

# УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОЗООБЕНТОСА МОРСКОЙ АКВАТОРИИ ПОРТА ВЛАДИВОСТОК (ЗАЛИВ ПЕТРА ВЕЛИКОГО, ЯПОНСКОЕ МОРЕ)

Т.А. Белан, Л.С. Белан, А.В. Березов

## АННОТАЦИЯ

Приводятся данные по факторам среды, видовому составу, структуре и распределению макрозообентоса в бухтах Золотой Рог, Диомид, Улисс и проливе Босфор Восточный, полученные в 2001 г. Проанализированы также многолетние изменения в бентосе. Среди других акваторий наиболее загрязненными и экологически напряженными являются бухты Золотой Рог и Диомид. Донное население бухты Золотой Рог на протяжении всего периода наблюдений представлено несколькими видами устойчивых к загрязнению многощетинковых червей: *Capitella capitata*, *Nereis vexillosa*, *Schistomeringos japonica*, *Cirratulus cirratus*, *Tharyx pacifica*, имеющих низкую биомассу и высокую плотность поселения. «Мертвая зона», где живые организмы макрозообентоса в донных отложениях отсутствуют, регулярно отмечается в кутовой части бухты.

---

## ВВЕДЕНИЕ

С ростом антропогенной нагрузки на морские побережья стала очевидной необходимость разработки и применения эффективных методов управления прибрежными зонами, обеспечивающих устойчивое развитие природно-социальных комплексов морских побережий. В связи с этим возникает потребность в комплексном изучении основных параметров морской среды и экосистем, в том числе и тех районов, которые уже сейчас относятся к кризисным.

Одна из задач комплексной экологической экспедиции Дальневосточного научно-исследовательского гидрометеорологического института и Института Биологии Моря ДВО РАН в августе 2001 г. состояла в исследовании условий существования макрозообентоса морских акваторий вблизи г. Владивостока.

Настоящая статья посвящена исследованию особенностей состава и распределения макрозообентоса акватории порта Владивосток, включающей пролив Босфор Восточный, бухты Золотой Рог, Диомид и Улисс, в начале XXI столетия, а также долговременных изменений в бентосе исследуемых акваторий и выявлению их возможных причин.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами послужили пробы макрозообентоса и донных отложений, собранные в августе 2001 г. в бухтах Золотой Рог, Диомид, Улисс и проливе Босфор Восточный на ВРД «Профессор Насонов». Пробы грунта отбирали на

мониторинговых станциях ГСНК (рис. 1) дночерпателем Ван-Вина ( $0,11 \text{ м}^2$ ) от двух до четырех повторностей на каждой станции. Всего было отобрано 18 проб.

Содержание токсичных металлов (ТМ) в донных отложениях определялось методом непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии, нефтяных углеводородов (НУ) — методом инфракрасной спектрофотометрии, хлорорганических пестицидов (ХОП) — хроматографическим методом. Все химические анализы выполнялись сотрудниками Приморского УГМС с применением стандартных методик Росгидромета (Методические указания, 1996).

Грунт, предназначенный для биологического анализа, промывали через сито с ячейей 1 мм, организмы макрозообентоса фиксировались 4% буферным раствором формальдегида. Сырую массу определяли на аптечных и торсионных весах. Перед взвешиванием животных обсушивали на фильтровальной бумаге в течение одной минуты (Руководство..., 1983).

