

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СООБЩЕСТВ МАКРОЗООБЕНТОСА НА АКВАТОРИЯХ
ВОКРУГ ВЛАДИВОСТОКА В 2021 Г.

Белан Т.А., Борисов Б.М.

Отдел океанографии и гидрометеорологии, ФГБУ «ДВНИГМИ»

Гидробиологическая съемка акваторий вокруг Владивостока была выполнена 30 августа 2021 г. на ИС «Атлас». Работы проведены на станциях ОГСН акваторий заливов Амурский, Уссурийский и прол. Босфор Восточный (рис. 1). Всего выполнено восемь станций и отобрано 16 проб макрозообентоса в интервале глубин 10–35 м.



Рис. 1. Карта-схема районов отбора проб макрозообентоса в 2021 г.

На каждой станции отбирали по две пробы донных осадков дночерпателем ван Вина площадью захвата $0,11 \text{ м}^2$. Грунт промывали через сито с ячейей 1 мм, организмы макрозообентоса фиксировались 4% буферным раствором формальдегида.

Лабораторную обработку проб бентоса проводили в Отделе региональной океанографии и гидрометеорологии (ОРОГ) ДВНИГМИ по стандартным методикам [1]. Сырую массу определяли на электронных весах и пересчитывали на 1 м^2 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 [2] 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 [1, 2].

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 разграничения выделения донных сообществ использовали иерархический агломеративный кластерный анализ [2]. 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 [2]. 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 трофического уровня (населяющих определенный биотоп), которая характеризуется определенными количественными соотношениями между видами [3, 4].

Краткая характеристика района 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 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 кутовой 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 [5-7].

Уссурийский залив. Является самой крупной акваторией зал. Петра Великого, максимальная глубина которого составляет 75 м. Наиболее распространенным типом донных осадков являются алеврито-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, расположенных на побережье залива – г. Владивостока, пос. Большого Камня. Существенный вклад в загрязнение залива вносит городская свалка мусора, находящаяся близ вблизи б. Горностаи, и захоронение грунтов у пос. Большой Камень. 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 [8].

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 зал., 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 проводили масштабные строительные работы, что обуславливает необходимость экологических наблюдений с целью выявления негативных изменений для минимизации ущерба среде и биоте.

Характеристика уровня загрязнения исследуемых акваторий

Установлено, что акватории вблизи Владивостока подвержены не только химическому, но и органическому загрязнению. По данным специалистов ДВНИГМИ, полученным в 2019 г. [9], 94% обследованной акватории испытывают влияние органического вещества (рис. 2). Содержание $C_{орг.}$ на станциях, отмеченных красным цветом, находится в интервале пороговых значений и даже превышает их в несколько раз. Данный факт отмечен главным образом в б. Золотой Рог, где верхняя граница – 35 мг/г [10] превышена в 2 раза.

Нефтяное загрязнение на уровне пороговых концентраций выявлено на 72% акватории. В основном это касается бухт Золотой Рог, Диомид и прол. Босфор Восточный. Прибрежные акватории Уссурийского залива в этом отношении относительно чисты.

Пороговые концентрации металлов – меди, цинка и свинца отмечены в бухтах Золотой Рог и Диомид. А пороговые концентрации хлорорганических пестицидов – в б. Золотой Рог и Тихой в районе жилого массива.

