

## Сезонная динамика прибрежного зоопланктона северо-восточной части Черного моря (Голубая бухта, г. Геленджик) в 2021–2022 гг.

## Seasonal dynamics of coastal zooplankton in the northeastern part of the Black Sea (Blue Bay, Gelendzhik) in 2021–2022

Ключанцева А.П., Лукашева Т.А.

Agnislava P. Klyuchantseva, Taisia A. Lukasheva

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН (Москва, Россия)*

Проведены исследования структурных характеристик прибрежного зоопланктона в северо-восточной части Черного моря на протяжении восьми месяцев (январь–август) в 2021 и в 2022 гг. Все обнаруженные виды и таксоны зоопланктона являются типичными для современного состояния Черного моря. Сезонная динамика изменения таксономического состава, показатели удельного потребления фитопланктона зоопланктоном не демонстрировали существенных межгодовых различий. Показатели численности и биомассы зоопланктона, а также роль таксономических групп и видов в общей численности и биомассе зоопланктона имели существенные межгодовые различия.

**Ключевые слова:** зоопланктон; Чёрное море; сезонная динамика; видовой состав; численность; биомасса; продукция

### Введение

Зоопланктон – одна из наиболее значимых групп организмов любой водной биоты. Особая роль зоопланктона, в общем понимании этого термина, заключается в том, что он служит важнейшим трофическим звеном между фитопланктоном и гетеротрофами высших трофических уровней, определяющих промысловую продуктивность водоема. От его структурных характеристик зависит функционирование всей экосистемы пелагиали. Антропогенное воздействие на прибрежные районы Черного моря приводит к интенсивной эвтрофикации этих районов (Zaitsev, 1993; Zaitsev, Aleksandrov, 1997; Kovalev et al., 1998). Вследствие повышенной эвтрофикации побережья, в начале 80-х годов XX в. произошел рост популяции хищной медузы *Aurelia aurita*, питающейся мезозоопланктоном (Виноградов и др., 1992; Konsulov, Kamburska, 1998), резко увеличилась численность и биомасса динофлагелляты *Noctiluca scintillans*, в то же время, численность видов из семейства Pontellidae таких, как *Anomalocera patersoni*, *Pontella mediterranea*, *Labidocera brunescens* заметно сократилась (Zaitsev, 1993; Petranu, 1997).

Антропогенное воздействие на экосистему Черного моря выражается не только в промышленном загрязнении, зарегулированности речного стока и т.п., но и в заносе различных организмов из других бассейнов с балластными водами. Например, вселение в 40-х годах XX столетия хищного моллюска *Rapana thomasiana* из Индо-Тихоокеанского бассейна привело к уничтожению знаменитой Гудаутской устричной банки (Чухин, 1961; Дропкин, 1963). Вселение гребневика *Mnemiopsis leidyi* в 80-х гг. XX в. привело к катастрофическому снижению общей численности и биомассы зоопланктона и даже к полному исчезновению некоторых видов, например, *Oithona nana*, которая прежде была одним из основных круглогодичных видов в сообществах черноморского побережья (Виноградов и др., 1989, 1990; Хорошилов, Лукашева, 1999). В 1990-е годы, после вселения гребневика *Beroe ovata* и его заметного пресса на популяцию гребневика *Mnemiopsis leidyi*, после многих лет спада численность зоопланктона стала постепенно увеличиваться, в зоопланктонных пробах стали появляться в достаточном количестве почти исчезнувшие виды, такие как *Pontella mediterranea*, *Centropages ponticus*, *Paracalanus parvus* (Виноградов и др., 2000; Shiganova, Bulgakova, 2000; Лебедева и др., 2003). Новый вселенец – циклопоидный рачок *Oithona davisae* (первоначально его определили как *Oithona brevicornis*), занял освободившуюся экологическую нишу *Oithona nana*, которая была массовым видом в Черном море до вселения гребневика *Mnemiopsis leidyi* (Селифонова, 2009; Губанова и др., 2019).

Зоопланктон играет важную роль в переносе органического углерода на дно океана, обеспечивая переработку органического вещества, и тем самым изменяя скорость его осаждения (Turner, 2015). Для определения выедания фитопланктона зоопланктоном важно знать размерную структуру зоопланктонных организмов и ее сезонную динамику (Ward et al., 2012).

Прибрежная часть Черного моря постоянно испытывает антропогенную нагрузку, поэтому Голубая бухта (г. Геленджик) может служить естественной лабораторией для изучения влияния биотических и абиотических факторов на прибрежную биоту (Юнев и др., 2019; Часовников, Бородулина, 2022).

## Материалы и методы

Сбор и обработка материала проводились на базе Южного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН в 2021 и 2022 гг. Отбор проб зоопланктона проводили 3–4 раза в месяц с пирса (глубина 8 м) в 170 м от берега. Отбор проб осуществлялся сетью малый конус (КМ) с диаметром входного отверстия 50 см и фильтрующим капроновым ситом №38 (диаметр ячеек 180 мкм). Фиксация проводилась раствором нейтрализованного 40% формальдегида, конечная концентрация которого в пробе составляла 4%. Одновременно с взятием проб измерялась температура поверхности морской воды термометром в оправе Шпиндлера (цена деления 0,2°C).

Подсчет и измерения планктонных организмов проводили в камере Богорова с применением бинокулярного микроскопа МБС–10 по стандартной методике (Виноградов и др., 1984). Проводилось определение видового и возрастного состава животных, размер измерялся с точностью 0,025 мм. Для определения видов зоопланктона использовался определитель фауны Черного и Азовского морей под редакцией Ф.Д. Мордухай-Болтовского (1968, 1969, 1972). Название таксонов и видов приведено в соответствии с современной номенклатурой (<https://www.marinespecies.org/>). Расчеты биомассы зоопланктона основывались на номограммах Численко Л.Л. (1968), результаты представлены в единицах сырого веса. Всего было собрано и обработано 50 проб зоопланктона.