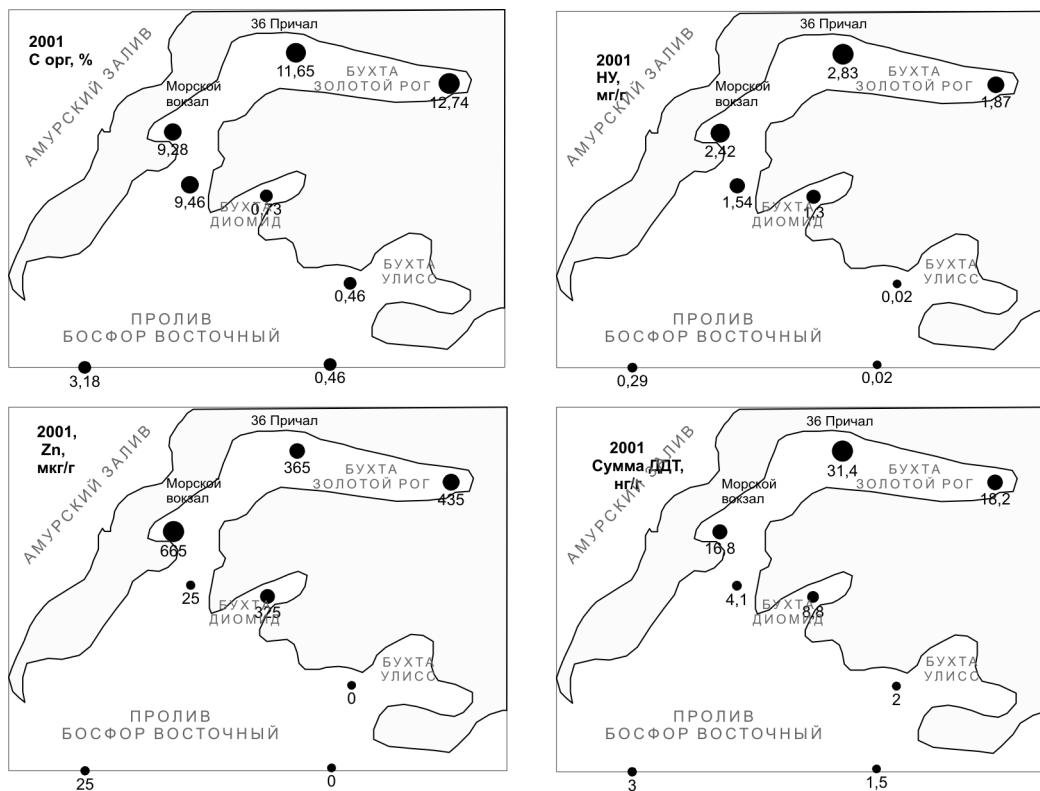


Рисунок 1. Расположение станций отбора проб, распределение органического углерода и отдельных поллютантов в донных осадках

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Общая характеристика района исследований

Владивосток — крупнейший тихоокеанский порт России и занимает всю акваторию прол. Босфор Восточный, а также бухты Золотой Рог, Диомид, Улисс и другие. Берега акватории практически на всем протяжении обустроены причальными сооружениями и заняты под стоянку судов. Здесь расположены также рыбный порт, судоремонтный завод «Дальзавод», части Тихоокеанского флота. Берега искусственно выровнены и местами расширены для портовых сооружений. Диапазон глубин исследуемых участков акватории варьирует в пределах 8—25 м в б. Золотой Рог, 13—18 м в б. Диомид и Улисс, 16—19 м в прол. Босфор Восточный.

Максимальная среднемесячная температура воды наблюдается в б. Золотой Рог (23,7°C). На распределение температуры оказывает существенное влияние сброс подогретых вод с промышленных предприятий. За последние 30 лет на температурный режим б. Золотой Рог накладывается антропогенное влияние, связанное с вводом в эксплуатацию Владивостокской ТЭЦ-2. За период с 1970 по 1984 гг. были запущены в эксплуатацию 12 котлоагрегатов и 5 турбоагрегатов, а мощность ТЭЦ-2 увеличилась в 6 раз (Ильчук и др., 2000). Характерной технологической особенностью ТЭЦ-2 является использование морской воды для охлаждения отработанного пара. Подогретая морская вода сбрасывается в б. Золотой Рог. За счет «термального загрязнения» температура воды зимой в поверхностном слое за последние три десятилетия возросла на несколько градусов и не опускается ниже 0°C (Лучин и др., 2007).

Среднегодовая соленость вод рассматриваемого района составляет не менее 32‰, а минимальная, отмечающаяся в июне—августе в б. Золотой Рог, составляет 23.4‰. Как показали многолетние наблюдения, благодаря влиянию промышленных и бытовых сточных вод соленость на поверхности бухты за последние 20 лет имеет тенденцию к понижению (Лучин и др., 2007).

Содержание кислорода в водной толще на различных станциях варьирует от 67 до 98% насыщения. Минимальное насыщение придонных вод кислородом, зарегистрированное в кутовой части б. Золотой Рог, может составлять 10—20% (Белан, 2001).

Наиболее загрязнены городскими бытовыми и промышленными стоками воды б. Золотой Рог, на которую приходится максимальный объем сбрасываемых неочищенных сточных вод (53,5% от всего объема, поступающего в залив Петра Великого). Большую часть (41,7%) сбросов представляет легко окисляемое органическое вещество (Огородникова, 2001).

Максимальное количество биогенных элементов наблюдается в кутовой части бухты. Здесь же отмечается сероводородное загрязнение донных осадков. Многочисленный флот также вносит существенный вклад в загрязнение вод. Наблюдения свидетельствуют, что в прибрежной зоне Японского моря наиболее загрязненной в течение многих десятилетий остается б. Золотой Рог (Tkalin, 1996; Tkalin *et al.*, 1993; Давыдова и др., 2005).

Донные отложения внутренней акватории бухт Золотой Рог и Диомид представлены, в основном, сильно заиленными гравелистыми осадками, которые характеризуются отчетливо бимодальным распределением частиц грунта по

фракциям: максимальная встречаемость приходится на фракции более 1 мм (до 42,6%) и фракции менее 0,01 мм (до 63,2%). Вследствие сложности гранулометрического состава осадки здесь практически не сортированы (энтропия гранулометрического распределения близка к 1).

Несколько выпадают из общего ряда донные отложения на выходе из б. Золотой Рог. Здесь в составе грунтов на фоне высокого содержания гравелистых фракций заметный вклад в состав осадка вносят песчаные фракции (до 40% в разных пробах), и распределение частиц по фракциям имеет три максимума: в области 5—2, 0,5—0,25 и 0,01—0,005 мм. Плохая сортировка донных отложений указанных бухт, очевидно, связана с антропогенным воздействием и неоднократными перемещениями грунта при дноуглубительных и строительных работах.