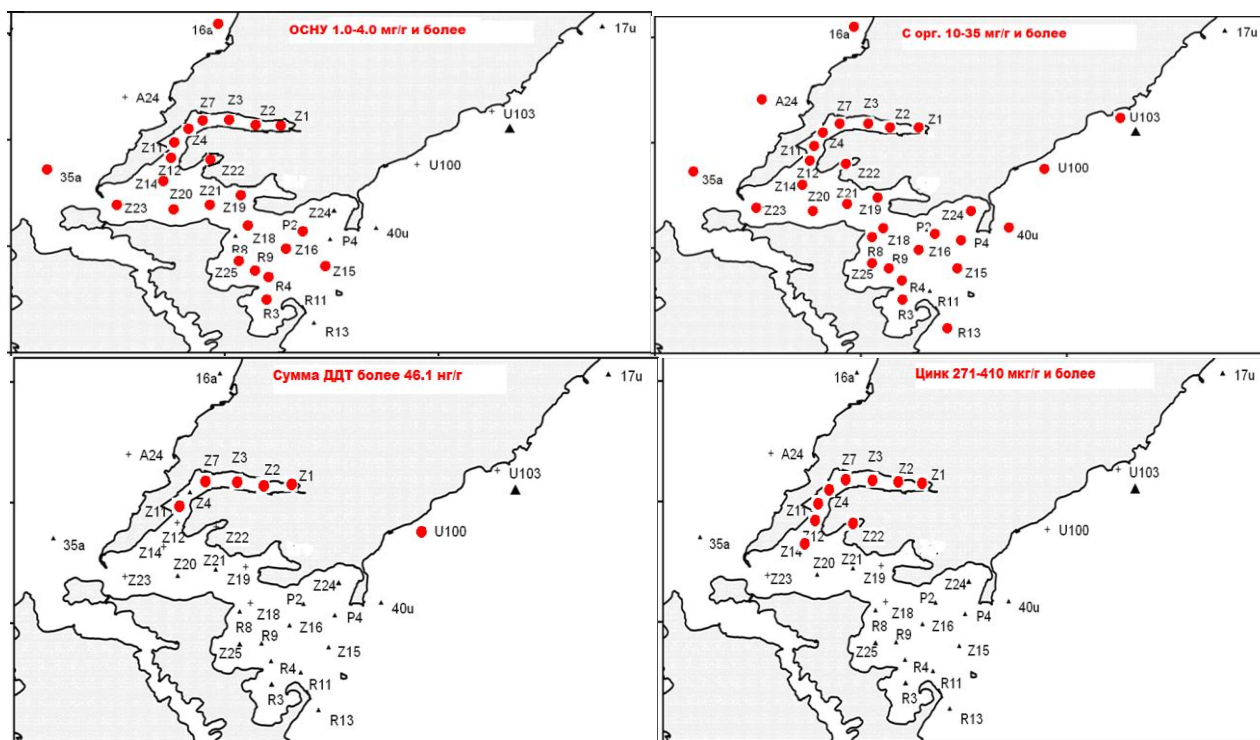


Рис. 2. Распределение пороговых концентраций (красные кружки) для отдельных загрязняющих веществ в донных отложениях в 2019 г.

В табл. 1 приведены средние концентрации некоторых металлов (МЕ) и общего содержания нефтяных углеводородов (ОСНУ) в донных осадках на отдельных восьми станциях ОГСН в 2021 г., где выполняли отбор проб бентоса. В таблице также приведены величины пороговых концентраций для ОСНУ и МЕ [11-13].

Табл. 1. Среднее содержание ОСНУ и некоторых МЕ в донных осадках заливов Амурский и Уссурийский и пролива Босфор Восточный по данным 2021 г.

Показатель/ акватория	Амурский залив (6 проб)	Уссурийский залив (4 пробы)	Пролив Босфор Восточный (6 проб)	Пороговые концентрации
ОСНУ, мг/г	0,51±0,16	0,05±0,01	1,39±0,83	1,0-4,0
Pb, мкг/г	22,67±4,14	25,23±10,73	68,88±13,05	112-218
Cu, мкг/г	16,53±3,08	9,50±2,59	39,20±5,4	108-270
Zn, мкг/г	63,57±9,12	37,00±5,96	97,32±9,22	271-410

Примечание — приведены средние значения ± стандартное отклонение. Красным цветом обозначены пороговые концентрации

Как следует из данных таблицы, наиболее высокое среднее значение ОСНУ в 2021 г. на уровне пороговой концентрации зафиксировано в прол. Босфор Восточный.

Максимальные значения ОСНУ отмечены на станции Z19 (3,53 мг/г) на выходе из б. Улисс и на станции Z14 (2,36 мг/г) в районе активного судоходства, вблизи терминалов морского порта. Наиболее 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 зал., тогда как уровень загрязнения грунтов Амурского зал. занимает промежуточное положение.

Видовой состав и распределение макрозообентоса в 2021 г.

