

ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ И МОРСКАЯ РАДИОХЕМОЭКОЛОГИЯ

УДК [591.524.11:[504.5:665.7]](262.5)

DOI: [10.21072/eco.2025.10.1.07](https://doi.org/10.21072/eco.2025.10.1.07)

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЗООБЕНТОСА ЧЁРНОГО МОРЯ К ХРОНИЧЕСКОМУ НЕФТЯНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ *

Алёмов С. В.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,

г. Севастополь, Российская Федерация,

e-mail: alyomov_sv@ibss-ras.ru

Аннотация: Проанализирована многолетняя (более 700 станций за период с 1973 по 2012 г.) встречаемость видов макрозообентоса на участках крымского побережья с различным уровнем загрязнения донных осадков нефтяными углеводородами. Для 100 основных видов установлена принадлежность к определённой экологической группе: 1 — чувствительные к загрязнению, 2 — индифферентные, 3 — устойчивые. Предложенную шкалу можно использовать: при расчётах существующих экологических индексов состояния сообществ бентоса (например, индексов BENTIX, AMBI), при разработке новых показателей состояния сообществ, для выделения критических видов (чувствительные виды или негативные индикаторы загрязнения) и биоиндикаторов (устойчивые виды или позитивные индикаторы загрязнения).

Ключевые слова: Чёрное море, нефтяное загрязнение, экологическое состояние, макрозообентос, индексы

Введение

Макрозообентос является одним из узловых звеньев биотического круговорота вещества и энергии в прибрежных экосистемах. Пространственная стабильность и относительное долголетие макробентосных организмов и сообществ позволяет относить его к наиболее информативной группе водных ценозов, отражающей происходящие долгосрочные изменения в среде [Телеганов, 2007; Choirunnisa, Takarina, 2019; Mimier, Żbikowski, 2017; Maida, Zuriani, 2018; Revkov et al., 2008]. На его характеристиках (численность, биомасса, таксономическое разнообразие) базируется большое число оценок состояния биотопов [Алёмов, Осадчая, 2004; Миронов, Кирюхина, Алёмов, 1999; Петров, 2000; Тихонова, Соловьёва, 2015; Dauer, 1993; Di Lorenzo et al., 2022; Wilson, 2003]

В последние годы биотические индексы стали общепринятым компонентом экологических оценок состояния окружающей среды [Abahi et al., 2020; Onyena, Nkwoji, Chukwu, 2023; Pielou, 1966; Simboura, Zenetos, 2002; Wilson, Jeffrey, 1987]. В таких индексах показатели присутствия и обилия таксонов макробеспозвоночных, чувствительных к различным нарушениям среды, и таксонов — индикаторов загрязнения окружающей среды используются при определении экологического состояния акваторий. Донные беспозвоночные, в дополнение к их центральной роли в функционировании морских экосистем, представляют собой хороший показатель в оценке состояния качества окружающей среды [Keke et al., 2021; Mwedzi et al., 2020; Muxika, Borja, Bonne, 2005; Tampo et al., 2021; Water Framework ... , 2009].

*Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемотропических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

Следует отметить, что разные индексы зачастую дают различную (иногда значительно отличающуюся) оценку экологического качества акваторий [Алёмов, Витер, Гусева, 2019]. Необходимо учитывать, что в процессе расчёта индексов с применением свободно распространяемого программного продукта, например индексов BENTIX [The BENTIX index ...], AMBI или M-AMBI [AZTI – Centro ...], используются встроенные разработчиками в программное обеспечение библиотеки видов, ранжированных по экологическим группам. Поскольку разные методические подходы разрабатывались разными авторами для различных участков морей бассейна Средиземного моря и Атлантического океана, они могут не вполне адекватно характеризовать отклики черноморских биоценозов, особенно адаптированных к хроническому воздействию загрязнения.

Всё это указывает на необходимость дальнейших исследований по адаптации этих индексов к условиям Чёрного моря и поиску дополнительных критериев и показателей оценки состояния сообществ. Целью работы является составление списка массовых видов черноморского макрозообентоса, ранжированного по их устойчивости к нефтяному загрязнению донных отложений.

Материалы и методы

Для анализа встречаемости различных видов макрозообентоса при различных уровнях загрязнения (в период с 1973 по 2012 г., более 700 станций) использованы собственные материалы автора (1985–2012 гг.) и архивные материалы отдела морской санитарной гидробиологии (ныне лаборатория хемотропологии) ИнБЮМ за 1973–1982 гг.

В ходе санитарно-биологических съёмок пробы донных отложений для анализа качественного и количественного состава макрозообентоса отбирали дночерпателем Петерсена ($S = 0,038 \text{ м}^2$) по три повторности в каждой точке на глубинах 3–20 м и ручным водолазным дночерпателем ($S = 0,038 \text{ м}^2$) на глубинах до 2 м в летний период по единой сетке станций (рис. 1). Исследования проводились с 1973 г. с периодичностью один раз в три года. Пробы промывали через сито с диаметром ячеек 1 мм, фиксировали 96%-ным раствором этанола. Дальнейшую обработку проб вели по [СТП ИМБИ 077-2019] и определяли видовой состав макрозообентоса по [Киселёва, 2004; Определитель фауны ... , 1968; Определитель фауны ... , 1969; Определитель фауны ... , 1972; Чухчин, 1984]. Номенклатуру видов макрозообентоса приводили в соответствии с мировым реестром [World Register ...].