Для анализа разномасштабной временной изменчивости метеорологических условий (сила и направление ветра, температура воздуха) использовались данные

измерений на прибрежной метеостанции г. Геленджика (44°55' с.ш., 38°05' в.д.) в стандартные метеорологические сроки с дискретностью измерений 3 часа.

Проведена оценка выедания фитопланктона зоопланктоном. Потребление фитопланктона зоопланктоном рассчитывали с применением аллометрического соотношения Варда (Ward et al., 2012). Такой подход принципиально важен для понимания функционирования биологической углеродной помпы, так как он учитывает те пищевые потребности мезозоопланктона, которые зависят от биомассы и размера организмов, поэтому использовался именно этот метод:

$$I = a \times V^b, \quad (1)$$

где  $I$  – показатель потребления, значение параметра для организма определённого объёма, сутки<sup>-1</sup>;

$V$  – суммарный вес, мг;

$a$  и  $b$  – коэффициенты максимальной скорости переработки пищи из таблицы, зависящие от размера биологических параметров и масштабирующих коэффициентов;  $a$  – присваивается постоянное значение для всех групп, указывающее, что все группы описываются одним степенным законом отношения (21,9);  $b$  – показатель степени, описывающий размерную зависимость (-0,16).

В большинстве случаев коэффициенту  $a$  присваивается постоянное значение для всех групп, указывающее, что все группы описываются одним степенным законом отношения. Коэффициенты устанавливаются в соответствии с аллометрическими отношениями (Hansen et al., 1997; Ward et al., 2012).

## Результаты и обсуждение

**Таксономический состав зоопланктона.** В исследованный период зоопланктон был представлен типичными для северо-восточной части Черного моря видами (Шушкина и др., 2004). Из Copepoda в пробах присутствовали *Paracalanus parvus*, *Centropages ponticus*, *Acartia clausi*, *Oithona similis*, *Oithona davisae*, Harpacticoida, видовой состав которых не определялся, науплии и копеподиты Calanoida. Cladocera были представлены *Penilia avirostris*, *Pleopis polyphemoides*, *Pseudevadne tergestina*, *Evadne spinifera*. Также в пробах присутствовали Chaetognatha *Parasagitta setosa*, Appendicularia *Oikopleura dioica*. Меропланктон (личинки донных животных) состоял из личинок Bivalvia и Gastropoda, трохофор и нектохет Polychaeta, науплиев и циприсов Cirripedia и личинок Decapoda. Гребневики *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* были представлены личинками и молодью ≤ 5 мм. Также в пробах присутствовала гетеротрофная динофлагеллята *Noctiluca scintillans* (табл. 1).

Данные измерений температуры поверхности морской воды, проводившихся одновременно с отбором проб зоопланктона, представлены в табл. 2. В 2022 г. показатели температуры за исследованный период были на 1–2°C ниже, чем в 2021 г., за исключением июня и августа. В целом 2022 г. характеризовался обилием дождей и интенсивным ветровым режимом, что сказалось на структуре и динамике зоопланктона, медленный прогрев воды в переходный период от зимы к лету изменил количественные и качественные параметры развития видов тепловодного комплекса мезопланктона и меропланктона.

Традиционно зоопланктон подразделяют на «кормовой» и «некормовой» (Кузморская, 1950). Большинство организмов (табл. 1) составляют кормовой зоопланктон и служат пищей планктоядным рыбам и их молоди. К некормовому, из обнаруженных в Голубой бухте организмов, относятся гребневики *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* и гетеротрофная динофлагеллята *Noctiluca scintillans*.

**Таблица 1.** Таксономический состав зоопланктона в северо-восточной части Черного моря (Голубая бухта, г. Геленджик) в 2021–2022 гг.

**Table 1.** Taxonomic composition of zooplankton in the northeastern part of the Black Sea (Golubaya Bay, Gelendzhik) in 2021–2022

Тип	Класс	Отряд	Вид
<b>Arthropoda</b>	Branchiopoda (Cladocera)	Ctenopoda	<i>Penilia avirostris</i> Dana, 1849
		Onychopoda	<i>Evadne spinifera</i> P.E. Müller, 1867; <i>Pleopis polyphemoides</i> Leuckart, 1859; <i>Pseudevadne tergestina</i> Claus, 1877;
	Copepoda	Calanoida	<i>Paracalanus parvus</i> Claus, 1863; <i>Acartia (Acartiura) clausi</i> Giesbrecht, 1889 <i>Centropages ponticus</i> Karavaev, 1895; copepodita, nauplii
		Cyclopoida	<i>Oithona similis</i> Claus, 1866; <i>Oithona davisae</i> Ferrari F.D. & Orsi, 1984
		Harpacticoida	
	Malacostraca	Decapoda	larvae
	Thecostraca (подкласс Cirripedia)		nauplii, cypris
<b>Chaetognatha</b>	Sagittoidea	Aphragmophora	<i>Parasagitta setosa</i> J. Müller, 1847
<b>Chordata</b>	Appendicularia	Copelata	<i>Oikopleura (Vexillaria) dioica</i> Fol, 1872
<b>Mollusca</b>	Bivalvia		larvae
	Gastropoda		larvae
<b>Annelida</b>	Polychaeta		larvae
<b>Ctenophora</b>	Nuda	Beroida	<i>Beroe ovata</i> Bruguière, 1789
	Tentaculata	Lobata	<i>Mnemiopsis leidyi</i> A. Agassiz, 1865
<b>Mysosoa</b>	Dinophyceae		<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoed & Swezy, 1921

