

УДК 574.5 (282.05+289)

ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ МАКРОБЕНТОСА В ЛАГУНЕ НА ЗЕЛЕНОМ МЫСУ (КАНДАЛАКШСКИЙ ЗАЛИВ, БЕЛОЕ МОРЕ)

А. П. Столяров, М. В. Мардашова

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1
E-mail: macrobenthos@mail.ru

Поступила в редакцию 15.04.2019 г., после доработки 14.11.2019 г., принята 19.12.2019 г.

Столяров А. П., Мардашова М. В. Особенности видовой и пространственной структуры макробентоса в лагуне на Зеленом мысу (Кандалакшский залив, Белое море) // Поволжский экологический журнал. 2020. № 2. С. 228 – 240. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-228-240>

Изучены особенности видовой и пространственной структуры макробентосных сублиторальных сообществ в лагунной экосистеме Зеленого мыса на Белом море. В сублиторали исследованной лагуны был обнаружен 31 вид беспозвоночных животных и 3 вида морских трав и водорослей (*Zostera marina*, *Cladophora sericea*, *Fucus vesiculosus*). Полученные данные по видовому составу, разнообразию и пространственной структуре сообществ макробентоса свидетельствуют о преобладании в прибрежном районе лагуны в основном литоральных солоноватоводных и морских эвригалинных видов макробентоса (*Hydrobia ulvae*, *Tubificoides benedii*, *Chironomus salinaris*, *Macoma balthica*), в центральном более глубоководном районе – морских эвригалинных литоральных и сублиторальных видов (в основном полихеты *Heteromastus filiformis*, *Polydora ciliata*, *Capitella capitata*), а на выходе из лагуны – морских сублиторальных менее эвригалинных видов (*Pontoporeia femorata*, *Anonyx nigans*, *Nereimyra punctata*, *Terebellides stroemi*, *Astarte montagui*, *Micronephthys minuta*, *Atylus carinatus*). Экосистема лагуны на Зеленом мысу относится к сильно отгороженным от моря лагунам с обедненной специфической фауной (много литоральных видов) и в значительной степени подверженной влиянию углеродной нагрузки и солёности. Уменьшение связи лагуны с морем из-за продолжающегося подъема берегов Белого моря (4 мм в год в этом районе) будет способствовать снижению видового разнообразия и доминированию немногих мелких эвритопных видов беспозвоночных животных, устойчивых к органической нагрузке, дефициту кислорода и опреснению.

Ключевые слова: лагунные экосистемы, макробентос, видовое разнообразие, пространственная структура.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-228-240>

ВВЕДЕНИЕ

Прибрежные лагуны расположены на границе между морем и сушей и характеризуются неустойчивым гидрологическим, солевым и кислородным режимом, что оказывает существенное влияние на структуру формирующихся здесь сообществ живых организмов (Лабай и др., 2014; Комплексные исследования Бабьего моря..., 2016; Столяров, 2017; Столяров, Мардашова, 2017; De Wit, 2011; Basset et

al., 2013; Franzo et al., 2019). Лагунные экосистемы относятся к транзитным, мелководным и высокопродуктивным системам, имеющим ограниченный обмен с морскими водами (Kjerfve, 1994; McLusky, Elliott, 2007). В силу своего переходного характера (от морских экосистем к пресноводным и континентальным) такие экосистемы особенно чувствительны к воздействию изменений условий окружающей среды – климатических, гидрологических, солености, температуры, скорости осадконакопления, органического и химического загрязнения (Бурковский, 2006; Хлебович, 2015; Лабай и др., 2016; Столяров, 2017; Telesh, Khlebovich, 2010; Montagna et al., 2013; Angus, 2017; De Wit et al., 2017; Stolyarov, 2019). Макробентосные сообщества являются значимым компонентом лагунных экосистем. Поэтому изучение видового разнообразия, пространственной, трофической структуры макробентоса особенно важно для понимания общих процессов формирования, функционирования и деградации этих уникальных объектов, а также выработки подходов к их сохранению.

Цель настоящей работы состояла в изучении видовой и пространственной структуры макробентоса в полуизолированной небольшой лагуне Белого моря. Лагуна характеризуется трехслойной гидрологической структурой и образованием сероводорода в глубоководном центральном районе (Шапоренко и др., 2005). Изученные сообщества фито- и зоопланктона мало отличались от открытых побережий Белого моря (Шапоренко и др., 2005). В водоеме в определенные периоды наблюдается массовое развитие криптофитовых водорослей *Rhodomonas* sp. (Краснова и др., 2014). Ранее подробных исследований макробентоса в этой лагуне не проводилось.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование сублиторального макробентоса было проведено в небольшой лагуне, расположенной в кутовой области губы Кислой на Зеленом мысу в Кандалакском заливе Белого моря в августе 2015 г. и в июле 2018 г. Всего было отобрано 25 проб – 20 в самой лагуне и 5 на выходе из нее.

Сублиторальный макробентос отбирали с помощью дночерпателя Экмана – Берджи с площадью захвата 0.025 м^2 . Грунт промывали на сите с ячейей 1 мм. Промытые пробы просматривались прижизненно в лаборатории. Для расчета биомассы определяли сырой вес организмов.

