



УДК 574.587:639.4(262.5)

## МАКРОЗООБЕНТОС РЫХЛЫХ ГРУНТОВ ПОД МИДИЙНО-УСТРИЧНОЙ ФЕРМОЙ (ЧЁРНОЕ МОРЕ, РАЙОН СЕВАСТОПОЛЯ)

© 2018 г. Н. А. Болтачева, М. В. Макаров, Л. В. Бондаренко, М. А. Ковалева

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

E-mail: [kovalmargarita@mail.ru](mailto:kovalmargarita@mail.ru)

Поступила в редакцию 10.07.2017. Принята к публикации 05.03.2018.

В ходе съёмки 2015–2016 гг. проведено исследование видового состава, численности и биомассы макрозообентоса под мидийно-устричной фермой, расположенной в районе г. Севастополя. Материал собирали с помощью легководолазной техники ручным дночерпателем. Отмечено относительно низкое видовое разнообразие, обнаружено 56 видов макрозообентоса. Плотность макробентоса варьировала в пределах 500–975 экз.·м<sup>-2</sup>, биомасса — от 0,8 до 383,1 г·м<sup>-2</sup>. Зарегистрировано сообщество двустворчатого моллюска *Lucinella divaricata* (Linnaeus, 1758). Выявлены руководящие, характерные и редкие виды. Проведено сравнение с данными 1957 г. в районе Евпатория — Севастополь на сходных глубинах и грунтах. Обнаруженное сообщество отличается от регистрируемого ранее низкой плотностью особей и более высокой долей детритофагов, среди которых преобладают мелкие полихеты-грунтоеды.

**Ключевые слова:** макрозообентос, видовой состав, сообщества, разнообразие, Чёрное море, мидийно-устричная ферма

Марикультура, т. е. воспроизводство, разведение и товарное выращивание морских гидробионтов, в последнее время превратилась в широкомасштабную индустрию и стала играть ведущую роль в рыбохозяйственном комплексе большинства промышленно развитых стран. Она является органичным дополнением к морскому промыслу, позволяя целенаправленно восстанавливать и приумножать видовое богатство биоресурсов [3, 18, 20]. Аквакультура — одна из самых быстрорастущих отраслей производства продовольствия для человечества. Страны Азово-Черноморского бассейна обладают в этом отношении высоким потенциалом.

Массовое выращивание гидробионтов помимо получения экономической выгоды ставит и другие задачи в связи со сложным и неоднозначным влиянием аквакультуры на окружающую среду. Культивируемые моллюски — важный биологический ресурс, а их плантации — мощный средообразующий фактор. При выращивании моллюсков основному воздействию подвергаются донные экосистемы вследствие поступления дополнительных органических веществ в осадки с фекалиями и псевдофекалиями мидий, а также с осыпающимися с коллекторов другими гидробионтами [8]. Это влияет, в свою очередь, на физико-химические условия в придонном слое воды и в донных отложениях, что приводит к прямым и опосредованным воздействиям на сообщества морского бентоса [4, 18]. Масштабы влияния бывают разными и зависят от биомассы выращиваемых моллюсков, продолжительности культивирования, особенностей акватории. Ряд авторов сообщает об отсутствии негативных воздействий на зообентос или даже о некотором положительном влиянии на его разнообразие [1, 15]. В каждом конкретном случае необходимо тщательно отслеживать последствия функционирования марихозийств и вырабатывать подходы, минимизирующие негативное воздействие марикультуры.

Задачи данного исследования — определить состояние сообщества бентоса под мидийно-устричной фермой в начальный период культивирования моллюсков с целью изучения закономерностей сукцессии сообщества бентали в этом участке акватории; провести сравнение обнаруженного сообщества с существовавшими ранее в близлежащих районах у западного побережья Крыма.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Ферма по культивированию мидий и устриц размещена в прибрежной зоне г. Севастополя (внешний рейд Севастопольской бухты) в акватории между южным молотом Севастопольской бухты и западной границей гидрологического памятника природы регионального значения «Прибрежный аквальный комплекс у Херсонеса Таврического». Координаты крайних точек фермы — 44°37'02.2"N, 33°29'53.7"E, 44°37'05.6"N, 33°29'51.5"E, 44°37'13.3"N, 33°30'07.1"E, 44°37'07.8"N, 33°30'11.0"E. Площадь акватории, занимаемая конструкциями фермы, составляет 4 га. Глубины в районе размещения фермы — 10–16 м. Мидийные коллекторы установлены весной 2014 г. К весне 2017 г. на трёх носителях фермы росло, предположительно, около 15 т мидий разных возрастных групп (от нескольких месяцев до трёх лет). Летом 2015 г. в акваторию марихозяйства помещены расположенные в две линии садки с устрицами в количестве до 100 тыс. штук.

Отбор проб макрозообентоса проводили на грунте, представляющем собой заиленный песок, один раз в месяц с апреля 2015 г. по май 2016 г. (кроме ноября 2015 г.), в двух повторностях. Материал собирали под мидийной фермой на глубине 16 м с помощью легководолазной техники ручным дночерпателем площадью захвата 0,04 м<sup>2</sup>.

Последующую обработку материала проводили в лаборатории по стандартной методике: промывали через сито с размером ячеек 0,5 мм и фиксировали 4 % раствором формальдегида. Определяли видовой состав, плотность (N, экз.·м<sup>-2</sup>), биомассу (B, г·м<sup>-2</sup>) каждого вида, их встречаемость (P, %) и индекс функционального обилия (ИФО,  $N^{0,25} \cdot B^{0,75}$ ). Для проведения сравнительного анализа сообществ рассчитывали индекс плотности (ИП)  $\sqrt{N \cdot B}$ , аналогичный ИФО. Для сравнения общности фаун в разные месяцы использовали кластерный анализ и матрицу сходства видов по коэффициенту Чекановского — Сёренсена, который рассчитывали по формуле  $2c / (a + b)$ , где a и b — число видов в сравниваемых сообществах, c — число общих для этих сообществ видов.

При выделении трофических групп макрозообентоса использовали литературные данные [2, 6, 7, 11, 17]. Для сравнения плотности видов и выравнивания относительного распределения особей среди видов в сообществе строили кривые доминирования — разнообразия [12]. Плотность видов сравнивали с помощью К-доминантных кривых [21]. При анализе видового разнообразия применяли индексный подход. Доминирование изучали с помощью индекса Симпсона [12], биоразнообразие — по индексу Шеннона, рассчитанному на основании численности, видовое богатство — по индексу Маргалефа [12], выравнивание — с помощью индекса Пиелу [12].