**Таблица 2.** Среднемесячная температура (°C) поверхности морской воды в 2021–2022 гг.

**Table 2.** Average monthly sea water surface temperature (°C) in 2021–2022

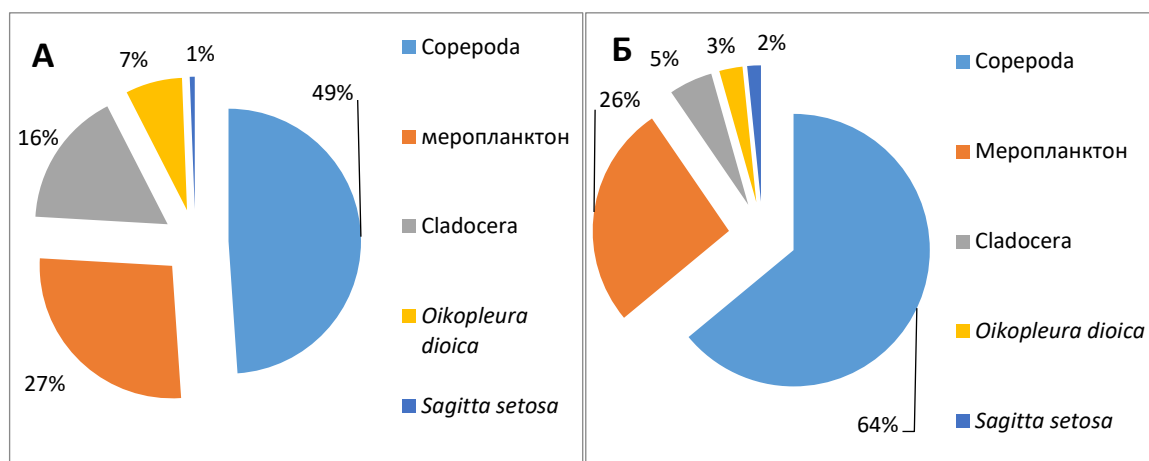
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август
2021	11,4	10,1	9,7	11,8	16,1	20,2	25,4	26,8
2022	10,0	9,3	9,0	10,7	14,5	21,6	23,1	26,5

Гребневики *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* присутствовали в незначительных количествах в летний период 2021–2022 гг. и были представлены в основном личинками и экземплярами  $\leq 5$  мм, которые не оказали существенного влияния на общую

численность и биомассу зоопланктона.

*Noctiluca scintillans* – холодолюбивая форма, и максимум ее развития в северо-восточной части Черного моря обычно приходится на апрель–май, в летние месяцы появление ноктилуки обычно связано со сгонными ветрами (норд-остом), которые вызывают приток глубинного холодноводного комплекса. Высокая численность динофлагелляты *Noctiluca scintillans* является отличительной особенностью 2022 г. по сравнению с 2021 г. Вероятно, более низкие показатели температуры морской воды и частые сгонные ветра в 2022 г. способствовали ее развитию в Голубой бухте. В 2022 г. максимальные значения численности ( $47106 \text{ экз./м}^3$ ) и биомассы ( $3311 \text{ мг/м}^3$ ) *Noctiluca scintillans* наблюдались в мае. В 2021 г. максимум численности ( $156 \text{ экз./м}^3$ ) и биомассы ( $9,83 \text{ мг/м}^3$ ) приходился на март. С июня численность *Noctiluca scintillans* в приповерхностном слое снижается, что связано с прогревом морской воды. Доля *N. scintillans* в общей численности зоопланктона в 2021 г. составила 3,3%, а в 2022 г. – 42%, ее вклад в общую биомассу зоопланктона в 2021 г. был 20%, в 2022 г. – 67%. Средние показатели численности *N. scintillans* в рассматриваемые месяцы в 2021 г. составили  $43,5 \pm 57,8 \text{ экз./м}^3$ , в 2022 г. –  $7706 \pm 16306 \text{ экз./м}^3$ . Средние показатели биомассы *Noctiluca scintillans* в 2021 г. составили  $2,7 \pm 3,6 \text{ мг/м}^3$ , а в 2022 г. они были равны  $553,5 \pm 1148 \text{ мг/м}^3$ , что выше значений 2021 г. в 205 раз.

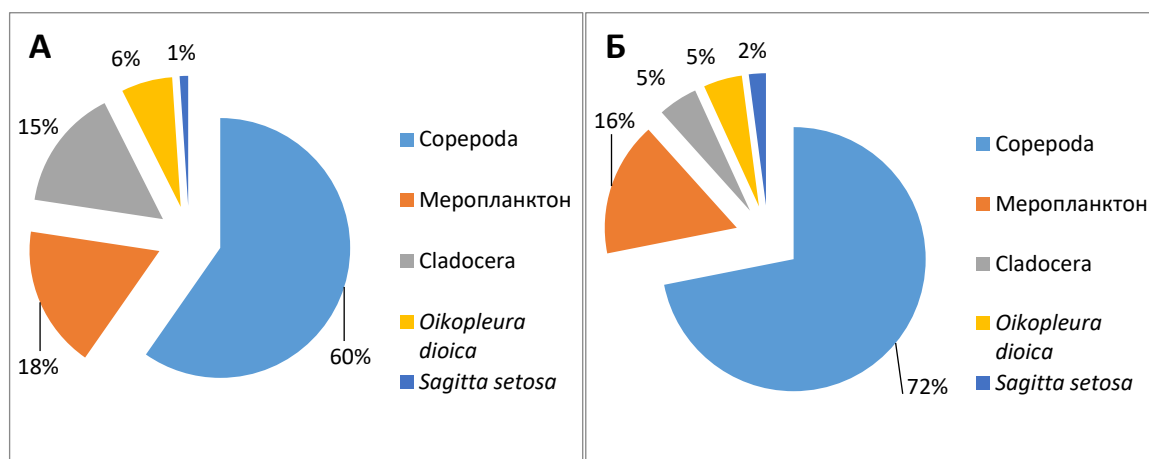
Вклад основных таксономических групп и видов кормового зоопланктона в общую численность за исследованный период в 2021–2022 гг. представлен на рис. 1. Наибольший вклад как в 2021 г. (49%), так и в 2022 г. (64%) вносили Copepoda, доля меропланктона была практически одинакова, в 2021 г. она составила 27%, а в 2022 г. – 26%. Доля Cladocera в 2021 г. составила 16%, что в три раза больше, чем в 2022 г. (5%). Вклад *Oikopleura dioica* в 2021 г. составил 7%, в 2022 г. – 3%, наименьший вклад был у *Parasagitt setosa*: в 2021 г. – 1%, в 2022 г. – 2%.