Согласно материалам, полученным в 2021 г. на исследуемой акватории было идентифицировано более 90 видов донных беспозвоночных, из которых большинство (42) было представлено многощетинковыми червями (Приложение). На акватории Амурского зал. обнаружено 35 видов (10 групп), в Уссурийском зал. – 48 (12 групп), в прол. Босфор Восточный – 53 вида (10 групп).

Как показал анализ, общая биомасса бентоса была высока на всех трех акваториях. Однако наиболее высокое значение ($553,37+148,86 \text{ г/м}^2$) отмечено в прол. Босфор Восточный (рис. 2, табл. 2). Основу биомассы бентоса в проливе составляли двустворчатые моллюски (более 78% всей биомассы).

В Амурском и Уссурийском заливах биомасса составляла 311,72 и 188,89 г/м^2 , соответственно. При этом, в Амурском зал. биомассу формировали форониды (76%), а в Уссурийском зал. – сердцевидные морские ежи (66%).

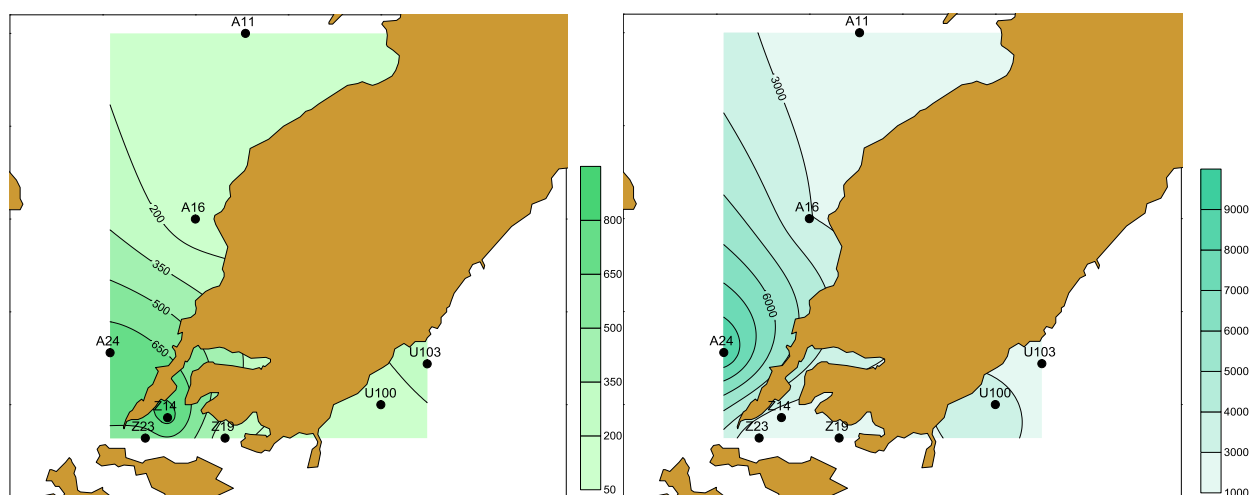


Рис. 3. Распределение общей биомассы (г/м^2 , слева) общей численности (экз/м^2 , справа)

Самое высокое значение численности ($4\,630,00 \pm 1\,553,74 \text{ экз/м}^2$) отмечено в Амурском зал. благодаря высокой плотности поселения полихет, составлявших более 56% и форонид (42%) (рис. 3, табл. 2). Численность бентоса в Уссурийском зал. формировалась за счет полихет (87%), в прол. Босфор Восточный – благодаря скоплениям офиур (47%) и полихет (34%).

На всех акваториях наиболее высокие значения частоты встречаемости, а также биомассы и численности имели несколько групп донных животных – полихеты, двустворчатые моллюски, офиуры, форониды и немертины (табл. 2).

Табл. 2. Количественные показатели макробентоса и основных его групп в 2021 г.