Параллельно со сбором гидробиологического материала измеряли важнейшие параметры среды: соленость в придонном слое воды, характер грунта, а также глубину лотом на малой воде. Соленость воды измеряли кондуктометром WTW Cond 3110 (США).

Для каждой станции были получены показатели плотности и биомассы видовых популяций, а также посчитаны индексы видового разнообразия Шеннона (Shannon, 1948) и выровненности Пиелу (Pielou, 1966). Для средних значений были вычислены стандартные ошибки среднего.

Для оценки сходства сообществ, формирующихся на разных станциях (количественные данные), проводили кластерный анализ методом среднего присоединения на основе матриц сходства Пианки (Pianka, 1974), реализованный в пакете прикладных программ PAST:

$$a = \frac{\sum_{k=1}^S P_{ik} \times P_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^S P_{ik}^2 \times P_{jk}^2}},$$

где P_{ik} , P_{jk} – доля k -того вида для станций i и j , S – число видов.

Этот индекс мало чувствителен к различиям по редким признакам, что позволяет нивелировать влияние «хвоста» случайных видов.

При проведении кластерного анализа по качественному составу макробентоса использовали индекс сходства Сьеренсена – Дайса (Dice, 1945; Sørensen, 1948):

$$K = 2c / (a + b + 2c),$$

где c – число общих видов для станций X и Y , a и b – число видов, отмеченных лишь у одной из станций.

Для выбора приемлемой степени дробности полученных кластеров использовался критерий «значимого сходства», который рассчитывается как верхняя 95%-ная доверительная граница среднего сходства между станциями.

Статистический анализ данных был проведен с помощью пакетов прикладных программ PAST ver. 3.24 (Hammer et al., 2001) и MS Excel 2010.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Абиотические условия и характеристика района исследования. Лагуна Зеленого мыса расположена в 2.5 – 3 км от БС МГУ (Кандалакшский залив, 66°31'49"

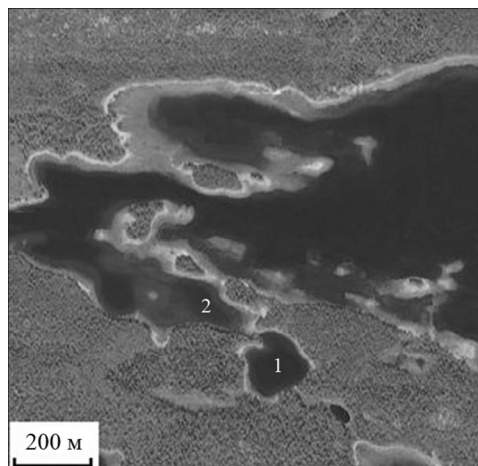


Рис. 1. Карта-схема района исследования: 1 – собственно лагуна Зеленого мыса, 2 – область, расположенная на выходе из лагуны
Fig. 1. A schematic map of the study area: 1 – the Green Cape lagoon itself, 2 – the area located at the outlet of the lagoon

с.ш. и 33°05'55" в.д.) и отделена от основного бассейна мелководным порогом, который полностью перекрывает лагуна при отливе на малой воде. Лагуна хорошо защищена от морских волн и течений и глубоко охвачена со всех сторон сушей (рис. 1).

Исследованная экосистема характеризуется общей площадью 17662 м² (в среднем 150 м в диаметре) и небольшими глубинами (средние глубины около 2 м, максимальные – 5-6 м в центральном глубоководном районе). Лагуна немного вытянута с запада и северо-запада на восток. Сублитораль лагуны представлена в основном илами или песчанистыми илами с значительным содержанием детрита (много полуразложившихся морских трав и водорослей – *Cladophora sericea*, *Zostera marina*). Соленость придонной воды в пе-

ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ

риод взятия проб (начало августа 2015 г., июль 2018 г.) была относительно высокой 23 – 24‰. В кутовых районах лагуны соленость снижалась до 21 – 22‰ (табл. 1).

Таблица 1. Параметры среды в лагуне Зеленого мыса летом 2015, 2018 гг.

Table 1. Environmental parameters in the Green Cape lagoon in the summer of 2015 and 2018

Станции	Абиотические факторы			
	Характер грунта	Глубина, м	Соленость, ‰	
			Поверхностный слой воды	Придонный слой воды
Собственно лагуна				
1	Илистый песок	1.5	21–22	22–24
2	Ил	2	21–22	22–24
3	Ил	2.5	21–22	22–24
4	Ил	3	21–22	22–24
5	Ил	3.5	21–22	22–24
6	Песчанистый ил	4	21–22	22–24
7	Ил	4.5	21–22	22–24
8	Песчанистый ил	1.5	21–22	22–24
9	Ил	2	21–22	22–24
10	Ил	2.5	21–22	22–24
11	Ил	3	21–22	22–24
12	Ил	3.5	21–22	22–24
13	Ил	4	21–22	22–24
14	Илистый песок	1.5	21–22	22–24
15	Илистый песок	2	21–22	22–24
16	Ил	2.5	21–22	22–24
17	Ил	3	21–22	22–24
18	Песчанистый ил	3.5	21–22	22–24
19	Ил	4	21–22	22–24
20	Ил	4.5	21–22	22–24
На выходе из лагуны				
21	Илистый песок	1.5	23	23–24
22	Ил	4.0	23	23–24
23	Ил	2.5	23	23–24
24	Ил	3.0	23	23–24
25	Ил	4.5	23	23–24