**Рис. 1.** Доля (%) основных таксономических групп и видов в общей численности (экз./м<sup>3</sup>) кормового зоопланктона в 2021 г. (А) и в 2022 г. (Б)

**Fig. 1.** Share (%) of the main taxonomic groups and species in the total abundance (individuals/m<sup>3</sup>) of feeding mesoplankton in 2021 (A) and in 2022 (B)

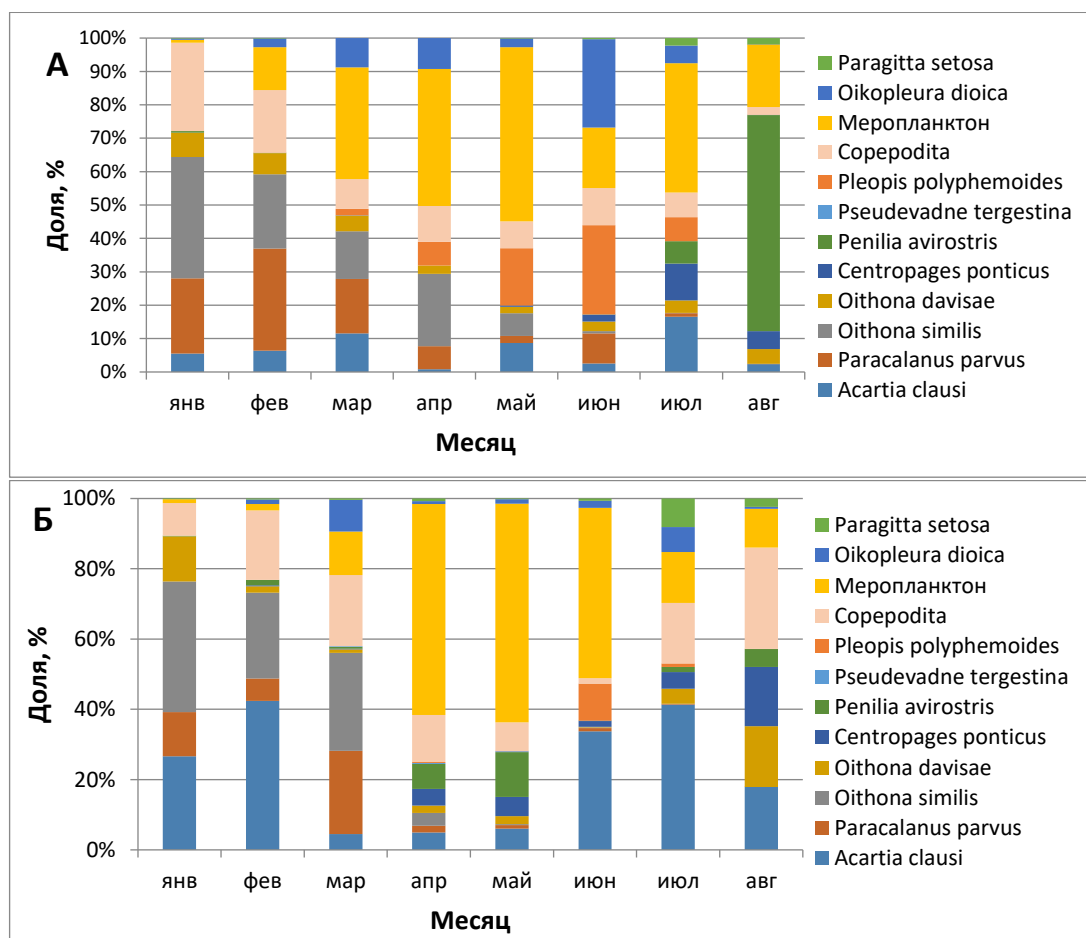
Вклад основных таксономических групп и видов кормового зоопланктона в общую биомассу за исследованный период в 2021–2022 гг. представлен на рис. 2. Наибольший вклад как в 2021 г. (60%), так и в 2022 г. (72%) вносили Copepoda, вклад меропланктона был практически одинаков, в 2021 г. он составил 18%, а в 2022 г. – 16%. Доля Cladocera в 2021 г. была 15%, что в три раза больше, чем в 2022 г. (5%). Вклад *Oikopleura dioica* в 2021 г. составил 6%, в 2022 г. – 5%, наименьший вклад вносила *Parasagitt setosa*: в 2021 г. – 1%, в 2022 г. – 2%.



**Рис. 2.** Доля (%) основных таксономических групп и видов в общей биомассе (мг/м³) кормового зоопланктона в 2021 г. (А) и в 2022 г. (Б)

**Fig. 2.** Share (%) of the main taxonomic groups and species in the total biomass (mg/m³) of edible mesoplankton in 2021 (A) and in 2022 (B)

На рис. 3 и 4 представлены сезонные изменения доли (%) основных таксономических групп и видов в общей численности и биомассе кормового зоопланктона в 2021–2022 гг.