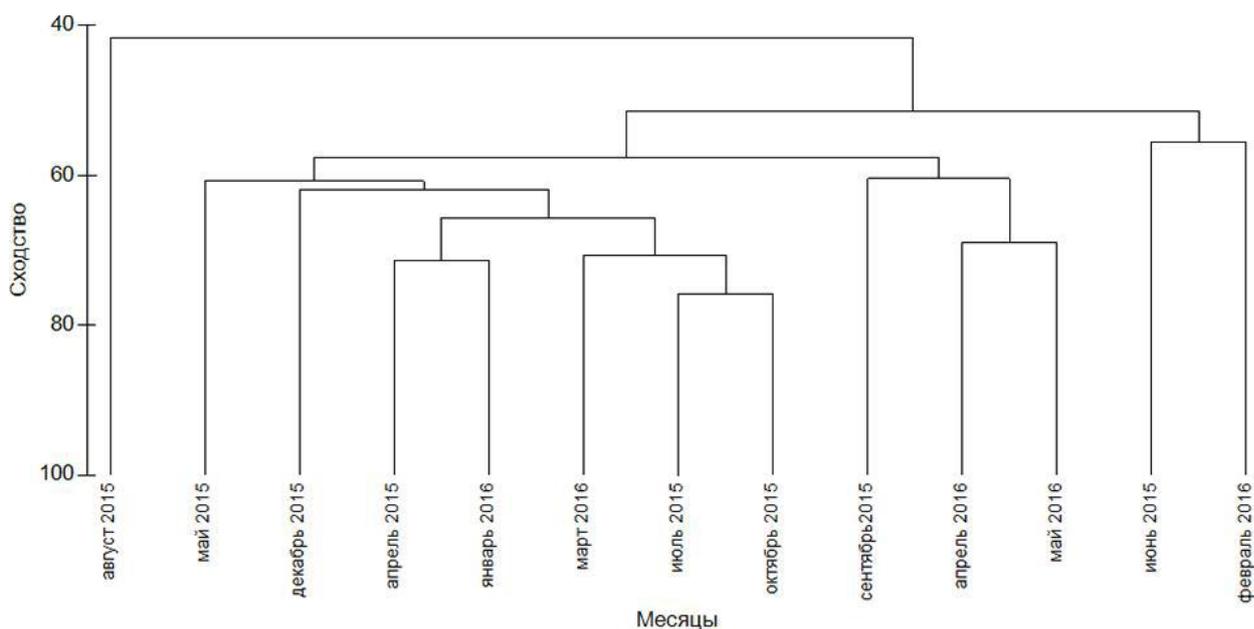
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Макрозообентос отличался довольно низким уровнем альфа-разнообразия. Одновременно в пробе обнаруживали от 10 до 19 таксонов. Для сравнения видового состава макрозообентоса, собранного в различные месяцы, построили матрицу общности видов по коэффициенту Чекановского — Сёренсена (табл. 1).

Значения коэффициента варьируют в пределах от 0,30 до 0,79, составляя в среднем  $0,54 \pm 0,02$ . В 62 % случаев коэффициент общности выше 0,50. Построение иерархической дендрограммы станций всего временного ряда наблюдений дало близкие результаты: сходство абсолютного большинства проб составляло 60–80 %. Исключение — пробы, собранные в июне и августе 2015 г. и в феврале 2016 г. (рис. 1).

**Таблица 1.** Коэффициент общности видов макрозообентоса для разных месяцев 2015–2016 гг.  
**Table 1.** The coefficient of species similarity of species of benthic invertebrates for different months of 2015–2016

	IV 2015	V 2015	VI 2015	VII 2015	VIII 2015	IX 2015	X 2015	XII 2015	I 2016	II 2016	III 2016
VI 2015	0,69										
VI 2015	0,50	0,55									
VII 2015	0,43	0,38	0,58								
VIII 2015	0,50	0,33	0,29	0,50							
IX 2015	0,65	0,58	0,37	0,58	0,46						
X 2015	0,69	0,55	0,48	0,67	0,42	0,63					
XII 2015	0,64	0,64	0,48	0,64	0,41	0,50	0,54				
I 2016	0,71	0,57	0,50	0,71	0,39	0,52	0,55	0,64			
II 2016	0,52	0,52	0,53	0,61	0,30	0,54	0,58	0,40	0,61		
III 2016	0,64	0,48	0,38	0,72	0,41	0,48	0,62	0,55	0,56	0,60	
IV 2016	0,65	0,52	0,44	0,58	0,40	0,47	0,63	0,79	0,58	0,50	0,69



**Рис. 1.** Иерархическая дендрограмма всего временного ряда наблюдений

**Fig. 1.** Hierarchical dendrogram of the entire time series of observations

Высокий уровень сходства может свидетельствовать об однообразии условий, существующих в этом биотопе в течение времени исследования, и об отсутствии значимых сезонных изменений в сообществе. По показателям плотности и биомассы макрозообентоса чётких сезонных изменений также не выявлено. Аналогичное отсутствие сезонности для макрозообентоса зафиксировано другими авторами [6, 14]. По нашим сборам можно лишь отметить увеличение плотности и биомассы двустворчатого моллюска *Lucinella divaricata* в течение осенних месяцев, что может быть связано с размножением вида в тёплое время года. Данных о сроках размножения этого моллюска нет, поэтому мы сочли возможным объединить все сезонные сборы с целью анализа структуры сообщества в изученном биотопе.

С апреля 2015 г. по май 2016 г. зарегистрировали 56 видов макрозообентоса (17 видов Polychaeta, 13 — Crustacea, 12 — Bivalvia, 4 — Gastropoda, 10 — прочие) (табл. 2).

**Таблица 2.** Видовой состав и количественные показатели макрозообентоса (N — средняя плотность, экз.·м<sup>-2</sup>; B — средняя биомасса, г·м<sup>-2</sup>; P — встречаемость, %; ИФО — индекс функционального обилия; ИП — индекс плотности) в районе мидийной фермы

**Table 2.** Species composition and quantitative indices of macrozoobenthos (N – the average density, ind. per m<sup>2</sup>; B – average biomass, g·m<sup>-2</sup>; P – frequency of occurrence, %; ИФО – Functional Abundance Index; ИП – Density Index) in the area the clam farm

Таксоны	N	B	P	ИФО	ИП
CHORDATA					
<i>Ciona intestinalis</i> (Linnaeus, 1767)	1	0,005	8	0,02	0,07
CNIDARIA					
<i>Edwardsia claparedii</i> (Panceri, 1869)	+	–	–	–	–
<i>Eudendrium ramosum</i> (Linnaeus, 1758)	+	–	–	–	–
ANNELIDA					
Polychaeta					
<i>Alitta succinea</i> (Leuckart, 1847)	1	0,003	8	0,01	0,05
<i>Aricidea claudiae</i> Laubier, 1967	13	0,012	62	0,07	0,39
<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)	2	0,003	8	0,02	0,08
Capitellidae g. sp.	1	0,001	8	0,01	0,03
<i>Glycera</i> sp.	1	0,022	8	0,05	0,14
<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)	44	0,050	69	0,27	1,48
<i>Magelona rosea</i> Moore, 1907	2	0,002	15	0,01	0,06
<i>Megadrilus purpureus</i> (Schneider, 1868)	4	0,001	8	0,01	0,06
<i>Melinna palmata</i> Grube, 1870	1	< 0,001	8	0,01	0,03
<i>Micronephthys stammeri</i> (Augener, 1932)	145	0,070	100	0,47	3,19
<i>Nephtys hombergii</i> Savigny in Lamarck, 1818	6	0,410	23	0,80	1,57
Nereidae g. sp.	1	0,002	8	0,01	0,04
Paraonidae g. sp.	2	0,002	8	0,01	0,06
<i>Pholoe inornata</i> Johnston, 1839	+	–	–	–	–
<i>Phyllodoce mucosa</i> Örsted, 1843	2	0,001	15	0,01	0,04
<i>Platynereis dumerilii</i> (Audouin Milne Edwards, 1834)	1	0,004	8	0,02	0,06
<i>Prionospio cirrifera</i> Wirén, 1883	1	0,001	8	0,01	0,03
Spionidae g. sp.	4	0,004	23	0,02	0,13
<i>Syllis hyalina</i> Grube, 1863	1	0,001	8	0,01	0,03
Oligochaeta g. sp.	+	–	–	–	–
NEMERTEA					
	5	0,017	38	0,07	0,29

Продолжение на следующей странице...

