

Научная статья

УДК 574.587(265.54)

DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-618-638

EDN: EJWBOB



СООБЩЕСТВА МАКРОЗООБЕНТОСА РЫХЛЫХ ГРУНТОВ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО БЛИЗ ВЛАДИВОСТОКА (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ

А.В. Мощенко*

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

Аннотация. Применяя современные статистические методы, установили, что на исследованных прибрежных акваториях Владивостока в 2001–2019 гг. на рыхлых грунтах и глубинах 5 м и более существовали не менее 16 сообществ макрозообентоса: I. *Scoletoma* spp. + *Sigambra bassii*; II. *Scoletoma* spp. + *Ophiura sarsii*; III. *Philine orientalis* + *Macoma* sp.; IV. *Aphelochaeta pacifica*; V. *A. pacifica* + *Capitella capitata*; VI. *O. sarsii* + *Macoma scarlatoi*; VII. *O. sarsii* + *Scoletoma* spp. + *Scoloplos armiger* + *Ennucula tenuis*; VIII. *Phoronopsis harmeri*; IX. *Maldane sarsi*; X. *A. pacifica* + *Dipolydora cardalia*; XI. *Scoletoma* spp.; XII. *Praxillella gracilis* + *Pelonaia corrugata*; XIII. *O. sarsii* + *Acila insignis*; XIV. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii* + *M. sarsi*; XV. *Scoletoma* spp. + *M. scarlatoi* и XVI. *A. pacifica*. Важнейшими (императивными) факторами среды, обуславливающими их дифференциацию, являются уровень химического загрязнения, эвтрофикации и особенности придонного гидрологического режима, который во многом определяется интенсивностью терригенного стока. Использование биотических индексов (*AMBI*, *M-AMBI*, *TPF_{bio}*) подтверждает, что наиболее поврежденные и экологически неблагополучные группировки (IV, V, XVI) обитают в бухтах Золотой Рог и Диомид. Ассоциации прол. Босфор Восточный (III, VI) имеют явно более высокий экологический статус, который еще больше возрастает на акваториях Амурского и Уссурийского заливов (I, II, VII, XII, XIII, XV, XIV), за исключением их северных частей (IX, XI) и восточной части Амурского залива (VIII, X).

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

Для цитирования: Мощенко А.В. Сообщества макрозообентоса рыхлых грунтов прибрежных акваторий залива Петра Великого близ Владивостока (Японское море) и их экологическое состояние // Изв. ТИНРО. — 2023. — Т. 203, вып. 3. — С. 618–638. DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-618-638. EDN: EJWBOB.

Original article

Communities of macrozoobenthos on soft sediments in the coastal areas of Peter the Great Bay near Vladivostok (Japan Sea) and their ecological status

Alexander V. Moshchenko

* Мощенко Александр Владимирович, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, avtmoshchenko@mail.ru, ORCID 0000-0001-6600-5654.

© Мощенко А.В., 2023

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

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

Abstract. At least 16 communities of macrozoobenthos are determined by modern statistical methods on soft sediments in the coastal areas with the depth of ≥ 5 m of Peter the Great Bay at Vladivostok surveyed in 2001–2019. They were: I. *Scoletoma* spp. + *Sigambra bassi*; II. *Scoletoma* spp. + *Ophiura sarsii*; III. *Philine orientalis* + *Macoma* sp.; IV. *Aphe-lochaeta pacifica*; V. *A. pacifica* + *Capitella capitata*; VI. *O. sarsii* + *Macoma scarlatoi*; VII. *O. sarsii* + *Scoletoma* spp. + *Scoloplos armiger* + *Ennucula tenuis*; VIII. *Phoronopsis harmeri*; IX. *Maldane sarsi*; X. *A. pacifica* + *Dipolydora cardalia*; XI. *Scoletoma* spp.; XII. *Praxillella gracilis* + *Pelonaia corrugata*, XIII *O. sarsii* + *Acila insignis*, XIV *Scoletoma* spp. + *O. sarsii* + *M. sarsi*; XV. *Scoletoma* spp. + *M. scarlatoi*, and XVI. *A. pacifica*. Their differentiation was determined by such environmental imperatives as the level of chemical pollution, eutrophication, and impact of terrigenous water discharge. By biotic indices (*AMBI*, *M-AMBI*, *TPF_{bio}*), the most damaged and environmentally disturbed communities were IV, V, and XVI inhabited the Golden Horn Bay and Diomid Inlet. The communities of the East Bosphorus Strait (III, VI) have higher ecological status that increases even more in the Amur and Ussuri Bays (communities I, II, VII, XII, XIII, XV, XIV), except of the northern tips of both bays (IX, XI) and the eastern part of the Amur Bay (VIII, X). With such bioindicative approach, ecological status of the communities is described more concisely and visually than with indices of species richness, diversity, or *W*-statistics.

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

For citation: Moshchenko A.V. Communities of macrozoobenthos on soft sediments in the coastal areas at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea) and their ecological status, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2023, vol. 203, no. 3, pp. 618–638. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2023-203-618-638. EDN: EJBWOB.

Введение

Видовой состав макрозообентоса прибрежных акваторий Владивостока и его обилие хорошо изучены благодаря трудам специалистов различных научных институтов — ННЦМБ ДВО РАН, ДВНИГМИ, ТИНРО, ДВФУ (ДВГУ). В то же время число публикаций, касающихся его синэкологической организации, невелико, а их результаты часто противоречивы, несмотря на то что первые сведения о биоценотической структуре донного населения появились в конце 20-х — начале 40-х гг. прошлого века [Закс, 1927; Дерюгин, 1939; Дерюгин, Сомова, 1941]. В дальнейшем сообщества («биоценозы») макрозообентоса изучали В.Л. Климова [1971, 1974], Г.Н. Волова [1984, 1985]. Но наиболее успешными в этом отношении оказались работы Т.А. Белан [Белан, 2001; Belan, 2003; Белан, Белан, 2006], которая при помощи иерархического кластерного анализа и многомерного шкалирования дифференцировала в Амурском заливе всего три группировки (часть станций не была классифицирована), что во многом совпадает с результатами настоящей работы.

Для дифференциации агломераций донных животных и доказательства справедливости их выделения с позиций статистики ранее был разработан специальный алгоритм, апробация которого выполнена при изучении макрозообентоса у южной оконечности п-ова Муравьева-Амурского, в бухте Патрокл и у о. Русского [Мощенко и др., 2017, 2018а, 2021а; Moshchenko et al., 2017]. Эти испытания позволили не только разделить искомые группировки, но и выявить факторы среды, определяющие их дифференциацию. Появились и более современные методы оценки экологического состояния донной биоты [Bořja et al., 2004, 2012; Belan, Moshchenko, 2005; Muxika et al., 2007; Мощенко, Белан, 2008; Ponti et al., 2009; Мощенко и др., 2018а, 2022а].

Цель настоящей 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 комплексных экологических съемок ДВНИГМИ и ННЦМБ ДВО РАН (2001–2019 гг.) в зал. Петра Великого на прибрежных акваториях Владивостока (заливы Амурский, Уссурийский, бухты Золотой Рог, Диомид, Улисс, прол. Босфор Восточный). Методы взятия проб и их камеральной обработки опубликованы ранее [Мощенко и др., 2021а–в].

Анализ данных. Для характеристики макрозообентоса использовали биомассу, плотность поселения и частоту встречаемости (B , A и F_q , далее — плотность и встречаемость), а также индексы видового богатства Маргалефа (R , как число таксонов в пробе), разнообразия Шеннона-Винера и выравнимости Пиелу (H' и e). Для описания размерного состава применяли W -статистику Кларка*. Значения этих индексов сами по себе малопонятны, и поэтому при описании сообществ использованы их вербальные оценки (прил. табл. 1**). Общий уровень загрязнения описывали индексом TPF_{chem} [Belan, Moshchenko, 2005]. Степень антропогенного нарушения бентоса оценивали методом, основанным на зависимости H' двустворчатых моллюсков от TPF_{chem} ; показателями этих нарушений служат величины ERL_q и ERM_q ($TPF_{chem} = 2,8$ и $3,2$) [Мощенко, Белан, 2008]. Кроме того, применяли индекс TPF_{bio} , «настроенный» на биоиндикацию уровня химического загрязнения грунтов [Мощенко и др., 2022а]. Экологическое состояние и статус бентоса описывали индексами $AMBI$ и $M-AMBI$ (прил. табл. 2) [Bořja et al., 2004, 2012; Muxika et al., 2007]. Классификация таксонов животных по отношению к эвтрофикации и загрязнению выполнена по А.В. Мощенко с соавторами [2021б, 2022б]. Дополнительно применяли показатель экологического стресса (ПЭС) [Мощенко и др., 2018б]. Статистический анализ и выделение сообществ осуществляли при помощи алгоритма, разработанного автором [Мощенко и др., 2021а].

Результаты и их обсуждение

Общая характеристика макрозообентоса. В период исследований найдено 339 видов и более крупных таксонов, принадлежащих к 26 таксономическим группам (прил. табл. 3). Наибольшим видовым богатством и встречаемостью обладали полихеты (124 вида, F_q — 99,1 %), двустворчатые моллюски (54 и 83,9), амфиподы (48 и 47,3), декаподы (30 и 45,5) и гастроподы (25 и 59,8). Немертин было найдено девять видов, кумовых раков — семь, изопод — пять, актиний, морских звезд, голотурий и офиур — по четыре, сипункулид — три (F_q — 71,4, 31,3, 8,0, 14,3, 21,4, 3,6, 58,0 и 17,9 %). Асцидий, морских ежей, эхиурид, мизид и пантопод — по 2 вида, шестилучевых кораллов, усногих раков, гидроидов, форонид, тонкопанцирных, приапулид, сипункулид, стоматопод и бороздчатобрюхих — по одному (0,9–27,7 %). Средняя биомасса бентоса достигала 283 ± 39 г/м², плотность — 2570 ± 289 экз./м². Основу биомассы составляли двустворчатые моллюски ($128 \pm \pm 27$ г/м² и 45,5 % от общей биомассы), а численности — полихеты (1868 ± 252 экз./м² и 72,7 % от общей плотности); вклад остальных групп был в разы меньше.