**Рис. 3.** Изменение доли (%) основных таксономических групп и видов в общей численности (экз./м³) кормового зоопланктона с января по август в 2021 г. (А) и в 2022 г. (Б)

**Fig. 3.** Change in the share (%) of the main taxonomic groups and species in the total abundance (ind./m³) of food mesoplankton from January to August in 2021 (A) and in 2022 (B)



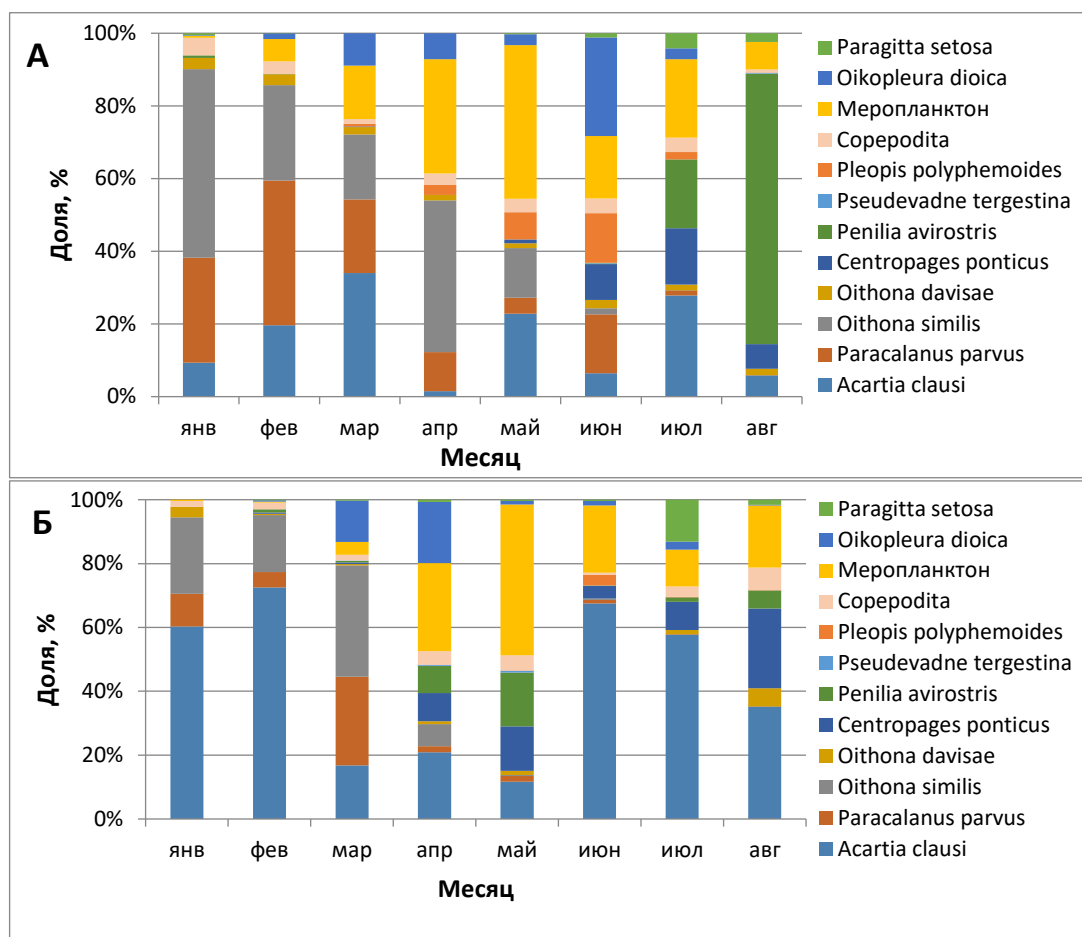


Рис. 4. Изменение доли (%) основных таксономических групп и видов в общей биомассе (мг/м<sup>3</sup>) кормового зоопланктона с января по август в 2021 г. (А) и в 2022 г. (Б)

Fig. 4. Change in the share (%) of the main taxonomic groups and species in the total biomass (mg/m<sup>3</sup>) of food mesoplankton from January to August in 2021 (A) and in 2022 (B)

С января по март как в 2021, так и в 2022 гг. наиболее многочисленными среди кормового зоопланктона были Copepoda: холодноводная *Oithona similis* и эвритермные виды *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, *Oithona davisae*, а также науплии и копеподиты Calanoida. В 2021 г. их доля в общей численности кормового зоопланктона в эти месяцы составила 56–98%, в общей биомассе – 75,6–98%. В 2022 г. – 77–98,5% в общей численности кормового зоопланктона составила, 82–99,7% – в общей биомассе.

Весной вследствие прогрева морской воды в составе зоопланктона прибрежных районов появляются личинки донных животных, которые в это время года начинают активно размножаться. Максимум численности меропланктона обычно приходится на середину лета – начало осени. По таксономическому составу и средним количественным показателям меропланктон в 2021 и 2022 гг. был сходным, при этом он отличался по доминирующим группам. В 2021 г. наибольший вклад в общую численность меропланктона вносили личинки моллюсков *Bivalvia* (45%) и личинки *Cirripedia* (35%), а в 2022 г. наибольшую долю в общей численности составили личинки *Cirripedia* (58%). Средняя численность меропланктонных животных в 2021 г. составила  $600 \pm 542$  экз./м<sup>3</sup>, биомасса –  $2,2 \pm 1,9$  мг/м<sup>3</sup>, в 2022 г. численность меропланктона была  $437 \pm 546$  экз./м<sup>3</sup>, показатели биомассы составили  $2,3 \pm 2,4$  мг/м<sup>3</sup>. В 2021 г. максимальный вклад меропланктонных животных в общую численность и биомассу кормового зоопланктона наблюдался в мае – 52% и 42% соответственно. В 2022 г. максимальный вклад в общую численность и биомассу кормового зоопланктона меропланктонные животные вносили

также в мае – 62% и 47% соответственно.