Таксоны	N	B	P	ИФО	ИП
ARTHROPODA					
Crustacea					
<i>Ampelisca diadema</i> (Costa, 1853)	1	< 0,001	8	0,01	0,03
<i>Ampelisca sevastopoliensis</i> Grintsov, 2010	+	—	—	—	—
<i>Caprella acanthifera</i> Leach, 1814	+	—	—	—	—
<i>Caprella</i> sp.	1	0,010	8	0,03	0,10
<i>Cumella limicola</i> G. O. Sars, 1879	9	< 0,001	38	0,01	0,09
<i>Diogenes pugilator</i> (Roux, 1829)	13	0,578	62	1,26	2,74
Harpacticoida g. sp.	+	—	—	—	—
<i>Iphinoe elisae</i> Băcescu, 1950	1	< 0,001	8	0,01	0,03
<i>Jassa marmorata</i> Holmes, 1905	7	0,013	8	0,06	0,30
<i>Liocarcinus navigator</i> (Herbst, 1794)	+	—	—	—	—
<i>Medicorophium runcicorne</i> (Della Valle, 1893)	+	—	—	—	—
<i>Microdeutopus gryllotalpa</i> Costa, 1853	1	0,002	8	0,01	0,04
<i>Nototropis guttatus</i> Costa, 1853	1	< 0,001	8	0,06	0,03
<i>Upogebia pusilla</i> (Petagna, 1792)	1	0,096	8	0,01	0,31
MOLLUSCA					
Gastropoda					
<i>Caecum trachea</i> (Montagu, 1803)	2	0,002	15	0,01	0,06
<i>Hydrobia acuta</i> (Draparnaud, 1805)	3	0,003	15	0,02	0,09
<i>Retusa variabilis</i> (Milaschewitsch, 1912)	1	0,001	8	0,01	0,03
<i>Tritia reticulata</i> (Linnaeus, 1758)	12	14,323	31	13,70	13,11
Bivalvia					
<i>Abra</i> sp.	17	0,009	62	0,06	0,39
<i>Acanthocardia paucicostata</i> (G. B. Sowerby II, 1834)	1	0,005	8	0,02	0,07
<i>Anadara kagoshimensis</i> (Tokunaga, 1906)	1	23,077	8	10,53	4,80
Cardiidae g. sp.	11	0,016	46	0,08	0,42
<i>Chamelea gallina</i> (Linnaeus, 1758)	70	4,256	100	8,58	17,28
<i>Fabulina fabula</i> (Gmelin, 1791)	1	0,017	15	0,05	0,13
<i>Gouldia minima</i> (Montagu, 1803)	39	0,225	77	0,82	2,96
<i>Lucinella divaricata</i> (Linnaeus, 1758)	104	0,626	100	2,25	8,07
<i>Mytilaster lineatus</i> (Gmelin, 1791)	34	5,825	85	9,05	2,41
<i>Mytilus galloprovincialis</i> Lamarck, 1819	6	0,051	31	0,17	0,55
<i>Parvicardium exiguum</i> (Gmelin, 1791)	4	0,010	8	0,04	0,20
<i>Pitar rudis</i> (Poli, 1795)	80	0,784	92	2,49	7,92
<i>Spisula subtruncata</i> (Costa, 1778)	12	0,170	54	0,49	1,43
PHORONIDA					
<i>Phoronis psammophila</i> Cori, 1889	4	0,007	15	0,03	0,17

**Примечание:** + — вид обнаружен в качественных сборах

**Note:** + means that species has been found in quality samplings

К руководящим видам (встречаемость > 50%) относились полихеты *Aricidea claudiae*, *Heteromastus filiformis*, *Micronephthys stammeri*, рак-отшельник *Diogenes pugilator*, двустворчатые моллюски *Chamelea gallina*, *Lucinella divaricata*, *Gouldia minima*, *Mytilaster lineatus*, *Pitar rudis*, *Spisula subtruncata*, *Abra* sp. В группу характерных (встречаемость 25–50%) вошли 4 вида: кумовый рак *Cumella limicola*, брюхоногий моллюск *Tritia reticulata*, двустворчатые моллюски *Spisula subtruncata* и *Mytilus galloprovincialis*. Остальные виды относились к редким (встречаемость < 25%).

Плотность макрозообентоса колебалась в пределах 500–975 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup> (в среднем 685  $\pm$  58 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>). Моллюски составляли 59 % от общей плотности бентоса (в том числе *L. divaricata* — 15 %), Annelida — 34 % (в том числе полихеты *Micronephthys stammeri* — 22 %), Crustacea — 5 %. Биомасса изменялась в широких пределах от 0,8 до 383,1 г $\cdot$ м<sup>-2</sup> (в среднем 50,7 г $\cdot$ м<sup>-2</sup>). Относительно высокую биомассу имели гастроподы *Tritia reticulata* и зарегистрированный лишь однажды двустворчатый моллюск *Anadara kagoshimensis*.

Группа многощетинковых червей представлена большим количеством видов (17), однако их плотность и биомасса невелики — 231 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup> и 0,59 г $\cdot$ м<sup>-2</sup> соответственно. Преобладали мелкие эррантные формы. Ряд видов, являющихся довольно крупными, представлен молодью. Наибольшая плотность (260 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>) отмечена для *M. stammeri* при средней 145 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>. Данный вид часто встречается на заиленных грунтах на глубине 10–65 м. У побережья Болгарии средняя плотность поселения этих червей — 156 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>. Максимальная плотность (4000 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>) отмечена у западного побережья Крыма при биомассе 2 г $\cdot$ м<sup>-2</sup> [7, 9]. Из крупных полихет обнаружены взрослые экземпляры лишь одного вида — *N. hombergii* (с максимальной плотностью 25 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup> и биомассой 2,88 г $\cdot$ м<sup>-2</sup>). Представляет интерес распределение червей в различных слоях донных осадков: 9 из обнаруженных видов обитают на поверхности грунта, 6 — в верхнем слое осадков, 2 — в более глубоких слоях грунта. По количественным показателям преобладает вторая группа — полихеты, обитающие в верхних слоях осадка. Их вклад в общую плотность и биомассу многощетинковых червей составляет 69 и 87 % соответственно. К этой группе относятся, прежде всего, *M. stammeri*, *N. hombergii*, *A. claudiae*.

Ракообразные представлены 12 видами Malacostraca. На долю Amphipoda приходится около 67 % всех отмеченных в исследуемой акватории высших раков. Найдены 1 вид Cumacea и 3 вида Decapoda. Для данного биотопа характерен *Diogenes pugilator*, обнаруженный во все сезоны года. Этот вид обитает на разнообразных грунтах, на глубине от 0 до 50 м. Относится к собирающим детритофагам, также может питаться отмершими остатками животных и растений. К характерным видам для биотопа можно причислить также кумового рака *Cumella limicola*, имеющего высокую встречаемость при низкой плотности (13–50 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>). Данный вид обитает на дне, полузарывшись в ил истый грунт. Питается детритом и микроорганизмами, взмучивая донные отложения. В Севастопольской бухте Круглой в 2004 г. плотность поселения *C. limicola* варьировала в пределах от 10 до 130 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup> [13]. Максимальная плотность поселений этого вида (1810 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>) зафиксирована в 1957 г. в акватории Юго-Западного Крыма на заиленном песке на глубине 12 м [5]. В числе редких видов в наших материалах отмечены рак-крот *Upogebia pusilla* и краб *Liocarcinus navigator*.