Рис. 1. Схема расположения станций многолетнего мониторинга в регионе г. Севастополя

Одновременно с отбором проб макрозообентоса отбирались пробы донных отложений для определения физико-химических показателей и концентрации хлороформ-экстрагируемых веществ [Миловидова, Кирюхина, 1985; Миронов, Кирюхина, Алемов, 1999; Миронов, Кирюхина, Алемов, 2003]. Опубликованные материалы, а также архивные данные, предоставленные Л. Н. Кирюхиной, Т. В. Шадринной и Е. А. Тихоновой, были использованы для анализа встречаемости видов макрозообентоса при различной степени загрязнения донных отложений (таблица 1). Для выделения уровней загрязнения была использована предложенная ранее [Влияние нефти ... , 1985] градация концентраций хлороформ-экстрагируемых веществ (ХЭВ) в донных отложениях. Реальные фиксируемые величины концентрации ХЭВ варьировали в пределах двух порядков величин (таблица 1).

Для грунтов со II уровнем загрязнения было выделено значительно меньшее (в 2-3 раза) количество станций по сравнению с другими уровнями. При этом показатели донных отложений и видовой состав макрозообентоса при I и II уровнях достаточно близки. Объединение данных по этим двум уровням добавило к общему списку видов 7 % от общего количества. В связи с этим при дальнейшем анализе оба уровня рассматриваются совместно.

Таблица 1

Характеристика донных отложений и макрозообентоса при различных уровнях загрязнения донных осадков

Показатель	Уровень загрязнения, %					
	I	II	I и II	III	IV	V
Количество станций	153	47	200	215	108	181
Концентрация ХЭВ, г/100 г сух.д.о.*	< 0,05	0,05–0,09	< 0,10	0,10–0,49	0,50–0,99	> 1,00
Средняя концентрация ХЭВ, г/100 г сух.д.о.	0,02	0,06	0,03	0,28	0,70	2,39
Число видов макрозообентоса**	196	133	211	169	125	151

*Выделение уровней загрязнения по [Влияние нефти ... , 1985]

**Виды и надвидовые таксоны, по которым не проводилось определение до вида

Результаты и обсуждение

Изучение макрозообентоса является важной составной частью комплексного мониторинга экологического состояния донных осадков в акватории г. Севастополя (юго-запад полуострова Крым). Эти работы охватывают районы с различной антропогенной нагрузкой, так как в прибрежной зоне базируются корабли Черноморского флота, расположены рыбный и торговый порты, рекреационные зоны. Мониторинговые исследования бентосных сообществ в регионе Севастополя проводятся отделом морской санитарной гидробиологии (ныне лаборатория хемо-экологии) ИнБЮМ с 1973 г. по регулярной сетке станций [Алёмов и др., 2018; Миловидова, Кирюхина, 1985; Миронов, Кирюхина, Алемов, 1999; Миронов, Кирюхина, Алемов, 2003; Biological diversity ... , 2012].

На основании анализа материалов, полученных в 1973–1975 гг. (114 станций) Миловидовой Н. Ю. и Кирюхиной Л. Н., по изменениям биомассы различных видов макрозообентоса, была предложена шкала толерантности основных видов черноморского макрозообентоса к загрязнению [Влияние нефти ... , 1985], состоящая из 23 видов. Проводимые дальнейшие исследования состава и характеристик сообществ макрозообентоса в акваториях с различным уровнем нефтяного загрязнения донных отложений позволили как уточнить сведения по упомянутым в данной шкале видам, так и расширить этот список (рис. 2).