Группы	P, %	S	B,	B, SE	B, %	A	SE	A, %
Амурский залив								
Polychaeta	100,0	21	52,29	6,49	16,77	2598,33	400,68	56,12
Nemertea	83,3	1	2,30	1,24	0,74	33,33	17,21	0,72
Phoronida	66,7	1	238,07	156,64	76,37	1911,67	1273,31	41,29
Decapoda	50,0	3	0,32	0,20	0,10	8,33	4,87	0,18
Amphipoda	33,3	2	0,01	0,01	<0,01	6,67	4,30	0,14
Ophiuroidea	33,3	1	6,07	5,38	1,95	15,00	13,37	0,32
Bivalvia	33,3	3	2,01	1,31	0,64	41,67	40,52	0,90
Cumacea	33,3	1	0,02	0,02	0,01	10,00	6,97	0,22
Gastropoda	16,7	1	0,13	0,14	0,04	1,67	1,70	0,04
Asteroidea	16,7	1	10,50	10,72	3,37	3,33	3,40	0,07
Всего	—	35	311,72	149,08	100,00	4630,00	1553,74	100,00
Уссурийский залив								
Polychaeta	100,0	23	27,76	11,10	14,70	2215,00	871,27	87,03
Bivalvia	100,0	8	20,93	14,15	11,08	60,00	14,72	2,36
Ophiuroidea	100,0	2	10,38	3,21	5,49	62,50	15,48	2,46
Amphipoda	50,0	5	0,20	0,12	0,11	150,00	86,60	5,89
Nemertea	75,0	1	0,93	0,48	0,49	30,00	17,32	1,18
Gastropoda	50,0	3	2,00	1,90	1,06	7,50	4,79	0,29
Cumacea	25,0	1	0,01	0,01	<0,01	2,50	2,50	0,10
Decapoda	25,0	1	0,04	0,04	0,02	2,50	2,50	0,10
Echinoidea	25,0	1	125,00	125,00	66,18	2,50	2,50	0,10
Holothuroidea	25,0	1	0,38	0,38	0,20	2,50	2,50	0,10
Mysidacea	25,0	1	0,04	0,04	0,02	2,50	2,50	0,10
Priapulida	25,0	1	1,25	1,25	0,66	7,50	7,50	0,29
Всего	—	48	188,89	114,65	100,00	2545,00	793,56	100,00
Пролив Босфор Восточный								
Bivalvia	100,0	13	435,21	156,38	78,65	298,33	159,28	15,61
Ophiuroidea	100,0	2	76,44	28,37	13,81	905,00	364,34	47,34
Polychaeta	100,0	26	22,35	5,28	4,04	655,00	152,25	34,26
Nemertea	66,7	4	4,70	3,26	0,85	21,67	8,90	1,13
Gastropoda	66,7	3	0,98	0,39	0,18	11,67	6,13	0,61
Decapoda	66,7	1	0,45	0,20	0,08	8,33	3,14	0,44
Priapulida	33,3	1	7,22	5,58	1,30	3,33	2,15	0,17
Cumacea	33,3	1	0,02	0,01	0,00	5,00	3,49	0,26
Amphipoda	16,7	1	0,01	0,01	<0,01	1,67	1,70	0,09
Cirripedia	16,7	1	6,00	6,12	1,08	—	—	—
Всего	—	53	553,37	148,86	100,00	1911,67	348,71	100,00

Примечание — S — общее число видов, P — частота встречаемости (%), A — плотность поселения (экз/м²), B — биомасса (г/м²), SE — стандартная ошибка. Для колониальных животных (Cirripedia) значение численности не приводится.

В табл. 3 приведены значения структурных показателей бентоса исследуемых прибрежных участков. Из данных, приведенных в таблице, следует, что наиболее высокие значения видового богатства, разнообразия и выравненности бентоса наблюдаются в наиболее «чистом» исследуемом районе – на локальной акватории Уссурийского зал. При

этом следует отметить, что в прол. Босфор Восточный, где уровень загрязнения донных отложений самый высокий из трех рассматриваемых участков, эти структурные показатели бентоса также велики. Наиболее низкие структурные показатели наблюдаются на акватории Амурского зал., где уровень загрязнения донных осадков занимает промежуточное положение.

Табл. 3. Структурные показатели макрофауны исследуемых районов в 2021 г.