Видовой состав Gastropoda оказался очень беден. За год зарегистрировано лишь 4 вида, все — типичные обитатели мягких грунтов. По плотности и биомассе доминирует *Tritia reticulata* — вид-оппортунист, хорошо переносящий загрязнение [17]. Он встречается даже в очень загрязнённой Южной бухте [10]. Следует отметить наличие в макрозообентосе под фермой и *Hydrobia acuta*, хотя они больше тяготеют к мелководью в вершинных частях бухт и к илистому субстрату [17].

Двустворчатых моллюсков обнаружено 12 видов. Высокая встречаемость и наибольшая плотность зафиксированы у *Lucinella divaricata*, *Pitar rudis* и *Chamelea gallina*. Поселение *L. divaricata* представлено моллюсками размером 1–4 мм, и особи с максимальной длиной раковины составляли 10 %. Известно, что при таком размере (4 мм) особи этого вида размножаются. Максимальный размер моллюсков, отмеченный в исследованиях 1950–1960-х гг. в Чёрном море, — 5 мм, в 2010–2013 гг. — 5,5 мм [6, 14]. Плотность *L. divaricata* в течение периода исследований колебалась в пределах 25–163 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>, при этом и плотность, и биомасса моллюсков имели более высокие значения осенью. Плотность *Ch. gallina* варьировала в пределах 50–150 экз. $\cdot$ м<sup>-2</sup>. Поселение представлено в основном моллюсками размером 1–8 мм, обнаружен лишь один экземпляр длиной 9,5 мм. Известно, что эти моллюски в акватории Юго-Западного Крыма достигают максимально 25–27 мм, размер годовиков составляет 10 мм и более, а живут моллюски до 9 лет [16, 19]. Созревание половых продуктов начинается у *Ch. gallina* размером 8–14 мм [16]. Следовательно, поселение *Ch. gallina* в течение всего периода

исследований состояло из молоди первого года жизни, а моллюски старших возрастных групп, достигшие половозрелости, практически отсутствовали. То же касается *P. rudis*. Его поселение представлено экземплярами размером 2–7 мм, при этом максимальная длина раковин данных моллюсков у берегов Крыма — 25 мм [6]. Половозрелыми являются особи размером 11–13 мм [6]. Плотность *P. rudis* варьировала в больших пределах (13–200 экз.·м<sup>-2</sup>). В целом в отношении всех перечисленных видов моллюсков следует отметить низкие показатели плотности и биомассы по сравнению с таковыми других биотопов [6, 14].

Малое количество видов и то, что значительная их часть представлена ювенильными особями, а также низкие количественные показатели бентоса затрудняют выделение сообщества в данном биотопе общепринятыми методами. Попробуем не формализованно подойти к рассмотрению характера и природы изученного сообщества. В его ядро в первую очередь входят виды, имеющие встречаемость 90–100 %. Это моллюски *Ch. gallina*, *L. divaricata*, *P. rudis* и полихета *Micronephthys stammeri*. Из них высокую биомассу и ИФО имеют *Ch. gallina* и *L. divaricata*. Мы не учитывали два вида: *Anadara kagoshimensis* (один очень крупный экземпляр этого моллюска обнаружен лишь однажды за все время исследований) и *Tritia reticulata* (это большой подвижный плотоядный моллюск). Поселение *Ch. gallina* в течение всего периода исследований было представлено молодью первого года жизни и имело низкую плотность и биомассу. Поселение *P. rudis* также состояло в основном из ювенильных особей. Поселение *L. divaricata*, в отличие от таковых двух вышеупомянутых видов, содержало большой процент особей, способных к размножению. Таким образом, лишь этот вид из двустворчатых моллюсков в исследованном биотопе имел разновозрастную популяцию, а значит, его можно рассматривать как вид, «определяющий» сообщество. Для западного побережья Крыма в районе Севастополь — Евпатория в 1957 г. М. И. Киселёвой [5] на сходных глубинах и грунтах выделен биоценоз *L. divaricata*. Близким к нему по составу видов являлся биоценоз *M. stammeri*. Эти биоценозы отмечены на песчаном иле, иногда с примесью обломков раковин моллюсков, на глубине 8–12 м. Мы провели сравнение сообщества макрзообентоса, обитающего под мидийной фермой, с вышеупомянутыми двумя сообществами. Используются архивные материалы отдела экосистем шельфа ФГБУН ИМБИ.

Коэффициент общности фаун Чекановского — Сёренсена для сообщества, обнаруженного под мидийной фермой, и сообществ 1957 г. составил: для *L. divaricata* — 0,494, для *M. stammeri* — 0,486. Такие значения свидетельствуют о сходстве видового состава сравниваемых сообществ. Число видов, обнаруженных в количественных пробах под мидийной плантацией, — 42, в биоценозе люцинеллы — 35, в биоценозе микронефтиса — 32. Биоценозы в этом исследовании выделили по показателю  $\sqrt{N \cdot B}$ . При этом учитывали и встречаемость видов.

Ядром биоценоза люцинеллы в 1957 г. являлись *L. divaricata* и *C. limicola*. Средняя плотность популяции люцинеллы — около 2000 экз.·м<sup>-2</sup>, преобладала молодь, однако присутствовали и взрослые (половозрелые) особи. Рак *C. limicola* отличался высокой плотностью (до 236 экз.·м<sup>-2</sup>) и встречался на всех станциях. В поселении обнаружены яйценозные самки [5]. Моллюск *Ch. gallina* присутствовал не на всех станциях и был представлен преимущественно молодью. На нескольких станциях в этом сообществе отмечен *D. pugilator*, его средняя численность — 132 экз.·м<sup>-2</sup>.