Среди макрозообентоса чаще всех встречались полихеты *Scoletoma* spp. (комплекс видов рода *Scoletoma*; 83,0 %; прил. табл. 4). Полихеты *Sigambra bassi*, *Maldane sarsi*, *Scoloplos armiger*, *Glycera capitata*, *Notomastus latericeus*, офиура *Ophiura sarsii*, улитки *Philine orientalis* и неопределенные до вида немертины найдены на половине и более станций (50,0–60,7 %), и почти на половине — многощетинковые черви *Aphelochaeta pacifica*, *Schistomeringos japonica* и *Scalibregma inflatum* (45,5–49,1 %). В состав животных, лидирующих по плотности, входили все те же *Scoletoma* spp., *M. sarsi*, *O. sarsii*, форонида *Phoronopsis harmeri*, полихеты *Dipolydora cardalia* и *Paradialychone cincta*

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

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

(> 100 экз./м², вклад — 4,0–12,5 %), а доминировал *A. pacifica* (443 ± 99 экз./м², 17,2 %). Биомасса большинства этих видов была невелика, за исключением *Ph. harmeri*, который и преобладал по этому показателю — 47,7 ± 21,4 г/м² (вклад — 16,9 %, F_q — 27,7 %), сразу за ним следовал двустворчатый моллюск *Macoma scarlatoi* — 29,4 ± 9,2 г/м² (10,4 и 10,7 %), затем — усоногий рак *Balanus rostratus* и двустворка *Anadara broughtoni* (около 17 г/м², вклад — 6,0 %, F_q — 6,3 и 3,6 %).

В разные годы число найденных таксонов существенно варьировало: в 2001 г. было идентифицировано 230 таксонов, в 2016 г. — 115, в 2018 г. — 149, в 2019 г. — 138 (соответственно 25, 18, 19 и 16 таксономических групп; см. прил. табл. 3). По числу видов во все годы преобладали полихеты, далее следовали двустворчатые моллюски и амфиподы, гастроподы и десятиногие раки (58–90, 13–30, 10–32, 6–17, 5–24). Перечисленные группы обычно имели и самую высокую встречаемость (97,0–100,0, 70,0–93,8, 30,0–75,0, 40,0–81,8 и 24,2–81,8 %), весьма часты были немертины (56,7–87,5 %) и, кроме того, в разные годы 50 %-ный «барьер» перешагивали офиуры и кумовые раки (42,4–72,7 и 13,3–51,5 %). По биомассе всегда преобладали двустворчатые моллюски, по плотности — полихеты (вклад 41,3–50,9 и 49,7–84,7 %); в 2016–2019 гг. обильны были и форониды (16,7–24,0 и 7,9–37,7 % от биомассы и плотности). В 2001 г. заметный вклад в общую биомассу вносили морские ежи, а в 2016 г. — усонogie раки (14,3 и 15,6 %).

Во все годы чаще всех встречался *Scoletoma* spp. (76,7–100,0 %), что, вероятно, связано с его «комплексностью», но остальные доминанты были разными (прил. табл. 5). В 2001 г. за *Scoletoma* spp. следовал брюхоногий моллюск *P. orientalis* (72,7 %) и еще пять видов были обнаружены на половине и более станций — двустворка *Theora lubrica*, декапода *Paradorippe granulata* и неидентифицированные до вида десятиногие раки, *S. bassi*, *D. cardalia* и *S. inflatum*. В 2016 г. за ним шли *O. sarsii* и *M. sarsi* (по 60 %), затем *S. armiger*, *A. pacifica*, *Goniada maculata*, *S. bassi* и двустворчатый моллюск *Ennucula tenuis* (≥ 50 %). В 2018 г. — *M. sarsi* и *S. bassi* (по 87,5 % станций), затем — неопределенные до вида немертины, *N. latericeus*, *G. capitata*, *O. sarsii*, *P. orientalis*, *Acila insignis*, *S. armiger* и еще одна полихета *Aricidea (Acmira) catherinae*. В 2019 г. — неидентифицированные немертины, *G. capitata*, *O. sarsii* (78,8, 75,8 и 72,9 %), затем *N. latericeus*, *Sch. japonica*, *S. armiger*, *A. pacifica*, *S. bassi*, *D. cardalia*, *E. tenuis*, *G. maculata*, *M. sarsi* и *S. inflatum*.

Существенные изменения наблюдались и в составе доминантов по плотности и биомассе (прил. табл. 6). В 2001 г. самым многочисленным был *A. pacifica* (501 ± 192 экз./м², вклад в общую численность — 26,9 %, F_q — 48,5 %), далее с заметным отставанием следовали *D. cardalia* и *Scoletoma* spp. (> 100 экз./м², доля — 9,9 и 8,8 %). По вкладу в общую биомассу лидировал найденный всего на трех станциях (9,1 %) двустворчатый моллюск *Cymatoica orientalis* (23,6 ± 18,6 г/м², доля — 14,8 %), за ним шли также редкие *Echinocardium cordatum* и двустворчатый моллюск *A. broughtoni* (22,7 ± 12,62 и 17,7 ± 18,0 г/м², доля — 14,3 и 11,1 %, F_q — 15,2 и 6,1 %).

В 2016 г. по плотности преобладал *Ph. harmeri* (731 ± 350 экз./м², вклад — 37,7 %), далее шел *M. sarsi* (266 ± 130 экз./м² и 13,7), затем — с заметным отставанием *O. sarsii*, *A. pacifica* и *Polydora* sp. (115–149 экз./м², доля — 7,7, 7,3 и 5,9 %, F_q последнего — 30,0 %). Наибольший вклад в общую биомассу также вносил *Ph. harmeri* (90,7 ± 64,1 г/м² и 24,0 %), за ним следовал редкий (6,7 %) *B. rostratus* (58,9 ± 42,4 и 15,6), затем двустворки *A. broughtoni*, *M. scarlatoi* и *Tetrarca boucardi* (47,0 ± 47,6, 43,1 ± 43,8 и 36,6 ± 20,3 г/м², вклад — 12,5, 11,4 и 9,7 %, F_q — 6,7, 3,3 и 13,3 %). И еще у двух видов — *O. sarsii* и двустворчатого моллюска *Gregariella difficilis* — средняя биомасса превысила 10 г/м² (14,1 ± 3,9 и 12,7 ± 12,9 г/м², доля — 3,7 и 3,4 %, F_q последнего — 3,3 %).

В 2018 г. наибольшую плотность создавали довольно редкие амфиподы *Pontoporeia furcigera* (505 ± 440 экз./м², вклад в общую численность — 15,0 %, F_q — 12,5 %), далее следовали *M. sarsi* и *Scoletoma* spp. (429 ± 192 и 360 ± 97 экз./м², 12,8 и 10,7 %), затем *A. pacifica*, *Ph. harmeri*, *O. sarsii*, *D. cardalia*, *A. insignis* (в среднем 114–248 экз./м², 3,4–7,4 % и 12,5–37,5 %). По вкладу в общую биомассу лидировала двустворка

Macoma calcaria ($78,9 \pm 45,6$ г/м², доля в общей биомассе — 19,8 %, F_q — 43,8 %), за ней следовал редкий (12,5 %) *Ph. harmeri* ($66,6 \pm 66,7$ и 16,7 %), далее — еще одна двустворка *Leukoma jedoyensis* ($32,2 \pm 22,6$ г/м², 8,1 и 37,5 %), затем — семь видов разной встречаемости и средней биомассой более 10,8 г/м² — *M. sarsi*, *Patiria pectinifera*, *O. sarsii*, серый морской еж *Strongylocentrotus intermedius*, *A. insignis*, немертины и двустворчатый моллюск *Dosinia angulosa*.

В 2019 г. самыми многочисленными были *A. pacifica*, *D. cardalia* и *P. cincta* (753 ± 252 , 575 ± 448 и 418 ± 412 экз./м², вклад — 21,7, 16,6 и 12,1 %, F_q последнего — 24,2 %), затем следовали *Ph. harmeri*, *Scoletoma* spp., *Sch. japonica*, еще одна полихета *Ampharete sibirica*, *M. sarsi* и *Chaetozone setosa* (в среднем 120–284 экз./м², 3,5–8,2 % и 18,2–36,4 %). Наибольший вклад в биомассу вносил *M. scarlatoi* ($66,6 \pm 24,5$ г/м², доля — 25,3 %, F_q — 24,2 %), за ним шел редкий *Ph. harmeri* ($45,1 \pm 32,2$ и 17,2 %), далее — двустворчатый моллюск *Protocallithaca adamsi* ($28,2 \pm 20,3$ г/м², 10,7 и 33,3 %), после него — *D. cardalia*, *O. sarsii* и *S. inflatum*, чьи биомассы и вклады были в разы ниже (11,6–13,9 г/м², 4,4–5,3 %).

Вариации в числе найденных видов, их встречаемости, составе доминантов имеют совершенно определенные причины, к которым следует отнести межгодовую изменчивость обилия животных (например, волны жизни), различия в количестве проб и станций (и их локализации) в разные годы и т.д. Однако описание многолетней динамики донного населения не совпадает с целью настоящей работы.

Сообщества макрозообентоса. По биомассе и плотности таксонов донных животных обследованные станции могут быть объединены в 16 групп (рис. 1, 2, прил. табл. 7–10).

I. Станции Амурского залива и две станции северной части Уссурийского залива (A4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 24, 37, 39, 55, 59, U103, 104).

II. Станции Уссурийского залива и одна станция Амурского залива (U11, 16, 17, 18, 100, 105, 106, 108, A42).

III. Станции прол. Босфор Восточный, устье бухты Улисс и прибрежные станции средней части Амурского залива (Z18, 19, 23, A24, 28).

