

ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОСАДКОВ ПРИБРЕЖНЫХ АКВАТОРИЙ ВЛАДИВОСТОКА В 2016 Г. И СОСТОЯНИЕ МАКРОЗООБЕНТОСА

Мощенко А.В., Белан Т.А., Борисов Б.М., Лишавская Т.С., Севастьянов А.В. (ФГБУ

«ДВНИГМИ», г. Владивосток; avmoshchenko@mail.ru)

ВВЕДЕНИЕ. Интенсивная экономическая эксплуатация Приморья обуславливает необходимость комплексной оценки состояния морской среды. Одними из наиболее эффективных методов являются наблюдения за уровнем загрязнения осадков и характеристиками донных животных. Цель работы – изучить степень современного загрязнения осадков и его влияние на бентос, определить экологический статус донной фауны и оценить состояние морской среды вблизи Владивостока.

ДАННЫЕ. Осадки для анализа загрязнителей и бентосной фауны были отобраны 8–10 августа 2016 г. на 30 станциях в заливах Амурском и Уссурийском, бухте Золотой Рог и проливе Босфор Восточный дночерпателем Ван-Вина (0.11 м²) в 1-2 повторностях (рис. 1). Анализ содержания в грунтах Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn, углеводов, фенолов, хлорорганических пестицидов ДДТ, ГХЦГ и обработку проб бентоса выполняли по стандартным методикам. Кроме того, использованы концентрации загрязняющих веществ (ЗВ) в

грунтах станций ОГСН в Амурском и Уссурийском заливах (2015 и 2016 гг.).

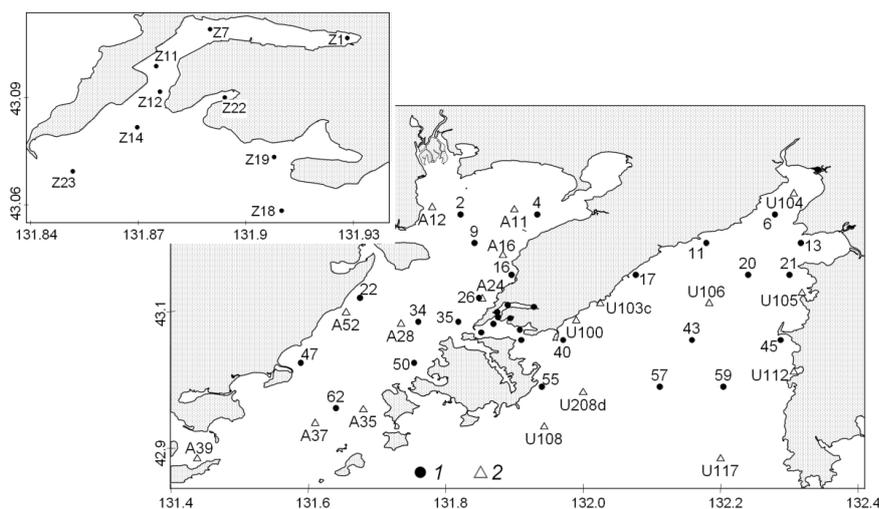


Рис. 1. Районы работ в заливе Петра Великого и схема расположения станций: 1 – станции 2016 г.; 2 – станции ОГСН в Амурском и Уссурийском заливах