В прол. Босфор Восточный преобладают песчанистые грунты, часто с заметной примесью гравия. Для этих осадков характерно высокое содержание фракций 0,5—0,25 и 0,25—0,1 мм, плохая и реже умеренная сортированность.

Концентрации органического углерода в донных отложениях рассматриваемого района варьируют от 0,46% в прол. Босфор Восточный и в б. Улисс до максимальной величины 12,74% в кутовой части б. Золотой Рог (рис. 1). Высокие концентрации углерода отмечали и на выходе из б. Золотой Рог.

Концентрации ТМ и НУ в донных осадках на большей части акватории бухт Золотой Рог и Диомид характерны для высоко загрязненных промышленных прибрежных районов и во много раз превышают фоновые уровни. Концентрации трех элементов (свинца, меди и цинка) в б. Золотой Рог находятся на уровне максимальных пороговых значений (ERM), содержание трех остальных — кадмия, никеля и ртути — на уровне минимальных значений (EFL), способных оказывать негативное воздействие на организмы бентоса и их сообщества (Long *et al.*, 1995). Это район экстремально высокого загрязнения (Tkalin, 1996; Tkalin *et al.*, 1993; Belan *et al.*, 2003; Давыдкова и др., 2005).

В распределении общего содержания нефтяных углеводородов, суммы ДДТ и металлов в отложениях выделяется область их максимальных концентраций, расположенная в районе морского вокзала и 36 причала в б. Золотой Рог. Достаточно высокие значения НУ, суммы ДДТ и металлов отмечены в б. Диомид. Пролит Босфор Восточный и б. Улисс характеризуются гораздо более низкими величинами загрязняющих веществ (рис. 1).

Необходимо отметить, что одни только вышеперечисленные токсиканты, рассматриваемые здесь и присутствовавшие в донных осадках бухт Золотой Рог и Диомид, способны вызывать массовую гибель животных. Однако это далеко не полный перечень всех загрязняющих веществ, которые поступали в воды и донные отложения. При этом необходимо помнить о совокупном воздействии всех видов химических соединений на донные организмы, которое, безусловно, превосходит токсичное влияние отдельно рассматриваемых поллютантов.

Гораздо более низкие величины содержания поллютантов в донных отложениях наблюдаются в б. Улисс и прол. Босфор Восточный, хотя содержание хлорорганических пестицидов повсеместно превышает пороговые значения (Long *et al.*, 1995).

Рассматривая условия существования бентоса в исследуемом районе, необходимо отметить еще один техногенный фактор, непосредственно

воздействующий на донные организмы — разрушение среды обитания в результате строительства причальных сооружений, а также траления и волочения якорных цепей морских судов. Так, многотонные якоря образуют ямы глубиной до 1,5 м, а якорные цепи — борозды глубиной до 0,5 м и длиной до 100 м (Петренко, 2003).

### **Состав и распределение донной фауны**

Таксономический и видовой состав, а также видовое обилие бентоса различных акваторий порта отражает разный уровень антропогенной нагрузки. В наиболее загрязненных донных отложениях б. Золотой Рог идентифицировано 11 видов макрозообентоса, принадлежащих к 4 фаунистическим группам (табл. 1, 2). На одной из станций, расположенной в кутовой части бухты, живых организмов макрозообентоса не было обнаружено вовсе. Два вида найдено на станции, расположенной в срединной части, и по пять—шесть видов на выходе из бухты. Три вида имеют самую высокую частоту встречаемости, это полихеты *Capitella capitata*, *Tharyx pacifica*, *Schistomeringos japonica* — признанные индикаторы загрязнения (Gray *et al.*, 1982; Rygg, 1985a, 1985b; Белан, 2001).

В б. Диомид обнаружено всего лишь два вида полихет: *C. capitata* и *Th. pacifica*. Бентос б. Улисс представлен гораздо более разнообразно: найдено 29 видов, принадлежащих к 8 фаунистическим группам. Наиболее высокой встречаемостью (более 60%) характеризуются 14 видов, среди которых максимальными количественными показателями обладает двустворчатый моллюск *Acila insignis* (доминирует по биомассе, в среднем 10,9 г/м<sup>2</sup>) и полихеты *Dipolydora cardalia* (доминирует по численности, 290,9 экз/м<sup>2</sup>), а также *Glycera capitata*, *Onuphis holobranchiata*.

В прол. Босфор Восточный на двух станциях обнаружено 53 вида донных животных, относящихся к 8 группам (табл. 1, 2). Десять видов имеют самую высокую встречаемость (более 60%), из них максимальные величины плотности поселения и биомассы наблюдаются у полихет *Th. pacifica* (772,7 экз/м<sup>2</sup>, 3,3 г/м<sup>2</sup>), *G. capitata* (539,3 экз/м<sup>2</sup>, 3,3 г/м<sup>2</sup>). Высокую численность имеет *Mediomastus californiensis* (504,5 экз/м<sup>2</sup>).

