

Научная статья

УДК 574.587(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-581-600

EDN: ZEVAIV



СООБЩЕСТВА МАКРОЗООБЕНТОСА РЫХЛЫХ ГРУНТОВ
ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ОТКРЫТОЙ ЧАСТИ
ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО ЯПОНСКОГО МОРЯ
И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

А.В. Мощенко, Т.А. Белан, Б.М. Борисов*

Дальневосточный региональный научно-исследовательский
гидрометеорологический институт,
690091, г. Владивосток, ул. Фонтанная, 24

Аннотация. На основе применения современных статистических методов показано, что на полигонах, исследованных в 1992, 1993 и 1996 гг. на рыхлых грунтах и глубинах 5 м и более существовали не менее 10 сообществ макрозообентоса: I. *Scoletoma* spp. + *Ophiura sarsii*; II. *Aphelochaeta pacifica* (зал. Стрелок и бухта Рифовая), III. *O. sarsii* + *Amphiodia fissa*; IV. *Scoletoma* spp. + *Maetra chinensis*; V. *Scoletoma* spp. + *Maldane sarsii*; VI. *Acila insignis* (зал. Посьета и прилегающий участок); VII. *Scoletoma* spp. + *Echinocardium cordatum*; VIII. *Dipolydora cardalia* + *M. sarsi* + *O. sarsii*; IX. *Spiophanes uschakovi* + *E. cordatum* и X. *Ampelisca macrocephala* (акватория к северу от устья р. Туманной). Императивными факторами среды, обуславливающими их развитие, являлись характеристики донных отложений (степень заиления, средний размер зерен), глубина, уровень загрязнения и эвтрофикации. Восемь из этих сообществ — I, III–V и VII–X — находились в хорошем экологическом состоянии, были приурочены к слабо нарушенным (интактным или почти интактным) местообитаниям, а позитивные индикаторы загрязнения и эвтрофикации в их составе обычно были редки или отсутствовали. Группировка II занимала более поврежденные биотопы, имела в среднем умеренный статус на фоне массовой пролиферации позитивных индикаторов загрязнения. Формирование этой ассоциации, скорее всего, было связано с развитием сукцессионных процессов из-за снижения уровня загрязнения в местах ее обитания. Пониженный экологический статус имело и сообщество VI; его дифференциация была, вероятно, обусловлена спецификой гидролого-гидрохимического режима внутренних акваторий зал. Посьета и возможными последствиями хозяйственной деятельности человека.

Ключевые слова: мониторинг, залив Петра Великого, экологическое состояние, загрязнение, эвтрофикация, донные отложения, сообщества макрозообентоса

Для цитирования: Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Сообщества макрозообентоса рыхлых грунтов прибрежных акваторий открытой части залива Петра Великого Японского моря и их экологическое состояние // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 3. — С. 581–600. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-581-600. EDN: ZEVAIV.

* Мощенко Александр Владимирович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, avtoshchenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-6600-5654; Белан Татьяна Алексеевна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, tbelan@ferhri.ru, ORCID 0000-0003-1077-028X; Борисов Борис Михайлович, научный сотрудник, boris-borisov-54@mail.ru, ORCID 0000-0002-1214-6029.

Communities of macrozoobenthos on soft sediments in the coastal areas of open parts of Peter the Great Bay, Japan Sea and their ecological status

Alexander V. Moshchenko*, Tatyana A. Belan**, Boris M. Borisov***

*—*** Far-Eastern Regional Hydrometeorological Research Institute,
24, Fontannaya St., Vladivostok, 690091, Russia

* D.Biol., leading researcher, avmoshchenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-6600-5654

** Ph.D., leading researcher, tbelan@ferhri.ru, ORCID 0000-0003-1077-028X

*** researcher, boris-borisov-54@mail.ru, ORCID 0000-0002-1214-6029

Abstract. At least 10 communities of macrozoobenthos are determined by modern statistical methods on soft sediments in the coastal areas of Peter the Great Bay with the depth of ≥ 5 m surveyed in 1992, 1993 and 1996. They were: I. *Scoletoma* spp. + *Ophiura sarsii*; II. *Aphelochaeta pacifica* (I–II — in the Strelok Bay and Rifovaya Inlet); III. *O. sarsii* + *Amphiodia fissa*; IV. *Scoletoma* spp. + *Mactra chinensis*; V. *Scoletoma* spp. + *Maldane sarsi*; VI. *Acila insignis* (III–VI — in the Posyet Bay and adjacent area); VII. *Scoletoma* spp. + *Echinocardium cordatum*; VIII. *Dipolydora cardalia* + *M. sarsi* + *O. sarsii*; IX. *Spiophanes uschakovi* + *E. cordatum*, and X. *Ampelisca macrocephala* (VII–X — in the area at the Tumannaya/Tumen River mouth). Their development was determined by such environmental imperatives as the bottom sediments properties (silting degree, mean grain size), depth, and level of pollution and eutrophication. Majority of these communities (I, III, IV, V, VII, VIII, IX, and X) were in good ecological condition. Their habitats were slightly disturbed (intact or almost intact) and rare or never polluted and eutrophicated. The community II occupied more disturbed habitats with moderate ecological status reflected in higher indices of pollution. This community was rather likely formed in the process of succession in conditions of decreasing pollution. The community VI had a lower ecological status; its differentiation was probably caused by specific oceanographic regime of the Posyet Bay and anthropogenic impacts.

Keywords: ecological monitoring, Peter the Great Bay, ecological condition, contamination, eutrophication, bottom sediments, macrozoobenthic community

For citation: Moshchenko A.V., Belan T.A., Borisov B.M. Communities of macrozoobenthos on soft sediments in the coastal areas of open parts of Peter the Great Bay Japan Sea and their ecological status, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 3, pp. 581–600. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-581-600. EDN: ZEVAIV.

Введение

Мониторинг морской среды должен включать наблюдения как за факторами воздействия, так и за состоянием элементов биосферы — откликами живых организмов на эти воздействия — за изменением их структурных и функциональных показателей [Израэль, 1979]. Оценка экологического состояния может производиться на основе не только изучения изменений состава (например, наличия или отсутствия видов-индикаторов), обилия и структуры донного населения вдоль градиента загрязнения, но и анализа его сообществ, что относится к многомерным методам мониторинга [Statistical..., 1995*; Мощенко и др., 2017]. В нашей работе под термином сообщество (синонимы — группировка, ассоциация, агломерация) макрозообентоса мы, вслед за М.В. Проппом [1971], подразумеваем совокупность донных животных второго и третьего трофических уровней, которая населяет определенный биотоп и характеризуется определенными количественными соотношениями между видами.

Несмотря на множество публикаций, включая фундаментальную работу «Биоценозы залива Посьет Японского моря» [1967], а также материалы изучения акватории

* Statistical analysis and interpretation of marine community data. Reference methods for marine pollution studies. Nairobi: UNEP, 1995. № 64. 75 p.

к северу от устья р. Туманной*, сообществам дночерпательного бентоса этих районов уделено мало внимания. В 60-е гг. прошлого века донное население зал. Посыета рассматривали Л.В. Микулич и М.Г. Бирюлина [1970], в 70-е — В.Л. Климова [1980, 1981], в 90-е гг. — Т.А. Белан [2001]. Эти исследования весьма полезны при анализе долговременных изменений бентоса, но при выделении сообществ использовался метод В.П. Воробьева [1949], несостоятельность которого показана, например, К.Н. Несисом [1977]. Его применение ведет, в частности, к неоправданному, иногда значительному, увеличению количества распознаваемых синэкологических единиц. Группировки макрозообентоса зал. Стрелок, бухты Рифовой и района к северу от устья р. Туманной были дифференцированы Т.А. Белан [Белан, 1998; Belan, 2001] при помощи иерархического кластерного анализа и многомерного шкалирования, но из-за несовершенства методик того времени их число также выглядит явно завышенным.

Для разграничения сообществ макрозообентоса авторами был разработан алгоритм, включающий доказательство справедливости выделения таких агломераций с позиций статистики [Мощенко и др., 2021a]. Испытание элементов этого алгоритма было выполнено при изучении донной фауны у южной оконечности п-ова Муравьева-Амурского, а также в бухте Патрокл и у о. Русского [Мощенко и др., 2017, 2018a; Moshchenko et al., 2017]. Эти исследования позволили не только разделить группировки макрозообентоса, но и выявить факторы среды, определяющие их дифференциацию, причем на основе строгих статистических доказательств. Появились и более современные методы оценки экологического состояния донной биоты [Vorja et al., 2004, 2012; Belan, Moshchenko, 2005; Muxika et al., 2007; Мощенко, Белан, 2008; Ponti et al., 2009; Мощенко и др., 2018б, 2022a].

Цель работы — выделить и описать сообщества макрозообентоса и дать оценку их экологического состояния и статуса на основе применения современных методов мониторинга биоты морских водоемов.

Материалы и методы

Используемые данные. В работе использованы результаты экологических съемок ДВНИГМИ и ННЦМБ ДВО РАН (1992–1996 гг.) в зал. Петра Великого (заливы Посыета, Стрелок, бухта Рифовая и акватория к северу от устья р. Туманной). Методы взятия проб и их камеральной обработки опубликованы ранее [Мощенко и др., 2021a–в].

Анализ данных. Для количественной характеристики макрозообентоса использовали биомассу, плотность поселения и частоту встречаемости (B , A и F_q , далее — плотность и встречаемость), а также индексы видового богатства Маргалёфа (R , в наиболее простом его виде — как число таксонов в пробе), разнообразия Шеннона-Винера (H') и выравнимости Пиелу (e). Для описания размерного состава применяли W -статистику Кларка**. Значения всех этих индексов сами по себе малопонятны, и поэтому при описании сообществ использованы их вербальные оценки (прил. табл. 1***).

Общий уровень загрязнения характеризовали индексом TPF_{chem} [Belan, Moshchenko, 2005]. Степень антропогенного нарушения бентоса оценивали методом, основанным на зависимости индекса Шеннона-Винера двустворчатых моллюсков от TPF_{chem} [Мощенко, Белан, 2008]. Кроме того, применяли индекс TPF_{bio} , который «настроен» на биоиндикацию степени химического загрязнения донных отложений [Мощенко и др., 2022a]. Экологическое состояние и статус бентоса описывали индексами $AMBI$ и $M-AMBI$ (прил. табл. 2) [Vorja et al., 2004, 2012; Muxika et al., 2007]. Первый определяется по сумме удельных плотностей 5 групп видов, по-разному относящихся к содержанию C_{org} , второй — вычисляется на основе процедуры факторного анализа

* The state of environment and biota of the southwestern part of Peter the Great Bay and the Tumen River mouth. Vladivostok: Dalnauka, 2001. Vol. 1. 202 p.; Vol. 2. 178 p.; Vol. 3. 202 p.