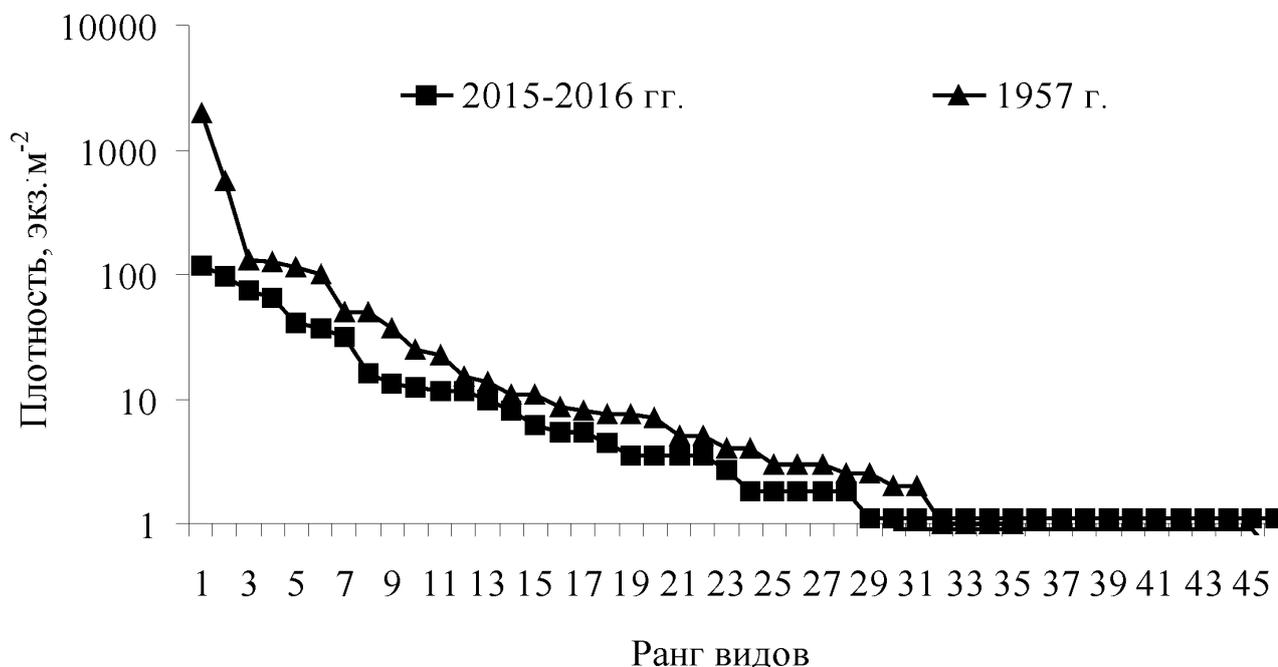
Ядром биоценоза микронефтиса являлись *M. stammeri* и *Ch. gallina*. Индекс плотности  $\sqrt{N \cdot B}$  хамелеи был выше, чем таковой микронефтиса, однако *Ch. gallina* встречался не на всех станциях, и в поселении преобладала молодь. Плотность *M. stammeri* достигала 2340 экз.·м<sup>-2</sup>. В целом сравнение количественных показателей развития анализируемых сообществ показало, что плотность сообщества под мидийной фермой (685 экз.·м<sup>-2</sup>) приблизительно в пять раз ниже, чем таковая сообществ люцинеллы (3312 экз.·м<sup>-2</sup>) и микронефтиса (3909 экз.·м<sup>-2</sup>). Значения средней биомассы вполне сравнимы: 50,7 г·м<sup>-2</sup> в исследованном сообществе, 26,11 г·м<sup>-2</sup> в сообществе люцинеллы, 57,37 г·м<sup>-2</sup> в сообществе микронефтиса. Большие различия в численности отчасти можно объяснить отличиями в методе сбора проб. В 1957 г. отбирали одновременно макро- и мейобентос, а в 2015–2016 гг. — только макробентос. При использовании карточек первичных данных 1957 г. мы не учитывали материалы по мейобентосу,

однако полностью отделить данные по псевдомейобентосу не всегда возможно. На значения показателей сырой биомассы не влияет, как правило, учёт мейобентосной составляющей, поэтому их сравнение в данном контексте вполне корректно. Таким образом, мы полагаем, что исследованное сообщество обладает сходством с обоими этими сообществами, однако присутствие *D. pugilator* в числе руководящих, а *C. limicola* — в числе характерных видов делает его более близким сообществу *L. divaricata*. Если не учитывать *T. reticulata* (крупного подвижного плотоядного брюхоногого моллюска) и *Ch. gallina*, представленного ювенильными особями, то по индексу плотности сообщество, обитающее под мидийной фермой, можно отнести к сообществу *L. divaricata*.

При рассмотрении сообщества люцинеллы 1957 г. как сообщества с ненарушенной структурой интересно сравнить показатели разнообразия и трофическую структуру макрозообентоса этих сообществ у западного побережья Крыма и под мидийной фермой в прибрежной зоне г. Севастополя.

Значение индекса Симпсона (D), отражающего концентрацию доминирования в сообществе, в 2015–2016 гг. составило 0,1, а в сообществе *L. divaricata* в 1957 г. — 0,4. Таким образом, в 2015–2016 гг. уровень доминирования ниже, чем в 1957 г., а следовательно, разнообразие — больше (1–D). Разнообразию также анализировали по индексу Шеннона, придающему больший вес редким видам. В 2015–2016 гг. значение показателя составило 3,9, а в сообществе *L. divaricata* 1957 г. — 2,3. Значение индекса выравненности Пиелу также выше в сообществе под мидийной фермой (0,7 в 2015–2016 гг., 0,45 в 1957 г.). Значение индекса Маргалефа, отражающего биоразнообразие относительно видового богатства, в 2015–2016 гг. составило 4,8, в 1957 г. — 2,9. Таким образом, разнообразие донного сообщества под фермой выше, чем таковое в сообществе *L. divaricata* в 1957 г. Вероятно, это можно объяснить тем, что в 2015–2016 гг. отобрано большее количество проб.

Для оценки выравненности видов построили график доминирования — разнообразия макрозообентоса по его плотности (рис. 2).