Для характеристики общего уровня загрязнения использовали индекс $TPF=(PNC+PHE+Pb+Cu+\Sigma DDT)/5$, где PNC, PHE, Pb, Cu и ΣDDT – 5-ранговые оценки (*ln*-масштаб) содержания углеводов, фенолов, свинца, меди, суммы ДДТ и его метаболитов (Belan, Moshchenko, 2005). Экологическое состояние бентоса характеризовали индексами *AMBI* (*AZTI Marine Biotic Index*) и *M-AMBI* (Borja et al., 2004; Muxika et al., 2007). Первый определяется по сумме удельных плотностей 5 групп видов, по-разному относящихся к содержанию $C_{орг}$: $AMBI=[(0\times\%GI)+(1,5\times\%GII)+(3\times\%GIII)+(4,5\times\%GIV)+(6\times\%GV)]/100$, где GI–GV – группы видов. Второй индекс, *M-AMBI* или *Multivariate AMBI*, вычисляется на основе процедуры факторного анализа с использованием индексов *AMBI*, видового богатства Маргалёфа и разнообразия Шеннона-Винера H' . Кроме того, применяли метод количественной оценки степени антропогенного нарушения сообществ макрозообентоса, который основан на анализе

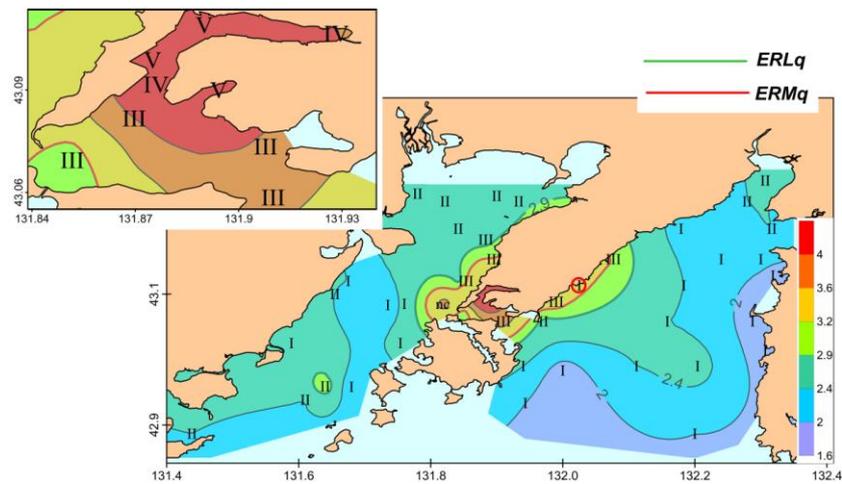


Рис. 3. Распределение величин индекса *TPF* на исследованной акватории. Римские цифры – группы станций на рис. 2 и в табл. 1. Красным кружком отмечена станция U103, где измеренные концентрации ЗВ вызывают сомнения

Таблица 1. Статистические характеристики концентраций некоторых ЗВ в осадках групп станций, выделенных в районе работ в 2016 г.