IV. Станции бухт Золотой Рог и Диомид (Z7, 11, 12, 22).

V. Станции бухт Золотой Рог и Диомид (Z1, 7, 11, 12, 22).

VI. Станции прол. Босфор Восточный и устья бухты Улисс (Z14, 18, 19, 23).

VII. Относительно открытые районы Амурского и Уссурийского заливов (a34, 47, 50, 62, u11, 17, 20, 40, 43, 55, 57, 59).

VIII. Западное побережье п-ова Эгершельд и центральная северная часть Амурского залива (a9, 26, 35).

IX. Северные районы Амурского и Уссурийского заливов (a2, 4, 16, u6, 13, 21).

X. Станции восточной части Амурского залива (A24, 16).

XI. Станции внутренних областей Амурского и Уссурийского заливов (A11, 12, 52, U104).

XII. Станции открытого района Уссурийского залива (U108, 208).

XIII. Станции открытых районов Амурского и середины Уссурийского заливов (A28, 35, 37, U16, 100, 103, 105, 106).

XIV. Станции у восточного побережья п-ова Муравьева-Амурского и в восточной прибрежной части прол. Босфор Восточный (a16, u17, 40, U103, 100, P4, R3, 4, 8, 9, 11, 13, Z18, 24, 25).

XV. Точки в западной части прол. Босфор Восточный и восточной части Амурского залива (A24, a35, P2, Z14, 15, 16, 19, 20, 21, 23).

XVI. Станции бухт Золотой Рог и Диомид (Z1, 2, 3, 4, 7, 11, 12, 22).

Одновременная кластеризация всех точек взятия проб дает разбиение примерно на 17–20 групп, представленных почти во всех случаях смесями станций разных лет опробования (прил. рис. 1, 2). Такой характер агломерации обусловлен тем, что доля

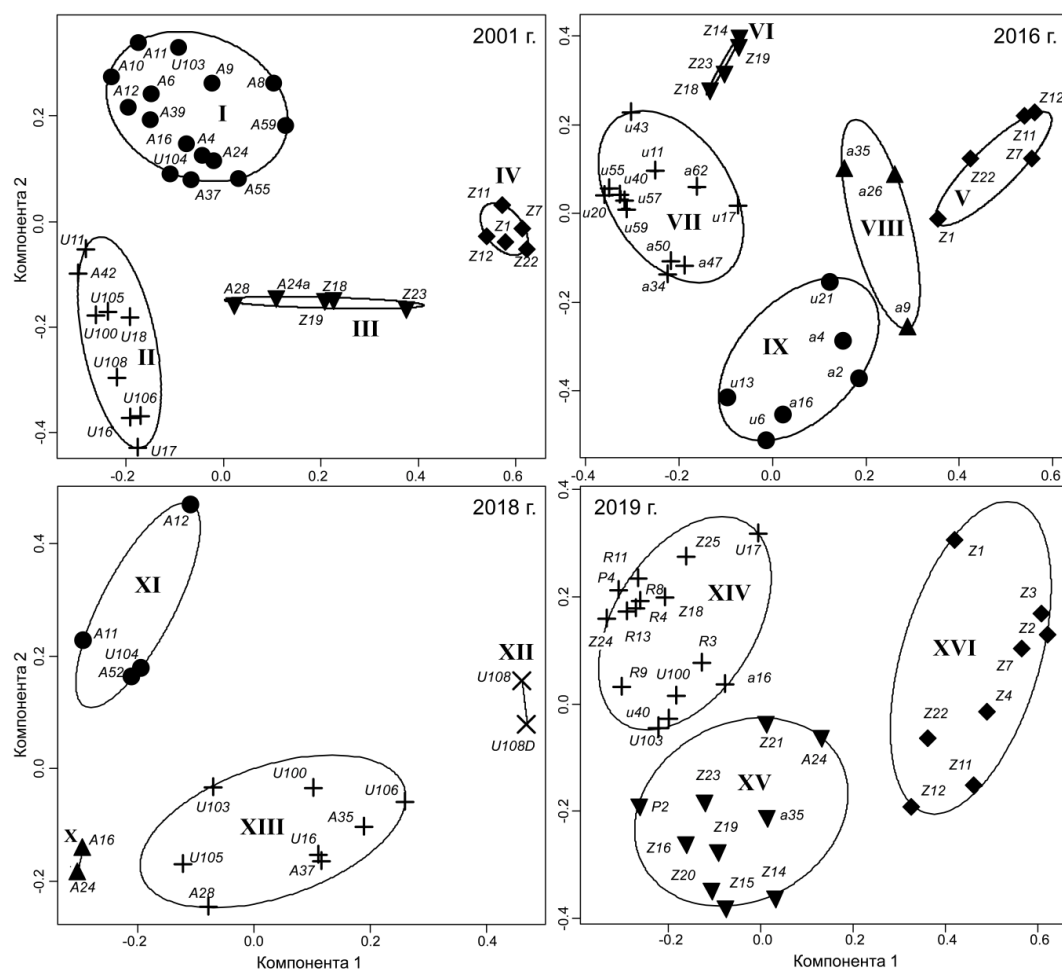


Рис. 1. Ординация станций алгоритмом нечеткой классификации (компоненты 1 и 2 объясняют 30,5, 31,8, 40,5 и 36,2 % изменчивости соответственно для 2001, 2016, 2018 и 2019 гг.): *римские цифры* — выделенные группы

Fig. 1. Ordination of stations by algorithm of fuzzy classification. The 1st and 2nd components explain in sum 30.5, 31.8, 40.5, and 36.2 % of variability for 2001, 2016, 2018 and 2019, correspondingly. Hereinafter: the communities are marked with *roman numbers*

общих видов внутри акваторий, изученных во время отдельных съемок, лишь не намного больше, чем между этими съемками, и в среднем составляет 23,8 и 17,6 %, причем на фоне довольно высокой общности видовых списков разных лет — в среднем 34,5 % (рис. 3). Самыми оригинальными среди выделенных агломераций являются группировки IV, V и X, имеющие наименьший показатель общих таксонов с другими группами.

Разбиение на 16 кластеров (по съемкам) подтверждается результатами процедуры ANOSIM и теста Мантеля (прил. табл. 11, 12). Определяющее и значимое влияние на обилие видов оказывает сумма факторов среды, роль пространственной локализации проявляется в гораздо меньшей степени, и, следовательно, их агломерация (видов и станций, по обилию первых) обусловлена экологически (прил. табл. 11). Таким образом, выделенные группы I–XVI являются сообществами.

Многие группировки, выявленные в районе работ, довольно плавно переходят друг в друга, о чем свидетельствует заметная доля точек опробования с повышенными величинами степени принадлежности к «чужим» кластерам (см. прил. табл. 7–10). Например, в 2001 г. такие значения наблюдались у целого ряда станций группировок I–III

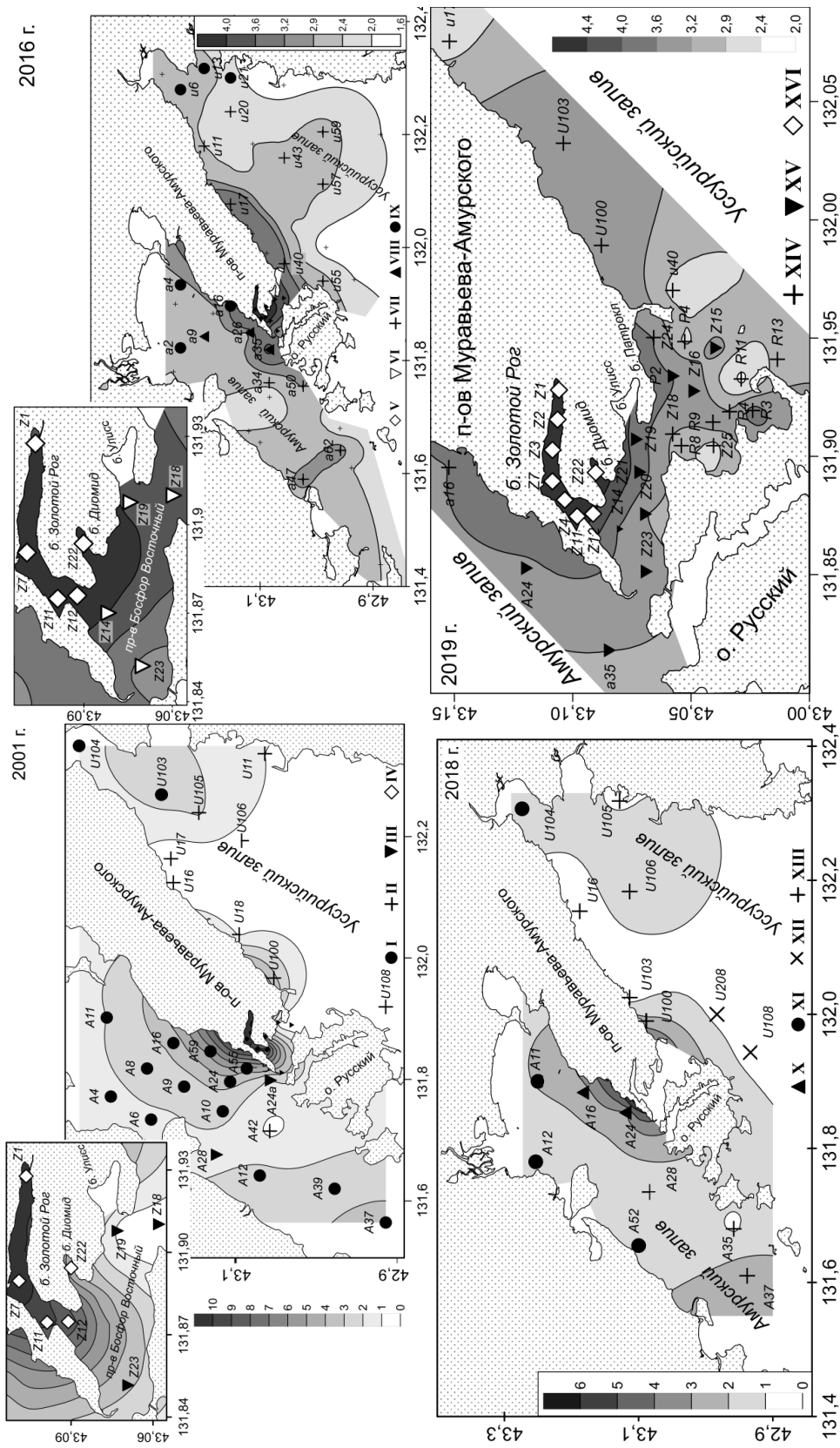


Рис. 2. Распределение концентраций $C_{\text{опт}}$ (мг/г; 2001 и 2018 гг.), TPF_{chem} (усл. ед., 2016 и 2019 гг.) и сообществ макрозообентоса (римские цифры) в 2001 и 2018 гг. и сообществ макрозообентоса (римские цифры) в 2016 и 2019 гг.