Таблица 1. Список видов придонной макрофауны по данным 2001 г.

Таксон	б. Золотой Рог	б. Диомид	б. Улисс	пролив Босфор Восточный
<b>Actiniaria</b>				
<i>Edwardsia japonica</i> Carlgren				+
<b>Nemertea</b>				
<i>Cerebratulus marginatus</i> Renier				+
<i>Cerebratulus</i> sp.				+
Nemertea fam. gen. sp.				+
<b>Polychaeta</b>				
<i>Arabella iricolor</i> (Montagu)			+	+
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius)	+	+	+	+
<i>Capitellidae</i> gen. sp.	+			

Продолжение табл. 1.

Таксон	б. Золотой Рог	б. Диомид	б. Улисс	пролив Босфор Восточный
<i>Chaetozone setosa</i> Malmgren	+			+
<i>Chone cincta</i> Zachs				+
<i>Dipolydora cardalia</i> Berkeley			+	+
<i>Disoma</i> sp.				+
<i>Eteone longa</i> (Fabricius)				+
<i>Glycera capitata</i> Oersted			+	+
<i>Genetyllis costanea</i> (Marenzeller)				+
<i>Harmothoe imbricata</i>				+
<i>Lumbrineris longifolia</i> Imajima et Higuchi			+	+
<i>Magelona longicornis</i> Johson				+
<i>Mediomastus californiensis</i> Hartman				+
<i>Nereis zonata</i> Malmgren				+
<i>Nereis</i> sp.	+			+
<i>Nephtys</i> sp.				+
<i>Onuphis holobranchiata</i> Marenzeller			+	+
<i>O. iridescens</i> (Oohnson)				+
<i>Cistenides granulata</i> (Linneaus)				+
<i>Polynoidea</i> gen. sp.				+
<i>Prionospio malmgreni</i> Claparede				+
<i>Sabellidae</i> gen. sp.	+			
<i>Schistomeringos japonica</i> (Annenkova)	+			+
<i>Scolelepis fuliginosa</i> (Claparede)			+	+
<i>Scalibregma inflatum</i> Rathke				+
<i>Sigambra bassi</i> Hartman			+	
<i>Spiophanes bombyx</i> (Claparede)				+
<i>S. uschakovi</i> Zachs				+
<i>Typosyllis</i> sp.				+
<i>Tharyx pacifica</i> Annenkova	+	+	+	+
<b>Mysidacea</b>				
<i>Xenacanthomysis pseudomacropsis</i> W. M. Tattersall			+	
<b>Cumacea</b>				
<i>Leucon nasica</i> Lomakina				+
<i>Leucon</i> sp.				+
<b>Amphipoda</b>				
<i>Anonyx nugax</i> (Phipps)	+			
Gammaridae gen. sp.			+	
<i>Grandifoxus longirostris</i> Gurjanova			+	

Продолжение табл. 1.

Таксон	б. Золотой Рог	б. Диомид	б. Улисс	пролив Босфор Восточный
<i>Monoculodes breviops</i> Bulycheva			+	
<b>Decapoda</b>				
<i>Atelecyclidae</i> fam. gen. sp.				+
<i>Crangon amurensis</i> Brashnikov	+			
<i>Paradorippe granulata</i> (de Haan)	+		+	+
<i>Calianassa japonica</i> Ortmann			+	
<i>Pinnixa rathbuni</i> Sakai			+	+
<i>Telmessus cheiragonus</i> (Tilesius)			+	+
<i>Tritodynamia rathbuni</i> Shen			+	+
<i>Eriocheir japonica</i> de Haan				+
<b>Gastropoda</b>				
<i>Docoglossa</i> fam.gen. sp.	+			
<i>Bela erosa</i> (Schrenck)			+	
<i>Ophiodermella ogurana</i> (Yokoyama)			+	
<i>Philine argenata</i> Gould			+	+
<i>Cytharella deshayesii</i>				+
<i>Obesotoma</i> sp.				+
Turridae gen. sp.				+
<b>Bivalvia</b>				
<i>Acila insignis</i> (Gould)			+	
<i>Anisocorbula venusta</i> (Gould)				+
<i>Callithaca adamsi</i> (Reeve),				+
<i>Felaniella usta</i> (Gould)			+	
<i>Hiatella arctica</i> (Linne)			+	
<i>Nucula ovatotruncata</i> (Scarlato in Volova et Scarlato)			+	
<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin)			+	
<i>Macoma</i> sp.				+
<i>M. incongrua</i> (Martens)				+
<i>M. tokyoensis</i> Makiyama			+	
<i>Mya pseudoarenaria</i> Schlesch				+
<i>Mya</i> sp.				+
<i>Mya uzenensis</i> Nomura et Zinbo				+
<i>Protothaca euglypta</i> (Sowerby)				+
<b>Asteroidea</b>				
<i>Asterina pectinifera</i> (Muller et Troschel)			+	+
<b>Echinoidea</b>				
<i>Echinocardium cordatum</i> Pennant			+	