Видовой состав и общие показатели структуры сообщества. Всего в сублиторали исследованной лагуны был обнаружен 31 вид беспозвоночных животных и 3 вида морских трав и водорослей (*Cladophora sericea*, *Zostera marina*, *Fucus vesiculosus*) (табл. 2). При этом наибольшего видового разнообразия достигали морские полихеты (13 видов), моллюски (5 видов) и ракообразные (5 видов), меньше было встречено солоноватоводных олигохет (1 вид) и хирономид (2 вида). Непосредственно в самой лагуне преобладали в основном типичные литоральные солоноватоводные и морские эвригалинные виды (*Chironomus salinarius*, *Orthocladus saxicola*, *Tubificoides benedii*, *Hydrobia ulvae*, *Macoma balthica*, *Mytilus edulis*, *Mya arenaria*, *Arenicola marina*, *Phyllodoce maculata*, *Fabricia sabella*), а на выходе из нее за порогом больше было встречено морских менее эвригалинных сублиторальных видов (*Terebellides stroemi*, *Micronephthys minuta*, *Pectinaria koreni*, *Astarte montagui*, *Atylus carinatus*, *Anonyx nugax*, *Asterias rubens*) (см. табл. 2).

Таблица 2. Список видов макробентоса, встреченных в сублиторали лагуны на Зеленом мысу летом 2015, 2018 гг.**Table 2.** List of macrobenthos species found in the sublittoral of the Green Cape lagoon in the summer of 2015 and 2018

№ п/п	Макробентос	Лагуна Зеленого мыса	На выходе из лагуны
Зообентос			
	Кл. Polychaeta		
1	<i>Harmothoe imbricata</i> (Linnaeus)	+	+
2	<i>Nereimyra punctata</i> (Müller)	-	+
3	<i>Polydora ciliata</i> (Johnston)	+	-
4	<i>Scoloplos armiger</i> (O. F. Müller)	-	+
5	<i>Arenicola marina</i> (Linnaeus)	+	-
6	<i>Fabricia sabella</i> (Ehrenberg)	+	-
7	<i>Micronephthys minuta</i> (Theel)	-	+
8	<i>Capitella capitata</i> (Fabricius)	+	-
9	<i>Terebellides stroemi</i> Sars	-	+
10	<i>Pectinaria koreni</i> (Malmgren)	+	+
11	<i>Phyllodoce maculata</i> (Linnaeus)	+	-
12	<i>Pholoe minuta</i> (Fabricius)	+	-
13	<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède)	+	-
	Кл. Nematoda		
14	<i>Pontonema vulgare</i> (Bastian) Filipjev	+	-
	Кл. Oligochaeta		
15	<i>Tubificoides benedii</i> (d'Udekem)	+	+
	Кл. Gastropoda		
16	<i>Hydrobia ulvae</i> (Pennant)	+	-
	Кл. Bivalvia		
17	<i>Mytilus edulis</i> Linnaeus	+	+
18	<i>Macoma balthica</i> (Linnaeus)	+	+
19	<i>Mya arenaria</i> Linnaeus	+	-
20	<i>Astarte montagui</i> (Dillwyn)	-	+
	Кл. Crustacea		
21	<i>Gammarus duebeni</i> Lilljeborg	-	+
22	<i>Crassikorophium bonellii</i> (Milne Edwards)	+	-
23	<i>Pontoporeia femorata</i> Krøyer	-	+
24	<i>Atylus carinatus</i> (Fabricius)	-	+
25	<i>Anonyx nugax</i> (Phipps)	-	+
	Кл. Asteroidea		
26	<i>Asterias rubens</i> Olivi	-	+
	Кл. Ascidiacea		
27	<i>Molgula griffithsii</i> (MacLeay)	+	-
	Кл. Insecta		
28	<i>Chironomus salinarius</i> Kieffer	+	-
29	<i>Orthocladus saxicola</i> Kieffer	+	-
	Тип Nemertini		
30	<i>Amphiporus lactifloreus</i> (Johnston)	+	+
31	<i>Lineus gesserensis</i> (O. F. Müller)	+	+
Макрофиты (морские травы и водоросли)			
1	<i>Zostera marina</i> Linnaeus	+	+
2	<i>Cladophora sericea</i> (Hudson) Kützing	+	-
3	<i>Fucus vesiculosus</i> Linnaeus	-	+

Примечание. «+» – наличие вида, «-» – вид не найден.

Note. “+” – species has been registered, “-” – species not found.

ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Более подробно пространственное распределение видов в литоральных (в верхней, средней, нижней литорали) и сублиторальных местообитаниях в рядом расположенных лагунных экосистемах было рассмотрено в предыдущих статьях (Столяров, 2015, 2017; Stolyarov, 2019).