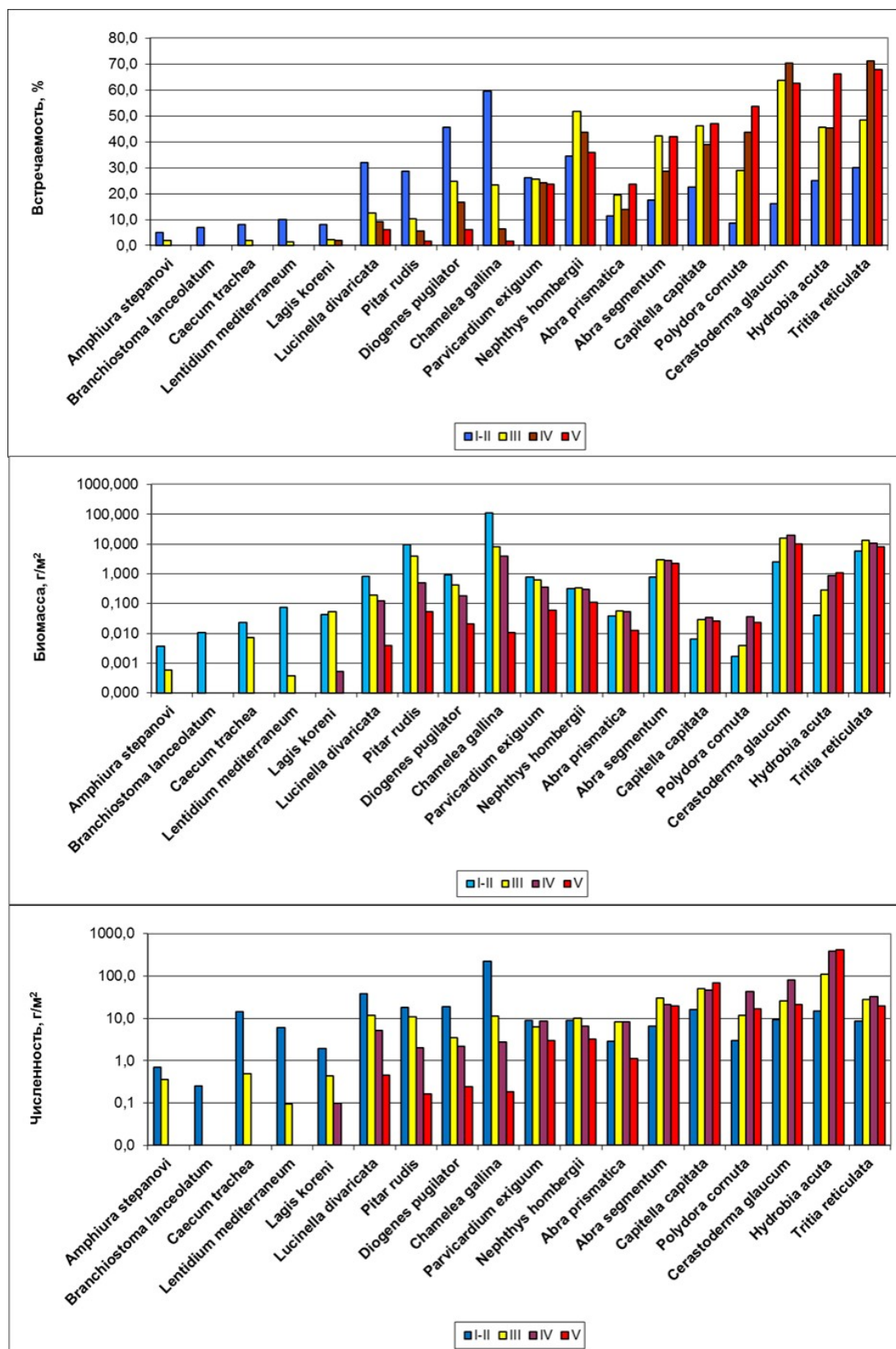


Рис. 2. Встречаемость, средние значения численности и биомассы массовых видов макрозообентоса на грунтах с различным уровнем загрязнения

В рамках дальнейшей разработки критериев оценки действия нефтяного загрязнения на экосистемы шельфовых зон Чёрного моря составлена шкала индикаторных видов макрозообентоса на основе данных о присутствии/отсутствии (встречаемости) отдельных видов на грунтах с различным уровнем нефтяного загрязнения. Для этого проанализирована многолетняя (в период с 1973 по 2012 г.) встречаемость видов макрозообентоса на участках крымского побережья с различным уровнем загрязнения донных осадков нефтяными углеводородами.

Из общего списка видов выделены те, для которых общая встречаемость за весь анализируемый период составила более 1,5 % (встречены более чем на 10 станциях). Этот перечень включает 100 видов и крупных надвидовых таксонов. Для таких видов определена встречаемость при различных уровнях загрязнения как процент станций при том или ином уровне загрязнения от общего количества станций, на которых этот вид обнаружен. Таким образом, охарактеризована принадлежность видов зообентоса к определённой экологической группе по чувствительности к загрязнению (таблица 2): чувствительные, индифферентные и устойчивые. К чувствительным отнесены виды, которые встречались только на грунтах от I до III уровней загрязнения, либо те, для которых характерно выраженное снижение показателя встречаемости при возрастании уровня загрязнения донных осадков. Виды макрозообентоса, для которых характерна обратная тенденция (увеличение показателей встречаемости при возрастании уровня загрязнения), отнесены к экологической группе устойчивых. Экологическую группу индифферентных к загрязнению составили виды, которые не проявляли явно выраженных изменений показателя встречаемости на всём диапазоне степени загрязнённости донных осадков.