** Statistical analysis... [1995].

*** Приложение размещено на странице статьи на сайте журнала (<http://izvestiya.tinro-center.ru>) как дополнительный файл.

индексов *AMBI*, *H'* и *R*. По определению индекс *AMBI* скорее должен характеризовать уровень эвтрофикации, чем загрязнения. Классификация таксонов бентоса по отношению к эвтрофикации и загрязнению выполнена по А.В. Мощенко с соавторами [2021б, 2022б]. Дополнительно использовали показатель экологического стресса (*ПЭС*), вычисляемый как доля таксонов, чьи индивидуальные показатели обилия сильно связаны с их общими для сообщества величинами (коэффициент корреляции при округлении $r = 0,7$ и более; средняя доля для биомассы и плотности) [Мощенко и др., 2018б].

Статистический анализ. Выделение сообществ осуществляли при помощи алгоритма, который включает разведочную группировку станций (процедуры кластерного анализа и бутстрепинга); классификацию станций, не классифицированных на первом этапе (нечеткие множества); статистическую оценку принадлежности станций к той или иной группе (*ANOSIM*); оценку статистической значимости связи обилия видов с факторами среды и географическим положением (тест Мантеля). Наименование сообществ производили по видам с наибольшим вкладом во внутрigrупповое сходство (*SIMPER*). Общие параметры выделенных группировок сравнивали при помощи тестов Крускала-Уоллиса и Манна-Уитни, выявляли императивные факторы среды (канонический анализ соответствий, *ССА*) и по необходимости визуализировали дифференциацию сообществ и косных воздействий (нелинейное шкалирование, *NMDS*) [Мощенко и др., 2021а]. В отличие от классического дисперсионного анализа (*ANOVA*) и корреляционного анализа, основанных на методе наименьших квадратов, что позволяет определить коэффициент детерминации — долю общей дисперсии, объясняемой тем или иным фактором и их суммой, — *ССА* использует метод максимального правдоподобия. Поэтому судить о «силе влияния» переменных можно только по величинам критерия согласия и расчетной величине критерия Фишера (χ^2 и *F*).

Результаты и их обсуждение

Общая характеристика макрозообентоса. На изученных акваториях найдено 249 видов и более крупных таксонов беспозвоночных, принадлежащих к 24 таксономическим группам (прил. табл. 3, 4). Наибольшее видовое богатство и встречаемость имели полихеты, двустворчатые, амфиподы и гастроподы (94, 50, 41 и 18 видов, встречаемость — 98,1, 88,7, 35,8 и 54,7 %). Немертин было обнаружено десять видов, десятиногих раков — шесть, морских ежей и изопод — по четыре, морских звезд и офиур — по три, актиний, эхиурид и голотурий — по два (встречаемость *Nemertea* и змеехвосток 67,0 и 68,9 %, остальных — 3,8–24,5 %). Кумовых раков, бороздчато-брюхих, сипункулид, мизид, форонид, приапулид, асцидий, пиявок, копепод, тонкопанцирных и стоматопод найдено по одному виду (0,9–17,9 %). Средняя биомасса бентоса достигала 306 ± 48 г/м², плотность — 1431 ± 151 экз./м². Основу биомассы составляли двустворчатые моллюски (136 ± 45 г/м² и 44,5 % от общей биомассы), а численности — полихеты (933 ± 124 экз./м² и 65,1 % от общей плотности).

Чаще всех встречались многощетинковые черви *Scoletoma* spp.* (80,2 % от числа станций); более чем на половине станций обнаружены полихеты *Scoloplos armiger*, *Glycera* sp. и *Goniada maculata* (74,5, 61,3 и 50,9 %), офиура *Ophiura sarsii* и не определенные до вида немертины (58,5 и 55,7 %). В состав животных, лидирующих по плотности, входили все те же *Scoletoma* spp., *O. sarsii*, другие многощетинковые черви *Dipolydora cardalia* (более 100 экз./м², 7,1–10,7 % от общей плотности), а преобладала полихета *Maldane sarsi* (179 ± 52 экз./м², 12,5 %, встречаемость — 43,4 %). Средняя биомасса большинства перечисленных видов была довольно низка, за исключением *O. sarsii*, а доминировал гребешок *Mizuhopecten yessoensis* — $92,5 \pm 68,8$ г/м²

* Комплекс видов рода *Scoletoma* (Lumbrineris): в пробах чаще всего присутствуют два представителя этого рода полихет: мелкие, весьма многочисленные и часто встречающиеся (*Scoletoma* sp. 1), и более крупные, относительно редкие и малочисленные (*Scoletoma* sp. 2). Последние в наибольшей степени подходили под описание *S. longifolia*, первые же рассматривались как его молодь.

(вклад — 30,2 %, встречаемость — 1,9 %). За ним с более чем трехкратным отставанием следовал сердцевидный морской еж *Echinocardium cordatum* — $27,9 \pm 9,4$ г/м² (9,1 и 15,1 %), затем морские звезды *Asterias amurensis*, *Patiria pectinifera* и двустворчатые моллюски *Tetrarca boucardi* (> 16 г/м², вклад — 5,4–8,7 %, встречаемость — 2,8–13,2 %).

Макрозообентос зал. Стрелок и бухты Рифовой представлен 110 видами донных животных (15 групп; прил. табл. 3, 4). Самое большое видовое богатство и встречаемость показали полихеты, двустворчатые и брюхоногие моллюски (58, 17 и 11 видов, встречаемость 100, 70,8 и 58,3 %). Амфипод было найдено семь видов, декапод — четыре, офиур — три, морских звезд — два (25,0, 16,7, 75,0 и 45,8 %), актиний, асцидий, кумовых раков, морских ежей, эхиурид, пиявок, голотурий и немертин — по одному. Встречаемость последних была весьма заметной — 66,7 % (остальных — 4,2–8,3 %). Биомасса бентоса достигала в среднем 1474 ± 172 г/м², плотность — 1320 ± 189 экз./м². Основной вклад в общую биомассу вносили асцидии и морские звезды ($43,4 \pm 12,8$ и $36,7 \pm 10,6$ г/м², 29,4 и 24,8 %), в численность — полихеты (1102 ± 163 экз./м² и 83,4 %). *Scoletoma* spp. обнаружен почти во всех точках взятия проб (встречаемость — 95,8 %); более чем на 50 % станций найдены *S. armiger*, *Glycera* sp., *G. maculata*, *O. sarsii* и немертины, а также другие многощетинковые черви — *Laonice cirrata* и *Aphelochaeta pacifica* (54,2–83,3 %). По плотности доминировал все тот же *Scoletoma* spp. (214 ± 47 экз./м², 16,2 %); в состав животных, лидирующих по этому показателю, входили *S. armiger* и *O. sarsii* (> 100 экз./м², 9,3 и 8,9 % от общей плотности). Средняя биомасса перечисленных видов была низка, а преобладала асцидия *Halocynthia aurantium* — $43,4 \pm 44,3$ г/м² (вклад — 29,4 %, встречаемость всего 4,2 %), сразу за ней следовал *P. pectinifera* — $36,1 \pm 36,9$ г/м² (24,5 и 8,3 %), за ним — *O. sarsii*, чей вклад был уже в 2 раза ниже.

В зал. Посыета и на прилегающей акватории найдены 133 вида донных животных (15 групп; прил. табл. 3, 4). Наибольшее богатство и встречаемость имели многощетинковые черви и двустворчатые моллюски (69 и 35 видов, встречаемость — 98,3 и 94,8 %). Гастропод найдено семь видов, декапод — пять, морских звезд, ежей и офиур — по три (встречаемость — 39,7, 29,3, 17,2, 12,1 и 56,9 %), амфипод, асцидий, голотурий, изопод, мизид, форонид, сипункулид и немертин — по одному, причем встречаемость последних, как и на предыдущем полигоне, была более чем заметной (60,3 и 3,4–20,7 %). Средняя биомасса бентоса достигала 430 ± 63 г/м², ее основу составляли двустворчатые моллюски (235 ± 60 г/м² и 54,5 % от общей биомассы); средняя плотность — 1153 ± 112 экз./м², а ее базой служили полихеты (726 ± 91 экз./м² и 63,0 %). Чаще других встречался *Scoletoma* spp. (70,7 %); более чем на половине станций обнаружены полихеты *S. armiger*, *M. sarsi*, *Glycera* sp., *Praxillella* sp. и немертины (53,4–67,2 %). *M. sarsi* и *Praxillella* sp., а также *O. sarsii* входили в состав животных, лидирующих по плотности (> 100 экз./м², 9,2–12,6 % от общей плотности), а доминировал все тот же *Scoletoma* spp. (213 ± 68 экз./м², 18,2 %). Средняя биомасса перечисленных видов была довольно низка, а преобладал *P. pectinifera* — $169,0 \pm 125,9$ г/м² (вклад — 39,1 %, встречаемость — 10,3 %); у ближайших преследователей — морских звезд, не определенных до вида, этот показатель был меньше в 3,5 раза.

Макрозообентос района к северу от устья р. Туманной представлен 198 таксонами (22 группы; прил. табл. 3, 4). По числу видов, как и на остальных акваториях, преобладали полихеты, далее следовали амфиподы и двустворчатые моллюски (соответственно 77, 41 и 31). Брюхоногие моллюски включали 14 видов, немертины — 11, остальные группы — по 1–3 вида. Встречаемость двустворчатых моллюсков, полихет и офиур превышала 90 %, амфиподы, гастроподы и немертины найдены более чем на 80 % станций. Средняя биомасса бентоса достигала 164 ± 30 г/м², плотность — 2217 ± 513 экз./м². По биомассе доминировали морские ежи, многощетинковые черви, двустворчатые моллюски и змеехвостки ($14,9$ – $27,9$ г/м², > 8 % от общей биомассы), по численности — *Polychaeta*, *Amphipoda* и *Orphiuroidea* (1264 ± 4363 , 552 ± 247 и 239 ± 85 экз./м², > 10 % от общей плотности). Среди найденных видов чаще других встречалась *G. maculata* (91,7 %), почти

такой же была встречаемость *S. armiger* и офиуры *Amphiodia (Amphiodia) fissa*. Еще 11 видов животных было обнаружено на более чем половине станций. Самым многочисленным был *D. cardalia* (446 ± 250 экз./м², вклад в общую численность — 20 %, встречаемость — 33,3 %), далее с заметным отставанием следовали *M. sarsi* и бокоплав *Ampelisca macrocephala* (соответственно 269 ± 162 и 287 ± 207 экз./м², доля — 12,1 и 12,9 %, встречаемость 54,2 и 37,5 %). И еще у двух видов плотность превышала 100 экз./м². Это *O. sarsii* и амфипода *Caprella* sp. (189 ± 81 и 121 ± 47 , 8,5 и 5,4 %, 75,0 и 41,7 %). По вкладу в общую биомассу с большим отрывом лидировал *E. cordatum* ($46,5 \pm 16,7$ г/м², доля в общей биомассе — 27,7 %, встречаемость — 45,8 %), следующие за ним *O. sarsii* и довольно редкий двустворчатый моллюск *Mercenaria stimpsoni* (встречаемость 12,5 %) заметно отставали по этому показателю ($13,2 \pm 6,3$ и $15,0 \pm 12,9$ г/м², доля — 7,8 и 8,8 %). Биомасса остальных видов макрозообентоса была менее 10 г/м² (вклад — < 6 %).