ЗВ	Группы станций					Станция 35	Все данные (n=50)
	I (n=21)	II (n=13)	III (n=10)	IV (n=2)	V (n=3)		
Cd, мкг/г	<u>0,4±0,1</u> 0,0–1,4	<u>0,9±0,2</u> 0,1–2,2	<u>1,0±0,3</u> 0,1–2,9	<u>1,2±0,3</u> 0,9–1,4	<u>4,7±1,5</u> 3,1–7,8	0,4	<u>1,0±0,3</u> 0,0–7,8
Cu, мкг/г	<u>4,7±0,5</u> 1,2–9,5	<u>14,2±1,1</u> 9,0–19,0	<u>41,3±4,9</u> 24,0–70,0	<u>109,5±23,5</u> 86,0–133,0	<u>276,0±21,7</u> 249,0–319,0	23,0	<u>35,3±14,4</u> 1,2–319,0
Hg, мкг/г	<u>0,048±0,022</u> 0,004–0,480	<u>0,071±0,010</u> 0,037–0,150	<u>0,252±0,073</u> 0,089–0,794	<u>0,350±0,151</u> 0,199–0,501	<u>1,144±0,233</u> 0,880–1,609	0,018	<u>0,332±0,271</u> 0,004–1,609
Pb, мкг/г	<u>6,4±0,6</u> 2,8–13,0	<u>14,0±1,6</u> 6,8–25,5	<u>37,9±3,3</u> 28,0–54,0	<u>81,5±19,5</u> 62,0–101,0	<u>179,7±16,3</u> 154,0–210,0	27,0	<u>28,5±9,4</u> 2,8–210,0
Zn, мкг/г	<u>25,0±1,8</u> 9,3–41,0	<u>71,6±3,8</u> 51,0–91,0	<u>111,2±7,9</u> 63,0–139,0	<u>266,0±18,0</u> 248,0–284,0	<u>427,7±26,0</u> 381,0–471,0	81,0	<u>89,3±22,2</u> 9,3–471,0
Углеводороды, мг/г	<u>0,19±0,05</u> 0,01–0,73	<u>0,34±0,10</u> 0,04–0,93	<u>1,28±0,46</u> 0,05–3,54	<u>4,91±0,28</u> 4,63–5,19	<u>9,54±0,95</u> 8,25–11,39	1,02	<u>1,21±0,53</u> 0,01–11,39
Фенолы, мкг/г	<u>1,6±0,1</u> 0,7–3,0	<u>2,4±0,2</u> 1,3–3,9	<u>3,0±0,4</u> 1,1–5,0	<u>3,8±0,8</u> 3,0–4,6	<u>4,7±0,9</u> 3,6–6,5	3,0	<u>2,4±0,3</u> 0,7–6,5
∑ДДТ, нг/г	<u>4,0±1,2</u> 0,4–23,0	<u>4,6±1,2</u> 1,4–17,1	<u>15,4±4,5</u> 3,1–50,3	<u>31,3±9,3</u> 21,9–40,6	<u>75,4±20,9</u> 34,4–103,0	252,9	<u>16,8±8,6</u> 0,4–252,9
γ-ГХЦГ (линдан), нг/г	<u>1,1±0,3</u> 0,0–4,2	<u>0,5±0,2</u> 0,0–2,3	<u>3,2±1,0</u> 0,2–8,4	<u>18,0±14,0</u> 4,0–32,0	<u>8,8±4,2</u> 0,7–14,9	1,9	<u>2,5±1,1</u> 0,0–32,0

Примечание. В числителе – среднее значение и ошибка репрезентативности, в знаменателе – пределы изменчивости, жирный курсив – концентрации превышают уровень ERL, жирный шрифт – ERM (для линдана – соответственно уровни TEL и PEL; по: Vichapan, 2008); для фенолов какие-либо критерии отсутствуют.

Пространственные вариации степени химического загрязнения грунтов на исследованной акватории отчетливо проявляются в распределении значений индекса *TPF* (рис. 3). Наиболее благоприятные для биологических объектов условия среды наблюдаются в мористой и восточной части Уссурийского залива ($TPF < 2,0$). С продвижением на север и северо-запад *TPF* последовательно возрастает и достигает критических значений вокруг южной оконечности п-ова Муравьева-Амурского (3,2) с максимумами в бухтах Золотой Рог и Диомид (4,8–5,0), затем вновь несколько снижается к западу, северо-западу и северо-востоку. Изолиния 2,9 (ERL_q , 20-% снижение разнообразия двустворчатых моллюсков) показывает границу, за которой начинается область прогрессивной деградации сообществ бентоса, изолиния 3,2 (ERM_q , уменьшение >54 %) – область прогрессивной деградации заканчивается.