Наиболее низким видовым разнообразием и общей биомассой сообщества макробентоса характеризуется центральный глубоководный район лагуны (3.5 – 5 м), а более высокими значениями – прибрежный район небольших глубин (1 – 3 м), промежуточное положение занимала область, расположенная на выходе из лагуны (табл. 3). Средние показатели числа видов и общей биомассы сообщества макробентоса в прибрежном районе и на выходе из лагуны превышали в два и более раза соответствующие значения в центральном районе (см. табл. 3).

Таблица 3. Общие показатели структуры макробентоса в лагунной экосистеме на Зеленом мысу летом 2015, 2018 гг.

Table 3. General indicators of macrobenthos structure in the lagoon ecosystem at the Green Cape in the summer of 2015 and 2018

Показатели	Прибрежный мелководный район		Центральный глубоководный район		На выходе из лагуны	
<i>S</i>	7.2*	0.8**	3.2*	0.6**	5.8*	1.0**
<i>N</i> , экз/м ²	6984	1345	2160	1179	1096	330
<i>B</i> , мг/м ²	104289	31501	9052	5490	83696	26911
<i>H_N</i>	1.9	0.1	1.3	0.15	1.8	0.2
<i>E_N</i>	0.7	0.1	0.8	0.1	0.8	0.1
<i>H_B</i>	1.2	0.15	0.8	0.2	1.4	0.3
<i>E_B</i>	0.45	0.05	0.5	0.05	0.6	0.14

Примечание. * – среднее, ** – стандартная ошибка среднего. *S* – число видов, *N* – общая плотность, *B* – общая биомасса, *H_N* – индекс Шеннона по плотности, *E_N* – индекс выровненности по плотности, *H_B* – индекс Шеннона по биомассе, *E_B* – индекс выровненности по биомассе.

Note. * – average values, ** – standard error. *S* – number of species, *N* – total density, *B* – total biomass, *H_N* – Shannon index for population density, *E_N* – Pielou index for population density, *H_B* – Shannon index for biomass, and *E_B* – Pielou index for biomass.

Низкие значения общих показателей структуры сообщества в глубоководном районе могут свидетельствовать о неблагоприятных условиях в центральной котловине данной экосистемы, где скапливается большое количество детрита (много полуразложившихся морских трав и водорослей), а осадки в основном представлены мягкими илами с доминированием сообщества мелких полихет. Глубже 5 м живых организмов не обнаружено, что, по-видимому, связано с крайне напряженными условиями жизни в этом биотопе (отсутствие кислорода, образование сероводорода) (Комплексные исследования Бабьего моря..., 2016). Надо отметить, что показатели общей плотности видовых популяций собственно лагуны (особенно в прибрежном районе) были существенно выше, чем на выходе из нее, что объясняется ее значительным заилением и преобладанием в ней мелких форм макрозообентоса (*Hydrobia ulvae*, мелкие полихеты, олигохеты и хирономиды) (см. табл. 3).

Таким образом, полученные данные по качественному составу и общим показателям структуры сообщества макробентоса свидетельствуют о большем распро-

странении в собственно лагуне литоральных солоноватоводных и морских эвригалинных видов (характеризующихся высокой плотностью и биомассой видовых популяций), что является, по-видимому, следствием ее опресненности (особенно ранней весной во время снеготаяния) и заиленности. В районе, расположенном на выходе из лагуны и имеющем большую связь с морем, преобладали в основном морские сублиторальные менее эвригалинные виды.

Пространственная структура сообщества (сходство станций). Среднее сходство станций по качественному составу или по плотности видовых популяций макробентоса или по биомассе в лагунной экосистеме на Зеленом мысу было относительно низким (около 0.3 – 0.4). Это свидетельствует о неоднородности видовой структуры макробентосного сообщества и отличиях в видовых комплексах в различных районах данной экосистемы.

Кластер-анализ по качественным данным на уровне значимого сходства позволяет выделить в лагуне на Зеленом мысу три группы станций – мелководного прибрежного района (ст. 8 – 13), глубоководного центрального (ст. 11, 20 и ст. 7, 19) и морского на выходе из лагуны (ст. 23, 24, 25), а также две станции (21, 22), имеющие низкое сходство с остальными, что связано с разными условиями существования гидробионтов в прибрежном мелководном, в центральном более глубоководном районе и в морском районе на выходе из губы (рис. 2).

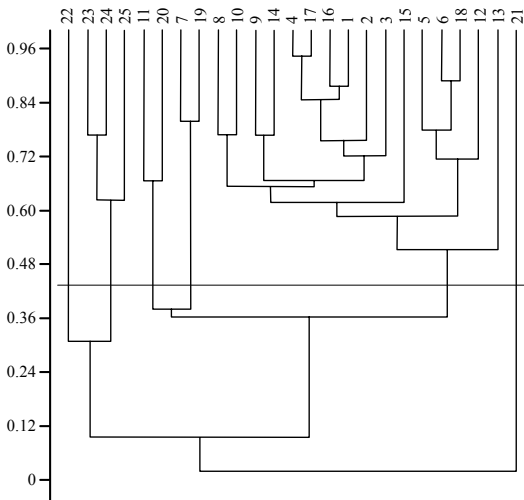


Рис. 2. Дендрограмма сходства сообществ по качественному составу макрозообентоса (коэффициент Сьенсена). Горизонтальной линией показан уровень значимого сходства. Нумерация станций см. табл. 1
Fig. 2. Dendrogram of macrobenthos community similarity in terms of qualitative composition (Sørensen coefficient) The horizontal line shows the significant similarity level. See Table 1 for the numbering of stations