Таблица 2. Состав и количественное обилие бентоса в исследуемых районах

Фаунистические группы	Б. Золотой Рог	Б. Диомид	Б. Улисс	Прол. Босфор Восточный
Actiniaria	—	—	—	$0,02 \pm 0,06$ $1,52 \pm 3,71$
Nemertea	—	—	—	$2,53 \pm 3,48$ $6,05 \pm 4,68$
Polychaeta	$10,61 \pm 18,44$ $1474,10 \pm 2347,63$	$2,64 \pm 0,77$ $1145,34 \pm 2327,04$	$4,09 \pm 0,95$ $631,76 \pm 83,56$	$14,78 \pm 6,71$ $2957,28 \pm 1177,38$
Mysidaceae	—	—	$0,005 \pm 0,01$ $4,55 \pm 6,43$	—
Cumacea	—	—	—	$0,08 \pm 0,12$ $18,18 \pm 25,06$
Amphipoda	$0,10 \pm 0,24$ $1,52 \pm 3,71$	—	$0,11 \pm 0,02$ $54,54 \pm 25,71$	—
Decapoda	$0,11 \pm 0,22$ $6,06 \pm 11,01$	—	$1,14 \pm 1,31$ $63,63 \pm 25,71$	$0,47 \pm 0,44$ $53,03 \pm 40,41$
Gastropoda	$0,02 \pm 0,05$ $1,52 \pm 3,71$	—	$2,56 \pm 0,98$ $72,72 \pm 12,89$	$1,68 \pm 1,71$ $92,42 \pm 45,42$
Bivalvia	—	—	$12,44 \pm 4,81$ $122,72 \pm 44,99$	$2,64 \pm 3,19$ $66,66 \pm 59,65$
Asteroidea	—	—	$7,04 \pm 9,96$ $4,55 \pm 6,43$	$10,30 \pm 25,23$ $1,52 \pm 3,71$
Echinoidea	—	—	$16,00 \pm 22,63$ $9,09 \pm 12,86$	—
Прочие	—	—	—	+
<b>Всего</b>	<b><math>10,84 \pm 18,59</math></b> <b><math>1483,2 \pm 2356,96</math></b>	<b><math>2,64 \pm 0,77</math></b> <b><math>1145,34 \pm 2327,04</math></b>	<b><math>43,38 \pm 7,22</math></b> <b><math>963,54 \pm 179,97</math></b>	<b><math>33,31 \pm 25,06</math></b> <b><math>3207,24 \pm 1232,14</math></b>

Примечание:  
Приведены средние значения  $\pm$  стандартное отклонение; в числителе — биомасса ( $г/м^2$ ), в знаменателе — плотность поселения ( $экз/м^2$ ). Знаком + обозначено незначительное присутствие неидентифицированных ракообразных и червеобразных

Наиболее низкие значения общей биомассы бентоса (рис. 2) отмечены в бухтах Диомид ( $2,64 г/м^2$ ) и Золотой Рог ( $10,84 г/м^2$ ), где основу биомассы формируют полихеты (100 и 98%, соответственно). В б. Улисс и прол. Босфор Восточный значения биомассы достаточно близки ( $43,38$  и  $33,31 г/м^2$ , соответственно), однако в б. Улисс основная доля приходится на иглокожих (53%) (сердцевидного ежа *Echinocardium cordatum*, звезду *Asterina pectenifera*) и двустворчатых моллюсков (29%) (*A. insignis*, *Felaniella usta*, *Hiatella arctica*, *Nucula ovatotruncata*, *Macoma calcaria*). В прол. Босфор Восточный основная доля биомассы приходится на многощетинковых червей (44%) и иглокожих (31%) *A. pectenifera* (табл. 2).

Наиболее высокая численность бентоса зарегистрирована в прол. Босфор Восточный ( $3207,24 экз/м^2$ ), самая низкая численность отмечена в б. Улисс



(963,54 экз/м<sup>2</sup>, табл. 2, рис. 2). На всех рассматриваемых акваториях основа общей численности бентоса создавалась многощетинковыми червями.