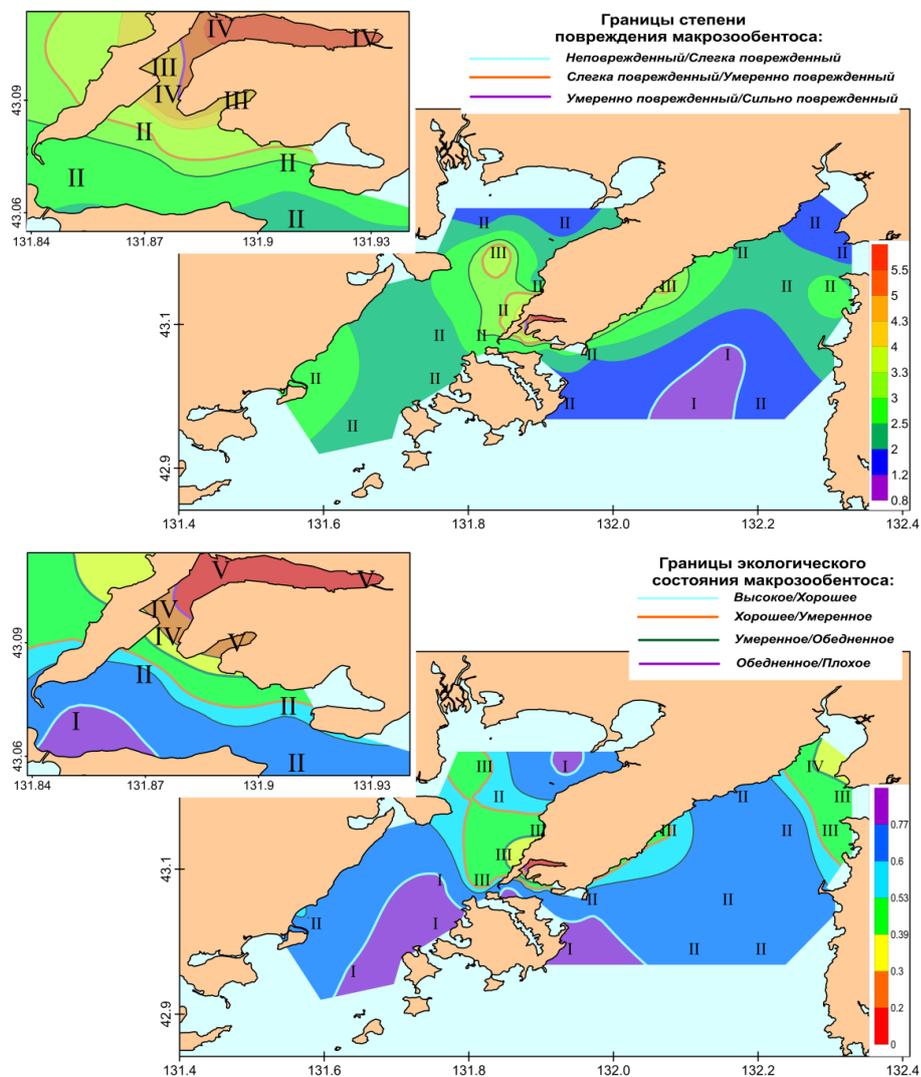


Рис. 4. Распределение величин индексов *AMBI* и *M-AMBI* (вверху и внизу) на исследованной акватории. Римские цифры – группы станций: вверху – по степени повреждения бентоса (I, II, III и IV – соответственно неповрежденный, слабо, умеренно- и сильно поврежденный), внизу – по экологическому статусу (I, II, III, IV и V – высокий, хороший, умеренный, обедненный и плохой)

Изменения степени повреждения и экологического состояния макрозообентоса отражает распределение величин индексов *AMBI* и *M-AMBI* (рис. 4). Во внутренней части бухты Золотой Рог бентос сильно поврежден, а его состояние следует охарактеризовать как плохое (станции Z1, где периодически наблюдается «мертвая зона», и Z7; $AMBI > 5,5$ и $M-AMBI < 0,2$). Во внешней ее части и бухте Диомид бентос варьирует от умеренно- до сильно поврежденного, а его состояние – от обедненного до плохого (станции Z11, 12 и 22; $AMBI = 4,3-5,3$ и $M-AMBI = 0,18-0,25$). В проливе Босфор Восточный донное население повреждено в умеренной степени или незначительно, а его статус – хороший и даже высокий (станции Z14–19 и Z23, $2,2-3,2$ и $0,58-0,83$). На выходе из пролива и на большей части Уссурийского залива, за исключением его самой северной акватории, бентос находится в слабо поврежденном и даже неповрежденном состоянии (2 станции 43 и 57, $AMBI = 0,92$ и $0,77$) и хорошем и высоком статусе (станция 55, $M-AMBI = 0,79$).