Таблица 2

Встречаемость (%) видов макрозообентоса при различных уровнях загрязнения донных осадков

№	Вид	Количество станций*	Уровень загрязнения, %			
			I и II	III	IV	V
Чувствительные						
1	<i>Acanthocardia paucicostata</i> (G. B. Sowerby II, 1834)	19	42,1	42,1	10,5	5,3
2	<i>Actinia equina</i> (Linnaeus, 1758)	14	57,1	21,4	7,1	14,3
3	<i>Ampelisca diadema</i> (A. Costa, 1853)	48	83,3	14,6	–	2,1
4	<i>Amphiura stepanovi</i> Djakonov, 1954	14	71,4	28,6	–	–
5	<i>Anadara inaequalvis</i> (Bruguière, 1789)	32	65,6	28,1	3,1	3,1
6	<i>Aricidea (Acmira) cerrutii</i> Laubier, 1966	78	66,7	28,2	2,6	2,6
7	<i>Bodotria arenosa mediterranea</i> (Steuer, 1938)	18	100	–	–	–
8	<i>Branchiostoma lanceolatum</i> (Pallas, 1774)	14	100	–	–	–
9	<i>Caecum trachea</i> (Montagu, 1803)	20	80,0	20,0	–	–
10	<i>Calyptrea chinensis</i> (Linnaeus, 1758)	50	56,0	18,0	14,0	12,0
11	<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)	179	66,5	27,9	3,9	1,7
12	<i>Chondrochelia savignyi</i> (Kroyer, 1842)	15	73,3	6,7	6,7	13,3
13	<i>Cradosrupocellaria bertholletii</i> (Audouin, 1826)	18	33,3	44,4	5,6	16,7
14	<i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1829)	173	52,6	30,6	10,4	6,4
15	<i>Eunice vittata</i> (Delle Chiaje, 1828)	12	66,7	16,7	–	16,7
16	<i>Exogone naidina</i> Örsted, 1845	43	65,1	18,6	4,7	11,6
17	<i>Fabulina fabula</i> (Gmelin, 1791)	65	49,2	36,9	4,6	9,2
18	<i>Genetyllis tuberculata</i> (Bobretzky, 1868)	11	54,5	18,2	18,2	9,1
19	<i>Glycera tridactyla</i> Schmarda, 1861	44	52,3	27,3	9,1	11,4
20	<i>Gouldia minima</i> (Montagu, 1803)	75	62,7	24,0	9,3	4,0
21	<i>Idotea balthica</i> (Pallas, 1772)	22	63,6	31,8	–	4,5
22	<i>Lagis koreni</i> Malmgren, 1866	23	69,6	21,7	8,7	–

Продолжение на следующей странице...

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЗООБЕНТОСА ЧЁРНОГО МОРЯ К ХРОНИЧЕСКОМУ НЕФТЯНОМУ
ЗАГРЯЗНЕНИЮ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

№	Вид	Количество станций*	Уровень загрязнения, %			
			I и II	III	IV	V
23	<i>Leiochone leiopygos</i> (Grube, 1860)	12	83,3	16,7	–	–
24	<i>Lekanesphaera hookeri</i> (Leach, 1814)	11	90,9	9,1	–	–
25	<i>Lentidium mediterraneum</i> (O. G. Costa, 1830)	23	87,0	13,0	–	–
26	<i>Lepidochitona cinerea</i> (Linnaeus, 1767)	26	80,8	15,4	3,8	–
27	<i>Lucinella divaricata</i> (Linnaeus, 1758)	112	57,1	24,1	8,9	9,8
28	<i>Macomangulus tenuis</i> (da Costa, 1778)	17	82,4	17,6	–	–
29	<i>Melinna palmata</i> Grube, 1870	87	49,4	36,8	5,7	8,0
30	<i>Modiolus adriaticus</i> Lamarck, 1819	59	61,0	22,0	8,5	8,5
31	<i>Micronephthys longicornis</i> (Perejaslavitseva, 1891)	67	62,7	28,4	4,5	4,5
32	<i>Nototropis guttatus</i> (A. Costa in Hope, 1851)	27	66,7	11,1	18,5	3,7
33	<i>Paraonis fulgens</i> (Levinsen, 1884)	12	100	–	–	–
34	<i>Pectenogammarus olivii</i> (H. Milne Edwards, 1830)	17	70,6	29,4	–	–
35	<i>Phthisica marina</i> Slabber, 1769	15	46,7	46,7	6,7	–
36	<i>Phyllodoce</i> sp.	43	44,2	27,9	18,6	9,3
37	<i>Pitar mediterraneus</i> (Aradas & Benoit, 1872)	21	52,4	47,6	–	–
38	<i>Pitar rudis</i> (Poli, 1795)	88	64,8	25,0	6,8	3,4
39	<i>Platyhelminthes</i>	39	59,0	15,4	5,1	20,5
40	<i>Polititapes aureus</i> (Gmelin, 1791)	45	53,3	31,1	8,9	6,7
41	<i>Protodorvillea kefersteini</i> (McIntosh, 1869)	86	65,1	22,1	3,5	9,3
42	<i>Retusa truncatula</i> (Bruguière, 1792)	23	43,5	21,7	21,7	13,0
43	<i>Saccocirrus papillocercus</i> Bobretzky, 1872	12	83,3	16,7	–	–
44	<i>Sagartia undata</i> (Müller, 1778)	16	62,5	37,5	–	12,5
45	<i>Spisula subtruncata</i> (da Costa, 1778)	87	58,6	28,7	6,9	5,7
46	<i>Steromphala adriatica</i> (R. A. Philippi, 1844)	18	50,0	22,2	11,1	16,7
47	<i>Tricolia pullus</i> (Linnaeus, 1758)	46	52,2	34,8	8,7	4,3
48	<i>Tritia neritea</i> (Linnaeus, 1758)	21	52,4	14,3	14,3	19,0
49	<i>Tritia pellucida</i> (Risso, 1826)	69	47,8	29,0	8,7	14,5
Индифферентные						
50	<i>Abra alba</i> (W. Wood, 1802)**	16	31,3	31,3	31,3	6,3
51	<i>Abra renieri</i> (Bronn, 1831)**	23	30,4	47,8	13,0	8,7
52	<i>Amphibalanus improvisus</i> (Darwin, 1854)	200	22,5	34,5	16,0	27,0
53	<i>Bittium reticulatum</i> (da Costa, 1778)	338	28,1	34,9	14,8	22,2
54	<i>Botryllus schlosseri</i> (Pallas, 1766)	13	7,7	38,5	23,1	30,8
55	<i>Brachystomia eulimoides</i> (Hanley, 1844)	28	–	60,7	7,1	32,1
56	<i>Dexamine spinosa</i> (Montagu, 1813)	60	36,7	28,3	10,0	25,0
57	<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	303	29,0	36,3	11,6	23,1
58	<i>Iphinoe elisae</i> Băcescu, 1950	177	21,5	34,5	9,6	34,5
59	<i>Iphinoe maeotica</i> Sowinskyi, 1893	22	31,8	27,3	13,6	27,3
60	<i>Iphinoe tenella</i> Sars, 1878	14	35,7	–	7,1	57,1
61	<i>Kurtiella bidentata</i> (Montagu, 1803)	35	31,4	31,4	25,7	11,4
62	<i>Limapontia capitata</i> (O. F. Müller, 1774)	18	16,7	38,9	22,2	22,2
63	<i>Loripes orbiculatus</i> Poli, 1795	47	14,9	46,8	8,5	29,8
64	<i>Mangelia costata</i> (Pennant, 1777)	20	25,0	35,0	15,0	25,0
65	<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> A. Costa, 1853	39	43,6	15,4	10,3	30,8
66	<i>Mysta picta</i> (Quatrefages, 1866)	30	40,0	23,3	16,7	20,0
67	<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791)	225	35,6	28,9	12,9	22,7
68	<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	152	21,7	29,6	17,1	31,6
69	NEMERTEA	76	36,8	23,7	9,2	30,3