Район	Число проб	S	R	H	e	Si
Амурский зал.	6	14,17±2,05	1,64±0,28	2,14±0,31	0,56±0,06	0,37±0,08
Уссурийский зал.	4	19,50±2,90	2,47±0,46	2,71±0,57	0,63±0,11	0,29±0,11
Прол. Босфор Восточный	6	18,33±2,47	2,33±0,33	2,50±0,37	0,61±0,09	0,33±0,10

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 рис. 4 приведен результат кластер-анализа, который свидетельствует, что на исследуемой акватории в 2021 г. выделяется только две донные группировки с уровнем подобия более 40%. Одна группировка расположена на акватории прол. Босфор Восточный (ст. Z14, 19, 23). Другая группировка выделяется в Амурском зал. и охватывает станции A11 и A16. Отдельные группировки наблюдаются на станциях A24, U100, U103С.

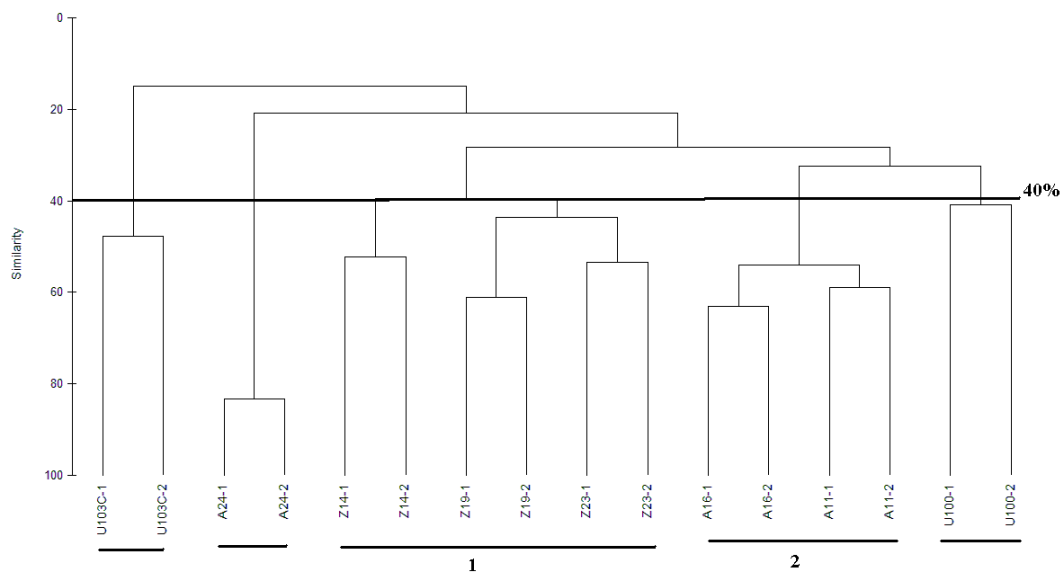


Рис. 4. Дендрограмма видового подобия бентоса исследуемой акватории в 2021 г.

Особенности состава, структуры и количественного обилия этих группировок отражают различные условия существования донных организмов в данном биотопе, а именно, глубину, тип грунта, уровень загрязнения донных отложений, содержание растворенного кислорода и т.д. Так, сообщество 2 в Амурском зал. обитает в интервале глубин 10–17 м на илистых осадках и представлено полихетами *Maldane sarsi*, *Scalibregma inflatum*, офиурой *O. sarsii vadicola*, а также коричневой морской звездой *Luidia quinaria bispinosa*.

Сообщество 1, расположенное в прол. Босфор Восточный на глубине от 19 до 35 м на смешанных грунтах, представлено двустворчатыми моллюсками рода *Masoma*, а также офиурами *O. sarsii vadicola*.

На ст. U103C (12 м, мелкозернистый песок) расположена группировка сердцевидного морского ежа *Echinocardium cordatum*.

На ст. U100 (20 м, алевроит) отмечена группировка офиуры *Ophiura sarsii vadicola* и полихеты *Scoletoma longifolia*.

На ст. A24 в Амурском зал. (22 м, илистые осадки) выделяется сообщество форонид.

Долговременные изменения в бентосе

Амурский залив. Первые детальные изучения донной фауны Амурского зал. 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 зал. 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 [5, 7, 18]. Комплексные экологические исследования, выполненные в заливе, показали, что изменения в видовой структуре бентоса связаны, главным образом, с процессами эвтрофикации и загрязнения [6, 8]. 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 [5, 6, 8].