По индексу *AMBI* донное население повреждено несколько сильнее в Амурском, чем в Уссурийском заливе, хотя его экологический статус примерно одинаков. Исключение – побережье п-ова Муравьева-Амурского вблизи центра города, откуда «язык» макрозообентоса с несколько

«пониженными» свойствами (более сильное повреждение и пониженный статус) протягивается в направлении Тавричанского лимана и устья реки Раздольной. Макрозообентос с высоким экологическим статусом наблюдался в этом заливе не только в мористой его части (станции 34, 50, 62, $M-AMBI=0,79-0,88$), но и во внутренней (станция 4, $M-AMBI=0,83$).

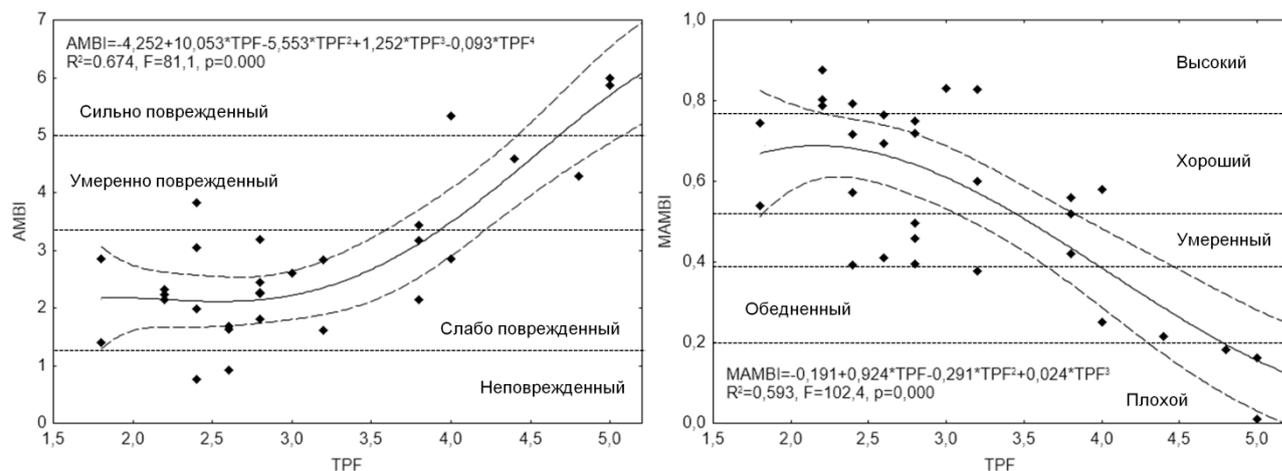


Рис. 5. Зависимости индексов $AMBI$ и $M-AMBI$ от общего уровня химического загрязнения донных отложений: штриховая линия – 95 % доверительные границы, R^2 – коэффициент детерминации, F – расчетная величина критерия Фишера, p – вероятность справедливости нулевой гипотезы $R=0$; горизонтальные штриховые линии – границы между различной степенью повреждения и экологическим состоянием макрозообентоса

Таблица 2. Сопряженность степени повреждения и экологического статуса макрозообентоса с уровнем загрязнения

Характеристика	Степень повреждения или состояние донного населения	Группы станций (рис. 2, табл. 1)			К–У тест
		I-II. (n=17)	III. (n=7)	IV-V. (n=5)	
Степень повреждения ($AMBI$)	Не- и слабо поврежденное	16	6	0	0,000
	Умеренно поврежденное	1	1	2	0,161
	Сильно поврежденное	0	0	3	0,000
Экологическое состояние ($M-AMBI$)	Высокое и хорошее	14	4	0	0,003
	Умеренное	2	3	0	0,023
	Обедненное и плохое	1	0	5	0,000

Примечание. К–У – Крускала-Уоллиса: приведены вероятности справедливости нулевой гипотезы об отсутствии влияния фактора.