*Penilia avirostris* – представитель теплолюбивого комплекса, максимальные значения численности которого обычно приходятся на конец июля – начало сентября. В 2021 г. максимальной численности *Penilia avirostris* достигла в августе (5394 экз./м<sup>3</sup>), когда ее вклад в общую численность составил 65%, в общую биомассу – 74%. В 2022 г. максимальные показатели численности *Penilia avirostris* были отмечены в мае (262 экз./м<sup>3</sup>), ее доля в общей численности составила 13%, а вклад в биомассу составил 17%. Как мы отмечали выше, 2022 г. характеризовался более медленным прогревом воды и частыми норд-остами, что, вероятно, способствовало выносу *Penilia avirostris* с поверхностными водами из бухты. Другой представитель Cladocera – *Pleopsis polyphemoides*, круглогодичный вид, максимум численности которого приходится обычно на май–июнь. В 2021 г. массово стал отмечаться в пробах с марта, с максимумом в июне (363 экз./м<sup>3</sup>), когда его доля в общей численности составила 27%, а в общей биомассе – 14%. В 2022 г. весной он встречался единично, максимум его численности также наблюдался в июне (288 экз./м<sup>3</sup>), когда его доля составила 11%, в общую биомассу его вклад составил 3%. Другие представители Cladocera, *Evadne spinifera* и *Pseudevadne tergestina*, встречались единично, как в 2021 г., так и в 2022 г. В 2022 г. в летние месяцы наибольший вклад в общую численность и биомассу вносили эвритермная *Acartia clausi* (35% и 54% соответственно), меропланктон (24% и 17% соответственно) и тепловодная Copepoda *Centropages ponticus* (8% и 13% соответственно).

**Численность и биомасса зоопланктона.** Средняя численность кормового зоопланктона (без *Noctiluca scintillans*) в 2021 г. составила  $2306 \pm 2558$  экз./м<sup>3</sup>, биомасса –  $16,4 \pm 20,6$  мг/м<sup>3</sup>, в 2022 г. средняя численность была  $1417 \pm 1016$  экз./м<sup>3</sup>, а средние показатели биомассы –  $12,3 \pm 7,7$  мг/м<sup>3</sup>. В целом 2022 г. характеризовался меньшими показателями численности (в 1,6 раза) и биомассы (в 1,3 раза) кормового зоопланктона по сравнению с 2021 г.

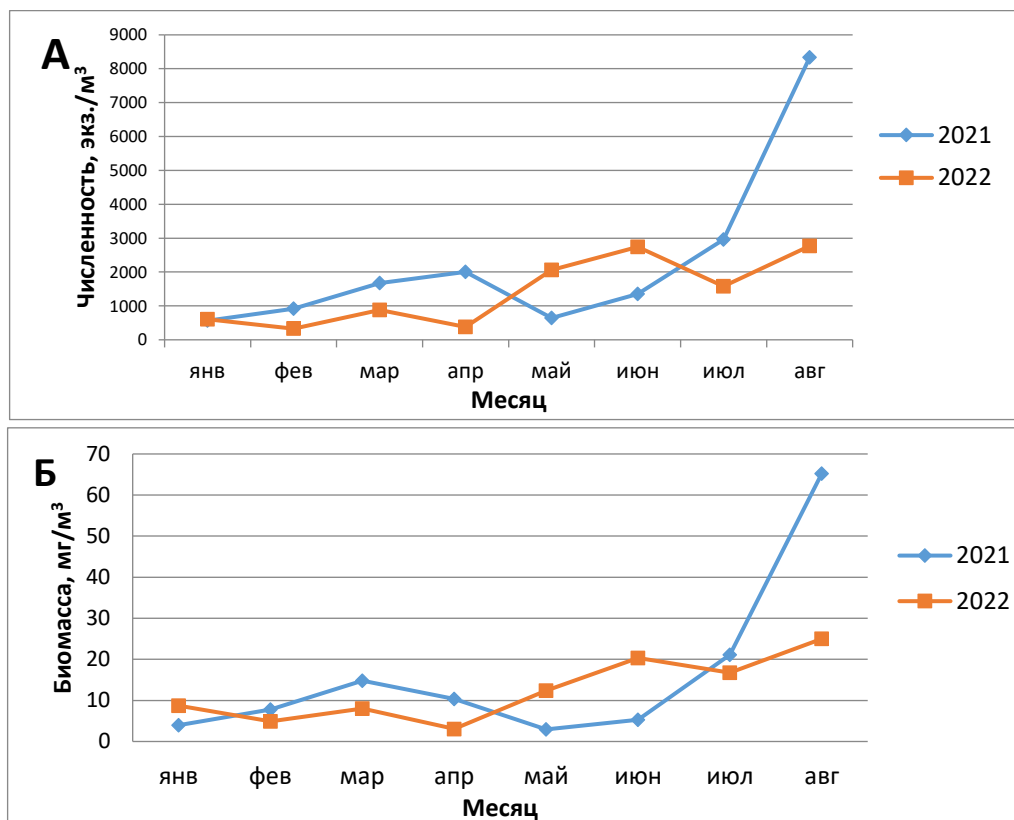
Общая динамика численности и биомассы кормового зоопланктона в 2021 г. в исследованные месяцы укладывалась в классическую двухпиковую схему сезонного хода, характерного для северо-восточной части Черного моря до вселения гребневика *Mnemiopsis leidyi*. Минимальные значения численности и биомассы зоопланктона приходились на зимние месяцы, затем следовал весенний максимум, который образовывается на фоне бурного развития фитопланктона, в мае–июне наблюдалось снижение численности и биомассы зоопланктона, что обычно связывают с интенсивным выеданием зоопланктона пелагическими рыбами и их молодь (Кусморская, 1955; Пастернак, 1983). С середины лета, в период массового развития видов тепловодного комплекса (*Penilia avirostris*, *Centropages ponticus*), эвритермных видов (*Acartia clausi*, *Oithona davisae*) и меропланктона, показатели численности и биомассы кормового зоопланктона стали повышаться и достигли второго более выраженного максимума в августе. В 2022 г. сезонный ход численности и биомассы кормового зоопланктона был плавным, без выраженных пиков (рис. 5).