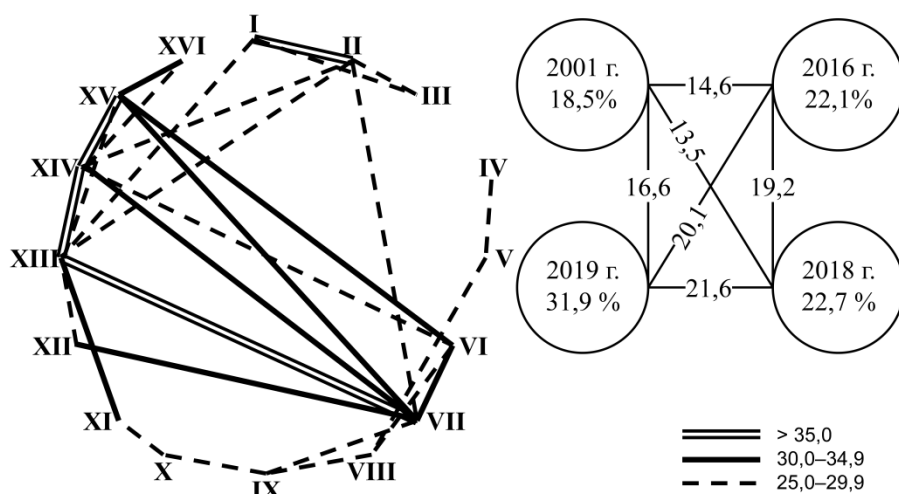


Рис. 3. Доля общих таксонов макрозообентоса (%) в выделенных группах и для разных съемок: римские цифры — сообщества

Fig. 3. Portion of mutual taxa (%) in the macrozoobenthic communities and for surveys

(A10, 12, 16, 24, 37, 39, 55, A59, A4, A6 и особенно U104). В 2016 г. абсолютно обособленные кластеры отсутствовали, а станция u17 вообще принадлежала к группам VII и IX примерно в равной степени. В 2018 г. довольно сильно были связаны друг с другом ассоциации XI и XIII (U100, 105, 103, 16 и A28). В 2019 г. станции U17, R3, U100, a16, u40, U103 сообществ XIV и XV отчетливо притягивались к обоим кластерам, причем даже при экспоненциальном весе ниже штатного минимума. Очевидно, перечисленные станции располагались на границах выделенных сообществ — в областях экотонов.

Основной вклад во внутригрупповое сходство станций группы I по обоим характеристикам обилия вносил *Scoletoma* spp., следом за ним с небольшим отрывом располагался *S. bassi* (прил. табл. 13). В группе II *Scoletoma* spp. также был абсолютным фаворитом по плотности, а по биомассе лидировал *O. sarsii*. В группе III первое место занимал *P. orientalis* (оба параметра), отрываясь довольно далеко, особенно по плотности, от *Macoma* sp., в группе IV таким лидером по вкладам в оба показателя обилия являлся *A. pacifica*. В сходстве станций группы V как по плотности, так и по биомассе наиболее ценными были *A. pacifica* и *Capitella capitata*. В группе VI по плотности лидировал *O. sarsii*, а по биомассе — *M. scarlattoi*, в группе VII почти одинаковые вклады по плотности и биомассе наблюдались у *Scoletoma* spp., *S. armiger* и *E. tenuis*, но опережала эти виды по обоим показателям *O. sarsii*.

В VIII группе первое место занимал *Ph. harmeri* (обе характеристики), в IX — *M. sarsi*, в X — *A. pacifica*, а рядом с ним и по плотности, и по биомассе располагался *D. cardalia*, в XI — абсолютным лидером являлся *Scoletoma* spp. В XII группировке по вкладам в плотность всех опережала полихета *Praxillella gracilis*, сразу за ней с отрывом в доли процента шли амфипода *Protomedeia epimerata*, *G. capitata*, полихета *Owenia collaris* и *S. armiger*. По биомассе вперед вырывалась асцидия *Pelonaia corrugata*, второй следовала *P. gracilis*, а далее, в долях процента, — полихета *Sternaspis scutata*, двустворчатый моллюск *Yoldia keppeliana* и все тот же *S. armiger*. В кластере XIII наиболее весомые вклады в оба показателя вносили *O. sarsii* и *A. insignis*. Основой внутригруппового сходства станций групп XIV и XV по плотности был *Scoletoma* spp., по биомассе в первой из них *O. sarsii* (вплотную к ним по обоим показателям шел *M. sarsi*), во второй — *M. scarlattoi*; в кластере XVI и по плотности, и по биомассе первое место занимал *A. pacifica*.

Таким образом, выделенные агломерации следует рассматривать как сообщества I. *Scoletoma* spp. + *S. bassi*; II. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii*; III. *P. orientalis* + *Macoma* sp.;

IV. *A. pacifica*; V. *A. pacifica* + *C. capitata*; VI. *O. sarsii* + *M. scarlatoi*; VII. *O. sarsii* + *Scoletoma* spp. + *S. armiger* + *E. tenuis*; VIII. *Ph. harmeri*; IX. *M. sarsi*; X. *A. pacifica* + *D. cardalia*; XI. *Scoletoma* spp.; XII. *P. gracilis* + *P. corrugata*; XIII. *O. sarsii* + *A. insignis*; XIV. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii* + *M. sarsi*; XV. *Scoletoma* spp. + *M. scarlatoi* и XVI. *A. pacifica*. У ассоциаций, найденных в 2001 г., влияние фактора «кластер» было значимо у *B*, индексов *R*, *H'*, *AMBI*, *M-AMBI* и TPF_{bio} и незначимо — для *A*, *e* и *W*; в 2016 г. такая значимость обнаружена у большинства показателей, кроме индекса Пиелу и статистики Кларка (прил. табл. 14). В 2018 г. это воздействие было значимо только для индексов Маргалефа, *M-AMBI* и TPF_{bio} , а в 2019 г., как и в 2016 г., — для большинства параметров, кроме *A* и *e*.

Среди ассоциаций, выделенных в 2001 г., сообщество I. *Scoletoma* spp. + *S. bassi* по всем параметрам занимает среднее положение (прил. табл. 14). Это богатое видами, но умеренно разнообразное сообщество с плохо выравненным распределением видов по рангам, а доминирование относительно крупных животных выражено слабо. Всего в нем отмечено 130 видов беспозвоночных; 15 из них были найдены на половине и более станций, чаще всех встречались титульные виды и *T. lubrica* (все точки опробования). По плотности лидировал *A. pacifica* (700 ± 362 экз./м², F_q — 60,0 %), а *Scoletoma* spp., *S. bassi* и *S. inflatum* уступали ему в разы (248 ± 53 , 81 ± 28 и 58 ± 33 экз./м²). Наибольшую биомассу имел *A. broughtoni* ($39,0 \pm 38,9$ г/м², F_q — 13,3 %).

Сообщество II. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii* характеризуется наибольшими плотностью, биомассой, индексами Шеннона-Винера и Маргалефа (прил. табл. 14). Это богатая видами и разнообразная группировка с умеренно выравненным ранговым распределением видов, в которой преобладают относительно крупные животные. Всего в ассоциации найдено 160 видов (31 из них — на половине и более станций), среди которых чаще других встречались *Scoletoma* spp. и *Glycera* sp. (все станции), а *O. sarsii*, *S. armiger* и *G. maculata* пропустили по одной точке опробования (88,9 %). По плотности доминировал *D. cardalia*, *M. sarsi* занимал второе место, а *N. latericeus* замыкал тройку (497 ± 356 , 304 ± 215 и 207 ± 103 экз./м², F_q — более 66 %). По биомассе лидировал *E. cordatum*, за ним следовали *C. orientalis* и *A. insignis* ($81,6 \pm 40,6$, $64,2 \pm 64,2$ и $46,1 \pm 30,6$ г/м², F_q — 44,4, 11,1 и 44,4 %).

В группировке III. *P. orientalis* + *Macoma* sp. обнаружено 70 видов, причем титульные виды встречались чаще остальных (100 и 80 %); еще восемь представителей донной фауны были отмечены более чем на половине станций. Почти по всем количественным характеристикам группировка уступает предыдущей ассоциации (прил. табл. 14). Это богатая видами и умеренно разнообразная в информационном отношении группировка с умеренно выравненным ранговым распределением видов, а преобладание относительно крупных животных выражено незначительно. По плотности в ней с большим отрывом лидирует *A. pacifica*, а следующие за ним *D. cardalia* и *G. capitata* отстают от него более чем в 2 раза (450 ± 408 , 211 ± 93 и 206 ± 137 экз./м², F_q — по 60 %). Абсолютный фаворит по биомассе — *Macoma* sp. ($68,4 \pm 68,1$ г/м²), у его ближайших преследователей — *Asterias amurensis* и *P. pectinifera* — этот показатель в среднем в 7,7–9,0 раза ниже.

Сообщество IV. *A. pacifica* характеризуется небольшим числом видов на станциях, довольно высокой плотностью и наименьшей среди выделенных группировок биомассой (прил. табл. 14). Это бедная видами и бедная с информационных позиций группировка с умеренно выравненным распределением видов по рангам, в которой преобладают относительно крупные животные. Всего в ней найдено 12 видов макрозообентоса, четыре из которых были отмечены на половине и более станций, причем титульный вид лидирует по всем показателям (F_q — 100 % при средней плотности 902 ± 513 экз./м² и биомассе $5,9 \pm 4,7$ г/м²). Следующие за ним по плотности *C. capitata* и *Sch. japonica* отстают в разы (366 ± 159 и 263 ± 254 экз./м², F_q — 75 и 50 %). По биомассе отставание субдоминантов (*Sch. japonica*, *Nereis* sp. и *C. capitata*) еще выше — в 5,3–6,6 раза.