Исследования, предпринятые в начале текущего столетия, показали, что на экосистему залива продолжает оказывать влияние процессы хронического загрязнения и прогрессирующей эвтрофикации [9]. Содержание многих поллютантов в донных отложениях

превышали пороговые концентрации [7]. Материалы экспедиции ДВНИГМИ в 2019 г. и в 2021 г. показали, что в донных отложениях Амурского зал. наиболее значительное превышение пороговых концентраций характерно для $C_{орг.}$ и НУ [9, 20].

В табл. 4 приведены количественные показатели бентоса и доминирующие виды на исследуемых станциях Амурского зал. в течение ряда лет нового 21 тысячелетия. Как видно из данных, в течение всех лет наблюдений в бентосе преобладают 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*).

Таким образом, в 2021 г. видовой состав бентоса и количественные показатели на трех обследованных станциях Амурского зал. позволяют сделать вывод о значительном влиянии загрязнения, в том числе и органического, на донные сообщества вблизи Владивостока.

Уссурийский залив. Рассматривая долговременные изменения бентоса, следует отметить, что изменения в бентосе в Уссурийском зал. 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].

Табл. 4. Сравнительная характеристика бентоса исследуемых акваторий по годам

Годы	Кол-во проб	Доминирующие виды, (экз/м ²)	B	A	S	Доминирующие группы (экз/м ²)	Доминирующие группы (г/м ²)
Амурский залив							
2001	12	<i>Aphelochaeta 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>Aphelochaeta 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>Aphelochaeta pacifica</i>)	311,7±143,1	4 630,0±1 491,6	35	Polychaeta, Phoronida	Phoronida
Уссурийский залив							
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
2021	4	<i>Scoletoma longifolia</i>	188,9±114,6	2 545,0±793,6	48	Polychaeta	Echinoidea
Пролив Босфор Восточный							
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

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/м^2 и была сопоставимой с биомассой, отмеченной в Уссурийском зал. в 30-х гг. Однако, согласно данным В.Л. Климовой [16], в Уссурийском зал. также наблюдалось сокращение биомассы и численности некоторых видов (*T. fortilirata*, *M. sarsi*, *S. armiger*).

В 1994 г. биомасса бентоса ($264,7 \text{ г/м}^2$) 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 *Eciurus echiurus*, моллюск *Macoma orientalis* и полихета *Azychis* 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 зал. [8].

В 2001 г. средняя общая биомасса в Уссурийском зал. была сравнима с биомассой, полученной в 30-х, 70-х и 1994 гг.: 170-200, 218,0 и $264,7 \text{ г/м}^2$, соответственно. Вклад различных фаунистических групп в суммарную биомассу был также почти одинаков [21]. Количественные показатели бентоса в 2001 г. были сопоставимы с таковыми, полученными в 1994 г. Также 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 зал. 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 табл. 4 показывают, что в последующие годы (2016-2021 гг.) основу бентоса составляли полихеты, офиуры, двустворчатые моллюски и реже сердцевидные морские ежи. Отметим также, что количественные показатели бентоса в исследуемый период сопоставимы. Состав доминирующих видов также достаточно стабилен.

В целом, состояние бентоса исследуемого участка Уссурийского зал. 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 *D. cardalia*, реже - форониды).

Визуальные наблюдения на побережье Уссурийского зал. (б. Лазурная) в августе 2019-2022 гг. свидетельствуют об очень сильном загрязнении пластиком, мусором, строительным материалом, предположительно поступающих в результате водного переноса с восточного побережья Уссурийского зал. (завод «Звезда») и судов рыбодобывающих компаний (рис. . Здесь же отмечено массовое развитие макрофитов (морских водорослей и трав), что является результатом органического загрязнения вод в результате антропогенной нагрузки туристической отрасли.







Рис. 5. Загрязнение береговой полосы в районе отдыха в б. Лазурной

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 табл. 4, бентос пролива в исследуемый период (2001, 2016, 2019, 2021 гг.) был представлен тремя группами - двустворчатыми моллюсками, офиурами и полихетами. Численно доминировали полихеты и офиуры, тогда как по биомассе преобладали двустворчатые моллюски. Среди доминирующих видов бентоса отмечены виды-индикаторы загрязнения – *A. pacifica*, *D. cardalia*. Количественные

показатели были достаточно стабильны за исключением таковых, отмеченных в 2001 г. Величина общей биомассы остается высокой на протяжении последних лет.