Сообщества макрозообентоса. По биомассе и плотности таксонов донных животных обследованные станции могут быть объединены в 10 групп (рис. 1, 2, прил. табл. 5–7):

I. Все станции бухты Рифовой и три станции в зал. Стрелок (*R11–18, S2, 6, 7*).

II. Станции в зал. Стрелок (*S1, 3–5, 8–10*).

III. Станции открытой области исследованной акватории зал. Посыета (*P4, 15, 22, 25, 32, 55, 56, 66, 94, 96, 98, 99, 101, 102, 104, 106, 108, 113, 116, 122, 130, 135, 137, 144, 145, 156*).

IV. Станции побережья в открытой части района работ зал. Посыета (*P10, 13, 17, 36, 61, 81, 100, 132*).

V. Станции акватории, «переходной» между открытой и закрытой частью зал. Посыета (*P18, 57–60, 62, 131, 133, 134, 168, 184–186*).

VI. Станции внутренних участков бухт и самого закрытого района зал. Посыета (*P136, 166, 183, 187–189, 197–199, 210, 212*).

VII. Станции прибрежной и центральной областей притуманганского района и станция в бухте Западной у о. Фуругельма (*T1, 5, 6, 7, 10, 11, 13, 20 и 23*).

VIII. Станции, приуроченные к донной депрессии между материком и о. Фуругельма (*T12, 17, 18, 19*).

IX. Отдельные станции в центре акватории, у южного берега о. Фуругельма и в проливе между материком и камнем Михельсона (*T8, 16, 26*).

X. Станции, располагавшиеся по внешнему краю исследованной акватории к северу от устья р. Туманной (*T2, 3, 4, 9, 14, 15, 24, 25*).

Одновременная кластеризация всех опробованных станций показывает довольно четкое отделение друг от друга исследованных акваторий, а уже внутри них — менее отчетливое, чем на рис. 1, обособление почти тех же самых кластеров, хотя и нарушенных в разной степени включением станций других полигонов (прил. рис. 1, 2). Агломерация полигонов в единые группы обусловлена тем, что внутри изученных районов доля общих видов заметно выше, чем между этими районами (рис. 3). Следует отметить, что самой оригинальной среди выделенных агломераций является группировка VI, имеющая наименьшую долю общих таксонов с другими сообществами.

Полученные ординации подтверждаются результатами процедуры *ANOSIM* и теста Мантеля (прил. табл. 8, 9). Поскольку определяющее и статистически значимое влияние на обилие видов макрозообентоса оказывает сумма факторов среды, группировка станций обусловлена экологически и, следовательно, выделенные агломерации в соответствии с определением являются сообществами. На обособление этих ассоциаций значимо действует и пространственная локализация, что особенно четко проявляется в зал. Стрелок и бухте Рифовой (прил. табл. 9). Переход одной агломерации в другую происходит здесь весьма плавно, о чем свидетельствует заметная доля станций с повышенными значениями степени принадлежности к «чужим» кластерам, причем точки *S8, S9, S2* и *R17* явно располагались в областях экотонов (см. прил. табл. 5). В

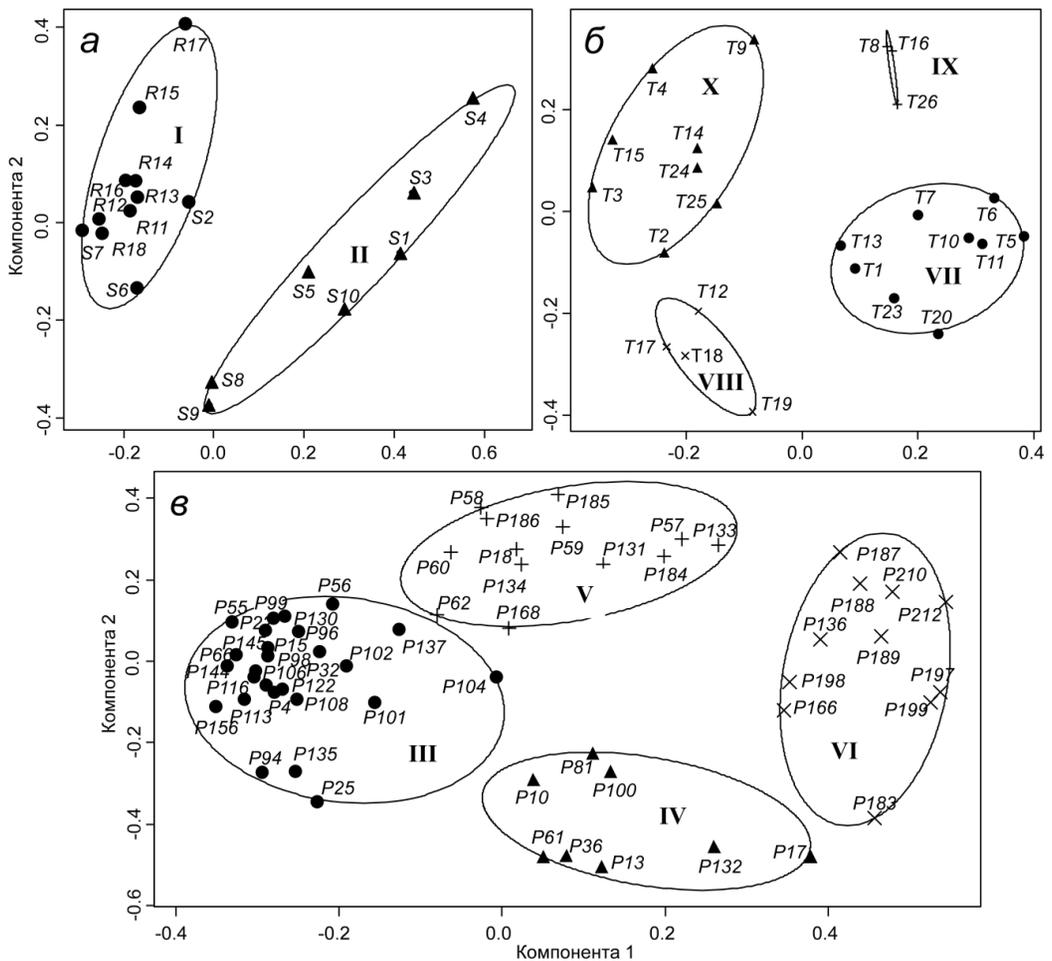


Рис. 1. Ординация станций алгоритмом нечеткой классификации в зал. Стрелок и бухте Рифовой (а), в районе к северу от устья р. Туманной (б), а также в зал. Посыета и на прилегающей акватории (в), компоненты 1 и 2 объясняют соответственно 39,4, 31,7 и 19,8 % изменчивости точек. Здесь и далее: римские цифры — выделенные сообщества

Fig. 1. Ordination of stations by algorithm of fuzzy classification for the Strelok Bay and Rifovaya Inlet (a), for the water area at the Tumannaya/Tumen River mouth (б), and for the Posyet Bay and adjacent area (в). The 1st and 2nd components explain in sum 39.4, 31.7 and 19.8 % of variability, correspondingly. Hereinafter: the communities are marked with roman numbers

зал. Посыета и прилежащем районе, а также на участке к северу от устья р. Туманной группировки разграничены отчетливее, и доля станций с повышенными значениями степени принадлежности к другим группам относительно невелика (прил. табл. 6, 7). Например, на притуманганской акватории лишь точка T13 имела высокую общность с кластером VIII, что можно увидеть и из ее пространственного расположения (см. рис. 2).

Основной вклад во внутригрупповое сходство станций группы I по плотности вносит *Scoletoma* spp., по биомассе — *O. sarsii* (прил. табл. 10). В группе II самым ценным видом для такого сходства, как по плотности, так и по биомассе, оказался *A. pacifica*, в группе III — по плотности — *O. sarsii*, по биомассе — *A. fissa*. В группе IV по обоим показателям лидируют *Scoletoma* spp., а вторым идет двустворчатый моллюск *Maetra chinensis*, лишь немного уступая первым. В группе V по плотности первое место занимают все те же *Scoletoma* spp., по биомассе — *M. sarsi*, в группе VI абсолютным лидером по вкладам в обе характеристики обилия является двустворчатый моллюск *Acila insignis*. Решающий вклад во внутригрупповое сходство станций группы VII по

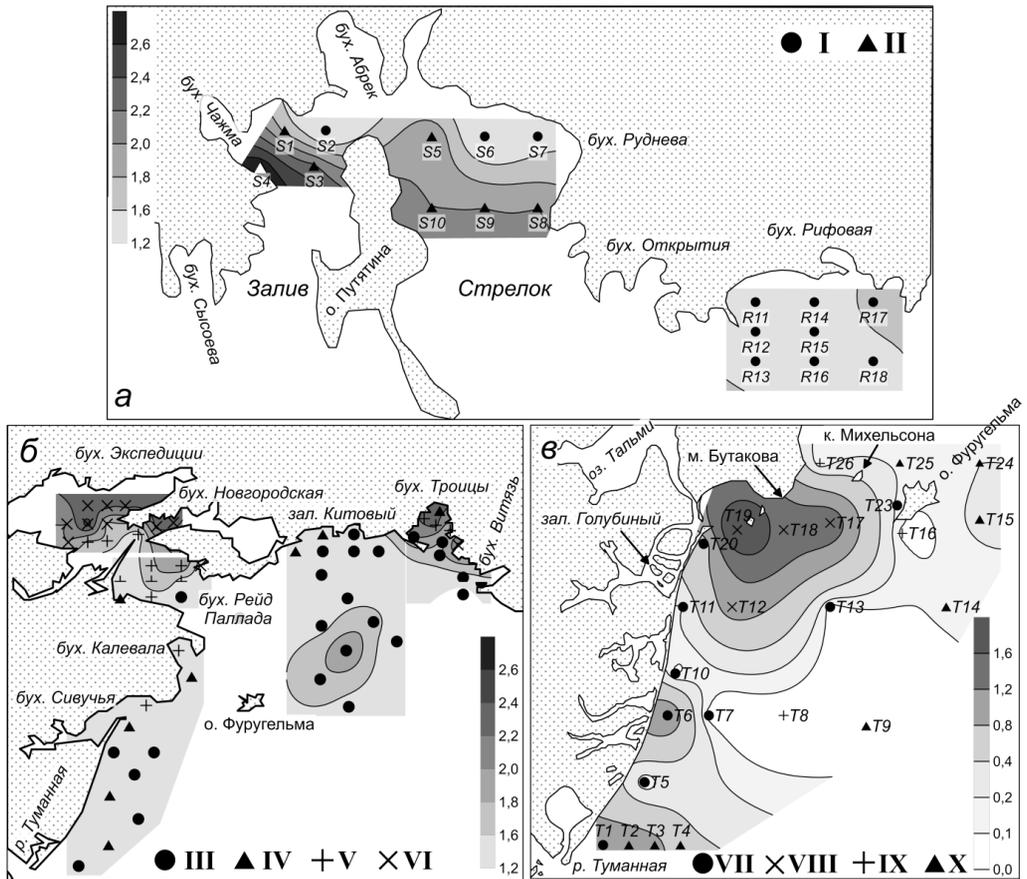


Рис. 2. Распределение TPF_{chem} (а, б, усл. ед.), концентраций C_{org} (в, мг/г) и сообществ макрозообентоса на исследованных акваториях