Надо отметить, что в прибрежном районе в основном доминировали литоральные солоноватоводные и морские эвригалинные виды (*Hydrobia ulvae*, *Tubificoides benedii*, *Pontonema vulgare*, *Chironomus salinarius*, *Macoma balthica*), в центральном – морские эвригалинные литоральные и сублиторальные виды (в основном полихеты *Heteromastus filiformis*, *Polydora ciliata*, *Capitella capitata*), а на выходе из лагуны морские сублиторальные менее эвригалинные виды (*Pontoporeia femorata*, *Anonyx nugans*, *Nereimyra punctata*, *Terebellides stroemi*, *Astarte montagui*, *Micronephthys minuta*, *Atylus carinatus*).

Прибрежное сообщество, в свою очередь, неоднородно по структуре входящих видов, что подтверждает кластер-анализ, выполненный для станций, располо-

ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ

женных непосредственно в самой лагуне (на основе биомасс популяций) (рис. 3).

На уровне значимого сходства выделяются станции прибрежного района, расположенные ближе к выходу из лагуны (ст. 8 – 1), где доминировали по биомассе двустворчатые моллюски *Macoma balthica*, и дальше от него (ст. 9 – 18), где лидирующее положение занимали популяции мелких видов *Hydrobia ulvae* и *Tubificoides benedii*, также выделяются станции центрального района лагуны (ст. 5 – 20).

Таким образом, проведенный анализ свидетельствует о неоднородности видовой структуры макробентосного сообщества лагунной экосистемы на Зеленом мысу, что связано с различными абиотическими условиями в прибрежном районе (более мелководном, опресненном и поросшем макрофитами), в центральных частях водоема (большие глубины, преобладание мягких грунтов с значительным содержанием детрита) и на выходе из лагуны (более высокая и мало меняющаяся соленость воды).

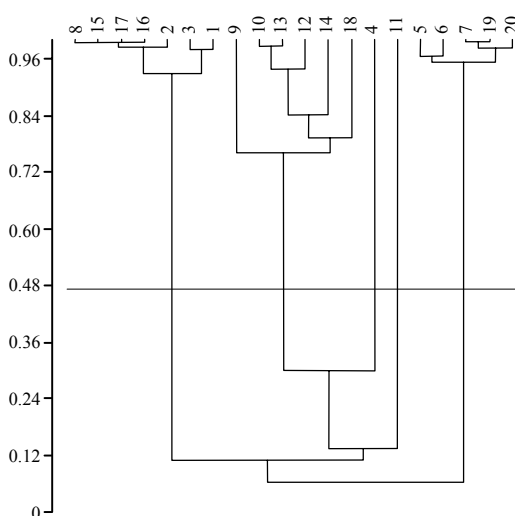


Рис. 3. Дендрограмма сходства сообществ по биомассе макробентоса (индекс Пианки). Горизонтальной линией показан уровень значимого сходства. Нумерация станций см. табл. 1

Fig. 3. Dendrogram of macrobenthos community similarity in terms of biomass (Pianka index). The horizontal line shows the significant similarity level. See Table 1 for the numbering of stations

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Всего в сублиторали исследованной лагуны был встречен 31 вид беспозвоночных животных и 3 вида морских трав и водорослей (*Cladophora sericea*, *Zostera marina*, *Fucus vesiculosus*). Полученные данные по видовому составу и структуре формирующихся здесь сообществ бентосных организмов свидетельствуют о неоднородности видовой структуры макробентосного сообщества и преобладании в прибрежном районе в основном литоральных солоноватоводных и морских эвригалинных видов макробентоса (*Hydrobia ulvae*, *Tubificoides benedii*, *Chironomus salinarius*, *Macoma balthica*), в центральном – морских эвригалинных литоральных и сублиторальных видов (в основном полихеты *Heteromastus filiformis*, *Polydora ciliata*, *Capitella capitata*), а на выходе из лагуны – морских сублиторальных менее эвригалинных видов (*Pontoporeia femorata*, *Anonyx nugans*, *Nereimyra punctata*, *Terebellides stroemi*, *Astarte montagui*, *Micronephthys minuta*, *Atylus carinatus*). Экосистема лагуны на Зеленом мысу относится к значительно отгороженным от моря лагунам с повышенным содержанием органического вещества в осадках, где преобладают комплексы литоральных морских эвригалинных и солоноватоводных ви-

дов макробентоса с доминированием мелких детритофагов, что является, по-видимому, следствием ее большей опресненности (особенно ранней весной во время снеготаяния или летом и осенью во время сильных дождей и т.д.) и заиленности.