Несмотря на высокое загрязнение донных осадков НУ, превышающее пороговый уровень бентос пролива характеризуется благополучным состоянием, вероятно благодаря активной гидродинамике, присутствию смешанных осадков и хорошему кислородному режиму.

Таким образом, анализ материалов, полученных в 2021 г., свидетельствует, что на экосистему зал. Петра Великого продолжают оказывать влияние процессы хронического загрязнения и прогрессирующей эвтрофикации. Особенно сильное влияние антропогенного фактора отмечается в Амурском зал. вдоль городской черты, где отмечен продолжающийся рост численного обилия форонид - показателей органического загрязнения.

Как отмечено выше, превышение пороговых значений для С орг. в осадках было выявлено на 94% обследованной акватории Амурского и Уссурийского заливов и в прол. Босфор Восточный, а для ОСНУ — 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 2021 г. превышение пороговых концентраций было выявлено в прол. Босфор Восточный для ОСНУ.

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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Руководство по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 239 с.
2. UNEP: Statistical analysis and interpretation of marine community data. Reference Methods for Marine Pollution Studies. — UNEP, 1995. — № 64 —75 p.
3. Пропп М.В. Экология прибрежных донных сообществ Мурманского побережья Баренцева моря. — Л.: Наука, 1971. — 132 с.
4. Нейман А.А. Количественное распределение и трофическая структура бентоса шельфов Мирового океана. — М.: ВНИРО, 1988. — 101 с.
5. 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.

6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Hyland J., Bathis L., Karakassis I., Magni P., Petrov A., Shine J., Vestergaard O., Warwick R. Organic carbon content as an indicator of stress in the marine benthos // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* — 2005. — Vol. 295. — Pp. 91–103.
11. 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.
12. Обзорная информация. Нефтяные углеводороды в морских донных отложениях: химические и биологические аспекты / Под. Ред. И.А.Шлыгина. — Обнинск, 1986. — 46 с.
13. Патин С.А. Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. — М.: ВНИРО, 1997. — 349 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. 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.

21. 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.

Приложение. Список видов придонной макрофауны по данным 2021 г.

Таксон	Амурский зал.	Уссурийский зал.	Прол. Босфор Восточный
Nemertea			
Nemertea Indet. N 1	+	+	+
Nemertea Indet. N 2			+
Nemertea Indet. N 3			+
Nemertea Indet. N 4			+
Priapulida			
<i>Priapulus caudatus</i> Lamarck, 1816		+	+
Polychaeta			
<i>Ampharete</i> sp.			+
<i>Anobothrus gracilis</i> (Malmgren, 1866)		+	
<i>Aphelochaeta pacifica</i> (Annenkova, 1937)	+		+
<i>Aricidea</i> sp.	+	+	
<i>Bispira crassicorne</i> (Sars, 1851)	+		
<i>Bispira</i> sp.			+
<i>Chaetozone setosa</i> Malmgren, 1867		+	+
<i>Chone</i> sp.	+	+	
<i>Cistenides</i> sp.		+	+
<i>Eteone</i> sp.		+	+
<i>Eulalia bilineata</i> (Johnston, 1840)		+	
<i>Glycera capitata</i> Örsted, 1842			+
<i>Goniada maculata</i> Örsted, 1843	+	+	+
<i>Harmothoe imbricata</i> (Linnaeus, 1767)			+
<i>Magelona longicornis</i> Johnson, 1901	+		
<i>Maldane sarsi</i> Malmgren, 1865	+	+	+
<i>Melinna elisabethae</i> McIntosh, 1914	+		+
Maldanidae gen. sp.			+
<i>Nephtys</i> sp.		+	+
<i>Nereis</i> sp.	+		+
<i>Notomastus latericeus</i> Sars, 1851	+		+
<i>Onuphis iridescens</i> (Johnson, 1901)		+	
<i>Pherusa plumosa</i> (Müller, 1776)			+
<i>Pherusa</i> sp.		+	
<i>Pholoe</i> sp.			+
<i>Phyllodoce groenlandica</i> Örsted, 1842		+	
<i>Pilargis pacifica</i> Zachs, 1933	+		+
<i>Polydora</i> sp.	+	+	+
Polynoidae Indet. N 1	+	+	+
Polynoidae Indet. N 2	+		
Polynoidae Indet. N 3	+		
Polynoidae Indet. N 4	+		
<i>Potamilla</i> sp.			+
<i>Praxillella praetermissa</i> (Malmgren, 1865)		+	
<i>Praxillella</i> sp.		+	
<i>Scalibregma inflatum</i> Rathke, 1843	+	+	+
<i>Schistomeringos japonica</i> (Annenkova, 1937)	+	+	+
<i>Sigambra bassi</i> (Hartman, 1945)	+	+	+