Ассоциация V. *A. pacifica* + *C. capitata* имеет наименьшие среди остальных группировок 2016 г. средние величины числа видов, биомассы, индексов Шеннона-Винера и *W*-статистики и в то же время довольно высокую плотность (прил. табл. 14). Это бедная группировка с умеренно выравненным ранговым распределением видов, в которой преобладают относительно мелкие животные. Всего в ассоциации найдено 13 видов, среди которых чаще других встречались *A. pacifica* и *C. capitata* (80,0 %), причем первый доминировал по плотности (338 ± 215 экз./м²). По биомассе лидировал *Nereis* sp. ($9,6 \pm 10,3$ г/м², F_q — 40 %).

Для группировки VI. *O. sarsii* + *M. scarlatoi* характерны более высокие значения всех биотических параметров (прил. табл. 14). Всего в ней отмечено 45 видов беспозвоночных, а 9 из них — полихеты *A. pacifica*, *Ch. setosa*, *Eteone longa*, *G. capitata*, *Scoletoma* spp., *S. armiger* и *Sch. japonica*, а также *M. scarlatoi* и *O. sarsii* имели 100 %-ную встречаемость, по плотности лидировал *O. sarsii* (619 ± 271 экз./м²), по биомассе — *M. scarlatoi* ($274,9 \pm 97,6$ г/м²). Это богатое видами и умеренно разнообразное сообщество с умеренно выравненным распределением видов по рангам и доминированием относительно крупных животных.

Агломерация VII. *O. sarsii* + *Scoletoma* spp. + *S. armiger* + *E. tenuis* — третья по плотности макрофауны, так же богата видами, как и группировка VI, и самая разнообразная по ее составу. Ранговое распределение — умеренно выравненное, а *W*-статистика изменяется в очень широких пределах, в среднем указывая на слабое преобладание относительно крупных животных (прил. табл. 14). Общее число видов — 85, причем четыре из них (титulyные) встречены во всех пробах. Самый многочисленный вид — *Ph. harmeri*, найденный на трех из 11 станций (895 ± 627 экз./м²), доминант по биомассе — *B. rostratus* (одна станция, $100,0 \pm 104,8$ г/м²).

Сообщество VIII. *Ph. harmeri* показывает самые высокие значения параметров обилия, но существенно уступает ассоциации VII в разнообразии животных (прил. табл. 14). Всего в группировке обнаружено 25 видов, причем пять из них — *Ph. harmeri* (абсолютный доминант как по плотности, так и по биомассе — 4000 ± 2392 экз./м² и $822,8 \pm 640,0$ г/м²), *A. pacifica*, *Sch. japonica*, *S. inflatum*, *M. sarsi* — были найдены на всех станциях. Выраженное доминирование мелких форонид обуславливает не только низкие значения *W*-статистики, но и таковые индексов H' и e — это богатая видами и бедная в информационном отношении группировка, в которой доминирование сравнительно крупных животных выражено незначительно на фоне плохо выравненного рангового распределения.

Ассоциация IX. *M. sarsi* имеет весьма высокую биомассу при относительно небольшой плотности и числе видов в пробе (прил. табл. 14). В среднем это умеренно богатое видами и умеренно разнообразное сообщество с умеренно выравненным ранговым распределением видов и преобладанием относительно крупных представителей бентоса. В группировке найдено 40 видов, но только *M. sarsi* была встречена на всех станциях, доминируя по плотности (442 ± 183 экз./м²), а наибольшие средние биомассы были отмечены у редких *T. boucardi* и *A. broughtoni* ($280,9 \pm 314,0$ и $258,5 \pm 289,0$ г/м², F_q — 20 %).

Среди выделенных в 2018 г. группировок сообщество X. *A. pacifica* + *D. cardalia* характеризуется наибольшей средней плотностью, биомассой и наименьшими R , H и W (прил. табл. 14). Это богатая видами, но умеренно разнообразная агломерация с плохо выравненным ранговым распределением видов, в которой преобладание относительно мелких или крупных животных не выражено. Всего в ассоциации найден 31 вид, из которых на обеих станциях встречены 12. По плотности доминировал *A. pacifica* и лишь немного ему уступал *Ph. harmeri* (1975 ± 1662 и 1715 ± 2312 экз./м²). По биомассе лидировал *Ph. harmeri*, следующий за ним *L. jedoyensis* имел почти в 7 раз более низкую биомассу ($518,8 \pm 729,3$ и $76,9 \pm 108,7$ г/м²).

Для группировки XI. *Scoletoma* spp. характерны заметные более низкие средние плотности и биомассы на фоне такой же величины индекса Маргалефа, как и у пре-

дыдущей ассоциации (прил. табл. 14). Всего в ней отмечено 54 вида беспозвоночных, причем три из них — *Scoletoma* spp., *P. orientalis* и *S. bassi* — найдены во всех точках опробования и еще 22 обнаружены на половине и более станций. По плотности лидировал *M. sarsi* и лишь немного от него отставал титульный вид (720 ± 635 и 686 ± 222 экз./м²), по биомассе — *L. jedoyensis* ($81,8 \pm 94,4$ г/м²). Это богатое видами и умеренно разнообразное сообщество с умеренно выравненным распределением видов по рангам и доминированием относительно крупных животных.

Ассоциация XII. *P. gracilis* + *P. corrugata* — самая богатая и разнообразная по составу макрофауны. Ранговое распределение видов — умеренно выравненное, *W*-статистика изменяется в довольно широких пределах, но ее средняя величина свидетельствует о некоторой выраженности доминирования сравнительно крупных животных (прил. табл. 14). Всего в сообществе зафиксировано 57 представителей донной фауны, причем 32 из них найдены на обеих станциях (включая, естественно, титульные). Самый многочисленный вид — *P. gracilis* (435 ± 226 экз./м²), доминант по биомассе — *P. corrugata* ($40,0 \pm 25,9$ г/м²).

Сообщество XIII. *O. sarsii* + *A. insignis* имеет довольно высокие значения параметров обилия, но существенно уступает ассоциации XII в разнообразии донной фауны (прил. табл. 14). Всего в группировке обнаружено 115 видов, причем четыре из них — *O. sarsii*, *A. insignis*, *Scoletoma* spp. и неидентифицированные немертины — показали 100 %-ную встречаемость, а еще 15 были найдены на половине и более станций. Абсолютный доминант по плотности — *P. furcigera* (1009 ± 898 экз./м², F_q — 25,0 %), по биомассе — *M. calcarea* ($149,9 \pm 88,5$ и 50,0). Выраженное доминирование мелких амфипод несколько снижает *W*-статистику, H' и e , но в то же время это богатое видами и разнообразное сообщество.

Среди ассоциаций, выявленных в 2019 г., сообщество XIV. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii* + *M. sarsi* характеризуется самым высоким индексом *R* (прил. табл. 14). Это богатое видами и умеренно разнообразное сообщество с умеренно выравненным распределением видов; доминирование относительно крупных животных почти не выражено. Всего в нем отмечено 108 видов; 16 из них найдены на половине и более станций, при этом чаще всех встречались первые два титульных вида и неопределенные до вида немертины (100 %). По плотности лидировал *D. cardalia* (1162 ± 100 экз./м², F_q — 73,3 %), причем, кроме него, у шести видов — *A. sibirica*, *M. sarsi*, *Scoletoma* spp., *O. sarsii*, *Spiophanes uschakovi*, *S. inflatum* — плотность превышала 100 экз./м² (102–317), а еще у двух — *E. tenuis* и *S. armiger* — приближалась к этой величине (99 и 98 экз./м²). Наибольшую среднюю биомассу имел *P. adamsi* ($38,7 \pm 39,6$ г/м², F_q — 46,7 %), а у *D. cardalia*, *O. sarsii*, *S. inflatum* и *M. sarsi* она превышала 10 г/м² (14,2–28,3).

Сообщество XV. *Scoletoma* spp. + *M. scarlati* характеризуется слегка меньшим, чем в агломерации XIV, средним числом видов на станции и сходными величинами других параметров, за исключением *W*-статистики (прил. табл. 14). Это богатая видами и разнообразная группировка с умеренно выравненным ранговым распределением, в которой преобладают относительно крупные животные. Всего в ассоциации найдено 76 видов (20 из них — на половине и более станций), среди которых чаще других встречались *Scoletoma* spp., *N. latericeus* и *Sch. japonica* (100 %). По плотности доминировал *A. pacifica*, *Ph. harmeri* занимал второе место, а *Ch. setosa* замыкал тройку (995 ± 490 , 881 ± 630 и 211 ± 207 экз./м²); заметную плотность создавали *Scoletoma* spp., *Sch. japonica*, *D. cardalia* и *S. armiger* (в среднем 124–161 экз./м²). По биомассе лидировал *M. scarlati*, за ним следовал *Ph. harmeri* ($219,4 \pm 58,6$ и $148,6 \pm 105,8$ г/м²), а биомасса их ближайшего преследователя *P. adamsi* была в 4–6 раз ниже ($34,9 \pm 35,8$ г/м²).

В группировке XVI. *A. pacifica* обнаружено 39 видов макрофауны, причем титульный вид и *Sch. japonica* встречались чаще остальных (87,5 %); еще восемь представителей бентоса были найдены более чем на половине станций. По большинству параметров это сообщество заметно уступает остальным, но превосходит их по плот-

ности (прил. табл. 14), что происходит из-за аномально высокой численности *P. cincta* (станция Z7, 13406 экз./м²); при ее исключении общая плотность остается высокой, но все же ниже, чем в других группах. Это умеренно богатая видами и бедная в информационном плане ассоциация с плохо выравненным ранговым распределением, в которой несколько преобладают мелкие животные. По плотности в ней с большим отрывом лидируют *A. pacifica*, *P. cincta* и *Sch. japonica* (1850 ± 741 , 1725 ± 1784 и 465 ± 286 экз./м²), по биомассе — титульный вид, *Ch. setosa* и все тот же *Sch. japonica* ($16,0 \pm 6,4$, $7,1 \pm 7,3$ и $4,8 \pm 3,0$ г/м²).