Дальнейшее зарегулирование лагуны в связи с продолжающимся подъемом берегов Белого моря (4 мм в год в этом районе) (Романенко, Шилова, 2012) может привести через несколько десятилетий к изменению гидрологического и, как следствие, солевого и кислородного режима водоема, что будет способствовать снижению видового разнообразия и доминированию немногих мелких эвритопных видов беспозвоночных животных, устойчивых к органической нагрузке, дефициту кислорода и опреснению.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-04-00206а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бурковский И. В. Морская биогеоценология. Организация сообществ и экосистем. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2006. 285 с.

Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны : геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов // Тр. Беломорской биостанции МГУ / под общ. ред. В. О. Мокиевского, А. И. Исаченко, П. Ю. Дгебуадзе, А. Б. Цетлина. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2016. Т. 12. 243 с.

Краснова Е. Д., Пантюлин А. Н., Маторин Д. Н., Тодоренко Д. А., Белевич Т. А., Милютин И. А., Воронов Д. А. Цветение криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta, Rhodomonadaceae) в редокс-зоне водоемов, отделяющихся от Белого моря // Микробиология. 2014. Т. 83, № 3. С. 346 – 354.

Лабай В. С., Атаманова И. А., Заварзин Д. С., Мотылькова И. В., Мухаметова О. Н., Никитин В. Д. Естественная история Сахалина и Курильских островов. Водоемы острова Сахалин : от лагун к озерам. Южно-Сахалинск : Сахалин. обл. краевед. музеев, 2014. 208 с.

Лабай В. С., Курилова Н. В., Шпилюк Т. С. Сезонная изменчивость макрозообентоса в лагуне с периодической связью с морем (озеро Птичьё, южный Сахалин) // Зоол. журн. 2016. Т. 95, № 5. 524 – 539.

Романенко Ф. А., Шилова О. С. Последледниковое поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-болотных отложений п-ова Киндо // Докл. РАН. 2012. Т. 442, № 4. С. 544 – 548.

Столяров А. П. Макробентос эстуарной экосистемы губы Грязной (Кандалакшский залив, Белое море): пространственная структура и разнообразие // Зоол. журн. 2015. Т. 94, № 6. С. 623 – 633.

Столяров А. П. Особенности структуры и тенденции изменений сообщества макробентоса лагунной экосистемы Ермолинской губы (Кандалакшский залив, Белое море) // Зоол. журн. 2017. Т. 96, № 4. С. 383 – 399.

Столяров А. П., Мардашова М. В. Особенности структуры и разнообразие сообществ макробентоса в прибрежных лагунных экосистемах (Кандалакшский залив, Белое море) // Бюл. МОИП. Отд. Биол. 2017. Т. 122, вып. 3. С. 18 – 27.

Хлебович В. В. Прикладные аспекты концепции критической солёности // Успехи со- врем. биол. 2015. Т. 135, № 3. С. 272 – 278.

Шапоренко С. И., Корнеева Г. А., Пантюлин А. Н., Перцова Н. М. Особенности экосистем отшнуровывающихся водоемов Кандалакшского залива Белого моря // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 5. С. 517 – 532.

ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ

- Angus S.* Scottish Saline Lagoons : Impacts and Challenges of Climate Change // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2017. Vol. 198. P. 626 – 635.
- Basset A., Elliot M., West R. J., Wilson J. G.* Estuarine and Lagoon Biodiversity and Their Natural Goods and Services // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2013. Vol. 132. P. 1 – 4.
- De Wit R.* Biodiversity of Coastal Lagoon Ecosystems and Their Vulnerability to Global Change // *Ecosystems Biodiversity* / eds. O. Grillo, G. Venora. Rijeka : InTech, 2011. P. 29 – 40.
- De Wit R., Balavoine J., Rey-Valette H., Lifran R., Ouisse V.* Restoration Ecology of Coastal Lagoons : New Methods for the Prediction of Ecological Trajectories and Economic Valuation // *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems*. 2017. Vol. 27. P. 137 – 157.
- Dice L. R.* Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species // *Ecology*. 1945. Vol. 26, № 3. P. 297 – 302.
- Franzo A., Asioli A., Roscioli C., Patrolecco L., Bazzaro M., Del Negro P., Cibic T.* Influence of Natural and Anthropogenic Disturbances on Foraminifera and Free-living Nematodes in Four Lagoons of the Po Delta System // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2019. Vol. 220. P. 99 – 110.
- Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D.* PAST : Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis // *Paleontologia Electronica*. 2001. Vol. 4, № 1. P. 1 – 9.
- Kjerfve B.* Coastal Lagoons // *Coastal Lagoon Processes* / ed. B. Kjerfve. Amsterdam : Elsevier, 1994. P. 1 – 8.
- McLusky D. S., Elliott M.* Transitional Waters : A New Approach, Semantics or Just Muddying the Waters? // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2007. Vol. 71. P. 359 – 363.
- Montagna P. A., Palmer T. A., Pollack J. B.* Hydrological Changes and Estuarine Dynamics // *Springer Briefs in Environmental Science*. 2013. Vol. 8. P. 1 – 94.
- Pianka E. R.* Niche Overlap and Diffuse Competition // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*. 1974. Vol. 71. P. 2141 – 2145.
- Pielou E. C.* Shannon's Formula as a Measure of Species Diversity : its Use and Misuse // *American Naturalist*. 1966. Vol. 100, № 914. P. 463 – 465.
- Shannon C. E.* The Mathematical Theory of Communication // *Bell System Technical J.* 1948. Vol. 27, № 3. P. 379 – 423.
- Sørensen T. A.* A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of a Species Content and Its Application to Analysis of the Vegetation on Danish Commons // *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. Biologiske Skrifter*. 1948. Vol. 5, № 4. P. 1 – 34.
- Stolyarov A. P.* Some Features of the Species, Spatial, and Trophic Structure of Macrobenthos in the Lagoon Systems of the Ermolinskaya and Nikol'skaya inlets (Kandalaksha bay, the White sea) // *Moscow University Biological Sciences Bulletin*. 2019. Vol. 74, № 3. P. 176 – 182.
- Telesh I. V., Khlebovich V. V.* Principal Processes Within the Estuarine Salinity Gradient : A Review // *Marine Pollution Bulletin*. 2010. Vol. 61, iss. 4 – 6. P. 149 – 155.