Средняя численность зоопланктона (с *Noctiluca scintillans*) в 2021 г. составила  $2350 \pm 2543$  экз./м<sup>3</sup>, биомасса –  $19 \pm 20$  мг/м<sup>3</sup>; в 2022 г. средняя численность составила  $9123 \pm 16514$  экз./м<sup>3</sup>, а показатели биомассы –  $566 \pm 1147$  мг/м<sup>3</sup>.

**Оценка потребления фитопланктона зоопланктоном.** Выедание фитопланктона необходимо учитывать в экологических моделях, которые отслеживают перенос органического углерода на дно, т.к. большие по размеру гранулы осаждаются быстрее. Мы провели оценку общего выедания фитопланктона зоопланктоном и посмотрели, насколько смена доминирующих видов в условиях смены погоды и температур влияет на этот параметр (без *Noctiluca scintillans*). Максимальные значения выедания наблюдались в конце лета, в августе, как в 2021 г., так и в 2022 г. (рис. 6). Что

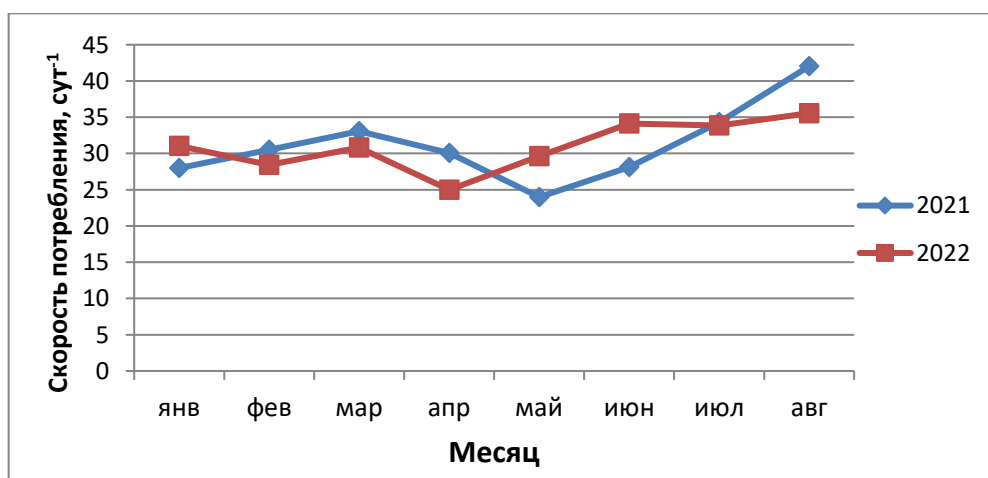


объясняется наибольшим количеством в пробе видов разной размерности, употребляющих в пищу все размерные группы фитопланктона. В 2021 г. значения скорости потребления изменялись от 24 сутки<sup>-1</sup> в мае до 42 сутки<sup>-1</sup> в августе. В 2022 г. минимальные значения потребления наблюдались в апреле (25 сутки<sup>-1</sup>), максимальные – в августе (35 сутки<sup>-1</sup>).



**Рис. 5.** Сезонная динамика (А) численности (экз./м³) и (Б) биомассы (мг/м³) кормового зоопланктона в 2021–2022 гг.

**Fig. 5.** Seasonal dynamics of (A) abundance (ind./m³) and (B) biomass (mg/m³) of feeding zooplankton in 2021–2022



**Рис. 6.** Скорость потребления (сут<sup>-1</sup>) в 2021–2022 гг.

**Fig. 6.** Consumption rate (day<sup>-1</sup>) in 2021–2022

## Заключение

Сравнительный анализ структуры и динамики зоопланктона Голубой бухты в 2021 и 2022 гг. показал идентичность таксономического состава, все обнаруженные виды и таксоны зоопланктона в 2021–2022 гг. являются типичными для современного состояния Черного моря. Показатели средней численности зоопланктона за исследованный период (без *Noctiluca scintillans*) в 2021 г. составили  $2306 \pm 2558$  экз./м<sup>3</sup>, показатели биомассы –  $16,4 \pm 20,6$  мг/м<sup>3</sup>; в 2022 г. показатели численности составили –  $1417 \pm 1016$  экз./м<sup>3</sup>, а показатели биомассы –  $12,3 \pm 7,7$  мг/м<sup>3</sup>. В целом 2022 г. характеризовался меньшими показателями численности (в 1,6 раза) и биомассы (в 1,3 раза) кормового зоопланктона по сравнению с 2021 г. В 2022 г. более низкие показатели температуры поверхности воды по сравнению с 2021 г., а также высокая ветровая активность повлияли на сроки и интенсивность пиковых значений численности видов-доминантов, чувствительных к этим параметрам. В 2022 г. холодолюбивая динофлагеллята *Noctiluca scintillans* дала высокую вспышку численности ( $7706 \pm 16306$  экз./м<sup>3</sup>) с максимумом в мае ( $47106$  экз./м<sup>3</sup>), а в 2021 г. ее практически не было в планктоне. В летний период в 2022 г. практически отсутствовала теплолюбивая Cladocera *Penilia avirostris*, в то время как в 2021 г. в летний период ее численность достигла высоких значений с максимумом в августе ( $5394$  экз./м<sup>3</sup>).