Следует отметить, что в северной части Амурского залива, включая зал. Угловой (съемка 2005 г.), были найдены еще три сообщества — *Crassikorophium crassicorne*, *Scoletoma* spp. и *A. pacifica* + *Ph. harmeri* + *D. dawsoni*, а в прол. Босфор Восточный — у о. Русского и в бухте Патрокл (2006–2007 гг.) — еще пять: *D. cardalia*, *A. insignis* + *S. inflatum*, *E. tenuis* + *Nicolea* sp. + *S. inflatum*, *S. armiger* + *O. sarsii* + *E. tenuis* и *P. adamsi* [Moshchenko, Belan, 2005; Мощенко и др., 2018a]. Таким образом, всего в прибрежье Владивостока в 2001–2019 гг. было выявлено 24 сообщества макрозообентоса. Естественно, эти агломерации имеют разную степень стабильности («смешанные» кластеры на рисунках в приложении — тому доказательство) и изменяются во времени и пространстве, сужаясь и расширяясь в зависимости от изменения комплекса внешних факторов. Однако описание динамики сообществ — тема отдельной работы.

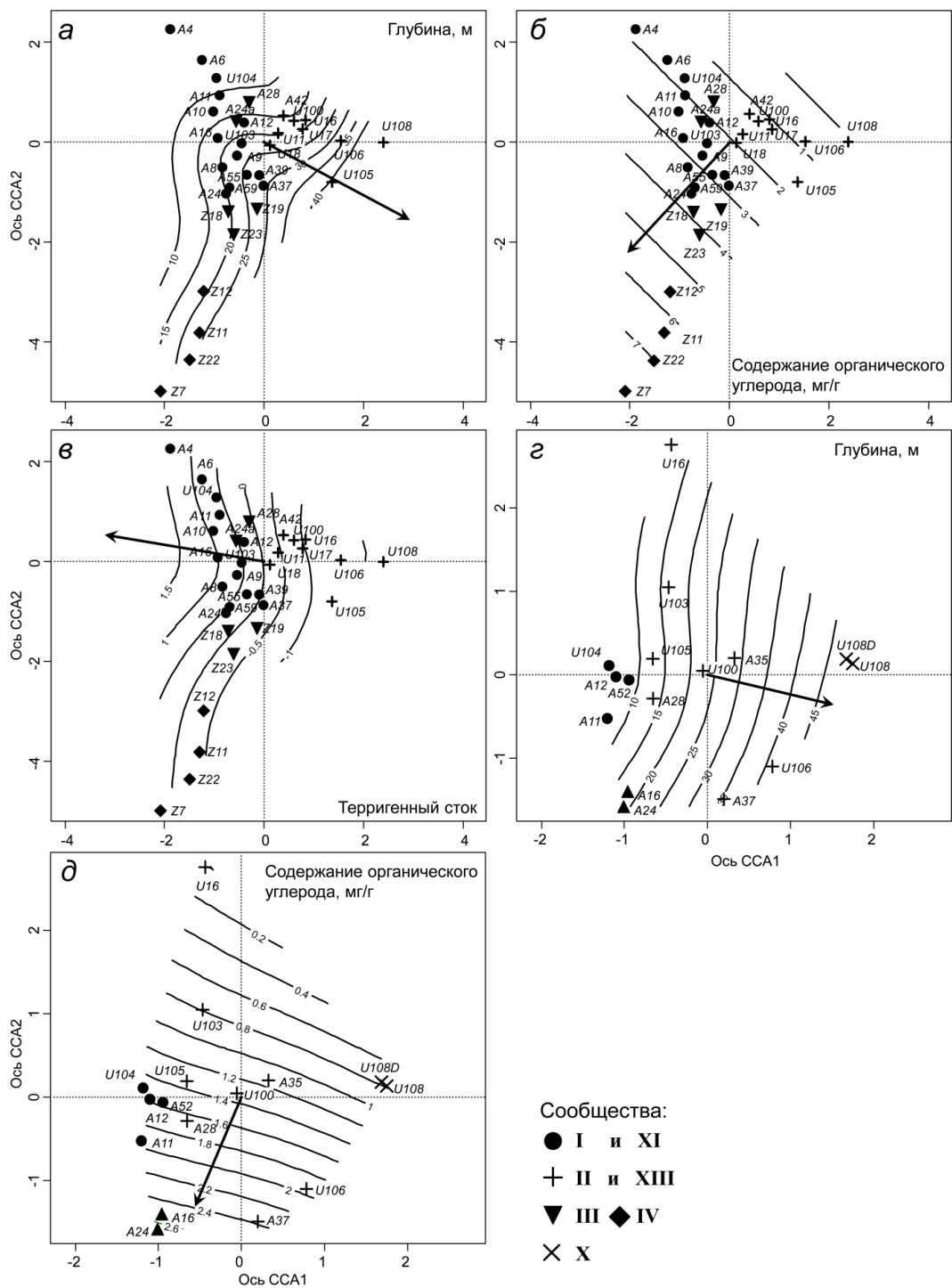
Императивные факторы и приуроченность группировок к условиям среды.

Для всех четырех съёмок статистически значимыми оказались сами модели в целом, включение в них двух-четырёх независимых переменных (факторов среды) и по две-три оси ССА (рис. 4, 5, прил. табл. 15). Во все модели на значимом уровне входили глубина, а также параметры, характеризующие уровень загрязнения или эвтрофикации (TPF_{chem} и его аналог PoF_1^* в 2016 и 2019 гг. и C_{opr} в 2001 и 2018 гг.). Летняя (минимальная) концентрация растворенного O_2 присутствовала в моделях 2016 и 2019 гг., а параметр, характеризующий интенсивность терригенного стока (MeF_2), — в моделях 2001 и 2016 гг.; в модель 2019 г. входил и фактор GrF_1 , описывающий сортировку осадка и контролирующий аккумуляцию мелких алевритов и пелитов всех размерных классов. Следует подчеркнуть, что на изученной акватории TPF_{chem} и C_{opr} сильно коррелируют друг с другом (коэффициент корреляции $r = 0,916$, $p = 0,000$) и отражают по существу одновременность загрязнения и эвтрофикации.

Для облегчения интерпретации число параметров можно снизить: например, у модели, полученной по данным съемки 2016 г. (прил. табл. 16), каждую ось формируют по две переменные с близкими по величине, стремящимися к единице, но противоположными по знаку весовыми коэффициентами, и можно оставить всего две переменные, например TPF_{chem} и MeF_2 , или TPF_{chem} и глубину (как интегральный фактор, характеризующий гидрологический режим, что не всегда верно) и т.д. Следовательно, дифференциация сообществ макрозообентоса на исследованной акватории определяется прежде всего уровнем химического загрязнения, эвтрофикации и особенностями придонного гидрологического режима, который во многом обусловлен интенсивностью терригенного стока.

Сообщество I. *Scoletoma* spp. + *S. bassi*, занимавшее в 2001 г. почти целиком Амурский и север Уссурийского залива, существовало в широком диапазоне глубин (6–35, главным образом ≤ 23 м), преимущественно на алевритах пелитовых; I критический уровень загрязнения ($TPF_{chem} \geq 2,8$) был отмечен в четырех из 15 точек опробования, содержание C_{opr} на большинстве станций превышало 2,0 мг/г (прил. табл. 17). Ассоциации открытых районов Амурского и Уссурийского заливов II. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii*, VII. *O. sarsii* + *Scoletoma* spp. + *S. armiger* + *E. tenuis* и XIII. *O. sarsii* + *A. insignis* распола-

* PoF_1 , MeF_2 и GrF_1 — факторы, получаемые при анализе концентраций загрязняющих веществ и гранулометрических фракций методом факторного анализа [Мощенко и др., 2009, 2018a, 2019].



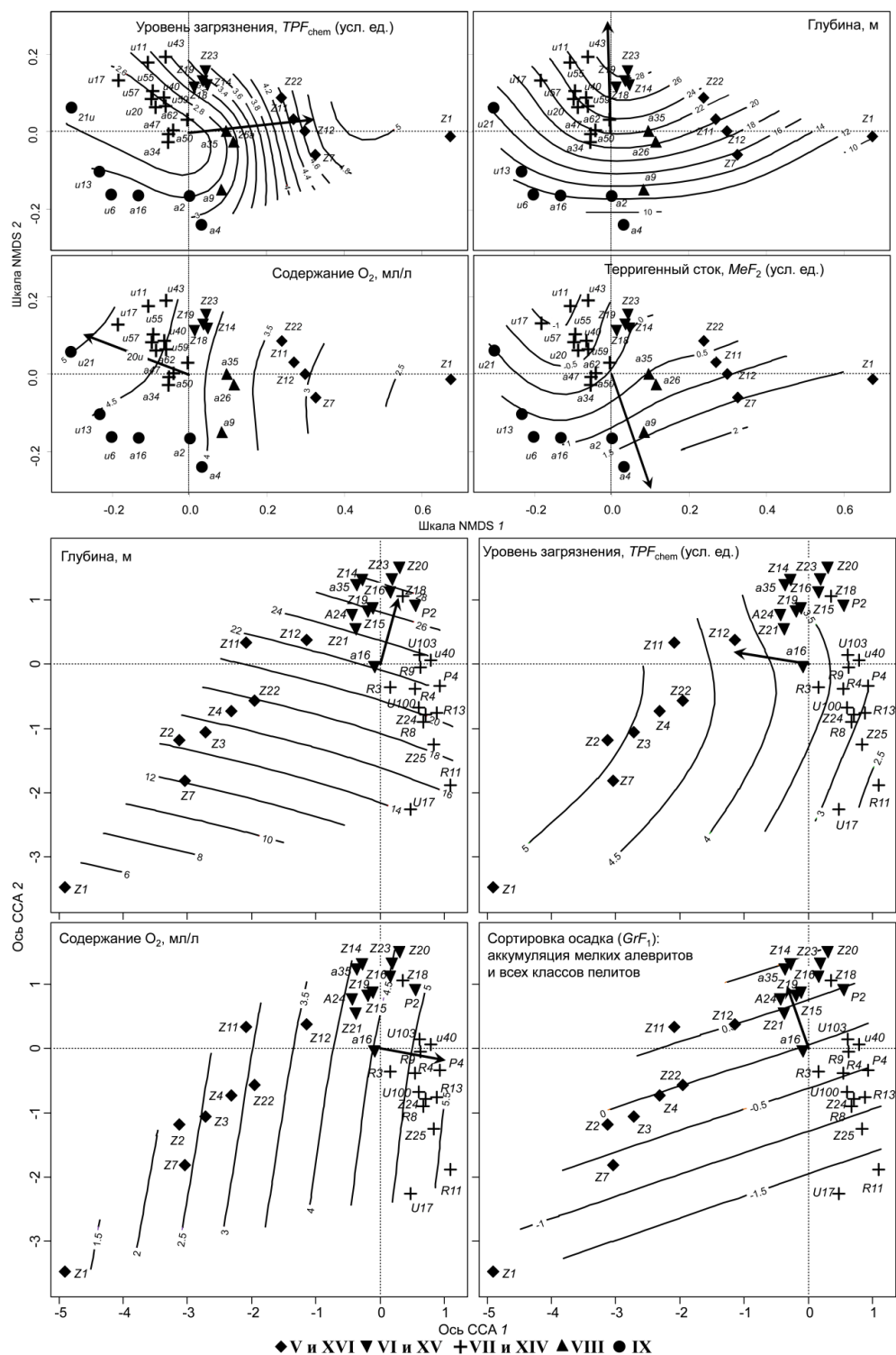


Рис. 5. Ординация станций методами NMDS и CCA (соответственно 2016 и 2019 гг.) и результаты подгонки поверхностей (изолинии) для императивных факторов среды: стрелки — градиенты факторов, пунктирные линии — оси координат, римские цифры — сообщества