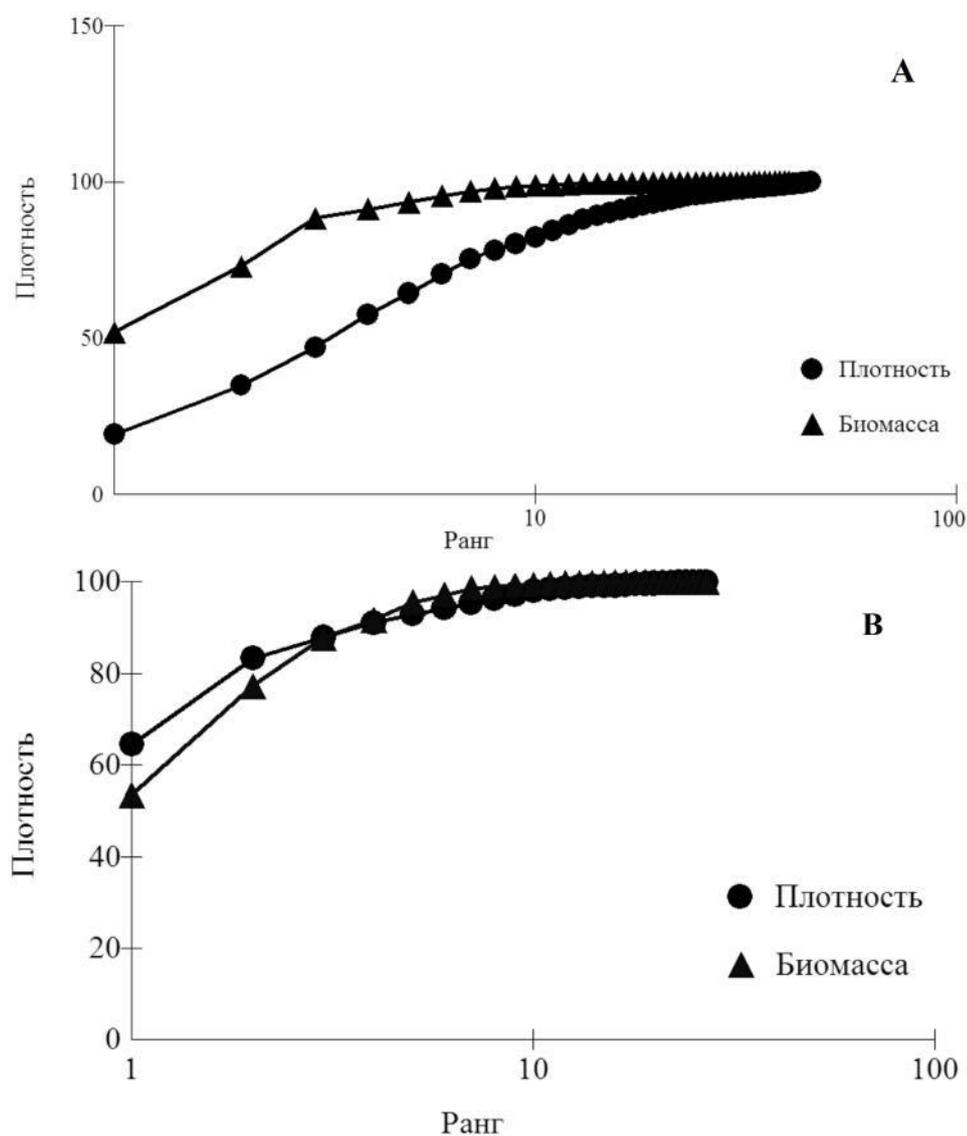


**Рис. 2.** Доминирование — разнообразие макрозообентоса в сообществах в 2015–2016 гг. (под мидийной фермой) и в 1957 г. (у зап. побережья Крыма)

**Fig. 2.** The dominance – diversity of macrozoobenthos in communities during 2015–2016 (under the clam farm) and in 1957 (off the west coast of the Crimea)

Доминирование в 2015–2016 гг. ниже, чем в 1957 г., что связано, однако, не с наличием благоприятных условий для видов в этом сообществе, а скорее с их относительно низкой плотностью. Если в 1957 г. ведущую позицию занимал *L. divaricata*, а субдоминантом являлся *M. stammeri*, то в 2015–2016 гг. они поменялись местами: мелкие детритоядные полихеты *M. stammeri* стали доминировать по численности.

Для определения изменений, произошедших в биотопе под влиянием внешних воздействий, построены К-доминантные кривые пропорций плотности и биомассы каждого вида в биотопе для двух периодов исследований (рис. 3).



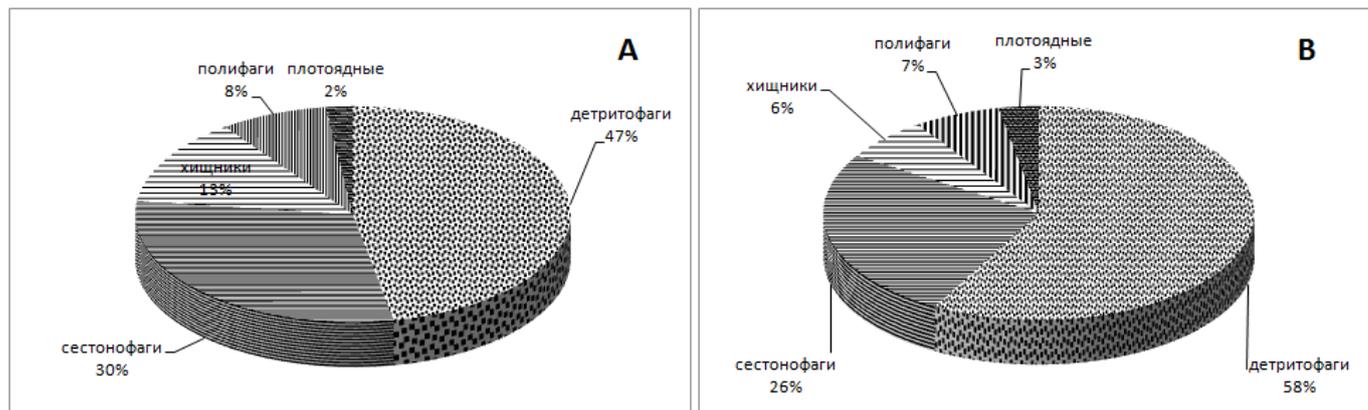
**Рис. 3.** Кривые К-доминирования плотности и биомассы для сообществ макрозообентоса: А — в 2015–2016 гг. (под мидийной фермой), В — в 1957 г. (у западного побережья Крыма)

**Fig. 3.** Curves of K-dominance of density and biomass in the communities of macrozoobenthos: А — during 2015–2016 (under the clam farm), В — in 1957 (off the west coast of Crimea)

По взаимному расположению этих кривых можно сделать выводы о наличии изменений во взаимоотношении К- и r-стратегов в сообществе. Графически наличие доминирующих К-стратегов (видов с относительно большой биомассой) в сообществе проявляется в том, что кривая биомассы располагается выше кривой плотности. Такая картина наблюдается на кривых К-доминирования в сообществе 2015–2016 гг. Сказать однозначно, какие организмы преобладают в сообществе люцинеллы в 1957 г. (с К- или r-стратегией), нельзя. На наш взгляд, такая ситуация возникла ввиду доминирова-

ния молоди в момент сбора проб: их брали в сезон размножения большинства бентосных организмов. Возможно, отображение именно этого факта, а не ухудшения условий среды, мы видим на указанных кривых.

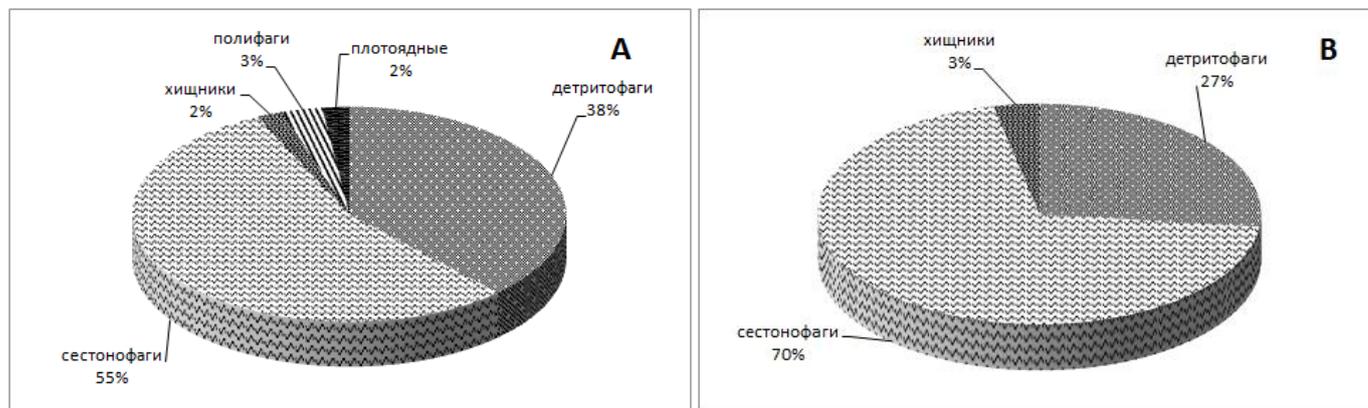
Трофическая структура сообщества в 2015–2016 гг. представлена пятью пищевыми группировками: детритофагами, сестонофагами, хищниками, полифагами и плотоядными. В 1957 г. структура сообщества *L. divaricata* была несколько разнообразнее, отмечены представители этих же пяти группировок и фитофаги (2 вида), не обнаруженные в 2015–2016 гг. В видовом составе в оба периода преобладали детритофаги и сестонофаги, их соотношение было близким (рис. 4).