Продолжение на следующей странице...

№	Вид	Количество станций*	Уровень загрязнения, %			
			I и II	III	IV	V
70	<i>Nephtys cirrosa</i> Ehlers, 1868	26	26,9	26,9	19,2	26,9
71	<i>Nephtys hombergii</i> Savigny in Lamarck, 1818	292	23,6	38,0	16,1	22,3
72	OLIGOCHAETA	162	32,1	39,5	11,1	17,3
73	<i>Parthenina terebellum</i> (R. A. Philippi, 1844)	20	15,0	50,0	5,0	30,0
74	<i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1791)	176	29,5	31,3	14,8	24,4
75	<i>Perinereis cultrifera</i> (Grube, 1840)	16	43,8	12,5	18,8	25,0
76	<i>Platynereis dumerilii</i> (Audouin & Milne Edwards, 1833)	53	26,4	34,0	7,5	32,1
77	<i>Prionospio cirrifera</i> Wirén, 1883	26	53,8	26,9	7,7	11,5
78	<i>Retusa robagliana</i> (P. Fischer, 1869)	44	38,6	27,3	9,1	25,0
79	<i>Stenosoma capito</i> (Rathke, 1836)	64	34,4	29,7	10,9	25,0
80	<i>Syllis</i> sp.	27	44,4	3,7	7,4	44,4
81	<i>Upogebia pusilla</i> (Petagna, 1792)	17	17,6	58,8	11,8	11,8
Устойчивые						
82	<i>Abra prismatica</i> (Montagu, 1808)	123	18,7	34,1	12,2	35,0
83	<i>Abra segmentum</i> (Récluz, 1843)	233	15,0	39,1	13,3	32,6
84	<i>Alitta succinea</i> (Leuckart, 1847)	151	7,9	31,8	18,5	41,7
85	<i>Brachystomia scalaris</i> (MacGillivray, 1843)	11	9,1	–	36,4	54,5
86	<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	271	16,6	36,5	15,5	31,4
87	<i>Cerastoderma glaucum</i> (Bruguière, 1789)	358	8,9	38,3	21,2	31,6
88	<i>Cryptosula pallasiana</i> (Moll, 1803)	13	7,7	15,4	–	76,9
89	<i>Harmothoe reticulata</i> (Claparède, 1870)	69	29,0	14,5	13,0	43,5
90	<i>Hediste diversicolor</i> (O.F. Müller, 1776)	52	15,4	40,4	13,5	30,8
91	<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805)	317	15,8	30,9	15,5	37,9
92	<i>Molgula euprocta</i> (Drasche, 1884)	21	–	23,8	19,0	57,1
93	<i>Nereis zonata</i> Malmgren, 1867	14	28,6	14,3	14,3	42,9
94	<i>Polydora cornuta</i> Bosc, 1802	223	7,6	27,8	21,1	43,5
95	<i>Rhithropanopeus harrisi</i> (Gould, 1841)	16	6,3	25,0	6,3	62,5
96	<i>Rissoa membranacea</i> (J. Adams, 1800)	82	11,0	29,3	15,9	43,9
97	<i>Rissoa parva</i> (da Costa, 1778)	136	6,6	25,7	19,1	48,5
98	<i>Rissoa splendida</i> Eichwald, 1830	27	18,5	7,4	29,6	44,4
99	<i>Spio filicornis</i> (Müller, 1776)	67	23,9	26,9	13,4	35,8
100	<i>Tritia reticulata</i> (Linnaeus, 1758)	364	16,5	28,6	21,2	33,8