Fig. 5. Ordination of stations by methods of non-metric multidimensional scaling (NMDS, for 2016) and canonical correspondence analysis (CCA, for 2019). Isolines — fitted surfaces for the imperative environmental factors; arrows — the factors gradients; dotted lines — coordinate axes

гались на глубинах 12–48 м, в основном на алевритовых песках с довольно низким содержанием частиц < 0,1 мм (в среднем — 38,0–54,0 %). Средняя концентрация $C_{орг}$ и уровень загрязнения в местах их обитания невелики (1,13–1,36 мг/г и 2,1–2,6 усл. ед.), а содержание O_2 у дна довольно высоко даже летом. Группировка XII. *P. gracilis* + *P. corrugata* обитала в самом мористом районе Уссурийского залива на глубинах 49–50 м, на чистых мелких песках при низком содержании $C_{орг}$ и загрязнении (0,59–0,75 мг/г и 2,2 усл. ед.).

Диапазон глубин обитания сообществ прол. Босфор Восточный III. *P. orientalis* + *Macoma* sp., VI *O. sarsii* + *M. scarlatoi*, XIV. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii* + *M. sarsi* и XV. *Scoletoma* spp. + *M. scarlatoi*, как и агломераций открытых районов, весьма широк — 9–38 м (прил. табл. 17). Преобладающие грунты — пески алевритовые и алевриты песчаные, но содержание алевропелитов в них было заметно выше, чем в биотопах ассоциаций II, VII и XIII, что также относится к концентрации $C_{орг}$ и загрязнению (в среднем 1,57–4,38 мг/г и 2,2–3,7 усл. ед.). Следует отметить, что ассоциация XIV приурочена к меньшим глубинам и более высоким концентрациям O_2 , чем группировка XV (в среднем 21 и 28 м, 5,16 и 4,41 мл/л), располагается на алевритах песчаных (XV — на алевритах пелитовых с примесью гравия). Осадки в её местообитании содержат меньшее количество $C_{орг}$ и загрязнены в меньшей степени (2,34 и 4,38 мг/г, 3,2 и 3,5 усл. ед.).

Группировки бухт Золотой Рог и Диомид IV. *A. pacifica*, V. *A. pacifica* + *C. capitata* и XVI. *A. pacifica* обитали на глубинах 9–24 м при низком содержании O_2 , тяготели к заиленным осадкам с заметной примесью гравия (аледритам песчаным, гравий — главным образом шлак) и самым высоким уровнем загрязнения и эвтрофикации. Сообщества VIII. *Ph. harmeri* и X. *A. pacifica* + *D. cardalia* (западное побережье п-ова Муравьева-Амурского) приурочены к области выраженной летней гипоксии, довольно высокому содержанию $C_{орг}$ (в среднем 2,62–3,45 мг/г) и повышенному уровню загрязнения (часто > II критического уровня); грунты — главным образом алевриты пелитовые, глубины — 17–25 м. Ассоциации IX. *M. sarsi* и XI. *Scoletoma* spp. явно тяготеют к районам сильного влияния терригенного стока (северные части Амурского и Уссурийского заливов), что отражается, в частности, в большом содержании частиц тонких фракций, хотя средняя глубина здесь минимальна (прил. табл. 17). Загрязнение обычно не превышает первого критического уровня (в среднем 2,5–2,6 усл. ед.).

Экологическое состояние и статус сообществ. В соответствии со средними величинами *AMBI* биотопы ассоциаций I–III, VI, VII и IX–XV нарушены в легкой степени, а группировок IV, V, VIII и XVI имеют умеренное повреждение (см. прил. табл. 14). Хороший экологический статус, учитывая средние значения *M-AMBI*, отмечен у сообществ II, XI, XII и XIII, умеренный — I, III, VI, VII, X, XIV и XV, обедненный — VIII, IX и XVI, плохой — IV и V. Пространственные вариации статуса многих из выделенных агломераций, как и степени нарушения биотопов, часто весьма широки, и их состояние может варьировать от обедненного до хорошего (I, III, XIV и XV). В целом поврежденные и неблагополучные сообщества характеризуются доминированием относительно мелких животных, низким видовым богатством и разнообразием (прил. табл. 14). С улучшением условий среды сообщества становятся более разнообразными, и в них начинают преобладать относительно крупные животные.

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, прил. табл. 4). В наименее нарушенных группировках такие животные — *A. pacifica*, *C. capitata*, *Ch. setosa*, *Cheilonereis cyclurus*, *P. cincta*, *M. nipponica*, *M. scarlatoi*, *Nereis* sp., *N. latericeus*, *Sch. japonica* и др. — не вносят существенного вклада в показатели обилия, хотя их встречаемость может быть высока. Примерами последнего могут служить сообщества XI и XIII, где позитивные индикаторы отмечены более чем на половине станций, хотя их

вклад в общую биомассу и плотность в сумме не превышает 5 % (2,1–4,2 и 0,3–1,1 %). С ростом загрязнения и эвтрофикации роль таких животных возрастает, достигая максимума в группировках IV, V и XVI, где на их долю приходится 95,4–98,8 % общей плотности и 80,8–100,0 % биомассы. Другая закономерность — с ухудшением состояния среды и статуса донного населения происходит увеличение доли эврибионтных по отношению к загрязнению таксонов и снижение числа стенобионтов.

Порядки расположения сообществ в ряду увеличения $M\text{-}AMBI$, $AMBI$ и TPF_{bio} весьма похожи (прил. рис. 3). Это отражает, с одной стороны, коррелированность изменений экологического состояния группировок, степени эвтрофикации и уровня загрязнения, а с другой — сходство гидробионтов по отношению к указанным факторам. При этом коэффициенты корреляции средних для сообществ значений перечисленных параметров близки и даже превышают 0,9 (полиномы второй-третьей степени; $r = 0,891\text{--}0,934$, $p = 0,000$).

Среди всех выделенных ассоциаций макрозообентоса наибольшие величины $ПЭС$ имеют сообщества IV, V и XVI, что также свидетельствует об их неблагоприятном состоянии (38,5–45,8 %; см. прил. табл. 14). Заметно повышенные значения $ПЭС$ (25,0–34,4 %, у остальных — 6,5–11,5 %) отмечены у группировок III, VI (прол. Босфор Восточный), VIII (восточная часть Амурского залива), IX и XI (северные части Амурского и Уссурийского заливов). В то же время начало саккадических изменений $ПЭС$ (перегиб кривой его зависимости от общей средней дисперсии характеристик обилия и экологических индексов, объяснённой изменчивостью косных факторов) приходится примерно на 16–17 % [Мощенко и др., 2018б]. Очевидно, эта зависимость требует уточнения. Следует подчеркнуть, что сила связи $ПЭС$ и усредненных для сообществ величин индексов $M\text{-}AMBI$, $AMBI$ и TPF_{bio} также более чем заметна (выбраваны по 1–3 точки; полиномы третьей-четвертой степени; $r = 0,885\text{--}0,941$, $p = 0,000$). Таким образом, учитывая результаты определения $ПЭС$ у сообществ открытых акваторий зал. Петра Великого [Мощенко и др., наст. вып.], этот показатель имеет высокий потенциал для мониторинга состояния морской среды на синэкологическом уровне.

Снижение качества морской среды в бухтах Золотой Рог и Диомид и соответствующее ухудшение состояния донного населения обусловлены экстремальным уровнем химического загрязнения ($TPF_{\text{chem}} \gg ERM_q$) и эвтрофикации, отягощенных процессами гниения и летней гипоксией. Дефицит кислорода характерен и для прол. Босфор Восточный, где его концентрации, так же как и в указанных бухтах, могут опускаться ниже пороговой величины (2 мл/л) [Мощенко и др., 2018а]. Кроме того, относительно плохие условия в прол. Босфор Восточный связаны и с высоким уровнем эвтрофикации и загрязнения ($TPF_{\text{chem}} > ERL_q$, а часто и ERM_q).

В целом летнее падение насыщенности вод O_2 характерно для обширных областей зал. Петра Великого, особенно для его внутренних акваторий, причем один из самых «нагруженных» в этом отношении участков локализован в восточной части Амурского залива [Tishchenko et al., 2016]. Дополнительно качество среды здесь снижается и относительно высоким уровнем загрязнения (обычно $TPF_{\text{chem}} > ERL_q$). Северные части Амурского и Уссурийского заливов ($TPF_{\text{chem}} < ERL_q$) подвержены сильному влиянию терригенного стока. Его негативное воздействие обусловлено прежде всего потоком тонкодисперсной взвеси, которая засоряет фильтрующие аппараты, затрудняя питание, дыхание и другие процессы метаболизма, а то и просто засыпает донных животных. Например, в период паводка в 2018 г. (середина августа) слой наилка достигал 7–8 мм, причем на весьма значительных расстояниях от устьев водотоков, впадающих в эти заливы.