А. П. Столяров, М. В. Мардашова

Features of the Species and Spatial Structure of Macrobenthos in the Green Cape Lagoon (Kandalaksha Bay, White Sea)

Andrey P. Stolyarov <https://orcid.org/0000-0002-4850-2929>; macrobenthos@mail.ru

Marina V. Mardashova, buccinum@mail.ru

Lomonosov Moscow State University
1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

Received 15 April 2019, revised 14 November 2019, accepted 19 December 2019

Stolyarov A. P., Mardashova M. V. Features of the Species and Spatial Structure of Macrobenthos in the Green Cape Lagoon (Kandalaksha Bay, White Sea). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2020, no. 2, pp. 228–240 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-228-240>

Features of the species and spatial structure of macrobenthic sublittoral communities in a lagoon ecosystem on the Green Cape (the White Sea) were studied. 31 invertebrate species and 3 species of sea grasses and algae (*Zostera marina*, *Cladophora sericea*, and *Fucus vesiculosus*) were found in the sublittoral of the surveyed lagoon. The data on the species composition, diversity and spatial structure of macrobenthos communities indicate the predominance of littoral brackish-water and marine euryhaline macrobenthos species (*Hydrobia ulvae*, *Tubificoides benedii*, *Chironomus salinarius*, and *Macoma balthica*) in the coastal region of the lagoon, marine euryhaline littoral and sublittoral species (mainly polychaetes *Heteromastus filiformis*, *Polydora ciliata*, and *Capitella capitata*) in the central deeper region, and marine sublittoral less euryhaline species (*Pontoporeia femorata*, *Anonyx nugans*, *Nereimyra punctata*, *Terebellides stroemi*, *Astarte montagui*, *Micronephthys minuta*, and *Atylus carinatus*) at the exit from the lagoon. The ecosystem of the Green Cape lagoon belongs to lagoons significantly fenced off from the sea with depleted specific fauna (many littoral species) and largely influenced by carbon load and salinity. The reduced connection of the lagoon with the sea due to the continued rise of the White Sea coast (4 mm per year in this area) will contribute to a decrease in the species diversity and the predominance of few small eurytopic invertebrate species resistant to organic load, oxygen deficiency, and desalination.

Keywords: lagoon ecosystems, macrobenthos, species diversity, spatial structure.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-2-228-240>

Acknowledgments: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 18-04-00206a).

REFERENCES

Burkovsky I. V. *Morskaya biogeotsenologiya. Organizatsiya soobshchestv i ekosistem* [Marine Biogeocenology. The Organization of Communities and Ecosystems]. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2006. 285 p. (in Russian).

Kompleksnye issledovaniya Bab'ego morya, poluizolirovannoj belomorskoj laguny: geologiya, gidrologiya, biota – izmeneniya na fone transgressii beregov [Comprehensive Studies of the Babi Sea and the Semi-isolated Belomorskaya Lagoon: Geology, Hydrology, Biota-changes

Against the Background of Coast Transgression]. V. O. Mokievskogo, A. I. Isachenko, P. Yu. Dgebadze, A. B. Cetlina, eds. *Trudy Belomorskoj biostancii MGU*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2016, vol. 12. 243 p. (in Russian).

Krasnova E. D., Pantyulin A. N., Matorin D. N., Todorenko D. A., Belevich T. A., Milyutina I. A., Voronov D. A. Cryptomonad alga *Rhodomonas* sp. (Cryptophyta, Pyrenomonadaceae) Bloom in the Redox Zone of the Basins Separating from the White Sea. *Microbiology*, 2014, vol. 83, no. 3, pp. 270–277.

Labaj V. S., Atamanova I. A., Zavarzin D. S., Motyl'kova I. V., Muhametova O. N., Nikitin V. D. *Estestvennaya istoriya Sahalina i Kuril'skih ostrovov. Vodoemy ostrova Sahalin: ot lagun k ozeram* [Natural History of Sakhalin and the Kuril Islands. Water Bodies of Sakhalin Island from the Lagoons to the Lakes]. Yuzhno-Sakhalinsk, Sahalinskij oblastnoj kraevedcheskij muzej Publ., 2014. 208 p. (in Russian).