*Общее количество станций, на которых обнаружен данный вид

**В настоящее время оба вида объединены в один — *Abra alba* (W. Wood, 1802)

Из общего списка почти половина видов (49) отнесены к чувствительным, что указывает на возможность существенного снижения показателя видового богатства зообентоса при возрастании степени загрязнённости донных осадков до IV уровня. Наиболее чувствительными являются ланцетник (*Branchiostoma lanceolatum*), кумацея (*Bodotria arenosa mediterranea*) и полихета (*Paraonis fulgens*), которые отмечались лишь на наименее загрязнённых участках. Ещё 10 видов не отмечены при загрязнённости выше III уровня и, в совокупности с первыми тремя, они могут являться индикаторами чистых вод. Среди наиболее устойчивых видов, показатели встречаемости которых значительно возрастают на наиболее загрязнённых участках, выделяются мелкие гастроподы (*Br. scalaris*, *R. membranacea*, *R. parva*, *R. splendida*), полихеты (*P. cornuta* и *A. succinea*), а также мшанки (*Cr. pallasiana*), асцидии (*M. euprocta*) и голладский крабик (*Rh. harrisi*). Большинство из них являются детритофагами, а приуроченность к грунтам с высоким содержанием органических веществ способствует, очевидно, их устойчивости и к нефтяному загрязнению.

Предложенную шкалу можно использовать: 1) при расчётах существующих экологических индексов состояния сообществ бентоса (например, индексов BENTIX [Simboura, Zenetos, 2002], AMBI [Borja, Franco, Pérez-Landa, 2000]); 2) при разработке новых показателей состояния сообществ; 3) для выделения критических видов (чувствительные виды или негативные индикаторы загрязнения) и биоиндикаторов (устойчивые виды или позитивные индикаторы загрязнения); 4) для выбора видов макрозообентоса с целью исследования накопления, выведения и передачи нефтяных углеводородов по пищевой цепи гидробионтами, которые могут вносить существенный вклад в интенсивность потоков углеводородов аллохтонного происхождения через морские организмы и их сообщества в прибрежной зоне Чёрного моря.

Выводы

В целях разработки критерия оценки действия нефтяного загрязнения на экосистемы шельфовых зон Чёрного моря составлен список видов черноморского макрозообентоса, ранжированный по степени толерантности к органическому (нефтяному) загрязнению. Шкала толерантности черноморского макрозообентоса к нефтяному загрязнению, полученная на основе его пространственного распределения, позволяет вскрыть некоторые причины изменения донных биоценозов во времени на участках с различным уровнем загрязнения и прогнозировать их будущее при снижении или увеличении антропогенной нагрузки.

Список литературы

1. Алёмов С. В., Витер Т. В., Гусева Е. В. Многолетние изменения состояния сообществ макрозообентоса бухты Круглая (регион Севастополя) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2019. – № 2. – С. 59–66. – <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2019-2-59-66>
2. Алёмов С. В., Витер Т. В., Гусева Е. В., Волков Н. Г. Сообщества макрозообентоса акваторий Севастопольского региона // Санитарно-биологические исследования прибрежных акваторий юго-западного Крыма в начале XXI века / Ин-т мор. биол. исслед. им. А. О. Ковалевского РАН; отв. ред.: О. Г. Миронов, С. В. Алёмов. – Симферополь : АРИАЛ, 2018. – Гл. 5. – С. 108–178.
3. Алёмов С. В., Осадчая Т. С. Индекс «биологического качества» в оценке экологического состояния прибрежных акваторий // Экология моря / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2004. – Вып. 66. – С. 7–11. – URL: <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/4624>
4. Влияние нефти и нефтепродуктов на морские организмы и их сообщества / под ред. О. Г. Миронова. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1985. – 136 с.
5. Киселёва М. И. Многощетинковые черви (Polychaeta) Чёрного и Азовского морей. – Апатиты : Изд-во Кол. науч. центра РАН, 2004. – 409 с. – URL: <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/5647>
6. Миловидова Н. Ю., Кирюхина Л. Н. Черноморский макрозообентос в санитарно-биологическом аспекте. – Киев : Наук. думка, 1985. – 101 с. – URL: <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/5647>
7. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В. Нефть и состояние бентосных сообществ в севастопольских бухтах // Акватория и берега Севастополя: экосистемные процессы и услуги обществу / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского; отв. ред.: Е. В. Павлова, Н. В. Шадрин. – Севастополь : Аквавита, 1999. – С. 176–193.

8. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алемов С. В. Санитарно-биологические аспекты экологии сева­стопольских бухт в XX веке. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2003. – 185 с.
9. Определитель фауны Черного и Азовского морей : Свободноживущие беспозвоночные. Т. 1. Простейшие, губки, кишечнополостные, черви, щупальцевые / под общ. рук. Ф. Д. Мордухай-Болтовского ; сост. В. Д. Брайко [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1968. – 437 с.
10. Определитель фауны Черного и Азовского морей : Свободноживущие беспозвоночные. Т. 2. Ракообразные / под общ. рук. Ф. Д. Мордухай-Болтовского ; сост. М. Бэческу [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1969. – 536 с.
11. Определитель фауны Черного и Азовского морей : Свободноживущие беспозвоночные. Т. 3. Членистоногие (кроме ракообразных), моллюски, иглокожие, щетинкочелюстные, хордовые / под общ. рук. Ф. Д. Мордухай-Болтовского ; сост. З. И. Баранова [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1972. – 340 с.
12. Петров А. Н. Реакция прибрежных макробентосных сообществ Черного моря на органическое обогащение донных отложений // Экология моря / НАН Украины, Ин-т биологии юж. морей им. А. О. Ковалевского. – Севастополь : ЭКОСИ – Гидрофизика, 2000. – Вып. 51. – С. 45–51. – URL: <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/4297>
13. СТП ИМБИ 077-2019. Методика анализа качественного и количественного состава мейо- и макрозообентоса : утв. 20.03.2019 приказом № 25-од от 19.03.2019 / Ин-т мор. биол. исслед. – Севастополь, 2019. – [?] с.
14. Телеганов А. А. Использование макрозообентоса для биологического мониторинга пойменных озёр Верхнего Поочья : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16. – Калуга, 2007. – 134 с.
15. Тихонова Е. А., Соловьёва О. В. Использование макрозообентоса для экологических исследований портовых акваторий (на примере Севастопольской бухты, Чёрное море) // Учёные записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Сер.: Биология. Химия. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 135–144.
16. Чухчин В. Д. Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря. – Киев : Наук. думка, 1984. – 176 с. – URL: <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/5646>
17. Abahi K. S., Gouissi F. M., Akodogbo H. H., Sanni Worogo S. H., Adje D. D., Gnossou M. P. Assessment of the water quality of the upper reaches of the Ouémé River in Bénin using benthic macroinvertebrate-based biotic indices // Revue des Sciences de l'Eau. – 2020. – Vol. 32, nr 4. – P. 433–444. – <https://doi.org/10.7202/1069576ar>
18. AZTI – Centro de Investigación Marina y Alimentaria. – URL: <https://www.azti.es> (accessed: 27.01.2025).
19. Biological diversity of the coastal zone of the Crimean Peninsula: problems, preservation and restoration pathways / V. N. Eremeev, A. R. Boltachev, B. G. Aleksandrov [et al.] ; ed. by V. N. Eremeev, A. R. Boltachev. – Sevastopol : Куликов А. С., 2012. – 92 p. – URL: <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1362>
20. Borja A., Franco J., Pérez-Landa V. A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments // Marine Pollution Bulletin. – 2000. – Vol. 40, iss. 12. – P. 1100–1114. – [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00061-8)
21. Choirunnisa, Takarina N. D. Community structure of macrozoobenthos at Blanakan Fish Pond, Subang, West Java // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 284. – Art. 012027. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/284/1/012027>
22. Dauer D. M. Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure // Marine Pollution Bulletin. – 1993. – Vol. 26, iss. 5. – P. 249–257.