### **Долговременные изменения бентоса**

Регулярные гидробиологические наблюдения на акватории порта Владивосток начали выполнять в середине 1970-х гг. на станциях Общегосударственной Службы Наблюдения и Контроля (ОГСНК). Однако эти данные практически не опубликованы. В работе Э.В. Багавеевой (1992) приводятся данные по видовому составу многощетинковых червей на основе материалов Приморского УГКС, собранных на 5 станциях ОГСНК за период с апреля по октябрь с 1979 по 1981 гг. ежеквартально. Анализ материалов показал, что полихеты б. Золотой Рог на протяжении всего периода наблюдений были представлены 15 видами (Багавеева, 1992). Из них три вида встречались практически постоянно и образовывали значительные скопления: *C. capitata* (максимальная плотность поселений 920 экз/м<sup>2</sup>), *Sch. japonica* (1770 экз/м<sup>2</sup>) и *C. cirratus* (1080 экз/м<sup>2</sup>). В кутовой части бухты встречалась исключительно *C. capitata*, шесть видов зафиксированы в районе 36 причала (*Phyllodoce groenlandica*, *Sch. japonica*, *Scoloplos armiger*, *Polydora sp.*, *C. capitata*, *Chone sp.*). На выходе из бухты число встреченных видов полихет увеличивалось до 10 (*Nereis zonata*, *N. vexillosa*, *Lumbrineris sp.*, *Sch. japonica*, *Polydora sp.*, *Prionospio sp.*, *C. cirratus*, *Th. pacifica*, *C. capitata*, *Chone sp.*). В б. Диомид было обнаружено 4 вида полихет: *Sch. japonica*, *Polydora sp.*, *Th. pacifica*, *C. Capitata*, среди которых доминировала *C. capitata* (до 4100 экз/м<sup>2</sup>). В прол. Босфор Восточный было встречено 7 видов полихет, из которых доминировала *Sch. japonica* (до 240 экз/м<sup>2</sup>) (Багавеева, 1992).

Таким образом, анализ видового состава таксоцена многощетинковых червей на акватории порта Владивосток в конце 1970-х — начале 1980-х гг. свидетельствовал, что подавляющее число видов относилось к категории нечувствительных к загрязнению видов, т.е. видов-индикаторов загрязнения.

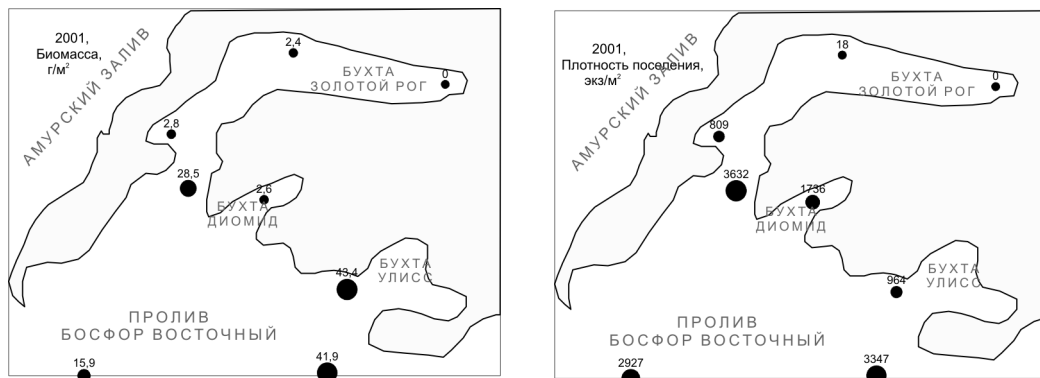


Рисунок 2. Распределение общей биомассы (г/м<sup>2</sup>) и плотности поселения (экз/м<sup>2</sup>) макрозообентоса

Наблюдения, выполненные на тех же станциях в 1986—1988 гг. в б. Золотой Рог, показали, что в кутовой части бухты живые организмы макрозообентоса отсутствовали (Белан, 2001). Небольшое число видов бентоса, представленного, главным образом, многощетинковыми червями, обнаружено в центральной части бухты. Здесь биомасса и плотность поселения бентоса в среднем составляли  $2 \text{ г/м}^2$  и  $96 \text{ экз/м}^2$ , соответственно. На выходе из бухты число видов и фаунистических групп увеличивалось, также как и, в целом, плотность поселения и биомасса бентоса. Следует иметь в виду, что столь высокая для сильно загрязненных акваторий биомасса ( $133,3 \text{ г/м}^2$ ) создавалась исключительно благодаря присутствию перифитонных организмов (*Balanus crenatus*, *Eudistyla polymorpha*, *Mytilus trossulus*), составляющих до 62% от общей биомассы, и только там, где имеется твердый субстрат. Биомасса организмов инфавны составляла всего  $28,7 \text{ г/м}^2$ . Доминирующие виды в б. Золотой Рог менялись от года к году, но чаще всего это были *N. vexillosa*, *C. capitata* и *Sch. japonica* (Белан, 2001).

В табл. 3 приведены количественные показатели макрозообентоса б. Золотой Рог в разные годы. Данные таблицы свидетельствуют, что только плотность поселения бентоса в 2001 г. значимо отличалась от аналогичного показателя в 1986—1989 гг.: среднее значение численности в 2001 г. было в 6 раз выше. Различия в средних величинах биомассы и индекса видового разнообразия в 2001 и в 1986—1989 гг. были статистически незначимыми. Следует отметить, что количественные показатели бентоса в б. Золотой Рог были самыми низкими по сравнению с аналогичными величинами в других обследованных участках зал. Петра Великого (Belan *et al.*, 2003). Нечувствительные к загрязнению виды полихет доминировали в 2001 г., также как и в 1970-х и 1980-х гг. (Багавеева, 1992; Белан, 2001). Так называемая «мертвая зона», где не было отмечено живых организмов макрозообентоса в донных отложениях, на станции в кутовой части бухты отмечалась и в 2001 г.