<i>Scoloplos armiger</i> (Müller, 1776)		+	+
<i>Scoletoma longifolia</i> (Imajima & Higuchi, 1975)	+	+	+
<i>Spiophanes uschakowi</i> Zachs, 1933		+	
Terebellidae Indet.			+
Cirripedia			
<i>Balanus</i> sp.			+
Amphipoda			
<i>Corophium crassicorne</i> Bruzelius, 1859		+	
<i>Euohaustorius eous</i> (Gurjanova, 1951)		+	
Gammaridae Indet.			+
<i>Grandifoxus longirostris</i> (Gurjanova, 1938)		+	
<i>Ischyrocerus</i> sp.	+		
<i>Orchomenella</i> sp.		+	
<i>Pacifoculodes breviops</i> (Bulyčeva, 1952)		+	
<i>Protomedeia fasciata</i> Krøyer, 1842	+		
Cumacea			
<i>Diastylis paralaskensis</i> Vassilenko & Tzareva, 1990		+	+
<i>Diastylopsis dawsoni calmani</i> Derzhavin, 1926	+		
Mysidae			
<i>Boreoacanthomysis schrencki</i> (Czerniavsky, 1882)		+	
Decapoda			
<i>Alpheus</i> sp.	+		
<i>Crangon amurensis</i> Bražnikov, 1907	+		
<i>Pinnixa rathbuni</i> T Sakai, 1934		+	+
Gastropoda			
<i>Bela erosa</i> (Schrenck, 1861)	+		+
<i>Collisella</i> sp.			+
<i>Cryptonatica janthostoma</i> (Deshayes, 1839)		+	
<i>Philine</i> sp.		+	+
<i>Propebela</i> sp.		+	
Bivalvia			
<i>Acila insignis</i> (Gould, 1861)		+	
<i>Axinopsida subquadrata</i> (A. Adams, 1862)	+		+
<i>Callithaca adamsi</i> (Reeve, 1863)	+		
<i>Diplodonta semiasperoides</i> Nomura, 1932		+	
<i>Ennucula tenuis</i> (Montagu, 1808)		+	+
<i>Liocyma fluctuosa</i> (Gould, 1841)		+	
<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin, 1791)			+
<i>Macoma</i> sp.			+
<i>Macoma tokoyensis</i> Makiyama, 1927			+
<i>Mya</i> sp.		+	+
<i>Mya truncata</i> Linnaeus, 1758			+
<i>Mytilus trossulus</i> A. Gould, 1850			+
<i>Mizuhopecten yessoensis</i> (Jay, 1857)			+
<i>Leukoma jedoensis</i> (Lischke, 1874)		+	
<i>Raeta pulchella</i> (A. Adams & Reeve, 1850)		+	+
<i>Theora lubrica</i> Gould, 1861	+		+
<i>Thracia kakumana</i> (Yokoyama, 1927)		+	+
<i>Thracia</i> sp.			+

Phoronida			
Phoronida Indet.	+		
Asteroidea			
<i>Luidia quinaria bispinosa</i> Djakonov, 1950	+		
Ophiuroidea			
<i>Amphiodia fissa</i> (Lütken, 1869)		+	
<i>Ophiopholis aculeata</i> (Linnaeus, 1767)			+
<i>Ophiura sarsii vadicola</i> Djakonov, 1954	+	+	+
Echinoidea			
<i>Echinocardium cordatum</i> (Pennant, 1777)		+	
Holothuroidea			
Cucumariidae Indet.		+	