23. Di Lorenzo T., Fiasca B., Di Cicco V., Vaccarelli I., Di Camillo A. T., Crisante S., Galassi D. M. P. Effectiveness of biomass/abundance comparison (ABC) models in assessing the response of hyporheic assemblages to ammonium contamination // *Water*. – 2022. – Vol. 14, iss. 18. – Art. 2934. – <https://doi.org/10.3390/w14182934>
24. Keke U. N., Omoigberale M. O., Ezenwa I., Yusuf A., Biose E., Nweke N., Edegbene A. O., Arimoro F. O. Macroinvertebrate communities and physicochemical characteristics along an anthropogenic stress gradient in a southern Nigeria stream: implications for ecological restoration // *Environmental and Sustainability Indicators*. – 2021. – Vol. 12. – Art. 100157. – <https://doi.org/10.1016/j.indic.2021.100157>
25. Maida E., Zuriani A. Macrozoobentos diversity index as a bioindicator in Krueng Cunda River to support the success of the shrimp agribusiness at Lhokseumawe City, Aceh // *Proceedings of MICoMS 2017*. – Bingley : Emerald Publ., 2018. – P. 157–163. – <https://doi.org/10.1108/978-1-78756-793-1-00011>
26. Mimier D., Żbikowski J. Effect of substrate change on macrozoobenthos structure // *Ecological Questions*. – 2017. – Vol. 27. – P. 109–118. – <http://dx.doi.org/10.12775/EQ.2017.032>
27. Muxika I., Borja A., Bonne W. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to new impact sources along European coasts // *Ecological indicators*. – 2005. – Vol. 5, iss. 1. – P. 19–31. – <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2004.08.004>
28. Mwedzi T., Siziba N., Odume O. N., Nyamazana E., Mabika I. Responses of macroinvertebrate community metrics to urban pollution in semi-arid catchments around the city of Bulawayo, Zimbabwe // *Water SA*. – 2020. – Vol. 46, iss. 4. – P. 583–592. – <https://doi.org/10.17159/wsa/2020.v46.i4.9071>
29. Onyena A. P., Nkwoji J. A., Chukwu L. O. Sediment characteristics and ecological quality evaluation of a brackish creek using AZTI's Marine Biotic and Benthic Indices // *Aquatic Sciences*. – 2023. – Vol. 85, iss. 4. – Art. 108. – <https://doi.org/10.1007/s00027-023-01007-0>
30. Pielou E. C. Shannon's formula as a measure of species diversity: its use and misuse // *American Naturalist*. – 1966. – Vol. 100, nr 914. – P. 463–465.
31. Revkov N. K., Petrov A. N., Kolesnikova E. A., Dobrotina G. A. Comparative analysis of long-term alteration in structural organization of zoobenthos under permanent anthropogenic impact (Case study: Sevastopol Bay, Crimea) // *Marine Ecological Journal*. – 2008. – Vol. 7, № 3. – P. 37–49. – <https://elibrary.ru/tyntuj>
32. Simboura N., Zenetos A. Benthic indicators to use in ecological quality classification of mediterranean soft bottom marine ecosystems, including a new biotic index // *Mediterranean Marine Science*. – 2002. – Vol. 3, no. 2. – P. 77–111. – <https://doi.org/10.12681/mms.249>
33. Tampo L., Kaboré I., Alhassan E. H., Ouéda A., Bawa L. M., Djaneye-Boundjou G. Benthic macroinvertebrates as ecological indicators: their sensitivity to the water quality and human disturbances in a tropical river // *Frontiers in Water*. – 2021. – Vol. 3. – Art. 662765. – <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.662765>
34. [The BENTIX index ...] // HCMR. Institute of Oceanography / Hellenic Centre for Marine Research. – URL: <https://io.hcmr.gr/science-for-society/ecological-status-assessment/the-bentix-index/> (accessed: 27.01.2025).
35. Water framework directive intercalibration technical report. Pt. 3. Coastal and transitional waters / ed. by A. Carletti, A.-S. Heiskanen. – Luxembourg : OPOCE, 2009. – 240 p. – URL: http://circa.europa.eu/Public/irc/jrc/jrc_eewai/library (accessed: 27.01.2025).
36. Wilson J. G. Evaluation of estuary quality status at system level using the biological quality index and the pollution load index // *Biology and Environment : proc. of the Royal Irish Acad.* – 2003. – Vol. 103B, № 2. – P. 49–57. – <https://doi.org/10.3318/BIOE.2003.103.2.49>

37. Wilson J. G., Jeffrey D. W. Europe wide indices for monitoring estuarine pollution // Biological indicators of pollution : proc. of a seminar, 24–25 Febr. 1986 / ed. D. H. S. Richardson. – Dublin : Royal Irish Acad., 1987. – P. 225–242.
38. World Register of Marine Species. – URL: <http://www.marinespecies.org> (access date: 25.01.2025).

ASSESSMENT OF THE RESISTANCE OF THE BLACK SEA ZOOBENTHOS TO CHRONIC OIL POLLUTION OF BOTTOM SEDIMENTS

Alyomov S. V.

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,
e-mail: alyomov_sv@ibss-ras.ru*

Abstract: The long-term (more than 700 stations from 1973 to 2012) occurrence of macrozoobenthos species in areas of the Crimean coast with different levels of pollution of bottom sediments by petroleum hydrocarbons has been analyzed. The 100 main species belong to a certain ecological group: 1 — pollution-sensitive, 2 — indifferent, 3 — resistant. The proposed scale can be used: in the calculation of existing ecological indices of benthos communities (for example, the BENTIX and AMBI indices); in the development of new indicators of the state of communities; to identify critical species (sensitive species or negative pollution indicators) and bioindicators (stable or positive pollution indicators).

Keywords: Black Sea, oil pollution, ecological status, macrozoobenthos, indices

Сведения об авторе

Алёмов	кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», просп. Нахимова, 2,
Сергей	Севастополь, 299011, Российская Федерация, e-mail: alyomov_sv@ibss-ras.ru
Викторович	

Поступила в редакцию 05.02.2025 г.

Принята к публикации 26.02.2025 г.