Данные по видовому составу и количественным показателям бентоса за период с 1980-х по 2001 г. показывают, что на протяжении этих лет состав макрозообентоса бухт Золотой Рог и Диомид не претерпел изменений.

Макрозообентос наиболее загрязненной акватории морского порта отличался низкой биомассой и видовым разнообразием, но высокой плотностью поселения животных, снижением числа фаунистических групп за счет элиминации чувствительных организмов и преобладанием толерантных к загрязнению видов.

Таблица 3. Сравнительная характеристика показателей бентоса б. Золотой Рог

Показатели	1986—1988	2001
Биомасса, $\text{г/м}^2$	17,7±24,0	10,8±18,6
Численность, $\text{экз/м}^2$	<b>221,8±291,9</b>	<b>1483,2±2356,9</b>
Число видов	4,2±2,2	4,0±2,5
Индекс видового богатства	0,4±0,2	0,3±0,2
Индекс видового разнообразия	1,4±0,6	1,2±0,6
Индекс выровненности	0,7±0,3	0,6±0,4
Примечание: Статистически значимые величины ( $p < 0,05$ ) выделены жирным шрифтом		

Высокая плотность создается за счет массового развития мелких организмов. Это прежде всего экологически пластичные виды полихет, имеющие короткий жизненный цикл и высокие темпы репродукции: *Th. pacifica*, *C. capitata*, *Sch. japonica*, *N. vexillosa*, *C. cirratus*.

Как отмечали авторы (Давыдкова и др., 2005), экстремальное загрязнение донных отложений в бухтах формирует специфические сообщества видов, выносящих высокие концентрации загрязняющих веществ. Причем структура и количественные характеристики видов таких сообществ ряда загрязненных прибрежных акваторий Японского моря очень близки. В бухтах Находка, Врангеля, Новицкого, Козьмино, Чажма, а также в зоне дампинга в восточной части Амурского залива, где загрязнение донных отложений было очень высоким в середине 1990-х гг., основу макрозообентоса формировали перечисленные выше виды (Белан, 1992, 1998, 1999; Kasyanov *et al.*, 1996; Naumov, 1996; Давыдкова и др., 2005; Фадеев и др., 2007). Максимальной плотностью поселения и частотой встречаемости отличался один из видов-оппортунистов — полихета *Th. pacifica*. Так, в районе морского вокзала в б. Находка плотность поселения этого вида достигала 20 000 экз/м<sup>2</sup> (Белан, 1999).

В б. Улисс и в прол. Босфор Восточный летом 2001 г. макрозообентос был представлен гораздо более разнообразно, чем в бухтах Золотой Рог и Диомид, что отражает гораздо более низкий уровень антропогенной нагрузки на эти акватории: ненарушенность субстратов и относительно невысокий уровень загрязнения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспедиции 2001 г. в заливе Петра Великого позволили оценить современный статус прибрежных донных сообществ. Среди других акваторий наиболее загрязненными и экологически неблагополучными являлись бухты Золотой Рог и Диомид. Донные сообщества этих бухт находились в состоянии деградации и характеризовались низким разнообразием и биомассой, а также исключительным преобладанием оппортунистических видов. Средние величины биомассы, числа видов и экологических индексов в бухтах Золотой Рог и Диомид были самыми низкими по сравнению с другими акваториями.

Имеющиеся биологические данные за период с 1970-х по 2001 г. по отдельным акваториям залива Петра Великого показали, что наиболее значительные изменения в структуре бентоса наблюдались в бухтах Золотой Рог и Диомид (Белан, 2001; Белан и др., 2006). Эти изменения, вероятно, начали происходить в первой половине 1970-х гг., когда рост урбанизации и индустриализации был наиболее интенсивным. Повышающийся уровень загрязнения морской среды и формирование типичных для загрязненных полузамкнутых акваторий субстратов привел к серьезным изменениям в структуре сообществ бентоса: виды бентоса с длительным жизненным циклом, чувствительные к загрязнению, были замещены короткоциклическими толерантными организмами, и таксономическое и видовое разнообразие резко снизилось.