Рис. 2. Distribution of TPF_{chem} (а, б, conv. units), total organic carbon content (в, mg/g) and macrozoobenthic communities in the surveyed areas

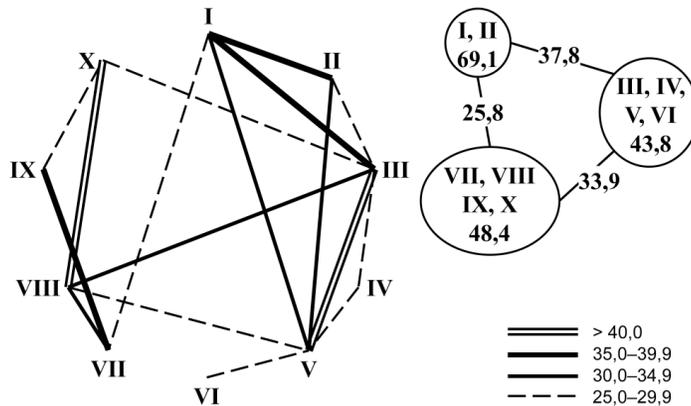


Рис. 3. Доля общих таксонов макрозообентоса в выделенных сообществах и на исследованных акваториях, %

Рис. 3. Portion of mutual taxa in the communities of macrozoobenthos and surveyed areas, %

плотности вносят *Scoletoma* spp., по биомассе — *E. cordatum*. В кластере VIII и для плотности, и для биомассы наиболее ценным является *D. cardalia*, однако *M. sarsi* и *O. sarsii* лишь немного отстают от него по обоим параметрам. В группе IX по вкладу в плотность первенствует полихета *Spiophanes uschakovi*, по биомассе — *E. cordatum*.

Более сложная ситуация с определением титульных видов наблюдается в группе X, где нет таких выраженных лидеров, как в других агломерациях. По вкладам во внутри-групповое сходство по плотности лидирует амфипода *Caprella* sp., за ней с небольшим отставанием следует *A. macrocephala*, далее, но еще с меньшим отрывом — кумовый рак *Diastylis* sp., полихеты *G. maculata* и *S. armiger*. По вкладам в сходство по биомассе, с разрывом в доли процента, виды расположились в следующем порядке: *G. maculata*, *A. fissa*, *S. armiger*, *A. macrocephala* и полихета *Phyllodoce groenlandica*. Однако *A. macrocephala* имеет 100 %-ную встречаемость, является абсолютным доминантом по плотности, а по биомассе занимает третье место, уступая только довольно редким *Glycera* sp. и двустворчатому моллюску *Astarte borealis*. Кроме того, чисто субъективно россыпь из десятков и сотен крупных амфипод в промывочном станке производят неизгладимое впечатление.

Очевидно, что выделенные группы следует рассматривать как сообщества: I. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii*; II. *A. pacifica*; III. *O. sarsii* + *A. fissa*; IV. *Scoletoma* spp. + *M. chinensis*; V. *Scoletoma* spp. + *M. sarsi*; VI. *A. insignis*; VII. *Scoletoma* spp. + *E. cordatum*, VIII. *S. uschakovi* + *E. cordatum*; IX. *D. cardalia* + *M. sarsi* + *O. sarsii* и X. *A. macrocephala*. У группировок зал. Стрелок и бухты Рифовой воздействие фактора «кластер» статистически значимо у биомассы, статистики Кларка, индексов *AMBI* и *M-AMBI* и маргинально — у индекса Шеннона-Винера (прил. табл. 11). В зал. Посыета и прилежащем районе, а также на притуманганской акватории такое воздействие значимо для большинства общих параметров сообществ, за исключением статистики Кларка и индекса *AMBI* (маргинально — индекса Пиелу) в первом случае и биомассы и $TPF_{\text{био}}$ — во втором.

Для группировки I. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii* характерны более высокие, чем у сообщества II. *A. pacifica*, значения всех биотических параметров (прил. табл. 11). Всего в ней отмечено 63 таксона беспозвоночных; 13 из них были найдены на половине и более станций, 100 %-ную встречаемость показал *Scoletoma* spp., *G. maculata* и *S. armiger* были найдены на 92 %, а *Glycera* sp., *L. cirrata* и *O. sarsii* — на 75 % станций. По плотности первенствовали *Scoletoma* spp. (268 ± 70 экз./м²), хотя *O. sarsii* по этому показателю был ему близок (243 ± 83 экз./м²). Наибольшую среднюю биомассу имел *H. aurantium* ($94,6 \pm 94,6$ г/м²), найденный всего на одной станции, а *O. sarsii* оказался лишь третьим после редкого *P. pectinifera* (соответственно $40,3 \pm 19,6$ и $78,8 \pm 78,8$ г/м², последний вид также обнаружен лишь на одной станции). Это богатое видами, но умеренно разнообразное сообщество с выравненным распределением видов по рангам и выраженным доминированием относительно крупных животных.

Сообщество II. *A. pacifica* имеет меньшие, чем у предыдущей группы, средние величины числа видов, биомассы, статистики Кларка, индексов Шеннона-Винера и Пиелу и в то же время довольно высокую плотность, примерно равную таковой сообщества I (прил. табл. 11). Это богатая видами, но бедная в информационном отношении агломерация с умеренно выравненным ранговым распределением видов, в которой слегка преобладают относительно мелкие животные. Всего в ней найден 41 вид (9 из них — более чем на 57 % станций); чаще других встречались *A. pacifica* и *Scoletoma* spp. (85,7 %), причем первый доминировал как по плотности, так и по биомассе (301 ± 141 экз./м² и $6,2 \pm 3,9$ г/м²), а второй имел низкую биомассу (269 ± 109 экз./м² и $1,3 \pm 0,6$ г/м²), незначительно отставая по плотности. Субдоминантным по этому показателю оказался редкий на этой акватории (14,3 %) двустворчатый моллюск *Cymatoica orientalis* ($2,5 \pm 2,7$ г/м²).

Среди ассоциаций, найденных в зал. Посыета и на прилежащей акватории, сообщество III. *O. sarsii* + *A. fissa* характеризуется самой высокой плотностью и видовым разнообразием (прил. табл. 11). Это богатое видами и разнообразное сообщество с умеренно выравненным распределением видов по рангам и выраженным доминированием относительно крупных животных. Всего в нем отмечено 97 видов беспозвоночных; 14 из них были найдены на половине и более станций, а чаще всех встречались *Praxillella* sp. и титульные виды (96,2 и по 92,3 %). По плотности лидировал *M. sarsi* (392 ± 145 экз./м²), хотя *O. sarsii* по этому показателю был ему довольно близок (328 ± 53 экз./м²), а *A. fissa*

замыкал первую пятерку видов (141 ± 27 экз./м²). Наибольшую среднюю биомассу имел *E. cordatum* ($58,5 \pm 32,2$ г/м², встречаемость — 19,2 %), а *A. fissa* и *O. sarsii* занимали в этом списке соответственно третье и четвертое места ($37,0 \pm 10,0$ и $23,0 \pm 4,6$ г/м²).

Сообщество IV. *Scoletoma* spp. + *M. chinensis* имеет меньшие, чем у предыдущей группировки, средние величины числа видов, плотности, биомассы, индексов Шеннона-Винера, АМВИ и М-АМВИ и в то же время более высокие статистики Кларка и индекса Пиелу (прил. табл. 11). Это умеренно богатая видами, но разнообразная группировка с выравненным ранговым распределением видов, в которой преобладают относительно крупные животные. Всего в ассоциации найдено 43 вида (6 из них — на половине и более станций), среди которых чаще других встречались титульные виды (соответственно 75,0 и 62,5 %). По плотности доминировал *S. armiger*, *Scoletoma* spp. занимал второе место, а *M. chinensis* замыкал пятерку ($43,5 \pm 23,2$, $21,6 \pm 8,8$ и $16,9 \pm 7,2$ экз./м²). По биомассе, как и в группировке III, лидировал *E. cordatum*, за ним следовал плоский морской еж *Scaphechinus griseus* ($44,5 \pm 47,6$ и $23,1 \pm 24,7$ г/м², встречаемость — 12,5 % у обоих), а *M. chinensis* и *Scoletoma* spp. располагались лишь на седьмом и девятом местах ($1,5 \pm 1,2$ и $0,9 \pm 0,4$ г/м²).

В группировке V. *Scoletoma* spp. + *M. sarsi* обнаружено 57 таксонов, причем титульные виды встречались чаще всех остальных (100 и 92,3 %); еще 10 представителей донной фауны были найдены более чем на половине станций. По плотности, числу видов, индексу Шеннона-Винера это сообщество уступает *O. sarsii* + *A. fissa*, занимая второе место среди выделенных на этой акватории ассоциаций, и имеет примерно равные группировке III значения *e* и *W*-статистики (прил. табл. 11). Это богатая и разнообразная агломерация с умеренно выравненным ранговым распределением видов, в которой также преобладают относительно крупные животные. По плотности в ней с большим отрывом лидируют *Scoletoma* spp. и *M. sarsi* (286 ± 118 и 155 ± 51 экз./м²), по биомассе — редкие (7,7 %) *A. amurensis* и приморский гребешок *M. yessoensis*. Относительно высокую биомассу этого сообщества дают главным образом именно эти два вида беспозвоночных: вклад первого составил 3,3 кг/м², второго — 2,6 кг/м² (станции P168 и P186). *M. sarsi* стоит по этому показателю лишь на шестом месте, *Scoletoma* spp. — на одиннадцатом ($10,1 \pm 3,7$ и $1,6 \pm 0,7$ г/м²).