**Рис. 4.** Соотношение количества видов разных трофических группировок в сообществе *L. divaricata*: А — в 2015–2016 гг. (под мидийной фермой), В — в 1957 г. (у зап. побережья Крыма)

**Fig. 4.** The ratio of species in different trophic groups in the community of *L. divaricata*: А – during 2015–2016 (under the clam farm), В – in 1957 (off the west coast of Crimea)

В 2015–2016 гг. в сообществе было отмечено 22 вида детритофагов и 14 видов сестонофагов, а в 1957 г. — 18 и 8 видов соответственно. К детритофагам относятся преимущественно Polychaeta и Crustacea, а к сестонофагам — Bivalvia. Соотношение плотности представителей разных трофических группировок в сообществе заметно отличалось. В 2015–2016 гг. плотность сестонофагов не намного больше, чем детритофагов (341 и 240 экз.·м<sup>-2</sup> соответственно), в то время как в 1957 г. сестонофагов в 2,6 раза больше, чем детритофагов (рис. 5).



**Рис. 5.** Соотношение численности представителей разных трофических группировок в сообществе *L. divaricata*: А — в 2015–2016 гг. (под мидийной фермой), В — в 1957 г. (у западного побережья Крыма)

**Fig. 5.** The ratio of abundance in different trophic groups in the community of *L. divaricata*: А – during 2015–2016 (under the clam farm), В – in 1957 (off the west coast of Crimea)

Роль детритофагов в сообществе люциеллы в 2015–2016 гг. возросла по сравнению с таковой этого же сообщества в 1957 г. По биомассе в оба периода исследований преобладали сестонофаги, однако их относительная доля в 2015–2016 гг. чуть меньше, чем в 1957 г. (68 против 74 %). При этом вклад в биомассу плотоядных видов увеличился, составив 29 %. Известно, что группа детритофагов подразделяется на виды, собирающие детрит с поверхности грунта, и виды, безвыборочно заглатывающие грунт. В сообществе под мидийной фермой преобладали грунтоеды, их доля составляла 70 % численности всех детритофагов. Такая трофическая структура сообщества под мидийной фермой может свидетельствовать о повышенном содержании органического вещества в донных осадках, которое, возможно, поступает от мидий, размещённых на коллекторах, в результате чего возрастает численность и роль донных беспозвоночных — детритофагов.

Таким образом, макрозообентос под фермой отличается относительной бедностью таксономического разнообразия и низкими количественными показателями. Руководящие виды представлены или мелкими видами, или ювенильными формами крупных двустворчатых моллюсков. Аналогичное сообщество ранее отмечали в близлежащей акватории на похожих глубинах и грунтах возле устьев рек Кача и Западный Булганак [5]. Следовательно, относительная бедность сообщества макрозообентоса может иметь естественные причины и не быть следствием антропогенного воздействия на среду обитания, однако отличие в трофической структуре сообщества под марихозяйством и сообщества, зарегистрированного в 1957 г., может свидетельствовать о наличии дополнительного ресурса, который поступает на дно в связи с деятельностью марикультурного хозяйства. Известно, что на первых этапах функционирования таких хозяйств на дне под ними идёт интенсивное увеличение мелких быстро размножающихся детритофагов [4, 8]. При первоначально небольшой нагрузке на окружающую среду мидиевого хозяйства численность донных сообществ невелика. Исследованное нами сообщество *L. divaricata* как раз и отличается низкой общей плотностью макробентоса и высокой долей детритофагов. При этом наиболее многочисленные представители детритофагов — мелкие короткоживущие полихеты *M. stammeri*. Преобладание среди детритофагов группы грунтоедов, обитающих в толще осадка, может отчасти свидетельствовать о том, что поступление органического вещества на дно увеличено и что оно недостаточно используется собирающими детритофагами на поверхности дна.

**Заключение.** Макрозообентос под хозяйством марикультуры на первоначальном этапе его функционирования отличается относительной бедностью таксономического разнообразия и низкими количественными показателями. Обнаруженное сообщество можно идентифицировать как сообщество *Lucinella divaricata*. Сходное сообщество с доминированием люциеллы отмечено в 1957 г. в акватории вблизи Севастополя. Настоящее сообщество отличается от регистрируемого ранее более низкой плотностью особей, однако показатели его разнообразия выше, чем в 1957 г. Руководящие виды представлены или мелкими видами, или ювенильными формами крупных двустворчатых моллюсков. Трофическая структура сообщества характеризуется более высокой долей детритофагов, среди которых преобладают мелкие полихеты-грунтоеды. Обнаруженные отличия позволяют предположить, что исследуемое сообщество находится в процессе трансформации, однако утверждать, что это является следствием деятельности марихозяйства, нельзя. Необходим дальнейший мониторинг состояния бентосного сообщества, обитающего под мидийной плантацией, с целью изучения влияния культивирования моллюсков на экосистему прибрежной зоны г. Севастополя.

*Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ по теме «Мониторинг биологического разнообразия гидробионтов Черноморско-Азовского бассейна и разработка эффективных мер по его сохранению» (№ гос. регистрации АААА-А18-118020890074-2).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Абаев В. Ю. *Влияние культивирования мидий на экосистемы Анапского шельфа Черного моря*: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Краснодар, 2001. 18 с. [Abayev V. Yu. *Vliyanie kultivirovaniya midiy na ekosistemi Anapskogo shelfa Chernogo morya*: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk: 03.00.16. Krasnodar, 2001. 18 p. (in Russ.)].
2. Грезе И. И. *Амфиподы Чёрного моря и их биология*. Киев : Наукова думка, 1977. 156 с. [Greze I. I. *Amfipody Chernogo morya i ikh biologiya*. Kiev: Naukova dumka, 1977, 156 p. (in Russ.)].
3. Дергалева Ж. Т., Яхонтова И. В., Коваленко Ю. И. *Марикультура моллюсков и ее роль в решении проблем черноморского побережья Краснодарского края // Морские прибрежные экосистемы: водоросли, беспозвоночные и продукты их переработки*. Москва : Изд-во ВНИРО, 2004. С. 140–143. [Dergaleva Zh. T., Yakhontova I. V., Kovalenko Yu. I. *Marikul'tura mollyuskov i ee rol' v reshenii problem chernomorskogo poberezh'ya Krasnodarskogo kraya*. In: *Morskie pribrezhnye ekosistemy: vodorosli, bespozvonochnye i produkty ikh pererabotki*. Moscow: Izd-vo VNIRO, 2004, pp. 140–143. (in Russ.)].
4. Иванов М. В., Чивилев С. М. Долговременная сукцессия бентоса под хозяйствами марикультуры мидий в Белом море // *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета*. Серия 3. Биология. 2007. № 4. С. 63–72. [Ivanov M. V., Chivilev S. M. The long-term benthic succession under the White Sea mussel farms. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seriya 3. Biologiya, 2007, no. 4, pp. 63–72. (in Russ.)].
5. Киселева М. И., Славина О. Я. Донные биоценозы у западного побережья Крыма // *Труды Севастопольской биологической станции*. 1964. Т. 15. С. 152–177. [Kiseleva M. I., Slavina O. Ya. *Donnye biotsenozy u zapadnogo poberezh'ya Kryma*. *Trudy Sevastopol'skoi biologicheskoi stantsii*, 1964, vol. 15, pp. 152–177. (in Russ.)].
6. Киселева М. И. *Бентос рыхлых грунтов Черного моря*. Киев : Наукова думка, 1981. 165 с. [Kiseleva M. I. *Bentos rykhlykh gruntov Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1981, 165 p. (in Russ.)].
7. Киселёва М. И. *Многощетинковые черви (Polychaeta) Чёрного и Азовского морей*. Апатиты : Изд-во КНЦ РАН, 2004. 409 с. [Kiseleva M. I. *Mnogoshchetinkovye chervi (Polychaeta) Chernogo i Azovskogo morei*. Apatity: Izd-vo KNTs RAN, 2004, 409 p. (in Russ.)].
8. Кругликов О. Е., Иванов М. В. Воздействие соностровского мидиевого хозяйства на бентосные сообщества // *70-летие Беломорской биологической станции им. Н. А. Перцова*: материалы науч. конф. (9–10 авг. 2008 г.). Москва, 2008. С. 70–74. [Kruglikov O. E., Ivanov M. V. *Vozdeistvie sonostrovskogo midievogo khozyaistva na bentosnye soobshchestva* // *70-letie Belomorskoj biologicheskoi stantsii im. N. A. Pertsova*: materialy nauch. konf. (9–10 Aug. 2008). Moscow, 2008, pp. 70–74. (in Russ.)].
9. Кънева-Абаджиева В., Маринов Т. Разделение на зообентоса на пясъчиата биоценоза пред българския черноморски бряг // *Изв. НИИ риб. стопанс. и океаногр.* 1966. Т. 7. С. 69–95. [K"neva-Abadzhieva V., Marinov T. *Razpredelenie na zoobentosa na pyas"chiata biotsenozata pred b"lgarskiya chernomorski bryag*. *Izv. NII rib. stopans. i okeanogr.* 1966, vol. 7, pp. 69–95. (in Bulg.)].
10. Макаров М. В. Сезонная динамика Gastropoda в Севастопольской бухте (Черное море) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа* : сб. науч. тр. Севастополь, 2004. Вып. 10. С. 184–189. [Makarov M. V. *Sezonnaya dinamika Gastropoda v Sevastopol'skoi bukhte (Chernoe more)*. In: *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*: sb. nauch. tr. Sevastopol, 2004, iss. 10, pp. 184–189. (in Russ.)].