Заключение

Итак, на изученных в 2001–2019 гг. акваториях найдено 16 сообществ макрозообентоса: I. *Scoletoma* spp. + *S. bassi*; II. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii*; III. *P. orientalis* + *Macoma* sp.; IV. *A. pacifica*; V. *A. pacifica* + *C. capitata*; VI. *O. sarsii* + *M. scarlatoi*; VII.

O. sarsii + *Scoletoma* spp. + *S. armiger* + *E. tenuis*; VIII. *Ph. harmeri*; IX. *M. sarsi*; X. *A. pacifica* + *D. cardalia*; XI. *Scoletoma* spp.; XII. *P. gracilis* + *P. corrugata*; XIII. *O. sarsii* + *A. insignis*; XIV. *Scoletoma* spp. + *O. sarsii* + *M. sarsi*; XV. *Scoletoma* spp. + *M. scarlatoi* и XVI. *A. pacifica*. Важнейшими факторами среды, обуславливающими их дифференциацию, являются уровень химического загрязнения, эвтрофикации и особенности придонного гидрологического режима, который во многом зависит от интенсивности терригенного стока. Применение современных методов мониторинга подтверждает, что наиболее поврежденные и экологически неблагополучные группировки (IV, V, XVI) отмечены в бухтах Золотой Рог и Диомид. Ассоциации прол. Босфор Восточный (III, VI) имеют явно более высокий статус, который еще больше возрастает на акваториях Амурского и Уссурийского заливов (I, II, VII, XII, XIII, XV, XIV), за исключением их северных частей (IX, XI) и восточной части Амурского залива (VIII, X). В то же время эти методы дают объективные количественные показатели, которые позволяют, в отличие от «классических» — индексов видового богатства, разнообразия, статистики Кларка — оценивать межгодовые изменения состояния морской среды и донного населения на основе биоиндикации, а само описание экологического статуса становится гораздо более сжатым и наглядным. Следует отметить, что по мере улучшения условий среды сообщества становятся более разнообразными, в них начинают преобладать относительно крупные животные, а вклад позитивных индикаторов загрязнения и эвтрофикации снижается.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Автор благодарен сотрудникам ДВНИГМИ Т.А. Белан и Б.М. Борисову за предоставление материала, а также всем рецензентам за ценные замечания, которые были учтены при подготовке настоящей рукописи к печати.

The author is grateful to T.A. Belan and B.M. Borisov (DVNIGMI) for the materials provided for analysis and to all anonymous reviewers of the manuscript for their valuable comments taken into account when preparing the 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.

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

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

The author states that he has no conflict of interest.

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., Белан Л.С. Состав и количественное распределение макрозообентоса в Амурском заливе // Океанол. — 2006. — Т. 46, № 5. — С. 685–694.

Волова Г.Н. Биоценозы прибрежных вод Амурского залива (Японское море) // Фауна и экология морских организмов. — Владивосток : ДВГУ, 1984. — С. 78–124.

Волова Г.Н. Донные биоценозы Амурского залива (Японское море) // Изв. ТИНРО. — 1985. — Т. 110. — С. 111–119.

Дерюгин К.М. Зоны и биоценозы залива Петра Великого (Японское море) // Сборник, посвященный научной деятельности почетного академика Н.П. Книповича (1885–1939). — М. ; Л. : Пищепромиздат, 1939. — С. 115–142.

Дерюгин К.М., Сомова Н.М. Материалы по количественному учету бентоса зал. Петра Великого (Японское море) // Исслед. дальневост. морей СССР. — М. ; Л. : АН СССР, 1941. — Вып. 1. — С. 13–36.

Закс И.Г. Предварительные данные о распределении фауны и флоры в прибрежной полосе залива Петр Великий в Японском море // Производительные силы Дальнего Востока. — Хабаровск ; Владивосток : Кн. дело, 1927. — Вып. 4 : Животный мир. — С. 213–248.

Климова В.Л. Количественное распределение бентоса залива Петра Великого (Японское море) летом 1970 г. // Тр. ВНИРО. — 1971. — Т. 87/7. — С. 97–104.

Климова В.Л. О межгодовой изменчивости донной фауны шельфа центральной части залива Петра Великого (Японское море) // Океанол. — 1974. — Т. 14, № 1. — С. 173–175.

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: MDYYND.

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. Сообщества макрозообентоса рыхлых грунтов прибрежных акваторий открытой части залива Петра Великого Японского моря и их экологическое состояние // наст. вып.

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 AMBI и M-AMBI 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. Современное загрязнение донных отложений и экологическое состояние макрозообентоса в прибрежной зоне Владивостока (залив Петра Великого Японского моря) // Изв. ТИНРО. — 2019. — Т. 196. — С. 155–181. DOI: 10.26428/1606-9919-2019-196-155-181.

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

Мощенко А.В., Белан Т.А., Олейник Е.В. Влияние загрязнения на сообщества рыхлых грунтов в заливе Петра Великого Японского моря: выбор переменных // Экологические исследования и состояние экосистем Амурского залива и эстуарной зоны реки Раздольная (Японское море). — Владивосток : Дальнаука, 2009. — Т. 2. — С. 173–204.

Belan T.A. Benthos abundance pattern and species composition in conditions of pollution in Amursky Bay (the Peter the Great Bay, the Sea of Japan // Mar. Pollut. Bull. — 2003. — Vol. 49, № 9. — P. 1111–1119.

Belan T.A., Moshchenko A.V. Polychaete taxocenes variability associated with sediment pollution loading in the Peter the Great Bay (the East Sea/Japan Sea) // Ocean Science 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.

Moshchenko A.V., Belan T.A. Near-bottom environmental conditions and macrobenthos of the inner part of Amursky Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea) // *Pacific Oceanography.* — 2005. — Vol. 3, № 2. — P. 121–136.

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.

Tishchenko P.P., Tishchenko P.Ya., Lobanov V.B. et al. Summertime in situ monitoring of oxygen depletion in Amursky Bay (Japan/East Sea) // *Cont. Shelf Res.* — 2016. — Vol. 118. — P. 77–87. DOI: 10.1016/j.csr.2016.02.014.

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. and Belan, L.S., Composition and quantitative distribution of macrozoobenthos in Amursky Bay, *Oceanology*, 2006, vol. 46, no. 5, pp. 642–651.

Volova, G.N., Biocenoses of the coastal waters of the Amur Bay (Sea of Japan), in *Fauna i ekologiya morskikh organizmov* (Fauna and ecology of marine organisms), Vladivostok: FEGU, 1984, pp. 78–124.

Volova, G.N., Bottom biocenoses of the Amursky Bay (the Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1985, vol. 110, pp. 111–119.

Deryugin, K.M., Zones and biocenoses of Peter the Great Bay (Sea of Japan), in *Sbornik, posvyashchenny nauchnoy deyatel'nosti pochetnogo akademika N.P. Knipovicha (1885–1939)* (Collection devoted to scientific activity of honorary academician Knipovich N.P.), Moscow, Leningrad: Pishchepromizdat, 1939, pp. 115–142.

Deryugin, K.M. and Somova, N.M., Materials on quantitative record of benthos of Peter the Great Bay (Sea of Japan) in *Issledovaniya dal'nevostochny'kh morej SSSR* (Studies of the Far Eastern Seas of the USSR), Moscow, Leningrad: AS of USSR, 1941, no. 1, pp. 13–36.

Zaks, I.G., Preliminary data on the distribution of fauna and flora in the coastal belt of Peter the Great Bay in the Sea of Japan, in *Proizvoditel'ny'e sily Dal'nego Vostoka* (Productive forces in the Far East), Khabarovsk, Vladivostok: Knizhnoye delo, 1927, no. 4: Zhivotny'j mir, pp. 213–248.

Klimova, V.L., Quantitative distribution of benthos in Peter the Great Bay (Sea of Japan) in summer of 1970, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 1971, vol. 87, no. 7, pp. 97–104.

Klimova, V.L., On the interannual variability of the bottom fauna of the shelf of the central part of Peter the Great Bay (Sea of Japan), *Oceanology*, 1974, vol. 14, no. 1, pp. 173–175.

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., and Borisov, B.M., Communities of macrozoobenthos on soft grounds in the coastal areas of open parts of Peter the Great Bay Japan Sea and their ecological status, *present issue*.

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., Borisov, B.M., Lishavskaya, T.S. and Sevastianov, A.V., Modern contamination of bottom sediments and ecological state of macrozoobenthos in the coastal zone at Vladivostok (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2019, vol. 196, pp. 155–181. doi 10.26428/1606-9919-2019-196-155-181

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 k ustoychivomu 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., 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 Oleynik, E.V., Influence of contamination on soft-bottom communities in Peter the Great Bay, Sea of Japan: choice of variables, in *Ecological Studies and the State of the Ecosystem of Amursky Bay and the Estuarine Zone of the Razdolnaya River (Sea of Japan)*, Vladivostok: Dal'nauka, 2009, vol. 2, pp. 173–204.

Belan, T.A., Benthos abundance pattern and species composition in conditions of pollution in Amursky Bay (the Peter the Great Bay, the Sea of Japan), *Mar. Pollut. Bull.*, 2003, vol. 49, no. 9, pp. 1111–1119.

Belan, T.A. and Moshchenko, A.V., Polychaete taxocenes 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.

Moshchenko, A.V. and Belan, T.A., Near-bottom environmental conditions and macrobenthos of the inner part of Amursky Bay (Peter the Great Bay, Japan Sea), *Pacific Oceanography*, 2005, vol. 3, no. 2, pp. 121–136.

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., Vadrucchi, 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

Tishchenko, P.P., Tishchenko, P.Ya., Lobanov, V.B., Sergeev, A.F., Semkin, P.Yu., and Zvalinsky, V.I., Summertime in situ monitoring of oxygen depletion in Amursky Bay (Japan/East Sea), *Cont. Shelf Res.*, 2016, vol. 118, pp. 77–87. doi 10.1016/j.csr.2016.02.014

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

Поступила в редакцию 19.05.2023 г.

После доработки 25.07.2023 г.

Принята к публикации 4.09.2023 г.

*The article was submitted 19.05.2023; approved after reviewing 25.07.2023;
accepted for publication 4.09.2023*