В целом, макрозообентос находится в неповрежденном состоянии лишь на двух станциях из 29, а слабо, умеренно и сильно поврежден – соответственно на 20, четырех и трех станциях. Высокий экологический статус донного населения отмечен в шести точках, а хороший, умеренный, обедненный и плохой – в 11, шести, трех и трех, соответственно (рис. 4, 5). Отсутствие повреждений и их слабое проявление, а также высокий и хороший статус биоты почти исключительно приурочены к областям с низким уровнем загрязнения осадков и, наоборот, сильное повреждение, обедненный и плохой статус макрозообентоса сопряжены с сильным и экстремальным загрязнением (табл. 2). Изменения общего уровня химического загрязнения осадков объясняют 67,4 и 59,3 % дисперсии соответственно $AMBI$ и $M-AMBI$ (рис. 5). Следовательно, на изученной акватории загрязнение является ведущим фактором среды для донного населения, но в то же время, сильные проявления его действия наблюдаются на весьма ограниченной акватории – главным образом в бух. Золотой Рог и Диомид. Вероятно, такая

локальность обусловлена не только относительно небольшой площадью сильно загрязненной акватории, но и довольно высокой устойчивостью самой фауны к химическому загрязнению (при экстремальных условиях исходная биота заменяется комплексами видов, устойчивыми к загрязнению).

ВЫВОДЫ

- (1) Акватории зал. Петра Великого в разной степени подвержены загрязнению, но при этом на подавляющем большинстве станций загрязнение осадков хотя бы по одному из поллютантов превышает «безопасный» уровень. Прежде всего, это относится к органическим загрязнителям – углеводородам, пестицидам, а также кадмию и ртути.
- (2) Самая загрязненная акватория – бухта Золотой Рог (включая Диомид) и пр-в Босфор Восточный с бухтой Улисс, где концентрации металлов и углеводородов выше безопасного уровня в разы. Амурский залив характеризуется более умеренным загрязнением, а Уссурийский – является наиболее чистым среди изученных районов.
- (3) В настоящее время химическое загрязнение является основным фактором, который обуславливает степень повреждения и экологическое состояние донного населения, но его сильное проявление весьма локально и отчетливо наблюдается только в наиболее загрязненных областях исследованной акватории.
- (4) Наиболее неблагоприятная экологическая ситуация наблюдается в бухте Золотой Рог и Диомид, где загрязнение осадков находится на экстремально-высоком уровне, а состояние донных сообществ оценивается как плохое.

ЛИТЕРАТУРА

Мощенко А.В., Белан Т.А. Количественная оценка степени антропогенного нарушения сообществ макрозообентоса рыхлых грунтов. Биология моря, 2008, т. 34, № 4, с. 279–292.

Belan T.A., Moshchenko A.V. Polychaete taxocene variability associated with sediment pollution loading in the Peter the Great Bay (Sea of Japan). Ocean Science Journal, 2005, vol. 40, No. 1, p. 1–10.

Borja A., Franco J., Muxika I. The biotic indices and the Water Framework Directive: the required consensus in the new benthic monitoring tools. Marine Pollution Bulletin, 2004, vol. 48, p. 405–408.

Buchanan M.F. NOAA screening quick reference tables. NOAA OR&R Report 08–1. Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration. 2008, 34 p.

Muxika, I., Á. Borja, J. Bald. Using historical data, expert judgment and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. Marine Pollution Bulletin, 2007. vol. 55, p. 16–29.