Сообщество VI. *A. insignis* характеризуется наименьшими среди группировок этого района средним числом видов на станции, плотностью и величиной индекса Шеннона-Винера, но наибольшими биомассой и статистикой Кларка (прил. табл. 11). Подобно ассоциации V, высокая биомасса обусловлена приморским гребешком, пойманным на станции P166 и давшим 6,5 кг/м². Это умеренно богатая и разнообразная группировка с выравненным распределением видов по рангам, в которой, как и во всех остальных сообществах этого района, преобладают относительно крупные животные. Всего в ней найдено 27 видов макрозообентоса, но только два из них перешагнули 50 %-ный уровень встречаемости — сам *A. insignis* и *S. armiger* (63,6 и 54,5 %). По плотности лидирует двустворчатый моллюск *Arcuatula senhousia*, а *A. insignis* идет третьим, несколько уступая еще и другому двустворчатому моллюску — *T. boucardi* (74 ± 52 , 24 ± 16 и 21 ± 9 экз./м²). Абсолютным доминантом по биомассе является *M. yessoensis* (591 ± 620 г/м²), титульный вид — лишь четвертый, пропускает вперед *T. boucardi* и *P. pectinifera* (соответственно $18,5 \pm 8,2$, $158,0 \pm 111,0$ и $20,7 \pm 14,6$ г/м²).

В сообществе VII. *Scoletoma* spp. + *E. cordatum* найден 91 таксон макрозообентоса. Два вида — *G. maculata* и *Diastylis* sp. — показали 100 %-ную встречаемость на фоне весьма низких значений остальных параметров. По плотности лидировали *Scoletoma* spp., найденные на 8 из 9 станций (151 ± 59 экз./м², доля в общей плотности — 28,3 %; у следующего за ним *S. uschakovi* этот показатель составлял всего 5,8 %), но имеющие довольно скромную биомассу. По биомассе доминировал *E. cordatum* ($68,8 \pm 38,2$ г/м², 49,5 %), обнаруженный всего на 6 станциях (55,6 %), за ним следовал *M. stimpsoni* ($33,2 \pm 35,2$ г/м², 26,5 %, встречаемость — 22,2 %). Данная агломерация характеризуется наименьшими среди остальных группировок района к

северу от устья р. Туманной средними величинами числа видов, плотности, индексов Шеннона-Винера и Пиелу (прил. табл. 11). Это очень богатое видами, но бедное в информационном отношении сообщество с плохо выравненным распределением видов по рангам и выраженным доминированием относительно крупных животных.

В ассоциации VIII. *D. cardalia* + *M. sarsi* + *O. sarsii* обнаружено 82 таксона макрозообентоса; 8 из них — *D. cardalia*, *M. sarsi*, *S. armiger*, *Sch. japonica* и *G. maculata*, *A. fissa*, *O. sarsii* и гастропода *Philine* sp. — были встречены на всех станциях. Однако только *D. cardalia*, *M. sarsi* и *O. sarsii* имели высокие количественные показатели. *D. cardalia* был абсолютным лидером по плотности (2672 ± 1010 экз./м², доля в общей плотности — 40,6 %), за ней следовали *M. sarsi* и *O. sarsii* (1581 ± 793 и 887 ± 325 экз./м², 24,0 и 13,5 %); роль остальных видов — менее 2,7 %. *M. sarsi* и *O. sarsii* вносили примерно равный вклад в общую биомассу, а *D. cardalia* по этому параметру несколько отставала ($55,7 \pm 46,6$, $53,4 \pm 33,3$ и $43,9 \pm 10,1$ г/м², 18,0, 17,3 и 14,2 %). Заметную долю в общей биомассе имел и довольно частый *P. groenlandica* (встречаемость — 75 %, вклад — 11,6 %); доля остальных видов — < 6,2 %. По всем количественным показателям, кроме статистики Кларка, это сообщество заметно превосходит группировку VII, причем по плотности и биомассе оно занимает первое место среди всех выделенных на данной акватории ассоциаций (прил. табл. 11). Это очень богатое видами и разнообразное сообщество с умеренно выравненным распределением видов по рангам и преобладанием мелких беспозвоночных.

В группировке IX. *S. uschakovi* + *E. cordatum* 100 %-ную встречаемость имели 5 видов — полихеты *Onuphis iridescens*, *S. uschakovi*, не определенный до вида представитель семейства спионид, не идентифицированная немертина, амфипода *Grandifoxus longirostris* и гастропода *Derjuginella rufofasciata*; всего отмечено 67 таксонов макрозообентоса. Как и в сообществе VII, у всех этих «частых» видов остальные количественные показатели были низкими. По плотности доминировал *O. sarsii*, найденный на двух из трех станций этого кластера (184 ± 143 экз./м², доля в общей плотности — 24,8 %; у следующей за ней амфиподы *Pontogeneia* sp. — 12,9 %), но имеющий низкую биомассу. По биомассе преобладал *E. cordatum* (108 ± 68 г/м², 56,4 %, следующая за ним не определенная до вида кукумария — 16,5 %), также обнаруженный в двух точках взятия проб. По плотности, биомассе, числу видов и индексам *H'* и *e* эта группировка несколько превосходит ассоциацию VII (прил. табл. 11). Она обладает немного меньшими, но довольно высокими значениями *W*-статистики, что свидетельствует о преобладании здесь относительно крупных организмов. Это очень богатое видами, но умеренно разнообразное сообщество с плохо выравненным распределением видов по рангам.

И наконец, группировка X. *A. macrocephala*. В ней отмечены два вида со 100 %-ной встречаемостью — *A. macrocephala* и *S. armiger*, причем первый является абсолютным доминантом по плотности (859 ± 620 экз./м², доля — 34,1 %), а количественные характеристики второго невелики. По биомассе лидирует редкий на данной акватории *A. borealis* ($10,2 \pm 10,9$ г/м², 8,2 % от общей биомассы, встречаемость 12,5 %), а *A. macrocephala* занимает третье место ($9,2 \pm 7,2$ г/м², 7,4 %), несколько уступая еще и *Glycera* sp. ($9,8 \pm 10,0$ г/м² и 7,8 %, встречаемость — 37,5 %). Еще несколько видов — *A. fissa*, *E. cordatum*, *O. sarsii* — вносят относительно высокий вклад в формирование общей биомассы (6,4–6,7 %). Среди остальных ассоциаций данного района это сообщество лидирует по среднему числу найденных таксонов (134), занимает второе место по плотности и последнее — по биомассе (прил. табл. 11). Это очень богатое видами и разнообразное сообщество с умеренно выравненным распределением видов по рангам и примерно равным соотношением относительно мелких и крупных животных.

Итак, применение современных статистических методов показало, что на полигонах, изученных в 1992, 1993 и 1996 гг., существовали как минимум 10 сообществ макрозообентоса. Это заметно меньше, чем выделено Т.А. Белан [1998, 2001; Belan, 2001], которая в зал. Стрелок и бухте Рифовой описала соответственно три и четыре группировки, в зал. Посъета — десять (В.Л. Климова [1980] — 19 «биоценозов»), а

на притуманганской акватории — пять, причем мало похожих на агломерации, выделенные в настоящей работе. Очевидно, что небольшое количество синэкологических единиц, учитывая континуальность распределения бентосного населения, в большей степени соответствует реальной картине, чем его бесконечное дробление, вызванное применением метода В.П. Воробьева.

Императивные факторы и приуроченность группировок к условиям среды.

Развитие сообществ в зал. Стрелок и бухте Рифовой обусловлено действием загрязнения и заилением грунтов (рис. 4, прил. табл. 12). В зал. Посъета и на прилегающей акватории к этим факторам добавляется глубина, а TPF_{chem} включается в модель на маргинальном уровне (рис. 5, прил. табл. 12). Иные императивные факторы получены в притуманганском районе — кроме глубины, как и в зал. Посъета, в их состав входит содержание $C_{орг}$ и средний размер зерен осадка. Последний параметр характеризует напряженность среды гидрогенного седиментогенеза [Романовский, 1988], а его включение, вероятно, отражает исключительную открытость района работ. Отчетливое и значимое разделение группировок по отношению к факторам среды является подтверждением результатов теста Мантеля и, соответственно, вывода о том, что выделенные группы являются сообществами.

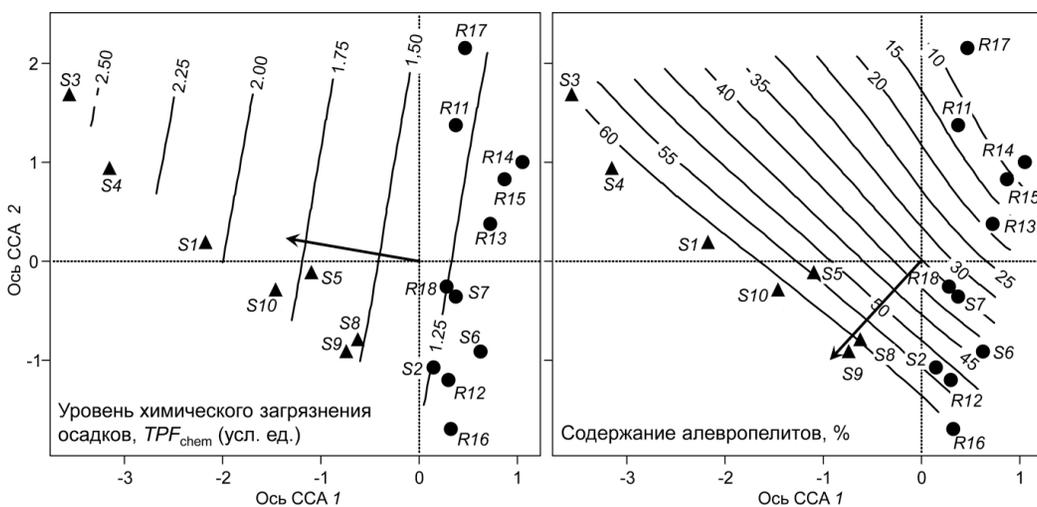


Рис. 4. Ординация станций методом CCA и результаты подгонки поверхностей (изолинии) для императивных факторов среды (зал. Стрелок и бухта Рифовая): стрелки — градиенты факторов; пунктирные линии — оси координат; кружки и треугольники — сообщества I и II

Fig. 4. Ordination of stations by method of canonical correspondence analysis (CCA) for the Strelok Bay and Rifovaya Inlet. Isolines — fitted surfaces for the imperative environmental factors; arrows — the factors gradients; dotted lines — coordinate axes; circles — community I; triangles — community II