Labay V. S., Kurilova N. V., Shpilko T. S. Seasonal Variability of Macrozoobenthos in a Lagoon Having a Periodic Connection With the Sea (Ptich'e Lake, southern Sakhalin). *Biology Bulletin*, 2016, vol. 43, no. 9, pp. 988–1002.

Romanenko F.A., Shilova O. S. The Postglacial Uplift of the Karelian Coast of the White Sea According to Radiocarbon and Diatom Analyses of Lacustrine-Boggy Deposits of Kindo Peninsula. *Doklady Earth Sciences*, 2012, vol. 442, no. 2, pp. 242–246.

Stolyarov A. P. Macrobenthos of a Gryaznaya Bay Estuary Ecosystem (Kandalaksha Gulf, the White Sea): Spatial Structure and Diversity. *Zoologicheskii zhurnal*, 2015, vol. 94, no. 6, pp. 623–633 (in Russian).

Stolyarov A. P. Peculiarities of the Structure of and Trends in the Macrobenthos Community of the Ermolinskaya Bay Lagoon Ecosystem, Kandalaksha Bay, White Sea. *Biology Bulletin*, 2017, vol. 44, no. 9, pp. 1019–1034.

Stolyarov A. P., Mardashova M. V. Some Features of the Structure and Species Diversity of the Macrobenthos Community in the Coastal Lagoon Ecosystems (Kandalaksha Bay, White Sea). *Bull. of Moscow Society of Naturalists. Biological Ser.*, 2017, vol. 122, iss. 3, pp. 18 – 27 (in Russian).

Khlebovich V. V. Applied Aspects of the Concept of Critical Salinity. *Biology Bulletin Reviews*, 2015, vol. 5, iss. 6, pp. 562–567.

Shaporenko S. I., Koreneva G. A., Pantyulin A. N., Pertsova N. M. Characteristics of the Ecosystems of Water Bodies Separating from Kandalaksha Bay of the White Sea. *Water Resources*, 2005, vol. 32, no. 5, pp. 469–483.

Angus S. Scottish Saline Lagoons: Impacts and Challenges of Climate Change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2017, vol. 198, pp. 626–635.

Basset A., Elliot M., West R. J., Wilson J. G. Estuarine and Lagoon Biodiversity and Their Natural Goods and Services. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2013, vol. 132, pp. 1–4.

De Wit R. Biodiversity of Coastal Lagoon Ecosystems and Their Vulnerability to Global Change. In: O. Grillo, G. Venora, eds. *Ecosystems Biodiversity*. Rijeka, InTech, 2011, pp. 29–40.

De Wit R., Balavoine J., Rey-Valette H., Lifran R., Ouisse V. Restoration Ecology of Coastal Lagoons : New Methods for the Prediction of Ecological Trajectories and Economic Valuation. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2017, vol. 27, pp. 137–157.

Dice L. R. Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species. *Ecology*, 1945, vol. 26, no. 3, pp. 297–302.

Franzo A., Ascoli A., Roscioli C., Patrolecco L., Bazzaro M., Del Negro P., Cibic T. Influence of Natural and Anthropogenic Disturbances on Foraminifera and Free-living Nematodes in Four Lagoons of the Po Delta System. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2019, vol. 220, pp. 99–110.

Hammer O., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Paleontologia Electronica*. 2001. vol. 4, no. 1, pp. 1–9.

Kjerfve B. Coastal Lagoons. In: B. Kjerfve, ed. *Coastal Lagoon Processes*. Amsterdam, Elsevier, 1994, pp. 1–8.

McLusky D. S., Elliott M. Transitional Waters: A New Approach, Semantics or Just Muddying the Waters? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2007, vol. 71, pp. 359–363.

Montagna P. A., Palmer T. A., Pollack J. B. Hydrological Changes and Estuarine Dynamics. *Springer Briefs in Environmental Science*, 2013, vol. 8. 94 p.

Pianka E. R. Niche Overlap and Diffuse Competition. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 1974, vol. 71, pp. 2141–2145.

Pielou E. C. Shannon's Formula as a Measure of Species Diversity: its Use and Misuse. *American Naturalist*, 1966, vol. 100, no. 914, pp. 463–465.

Shannon C. E. The Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical J.*, 1948, vol. 27, no. 3, pp. 379–423.

Sørensen T. A. A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of a Species Content and Its Application to Analysis of the Vegetation on Danish Commons. *Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Biologiske Skrifter*, 1948, vol. 5, no. 4, pp. 1–34.

Stolyarov A. P. Some Features of the Species, Spatial, and Trophic Structure of Macrobenthos in the Lagoon Systems of the Ermolinskaya and Nikol'skaya inlets (Kandalaksha bay, the White sea). *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 2019, vol. 74, no. 3, pp. 176–182.

Telesh I. V., Khlebovich V. V. Principal Processes Within the Estuarine Salinity Gradient: A Review. *Marine Pollution Bulletin*, 2010, vol. 61, iss. 4–6, pp. 149–155.