**БЛАГОДАРНОСТИ**

Авторы выражают благодарность специалистам за определение видового состава бентоса: Л.Л. Будниковой, Б.М. Борисову, Е.Е. Костиной, Т.Г. Соболевской. Особую благодарность авторы приносят А.В. Чернышову за помощь в определении ряда видов и ценные замечания.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- Багавеева Э.В.** К экологии многощетинковых червей бухты Золотой Рог (Японское море) // Исслед. фауны морей. — **1992**. Т. 43(51). — С. 115—129.
- Белан Т.А.** Полихеты как индикаторы загрязнения Амурского залива (Японское море) // Многощетинковые черви и их экологическое значение. — СПб.: ЗИН РАН, **1992**. — С. 120—125.
- Белан Т.А.** Экологические исследования в заливе Стрелок и бухте Рифовой // Гидрометеорологические процессы на шельфе: оценка воздействия на морскую среду. — Владивосток: Дальнаука, **1998**. — С. 125—131.
- Белан Т.А.** О состоянии придонной макрофауны в заливе Находка в 1995 году // Гидрометеорологические и экологические условия дальневосточных морей: оценка воздействия на морскую среду. — Владивосток: Дальнаука, **1999**. — С. 167—175.
- Белан Т.А.** Особенности обилия и видового состава бентоса в условиях загрязнения (залив Петра Великого, Японское море). Дис. канд. биол. наук. — Владивосток: ДВГУ, **2001**. — 150 с.
- Белан Т.А. и др.** Состав и количественное распределение макрозообентоса в Амурском заливе / Т.А. Белан, Л.С. Белан // Океанология. — **2006**. Т. 46. №5. — С. 685—694.
- Давыдкова И.Л. и др.** Содержание тяжелых металлов в тканях доминирующих видов бентоса и в донных осадках бухты Золотой Рог Японского моря / И.Л. Давыдкова, Н.П. Фадеева, Л.Т. Ковкевдова, В.И. Фадеев // Биология моря. — **2005**. Т. 31, №3. — С. 202—206.
- Ильчук Б.В. и др.** 30 лет Владивостокской ТЭЦ-2 / Б.В. Ильчук, Л.И. Костырин, С.Я. Похожанов. — Владивосток, **2000**. — 10 с.
- Лучин В.А. и др.** Тенденции долгопериодных изменений в водах залива Петра Великого / В.А. Лучин, С.И. Кислова, А.А. Круц // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. — Владивосток: Дальнаука, **2007**. — С. 33—50.
- Методические указания.** РД 52.10.556-96. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. — М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, **1996**. — 56 с.
- Огородникова А.А.** Эколого-экономическая оценка воздействия береговых источников загрязнения на природную среду и биоресурсы залива Петра Великого. — Владивосток: ТИНРО-центр, **2001**. — 193 с.
- Петренко В.С.** Основные черты техногенеза на побережье Приморья // Тем. вып. ДВНИГМИ №4. — **2003**. — С. 175—183.

- Руководство** по методам биологического анализа морской воды и донных отложений. — Л.: Гидрометеиздат, **1983**. — 239 с.
- Фадеев** В.И. и др. Воздействие загрязнения на донные сообщества в районах крупных портов Дальнего Востока / В.И. Фадеев, Н.П. Фадеева // Реакция морской биоты на изменения природной среды и климата. — Владивосток: Дальнаука, **2007**. — С. 81—90.
- Belan** T.A. Benthos abundance pattern and species composition in conditions of pollution in Amursky bay (the Peter Bay, the Sea of Japan). In: Mar. Pollut. Bull. **2003**. — V. 49. No. 9. — P. 1111—1119.
- Belan** T.A. **et al.** The present status of bottom ecosystems of Peter the Great Bay (the Sea of Japan). / By T.A. Belan, A.V. Tkalin, T.S. Lishavskaya. In: Pacific Oceanography. **2003**. —V. 1. No. 2. — P. 158—167.
- Gray** J.S. **et al.** Objective selection on sensitive species indicative of pollution-induced change in benthic communities. / By J.S. Gray, T.H. Pearson. In: Mar. Ecol. Prog. Ser. Part I. Comparative methodology. **1982**. — V. 9. No. 2. — P. 111—119.
- Kasyanov** V.L. **et al.** The current status of marine bottom communities of Nakhodka Bay. / By V.L. Kasyanov, G.M. Kamenev, V.G. Tarasov, V.I. Fadeev. Proceedings of the International Conference on the Sustainability of Coastal Ecosystems in the Russian Far East. **1996**. — P. 31—32.
- Long** E.R. **et al.** Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. / By E.R. Long, D.D. MacDonald, S.L. Smith, F.D. Calder. In: Environmental Management. **1995**. — V. 19. — P. 81—97.
- Naumov** Yu.A. Ecological State of Nakhodka. Proceedings of the International Conference on the Sustainability of Coastal Ecosystems in the Russian Far East. **1996**. — P. 51—52.
- Rygg** B. Effects of sediment copper on benthic fauna. In: Mar. Ecol. Prog. Ser. **1985a**. — V. 25. No. 1. — P. 83—89.
- Rygg** B. Distribution of species along pollution-induced diversity gradients in benthic communities in Norwegian Fjords. In: Mar. Pollut. Bull. **1985b**. — V. 16. No. 12. — P. 469—474.
- Tkalin** A.V. **et al.** The state of the marine environment near Vladivostok, Russia. / By A.V. Tkalin, T.A. Belan, E.N. Shapovalov. In: Mar. Pollut. Bull. **1993**. — V. 26. No. 8. — P. 418—422.
- Tkalin** A.V. Chlorinated hydrocarbons in coastal bottom sediments of the Japan Sea. In: Environmental Pollution. **1996**. — V. 92. No. 2. — P. 183—185.