В зал. Стрелок и бухте Рифовой сообщество I. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii* приурочено к области с минимальным загрязнением и заилением ($\leq 1,8$ ед. TPF_{chem} и $\leq 39,6\%$), хотя по последнему параметру, как и по глубине и содержанию $C_{орг}$, ниши выделенных группировок заметно перекрываются (см. рис. 4, прил. табл. 13). Ассоциация II. *A. pacifica* формируется в условиях, менее комфортных по загрязнению и эвтрофикации ($TPF_{chem} = 1,8-2,8$), и на грунтах с большим содержанием тонких частиц (30,6–60,6%). В зал. Посъета группировка III. *O. sarsii* + *A. fissa* заселяет открытую часть района, приурочена к мелкопсаммитовым осадкам и относительно большим глубинам, чем другие ассоциации (рис. 5, прил. табл. 13). Мелкие пески преобладали здесь на 18 из 27 станций, 19 точек располагались на глубинах > 20 м и лишь одна — P130 — на глубине < 10 м. Эта станция тяготеет к сообществу V. *Scoletoma* spp. + *M. sarsi* (прил. табл. 6). Ассоциация IV. *Scoletoma* spp. + *M. chinensis*, как и остальные группы — V. *Scoletoma* spp. + *M. sarsi* и VI. *A. insignis*, предпочитают меньшие глубины (соответственно до

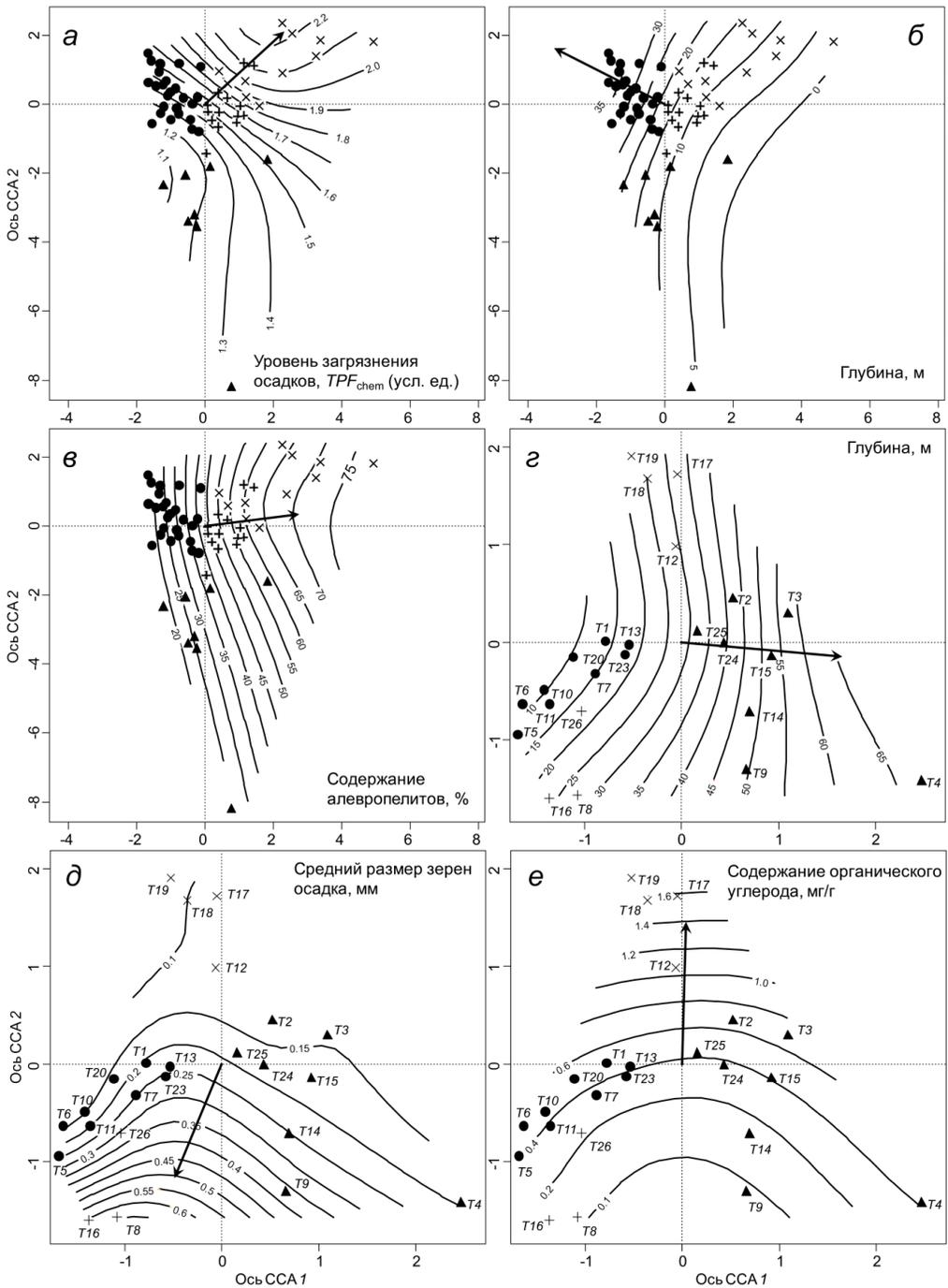


Рис. 5. Ординация станций методом ССА и результаты подгонки поверхностей (изолинии) для факторов среды: а–в — зал. Посыета и прилегающая акватория; г–е — притуманганская акватория; стрелки — градиенты факторов; пунктирные линии — оси координат; кружки, треугольники, прямые и косые крестики — сообщества соответственно III, IV, V и VI в зал. Посыета и VII, VIII, IX и X в районе устья р. Туманной

Fig. 5. Ordination of stations by method of canonical correspondence analysis (CCA) for the Posyet Bay and adjacent area (а, б, в) and for the area at the Tumannaya/Tumen River mouth (г, д, е). Isolines — fitted surfaces for the imperative environmental factors; arrows — the factors gradients; dotted lines — coordinate axes; circles, triangles, upright and oblique crosses — communities III, IV, V, and VI in the Posyet Bay and communities VII, VIII, IX, and X at the Tumannaya/Tumen River mouth, respectively

18, 16 и 22 м). В то же время последние две приурочены главным образом к заиленным пескам и илистым осадкам наиболее закрытых участков района и обитают в более суровых (особенно VI *A. insignis*) условиях загрязнения и эвтрофикации.

На акватории около устья р. Туманной сообщество VII. *Scoletoma* spp. + *E. cordatum* локализовано в относительно мелководном участке и тяготеет к мелким пескам с низким содержанием алевропелитов (рис. 5, прил. табл. 13). Ассоциация VIII. *D. cardalia* + *M. sarsi* + *O. sarsii* довольно жестко привязана к весьма специфической области района — впадине между материком и о. Фуругельма. Глубины здесь составляют 21–35 м, а грунты исключительно илистые с относительно высоким содержанием C_{opr} . Сообщество IX. *S. uschakovi* + *E. cordatum* обитало на глубинах 20–28 м, в двух случаях на смешанных крупных и средних песках со значительной примесью гравия (Т8 и 16) и в одном — на среднезернистых песках с заметной добавкой крупных псаммитов на фоне низкой концентрации C_{opr} . Группировка X. *A. macrocephala* тяготела к заиленным песчаным осадкам, главным образом на глубинах > 50 м. На всей акватории уровень загрязнения осадков был невелик и не превышал 2,3 ед. TPF_{chem} (2,8 и 2,5 в остальных районах).

Итак, сообщества бентоса изученных акваторий были приурочены к глубинам 5 м и более (вплоть до 67 м — максимальная глубина взятия проб) и различным типам осадков — от гравийных грунтов и песков до илисто-глинистых отложений при относительно невысоком уровне эвтрофикации и загрязнения, кроме группировки II. *A. pacifica* в зал. Стрелок. Императивными факторами среды, определяющими развитие этих агломераций, являлись параметры донных отложений (степень заиления, средний размер зерен осадка), глубина, уровень загрязнения и эвтрофикации.

Экологическое состояние и статус сообществ. В соответствии со средними величинами *AMBI* сообщество II и его местообитание являются умеренно поврежденными, а группировки I, III–X и их биотопы — слегка нарушенными (прил. табл. 2). Высокий экологический статус, учитывая значения *M-AMBI*, имеет лишь группировка I, статус агломераций II–V и VII–X следует рассматривать как хороший, а ассоциации VI — как умеренный. Однако внутри сообществ состояние и статус биоты заметно варьируют (прил. табл. 11). Например, у группировки II степень нарушения изменяется от легкой до умеренной, а статус — от плохого до высокого, у сообщества VI — от умеренно нарушенной до ненарушенной и от обедненного до хорошего.

Виды — позитивные индикаторы эвтрофикации и загрязнения (оппортунисты I и II порядка, экстремально толерантные и толерантные животные) — в небольших количествах встречаются во всех выделенных сообществах (прил. рис. 3). В наименее нарушенных группировках такие животные — *A. pacifica*, *Sch. japonica*, *D. cardalia*, другие полихеты *Capitella capitata*, *Chaetozone setosa* — обычно редки и не вносят существенного вклада в показатели обилия, за исключением первого из них, который может встречаться довольно часто. Примерами могут служить сообщества III. *O. sarsii* + *A. fissa* и X. *A. macrocephala*, где *A. pacifica* отмечена более чем на половине станций. С ростом загрязнения и эвтрофикации роль таких животных в составе группировок возрастает, достигая максимума в группировке II, где на долю *A. pacifica* приходится > 36 % общей плотности и биомассы. Другая закономерность — с ухудшением состояния среды и донного населения происходит увеличение доли эврибионтных по отношению к загрязнению таксонов и снижение числа стенобионтов.

Следует подчеркнуть, что порядок расположения сообществ в ряду роста *AMBI* и TPF_{bio} весьма похож (прил. рис. 3). Это отражает, с одной стороны, коррелированность изменений степени эвтрофикации и уровня загрязнения, а с другой — сходство гидробионтов по отношению к этим факторам. В то же время эти связи далеко не абсолютны: коэффициент корреляции *AMBI* и TPF_{bio} составляет < 0,7 ($p = 0,000$). *A. pacifica* по отношению к эвтрофикации является оппортунистом II порядка, а по связи с загрязнением — экстремально-толерантным видом, *D. cardalia* — соответственно оппортунист II порядка и толерантный вид и так далее (прил. табл. 4).

Иная ситуация наблюдается в изменениях статуса бентоса: с его снижением какие-либо отчетливые тенденции отсутствуют как в вариациях состава сообществ по отношению к эвтрофикации и загрязнению, так и в бионтности составляющих их организмов (прил. рис. 3). Более того, группировка, обитающая в самом поврежденном и загрязненном биотопе, имеет хороший экологический статус, тогда как наименьший — ассоциация VI. *A. insignis*, местообитание которой лишь слегка нарушено. Как бы то ни было, несмотря на некоторую противоречивость результатов применения различных подходов, 8 из 10 выделенных сообществ находятся в относительно хорошем состоянии и имеют как минимум хороший экологический статус. И лишь две группировки — II. *A. pacifica* и VI. *A. insignis* — могут вызывать в этом отношении некоторое беспокойство.

