиболее обильными и широко распространенными в Уссурийском заливе в 1994 г. были полихеты *S. armiger*, *M. sarsi*, моллюск *A. insignis*, офиура *O. kinbergii* и сердцевидный еж *E. cordatum*. В 2001 г. только полихеты *Lumbrineris* sp., *S. armiger*, *Goniada maculata* и *M. sarsi* имели высокую частоту встречаемости и плотность поселения. Численность *A. insignis*, *O. kinbergii* и *E. cordatum* в 2001 г. снизилась.

Данные таблицы 5.6 показывают, что в последующие годы (2016-2022 гг.) основу бентоса составляли полихеты, офиуры, двустворчатые моллюски и реже сердцевидные морские ежи. При этом общая биомасса бентоса в 2022 г. была значительно ниже таковой, отмеченной в предыдущие годы, а состав доминирующих видов претерпел изменения. Так, на исследованной акватории, как по численности, так и по биомассе преобладали полихеты, в составе которых отмечена в качестве доминирующего вида индикатор загрязнения и эвтрофирования полихета *Chaetozone setosa*.

В целом, состояние бентоса исследуемого участка Уссурийского залива можно оценить как благополучное. Структуру сообществ определяют чувствительные к загрязнению виды. При этом следует отметить появление в составе структурообразующих видов представителей индикаторов загрязнения (толерантная к загрязнению полихета *Ch. setosa*, реже - форониды).

Следует отметить, что в Уссурийском зал. в последние годы отмечается заметное ухудшение экологической ситуации. Так, визуальные наблюдения на его побережье (бух. Лазурная) в августе 2019–2022 гг. свидетельствовали об очень сильном загрязнении пляжей пластиком, мусором и строительным материалом, которые предположительно поступают в результате переноса с восточного побережья этой акватории (завод «Звезда») и морских судов. В первой декаде августа 2022 г. несколько дней подряд отмечали загрязнение поверхности нефтепродуктами. Здесь же отмечено массовое развитие макрофитов, что может быть результатом органического загрязнения вод вследствие возросшей антропогенной нагрузки туристической отрасли.

Пролив Босфор Восточный. Бентос акватории исследован недостаточно. Наиболее полные наблюдения были выполнены только в 2019 г., однако провести сравнительный анализ можно на основе данных, полученных на двух-трех станциях, для которых есть ряд многолетних наблюдений. Как следует из данных таблицы 7, бентос пролива в исследуемый период (2001, 2016, 2019, 2021-2022 гг.) был представлен весьма разнообразно. Численно доминировали полихеты, тогда как по биомассе преобладали двустворчатые моллюски. Количественные показатели были достаточно стабильны за исключением таковых, отмеченных в 2001 г. Величина общей биомассы остается высокой на протяжении ряда последних лет.

Несмотря на высокое загрязнение донных осадков НУ, близкое к пороговому уровню, а также свинцом, медью и пестицидами (таблица 1) бентос пролива характеризуется благополучным состоянием, вероятно благодаря присутствию смешанных осадков, активной гидродинамике, и, следовательно, благоприятному кислородному режиму.

Таким образом, анализ материалов, полученных в 2022 г., свидетельствует, что на экосистему зал. Петра Великого продолжают оказывать влияние процессы хронического загрязнения и эвтрофирования. Особенно сильное влияние антропогенного фактора отмечается в Амурском залива вдоль городской черты.

По данным исследований ДВНИГМИ в 2019 г., превышение пороговых значений для органического углерода в осадках было выявлено на 94% обследованной акватории Амурского и Уссурийского заливов и в прол. Босфор Восточный, а для нефтяных

углеводородов — на 72% акватории. Превышение пороговых значений только по одному какому-либо поллютанту приводит к изменению структуры сообществ донных организмов, вплоть до полной деградации и гибели донного населения. В 2022 г. превышение пороговых концентраций было выявлено в прол. Босфор Восточный для ряда металлов и пестицидов. Уровень ОСНУ был близок к пороговому.

При сохранении существующего уровня антропогенной нагрузки на залив можно ожидать дальнейших негативных изменений в структуре бентоса: снижения видового богатства и разнообразия, а также замещения чувствительных к загрязнению видов (двустворчатых моллюсков, иглокожих, ракообразных) на толератные, короткоциклические виды полихет и форонид. Эти изменения неизбежно приведут к снижению продуктивности экосистем залива.

Заключение

Экосистемы прибрежных акваторий вблизи города Владивостока интересно сравнить с экосистемами других областей Мирового океана, где наиболее полно проявились явления, связанные с деятельностью человека (Балтийское, Северное и Черное моря). Как отмечалось выше, наряду с расширением областей хронического загрязнения, расширяются и области эвтрофикации. В настоящее время стало возможным установить последовательность изменений, характеризующих процесс прогрессирующей антропогенной эвтрофикации [1, 24]. Основные из них следующие:

1. Увеличение скорости образования первичной продукции фитопланктона.
2. Изменения в видовом составе фитопланктона и бентоса.
3. Обильное цветение микроводорослей, часто токсическое.
4. Возникновение явлений аноксии и неблагоприятных условий для рыб и беспозвоночных.
5. Изменение трофической структуры бентоса.

Сравнивая результаты, полученные в прибрежной зоне залива Петра Великого, не трудно заметить общие черты, характерные для других морей. Налицо сходство экологической ситуации в заливе Петра Великого и ситуаций в некоторых районах Балтийского, Северного, Черного и других морей, где факт значительного эвтрофирования является уже установленным, а данное явление полагается следствием все возрастающего поступления соединений азота и фосфора в морскую среду.