11. Маккавеева Е. Б. *Беспозвоночные зарослей макрофитов Чёрного моря*. Киев : Наукова думка, 1979. 229 с. [Makkaveeva E. B. *Bespozvonochnye zaroslei makrofitov Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1979, 229 p. (in Russ.)].
12. Одум Ю. *Экология*. Москва: Мир, 1986. 376 с. [Odum Yu. *Ecology*. Moscow: Mir, 1986, 376 p. (in Russ.)].
13. Ревков Н. К., Бондаренко Л. В., Гринцов В. А. Структура таксоцены Malacostraca акватории бухты Круглой (юго-западный Крым, Чёрное море) // *Экология моря*. 2008. Вып. 75. С. 71–76. [Revkov N. K., Bondarenko L. V., Grintsov V. A. The structure of Malacostraca taxocene at Kruglaya Bay (south-western Crimea, Black Sea). *Ekologiya morya*, 2008, iss. 75, pp. 71–76. (in Russ.)].
14. Ревков Н. К., Тимофеев В. А., Лисицкая Е. В. Состав и сезонная динамика макрозообентоса локального биотического комплекса *Chamelea gallina* (западный Крым, Чёрное море) // *Экосистемы*. 2014. Вып. 11. С. 247–259. [Revkov N. K., Timofeev V. A., Lisitskaya E. V. Composition and seasonal dynamics of macrozoobenthos in local biotic complex *Chamelea gallina* (western Crimea, the Black Sea). *Ekosistemy*, 2014, iss. 11, pp. 247–259. (in Russ.)].
15. Погребов В. Б., Рябушко В. И., Ревков Н. К. Влияние мидиевого хозяйства на макробентос бухты Ласпи Чёрного моря // *5-я Всесоюз. конф. по промышленным беспозвоночным*, Минск (Нарочь), 9–13 окт. 1990 г. : тез. докл. Москва, 1990. С. 21–22. [Pogrebov V. S., Revkov N. K., Ryabushko V. I. Vliyanie midievogo khozyaistva na makrobentos bukhty Laspi Chernogo morya. In: *5-ya Vsesoyuz. konf. po promyslovym bespozvonochnym*. Minsk (Naroch), 9–13 Oct. 1990: tez. dokl. Moscow, 1990, pp. 21–22. (in Russ.)].
16. Чухчин В. Д. Биология размножения *Venus gallina* L. (Lamellibranchiata) в Чёрном море // *Бентос*. Киев : Наукова думка, 1965. С. 15–23. [Chukhchin V. D. Biologiya razmnozheniya *Venus gallina* L. (Lamellibranchiata) v Chernom more. In: *Bentos*. Kiev: Naukova dumka, 1965, pp. 15–23. (in Russ.)].
17. Чухчин В. Д. *Экология брюхоногих моллюсков Чёрного моря*. Киев : Наукова думка, 1984. 176 с. [Chukhchin V. D. *Ekologiya bryukhonogikh mollyuskov Chernogo morya*. Kiev: Naukova dumka, 1984, 176 p. (in Russ.)].
18. Basurco B., Lovatelli A. The aquaculture situation in the Mediterranean Sea. Predictions for the future. In: *International Conference on the Sustainable Development of the Mediterranean and Black Sea Environment*, Thessalonica (Greece), 29–31 May 2003. Available at: <http://www.oceandocs.org/odin/bitstream/1834/543/1/Basurco.pdf>.
19. Boltacheva N. A., Mazlymyan S. A. The Growth and Longevity of *Chamelea gallina* (Mollusca, Veneridae) in the Black Sea. *Vestnik zoologii*, 2003, vol. 37, iss. 3, pp. 71–74.
20. Theodorou J. A., Perdikaris C., Filippopoulos N. G. Evolution through innovation in aquaculture: a critical review of the greek mariculture industry. *Journal of Applied Aquaculture*, 2015, vol. 27, pp. 160–181. doi: 10.1080/10454438.2015.1049473.
21. Warwick R. M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 1986, vol. 92, iss. 4, pp. 557–562. doi: 10.1007/BF00392515.

**THE MACROZOOBENTHOS UNDER CLAM FARM  
(THE BLACK SEA, SEVASTOPOL REGION)**

**N. A. Boltacheva, M. V. Makarov, L. V. Bondarenko, M. A. Kovaleva**

Kovalevsky Institute of Marine Biological Research RAS, Sevastopol, Russian Federation

E-mail: [kovalmargarita@mail.ru](mailto:kovalmargarita@mail.ru)

During 2015–2016 the macrozoobenthos under the clam farm located in the area of Sevastopol was investigated. The aim of the study is to consider species composition, density and biomass of macrozoobenthos in the area of the clam farm. The samples were taken using standard benthic techniques. Relatively low species diversity was observed, with 56 species of macrozoobenthos identified. The density was 500–975 ind. per m<sup>2</sup>, the biomass varied from 0.8 to 381.1 g·m<sup>-2</sup>. The community of the bivalve mollusk *Lucinella divaricata* (Linnaeus, 1758) was found. Trophic structure of the community with high quantity of detritus feeders dominated by small polychaetes was determined. The dominating, typical and rare species were identified. Comparison with the data obtained in 1957 in Evpatoriya – Sevastopol area at the same depths and sediments was made.

**Keywords:** macrozoobenthos, species composition, communities, diversity, Black Sea, clam farm