Необходимо отметить, что среди всех выделенных ассоциаций макрозообентоса именно сообщества II и VI имеют наибольшие величины ПЭС, что также может говорить об их неблагополучном состоянии (16,7 и 17,2 %, у остальных — 8,5–13,0 %; прил. табл. 11). Наряду с этим начало саккадических изменений этого параметра (перегиб кривой его зависимости от общей средней дисперсии характеристик обилия и экологических индексов, объясненной изменчивостью косных факторов) приходится примерно на 16–17 % [Мощенко и др., 2018б]. Очевидно, учитывая полученные данные, эта зависимость требует уточнения.

Начало 90-х гг. прошлого века характеризовалось уменьшением уровня загрязнения из-за снижения хозяйственной активности [Огородникова, 2001; Мощенко и др., 2020, 2021в]. Такое падение являлось изменением условий существования донного населения, что вело к сукцессии его группировок. Известно, что в областях, где наблюдается процесс реколонизации и, соответственно, сукцессионных изменений, можно найти множество различий в значениях структурных параметров даже на близко расположенных станциях [Bořja et al., 2006]. Это, например, внезапное увеличение богатства, разнообразия и обилия, что и наблюдается на акватории зал. Стрелок в местообитании сообщества II; подобные явления наблюдались в изменениях ассоциаций прол. Босфор Восточный [Мощенко и др., 2018а]. Справедливости ради следует отметить, что широкая изменчивость характеристик обилия и экологических индексов присуща всем без исключения выделенным группировкам, что наводит на размышления о стабильности условий среды в местах их существования.

Уровень загрязнения грунтов на изученных акваториях невелик, но TPF_{chem} явно участвует в дифференциации группировок в заливах Посъета, Стрелок и бухте Рифовой, по крайней мере с позиций статистики. Скорее всего, его значимость на первом участке объясняется коррелированностью TPF_{chem} и других, но природных факторов, исключая содержание C_{opr} : в составе сообщества VI отсутствуют оппортунисты I порядка, а доля оппортунистов II порядка от общего числа видов составляет всего 8,3 % (прил. рис. 3). Не велика по сравнению с группировкой II и доля толерантных и экстремально толерантных к загрязнению таксонов (20 и 5 %), не говоря уже об их количественном вкладе. Скорее всего, в снижении экологического статуса группировки VI «виновны» особенности гидролого-гидрохимического режима внутренних акваторий зал. Посъета (не исключая полностью загрязнение и эвтрофикацию), который характеризуется частыми понижениями солености, повышением содержания биогенов, а по некоторым данным и уменьшением концентраций растворенного кислорода в летний период [Григорьева, 2012]. Немалую роль, по-видимому, играет и долговременное использование этих участков под марикультуру, негативное действие которой на донное население хорошо известно.

Дночерпатели неудовлетворительно облавливают три группы видов [Жирков, 2010]. Во-первых, это подвижные и легкие организмы, сидящие на поверхности грунта: они убегают от дночерпателя или сдуваются при опускании его на грунт. Во-вторых, это крупные организмы, по размерам сопоставимые с дночерпателем, а также виды с низкой плотностью поселения — ошибка определения их численных показателей очень велика. В-третьих, это особи, закапывающиеся глубже, чем прони-

кает дночерпатель. Естественно, разные дночерпатели захватывают разную площадь дна и проникают в него на разную глубину. Наши сборы получены при помощи дночерпателя Ван-Вина (площадь захвата — 0,11 м²) и, учитывая указанную специфику работы этих устройств, при использовании, например, дночерпателя «Океан» могли бы получиться совсем другие сообщества, как, впрочем, и при использовании других методов их выделения.

Заключение

Итак, на исследованных в 1992, 1993 и 1996 гг. полигонах на рыхлых грунтах и глубинах 5 м и более существовало не менее 10 сообществ макрозообентоса: I. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii*; II. *A. pacifica* (зал. Стрелок и бухта Рифовая); III. *O. sarsii* + *A. fissa*; IV. *Scoletoma* spp. + *M. chinensis*; V. *Scoletoma* spp. + *M. sarsi*; VI. *A. insignis* (зал. Посъета и прилегающий участок); VII. *Scoletoma* spp. + *E. cordatum*; VIII. *D. cardalia* + *M. sarsi* + *O. sarsii*; IX. *S. uschakovi* + *E. cordatum* и X. *A. macrocephala* (акватория к северу от устья р. Туманной). Важнейшими (императивными) факторами среды, обуславливающими их дифференциацию, являлись характеристики донных отложений (степень заиления и средний размер зерен осадка), глубина, уровень загрязнения и эвтрофикации. Восемь из этих сообществ — I, III–V и VII–X — находились в хорошем экологическом состоянии и статусе и были приурочены к слабо нарушенным (интактным или почти интактным) местообитаниям. Это довольно разнообразные сообщества, имевшие сравнительно высокие характеристики обилия, причем в них преобладали в основном относительно крупные животные, а позитивные индикаторы загрязнения и эвтрофикации обычно были редки. Группировка II занимала более поврежденные биотопы, имела в среднем умеренный статус, низкое разнообразие и небольшую биомассу. Доминирование крупных представителей донной фауны не было выражено на фоне массовой пролиферации позитивных индикаторов загрязнения. Формирование этой ассоциации, скорее всего, было связано с развитием сукцессионных процессов из-за снижения уровня загрязнения в местах ее обитания. Пониженный экологический статус имело и сообщество VI, также характеризовавшееся обедненным видовым составом и невысоким разнообразием. Его дифференциация, вероятно, была обусловлена спецификой гидролого-гидрохимического режима внутренней акватории зал. Посъета и возможными последствиями хозяйственной деятельности человека, не приводящей к существенному росту загрязнения и эвтрофикации.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы благодарны рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати.

The authors are grateful to reviewers of the manuscript for their valuable comments taken into account in this article.

Финансирование работы (FUNDING)

Исследование не имело спонсорской поддержки.

The study had no sponsor funding.

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены.

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed.

The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Все авторы принимали участие в получении и первичной обработке данных, обсуждении полученных результатов и редактировании текста рукописи; статистическая обработка и написание текста — А.В. Мощенко.

Data collection and primary processing, discussion on results of the study — all authors jointly; statistical processing of the data and the text writing — A.V. Moshchenko.

Список литературы

Белан Т.А. Особенности обилия и видового состава бентоса в условиях загрязнения (залив Петра Великого, Японское море) : дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВГУ, 2001. — 141 с.

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.

Биоценозы залива Посыет Японского моря: гидробиологические работы с помощью аквалангов : моногр. / под ред. З.И. Барановой. — Л. : Наука, 1967. — 256 с. (Исслед. фауны морей; Т. 5(13).)

Воробьев В.П. Бентос Азовского моря : моногр. — Симферополь : Крымиздат, 1949. — 193 с. (Тр. АзЧерНИРО; вып. 13.)

Григорьева Н.И. Залив Посыета: физико-географическая характеристика, климат, гидрологический режим // Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. — Владивосток : Издат. дом ДВФУ, 2012. — С. 31–61.

Жирков А.И. Жизнь на дне. Биогеография и биоэкология бентоса : моногр. — М. : Тов-во науч. изд. КМК, 2010. — 453 с.

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды : моногр. — Л. : Гидрометеоздат, 1979. — 375 с.

Климова В.Л. Донная фауна залива Посыета // Прибрежный планктон и бентос северной части Японского моря. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1980. — С. 20–31.

Климова В.Л. Состав и распределение бентоса залива Петра Великого (Японское море) и его многолетние изменения : автореф. дис. ... канд. биол. наук. — Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1981. — 21 с.

Микулич Л.В., Бирюлина М.Г. Некоторые вопросы гидрологии и донная фауна залива Посыета // Тр. ДВНИГМИ. — 1970. — Вып. 30. — С. 300–316.

Мощенко А.В., Белан Т.А. Метод оценки антропогенного нарушения сообществ макрозообентоса рыхлых грунтов // Биол. моря. — 2008. — Т. 34, № 4. — С. 279–292.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Метод оценки химического загрязнения донных осадков с использованием биоиндикации // Изв. ТИНРО. — 2022а. — Т. 202, вып. 4. — С. 861–879. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-861-879. EDN: MDYUHD.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. Распределение и классификация макрозообентоса залива Петра Великого Японского моря по отношению к загрязнению донных отложений // Изв. ТИНРО. — 2022б. — Т. 202, вып. 3. — С. 623–639. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-623-639. EDN: FZIAEB.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. и др. К методике выделения сообществ макрозообентоса: простой алгоритм для практики экологического мониторинга // Тр. ДВНИГМИ. — 2021а. — Вып. 156. — С. 111–141.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. и др. Адаптация метода оценки качества морской среды по данным биологического анализа на основе индексов АМВИ и М-АМВИ для залива Петра Великого Японского моря // Тр. ДВНИГМИ. — 2021б. — Вып. 156. — С. 142–181.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М. и др. Основные тенденции временного хода концентраций приоритетных поллютантов в осадках прибрежных акваторий Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2021в. — Т. 201, вып. 2. — С. 440–457. DOI: 10.26428/1606-9919-2021-201-440-457.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Ивин В.В. Сообщества макрозообентоса восточной части пролива Босфор Восточный (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2018а. — Т. 193. — С. 112–142. DOI: 10.26428/1606-9919-2018-193-112-142.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М., Лишавская Т.С. Допустимый уровень химического загрязнения донных отложений и сообщества макрозообентоса // Прибрежно-морская

зона Дальнего Востока России: от освоения к устойчивому развитию : Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 20-летию Международной кафедры ЮНЕСКО «Морская экология» ДВФУ. — Владивосток : ДВФУ, 2018б. — С. 92–94.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Лишавская Т.С., Борисов Б.М. Экологическое состояние морской среды и макрозообентоса у южной оконечности полуострова Муравьева-Амурского // Тр. ДВНИГМИ. — 2017. — Вып. 155. — С. 178–220.

Мощенко А.В., Белан Т.А., Лишавская Т.С. и др. Многолетняя динамика концентраций приоритетных поллютантов и общего уровня химического загрязнения прибрежных акваторий Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2020. — Т. 200, вып. 2. — С. 377–400. DOI: 10.26428/1606-9919-2020-200-377-400.

Несис К.Н. Общие экологические понятия в приложении к морским сообществам. Сообщество как континуум // Биология океана. Т. 2 : Биологическая продуктивность океана. — М. : Наука, 1977. — С. 5–13.

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

Пропп М.В. Экология прибрежных донных сообществ Мурманского побережья Баренцева моря : моногр. — Л. : Наука, 1971. — 128 с.

Романовский С.И. Физическая седиментология : моногр. — Л. : Недра, 1988. — 240 с.

Belan T.A. Soft-ground-dwelling macrozoobenthos of the area covering the waters from the estuary region of the Tumen River to Furugelm Island // The state of environment and biota of the Southwestern part of Peter the Great Bay and the Tumen River mouth. — Vladivostok : Dalnauka, 2001. — Vol. 1. — P. 143–163.