Таким образом, прибрежные экосистемы залива Петра Великого находятся под давлением двух мощных факторов антропогенного происхождения – хронического загрязнения и эвтрофикации. Однако в последние годы в результате спада промышленного



производства уровень химического загрязнения морской среды залива Петра Великого несколько снизился, а процесс эвтрофирования вод продолжает оказывать негативное влияние. Снижение видового разнообразия и богатства донного населения [13], увеличение случаев массового развития токсичных микроводорослей [25], возникновение неблагоприятных условий для беспозвоночных и рыб [26] является прямым следствием эвтрофикации вод залива. Данные факты еще раз свидетельствуют о необходимости проведения систематических экологических наблюдений на акватории залива Петра Великого.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. GESAMP: The state of marine environmental. UNEP Regional Seas Reports and Studies. 1990a. No. 115. 111 p.
2. Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. — М.: ВНИРО, 1997. — 349 с.
3. Обзорная информация. Нефтяные углеводороды в морских донных отложениях: химические и биологические аспекты / Под. Ред. И.А.Шлыгина. — Обнинск, 1986. — 46 с.
4. 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.
5. 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.
6. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 239 с.
7. UNEP: Statistical analysis and interpretation of marine community data. Reference Methods for Marine Pollution Studies. — UNEP, 1995. — № 64 — 75 p.
8. Пропп М.В. Экология прибрежных донных сообществ Мурманского побережья Баренцева моря. — Л.: Наука, 1971. — 132 с.
9. Нейман А.А. Количественное распределение и трофическая структура бентоса шельфов Мирового океана. — М.: ВНИРО, 1988. — 101 с.
10. Tkalin A.V., Belan T.A., Shapovalov E.N. The state of the marine environment near Vladivostok, Russia // *Marine Pollution Bulletin*. — 1993. — Vol. 26. — No. 8. — Pp. 418–422.
11. Belan T.A. Benthos abundance pattern and species composition in conditions of pollution in Amursky bay (the Peter Bay, the Sea of Japan) // *Marine Pollution Bulletin*. — 2003. — Vol. 49. — No. 9. — Pp. 1111–1119.

12. Белан Т.А. Сравнительная характеристика условий среды и показателей сообществ макрозообентоса морских прибрежных акваторий вблизи Владивостока // Юбилейный вып. ДВНИГМИ -65 лет. Владивосток: Дальнаука, 2015. — С. 156–171.
13. Белан Т.А. Особенности обилия и видового состава бентоса в условиях загрязнения (зал. Петра Великого Японского моря). / Дисс. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук. Владивосток: ДВГУ, 2001. — 151 с.
14. Дерюгин К.М. Зоны и биоценозы залива Петра Великого (Японское море). В кн.: Сборник, посвященный научной деятельности почетного академика Н.П. Книповича (1885-1939). — М.-Л.: Пищепромиздат, 1939. — С. 115-142.
15. Дерюгин К.М., Сомова Н.М. Материалы по количественному учету бентоса залива Петра Великого (Японское море) // Исслед. дальневост. морей СССР. — М.-Л.: Изд. АН СССР, 1941. — Вып. 1. — С. 13–36.
16. Климова В.Л. Количественное распределение бентоса залива Петра Великого (Японское море) летом 1970 г. // Труды ВНИРО, 1971. — Т. 87/7. — С. 97–104.
17. Климова В.Л. Изменение распределения трофических зон бентоса зал. Петра Великого с 30-х по 70-е годы // Океанология. — 1976. — Т. XVI. — Вып. 2. — С. 343–345.
18. Климова В.Л. Оценка последствий сброса грунта по биологическим показателям в районах дампинга в Японском море // Итоги исследований в связи со сбросом отходов в море. — М.-Л.: Гидрометеиздат, 1988. — С. 137–141.
19. Петренко В.С. основные черты техногенеза на побережье Приморья // Тематический вып. ДВНИГМИ. — № 4. — 2003. — С.175–184.
20. Белан Т.А., Белан Л.С. Состав и количественное распределение макрозообентоса в Амурском заливе // Океанология, 2006. — Т. 46. — № 5. — С. 685–694.
21. Оценка долговременных тенденций изменения состояния и уровня загрязнения морей Российской Федерации по гидрохимическим и гидробиологическим показателям на основе данных государственного мониторинга: отчет о НИР / отв. исп. Т.А. Белан — Владивосток: ДВНИГМИ, 2020. — 224 с
22. Изучение гидрологического, гидрохимического и экологического состояния морской среды прибрежных районов ДВ морей РФ в 2020 г. и выявление тенденций к изменению морской среды и биоты: отчет о НИР / отв. исп. Т.А. Белан — Владивосток: ДВНИГМИ, 2021. — 76 с.
23. Современное состояние, сезонная и межгодовая изменчивость гидрометеорологического режима, а также долговременные изменения состава и структуры



бентосных сообществ Японского моря: отчет о НИР / отв. исп. Т.А. Белан — Владивосток: ДВНИГМИ, 2003. — 229 с.

24. GESAMP: Long-term consequences of low-level marine contamination: an analytical approach. UNEP Regional Seas Reports and Studies. 1990b. No. 118. 14 p.

25. Orlova T.Yu. Harmful algal bloom data for the Russian east coast. // PCIES 13th Annual Meeting, Honolulu, USA, October 2004. — Abstract. — P. 256.

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