Belan T.A., Moshchenko A.V. Polychaete taxocenosis variability associated with sediment pollution loading in the Peter the Great Bay (the East Sea/Japan Sea) // Ocean Sci. J. — 2005. — Vol. 40, № 1. — P. 1–10.

Borja Á., Franco J., Muxika I. The biotic indices and the Water Framework Directive: the required consensus in the new benthic monitoring tools // Mar. Pollut. Bull. — 2004. — Vol. 48, № 3–4. — P. 405–408.

Borja Á., Mader J., Muxika I. Instructions for the use of the AMBI index software (Version 5.0) // Revista de Investigacion Marina. — 2012. — Vol. 19, № 3. — P. 71–82.

Borja Á., Muxika I., Franco J. Long-term recovery of soft bottom benthos following urban and industrial sewage treatment in the Nervión estuary (Southern Bay of Biscay) // Mar. Ecol. Progr. Ser. — 2006. — Vol. 313. — P. 43–55. DOI: 10.3354/meps313043.

Moshchenko A.V., Belan T.A., Borisov B.M., Lishavskaya T.S. Macrozoobenthic Population under Heavy Anthropogenic Impact: Coastal Area of Vladivostok (Peter the Great Bay, Sea of Japan) // Int. J. Oceanogr. Aquac. — 2017. — Vol. 1, № 4. 000123. DOI: 10.23880/IJOAC-16000123.

Muxika I., Borja Á., Bald J. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive // Mar. Pollut. Bull. — 2007. — Vol. 55, № 1–6. — P. 16–29.

Ponti M., Vadrucchi M.R., Orfanidis S., Pinna M. Biotic indices for ecological status of transitional water ecosystems // Transit. Waters Bull. — 2009. — Vol. 3, № 3. — P. 32–90. DOI: 10.1285/i1825229Xv3n3p32.

References

Belan, T.A., Patterns of abundance and species composition of benthos exposed to pollution conditions (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Gos. Univ., 2001.

Belan, T.A., Ecological studies in Strelok Bay and Rifovaya Inlet, in *Gidrometeorologicheskije protsessy na shelfe: otsenka vozdeistviya na morskuyu sredu* (Hydrometeorological processes at shelf: assessment of the impact on the marine environment), Vladivostok: Dal'nauka, 1998, pp. 125–131.

Issledovaniya Fauny Morei. T. 5(13): Biotsenozy zaliva Pos'yet Yaponskogo moray: gidrobiologicheskiye raboty s pomoshch'yu akvalangov (Explorations of the Fauna of the Seas, vol. 5(13): Biocenoses of the Posyet Bay of the Sea of Japan: hydrobiological work with the help of scuba gear), Baranova, Z.I., ed., Leningrad: Nauka, 1967.

Vorobyev, V.P., *Bentos Azovskogo morya* (Benthos of the Sea of Azov), Simferopol: Krymizdat, 1949.

Grigoryeva, N.I., The Possyet Bay: physical-geographical characteristic, climate, and hydrological-hydrochemical regime, in *Current Ecological State of Peter the Great Bay, Sea of Japan*, Vladivostok: Izd. Dom DVFU, 2012, pp. 31–61.

Zhirkov, A.I., *Biogeografiya i bioekologiya bentosa* (Life at the bottom. Benthos biogeography and bioecology), Moscow: KMK, 2010.

Israel, Yu.A., *Ekologiya i kontrol sostoyaniya prirodnoy sredy* (Ecology and control of the state of the natural environment), Leningrad: Hydrometeoizdat, 1979.

Klimova, V.L., Bottom fauna of the Posjeta Bay, in *Pribrezhny plankton I bentos severnoi chasti Yaponskogo morya* (Coastal plankton and benthos of the northern part of the Sea of Japan), Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1980, pp. 20–31.

Klimova, V.L., Composition and distribution of benthos of Peter the Great Bay (Sea of Japan) and its longterm changes, *Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation*, Vladivostok: Dal'nevost. Nauchn. Tsentr Akad. Nauk SSSR, 1981.

Mikulich, L.V. and Biryulina, M.G., Some issues of hydrology and the bottom fauna of Possyet Bay, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 1970, vol. 30, pp. 300–316.

Moshchenko, A.V. and Belan, T.A., Method for the appraisal of anthropogenic disturbance of macrozoobenthic communities of soft substrata, *Russ. J. Mar. Biol.*, 2008, vol. 34, no. 4, pp. 235–248.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., and Borisov, B.M., A method for assessing chemical contamination of bottom sediments using bioassay approach, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 861–879. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-861-879. EDN: MDYYHD.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., and Borisov, B.M., Distribution and classification of macrozoobenthos in Peter the Great Bay of Japan Sea in relation to contamination of bottom sediments, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 3, pp. 623–639. doi 10.26428/1606-9919-2022-202-623-639. EDN: FZIAEB.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Borisov, B.M., Lishavskaya, T.S., and Sevastyanov, A.V., To the methodology of the differentiation of macrozoobenthic soft-bottom communities: simple algorithm for ecological monitoring practice, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 2021, vol. 156, pp. 111–141.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Borisov, B.M., Lishavskaya, T.S., and Sevastyanov, A.V., Adaptation of the method of appraisal of marine environment quality using biological data analysis at the base of AMBI and M-AMBI indices for Peter the Great Bay (Sea of Japan), *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 2021, vol. 156, pp. 142–181.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Lishavskaya, T.S., Sevastianov, A.V., and Borisov, B.M., Main tendencies of temporal changes for concentration of priority pollutants in sediments of the coastal areas at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 201, no. 2, pp. 440–457. doi 10.26428/1606-9919-2021-201-440-457

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., and Ivin, V.V., Macrozoobenthic communities in the eastern part of the Eastern Bosphorus Strait (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2018, vol. 193, pp. 112–142. doi 10.26428/1606-9919-2018-193-112-142

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Borisov, B.M., and Lishavskaya, T.S., Permissible level of chemical contamination of bottom sediments and macrozoobenthic communities, in *Pribrezhno-morskaya zona Dal'nego Vostoka Rossii: ot osvoyeniya kustoychivomu razvitiyu: Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennaya 20-letiyu Mezhdunarodnoy kafedry YUNESKO «Morskaya ekologiya»* (Coastal and marine zone of the Russian Far East: from exploration to the sustainable development, Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 20th anniversary of the UNESCO “Marine Ecology” International Chair of FEF), Vladivostok: Publishing House of the Far Eastern Federal University, 2018, pp. 92–94.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Lishavskaya, T.S., and Borisov, B.M., Ecological condition of the marine environment and macrozoobenthos off the southern tip of the Muravyov-Amursky Peninsula, *Tr. Dal'nevost. Nauchno-Issled. Gidrometeorol. Inst.*, 2017, vol. 155, pp. 178–220.

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Lishavskaya, T.S., Sevastianov, A.V., and Borisov, B.M., Longterm dynamics of prior pollutants concentration and total level of chemical contamination in the coastal areas at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2020, vol. 200, no. 2, pp. 377–400. doi 10.26428/1606-9919-2020-200-377-400

Nesis, K.N., General environmental concepts applied to marine communities. Community as a continuum, in *Biologiya okeana. T. 2: Biologicheskaya produktivnost' okeana* (Biology of the Ocean, vol. 2: Biological Capacity of the Ocean), Moscow: Nauka, 1977, pp. 5–13.

Ogorodnikova, A.A., *Ekologo-ekonomicheskaya otsenka vozdeistviya beregovykh istochnikov zagryazneniya na prirodnyuyu sredyu i bioresursy zaliva Petra Velikogo* (Ecological and Economic Assessment of the Impact of Coastal Sources of Pollution on the Natural Environment and Bioresources of Peter the Great Bay), Vladivostok: TINRO-Tsentr, 2001.

Propp, M.V., *Ekologia pribrezhnykh donnykh soobshchestv Murmanskogo poberezh'ya Barentseva morya* (Ecology of the near shore bottom communities of Murmansk coast of the Barents Sea), Leningrad: Nauka, 1971.

Romanovsky, S.I., *Fizicheskaya sedimentologia* (Physical sedimentology), Leningrad: Nedra, 1988.

Belan, T.A., Soft-ground-dwelling macrozoobenthos of the area covering the waters from the estuary region of the Tumen River to Furugelm Island, *The state of environment and biota of the Southwestern part of Peter the Great Bay and the Tumen River mouth*, Vladivostok: Dalnauka, 2001, vol. 1, pp. 143–163.

Belan, T.A. and Moshchenko, A.V., Polychaete taxocenosis variability associated with sediment pollution loading in the Peter the Great Bay (the East Sea/Japan Sea), *Ocean Sci. J.*, 2005, vol. 40, no. 1, pp. 1–10.

Borja, Á., Franco, J., and Muxika, I., The biotic indices and the Water Framework Directive: the required consensus in the new benthic monitoring tools, *Mar. Pollut. Bull.*, 2004, vol. 48, no. 3–4, pp. 405–408.

Borja, Á., Mader, J., and Muxika, I., Instructions for the use of the AMBI index software (Version 5.0), *Rev. Invest. Mar.*, 2012, vol. 19, no. 3, pp. 71–82.

Borja, Á., Muxika, I., and Franco, J., Long-term recovery of soft bottom benthos following urban and industrial sewage treatment in the Nervio'n estuary (Southern Bay of Biscay), *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 2006, vol. 313, pp. 43–55. doi 10.3354/meps313043

Moshchenko, A.V., Belan, T.A., Borisov, B.M., and Lishavskaya, T.S., Macrozoobenthic population under heavy anthropogenic impact: Coastal area of Vladivostok (Peter the Great Bay, Sea of Japan), *Int. J. Oceanogr. Aquacult.*, 2017, vol. 1, no. 4, art. ID 000123. doi 10.23880/IJOAC-16000123

Muxika, I., Borja, Á., and Bald, J., Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive, *Mar. Pollut. Bull.*, 2007, vol. 55, no. 1–6, pp. 16–29.

Ponti, M., Vadrucci, M.R., Orfanidis, S., and Pinna, M., Biotic indices for ecological status of transitional water ecosystems, *Transit. Waters Bull.*, 2009, vol. 3, no. 3, pp. 32–90. doi 10.1285/i1825229Xv3n3p32

Statistical analysis and interpretation of marine community data: reference methods for marine pollution studies, Nairobi: UNEP, 1995, no. 64.

The state of environment and biota of the southwestern part of Peter the Great Bay and the Tumen River mouth, Vladivostok: Dalnauka, 2001, vol. 1–3.

Поступила в редакцию 19.05.2023 г.

После доработки 3.07.2023 г.

Принята к публикации 4.09.2023 г.

*The article was submitted 19.05.2023; approved after reviewing 3.07.2023;
accepted for publication 4.09.2023*