Удельное потребление фитопланктона зоопланктоном не демонстрировало существенных межгодовых различий. И хотя 2022 г. характеризовался высокими показателями биомассы и численности *Noctiluca scintillans*, виды рачкового зоопланктона продолжали питаться на уровне значений предыдущего года, не испытывая нехватки в пище. Это является доказательством того, что сообщество находится в стабильном состоянии. В свою очередь, стабильность сообщества служит ярким доказательством отсутствия существенных изменений абиотических и биотических факторов среды, несмотря на возрастающую из года в год антропогенную нагрузку.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института океанологии им. П.П. Шишова РАН № FMWE-2021-0013 и при поддержке темы государственного задания FMWE-2023-0001.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## Список литературы

1. Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Шушкина Э.А. Экосистема Черного моря. – М.: Наука, 1992. – 112 с.
2. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Анохина Л.Л., Востоков С.В., Кучерук Н.В., Лукошева Т.А. Массовое развитие гребневика *Beroe ovata* Eschscholtz у северо-восточного побережья Черного моря // Океанология. 2000. Т. 40, №1. С. 52–55.
3. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Арнаутков Г.Н. Распределение трофических группировок зоопланктона у северного Перу // Фронтальные зоны юго-восточной части Тихого океана. – М.: Наука, 1984. – С. 199–218.
4. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Мусаева Э.И., Сорокин П.Ю. Новый вселенец в Черное море – гребневик *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) (Stenophora: Lobata) // Океанология. 1989. Т. 29, №2. С. 293–299.
5. Виноградов М.Е., Шушкина Э.А., Николаева Г.Г. Массовое развитие гребневика мнемипсиса как проявление антропогенного воздействия на экосистему моря // Практическая экология морских регионов. Черное море. – Киев: Наукова думка, 1990. С. 94–116.
6. Губанова А.Д., Гарбазей О.А., Алтухов Д.А., Муханов В.С., Попова Е.В. *Oithona davisae*: натурализация в Черном море, межгодовые и сезонные изменения, влияние на структуру сообщества планктонных копепод // Океанология. 2019. Т. 59, №6. С. 1008–1015. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0030-15745961008-1015>
7. Дропкин Е.И. О влиянии рапаны на фауну Черного моря // ДАН СССР. 1963. Т. 151. С. 700–703.

8. Кусморская А.П. О зоопланктоне Чёрного моря // Тр. АзЧерНИРО. 1950. Т. 14. С. 177–214.
9. Кусморская А.П. Сезонные и годовые изменения зоопланктона Черного моря // Тр. Всесоюз. Гидробиол. Об-ва. 1955. Т. 6. С. 158–192.
10. Лебедева Л.П., Шушкина Э.А., Виноградов М.Е., Лукашева Т.А., Анохина Л.А. Многолетняя трансформация структуры мезозоопланктона северо-восточного побережья Черного моря под воздействием гребневигов-вселенцев // Океанология. 2003. Т. 43, № 5. С. 710–715.
11. Определитель фауны Черного и Азовского // Мордухай-Болтовского Ф.Д. (ред). Т. 1: Простейшие, губки, кишечнополостные, черви, щупальцевые. – Киев: Наукова думка, 1968. – 437 с.
12. Определитель фауны Черного и Азовского морей // Мордухай-Болтовского Ф.Д. (ред). Т. 2: Ракообразные. – Киев: Наукова думка, 1969. – 535 с.
13. Определитель фауны Черного и Азовского морей // Мордухай-Болтовского Ф.Д. (ред). Т. 3: Членистоногие (кроме ракообразных), моллюски, иглокожие, щетинкочелюстные, хордовые. – Киев: Наукова думка, 1972. – 339 с.
14. Пастернак А.Ф. Сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона у побережья Северного Кавказа // Сезонные изменения черноморского планктона. – М.: Наука, 1983. – С. 139–177.
15. Селифонова Ж.П. *Oithona brevicornis* Giesbrecht (Copepoda: Cyclopoida) в зоопланктоне портов северо-восточного шельфа Черного моря // Биол. внутренних вод. 2009. Т. 1. С. 33–35.
16. Хорошилов В.С., Лукашева Т.А. Изменение зоопланктонного сообщества Голубой бухты после вселения в Черное море гребневика мнемииопсиса // Океанология. 1999. Т. 39, №4. С. 567–572.
17. Часовников В.К., Бородулина П.А. Тенденции межгодовой изменчивости биогенных элементов в северо-восточной части Черного моря по данным судовых наблюдений за 2017–2021 гг. // Экология гидросферы. 2022. №2(8). С. 37–46. URL: <http://hydrosphere-ecology.ru/368> (дата обращения: 13.10.2023) DOI: [https://doi.org/10.33624/2587-9367-2022-2\(8\)-37-46](https://doi.org/10.33624/2587-9367-2022-2(8)-37-46)
18. Численко Л.Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела. – М.: Наука, 1968. – 195 с.
19. Чухин В.Д. Рапана (*Rapana bezoar*) на Гудаутской устричной банке. // Тр. Севастоп. биол. станции. 1961. Т. 14. С. 178–187.
20. Шушкина Э.А., Виноградов М.Е., Лебедева Л.П. Распределение зоопланктона в побережье северо-восточной части Чёрного моря в тёплый климатический период // Океанология. 2004. Т. 44, №4. С. 524–537.
21. Юнев О.А., Коновалов С.К., Великова В. Антропогенная эвтрофикация в пелагической зоне Черного моря: долговременные тренды, механизмы, последствия. – М.: ГЕОС. 2019. – 164 с. DOI: <https://doi.org/10.34756/GEOS/2019.16.37827>
22. Hansen P.J., Bjornser P.K., Hansen B.W. Zooplankton grazing and growth: Scaling with the 2–2000-µm body size range // Limnol. Oceanogr. 1997. V. 42. P. 678–704. DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.4.0687>
23. Konsulov A., Kamburska L. Black Sea zooplankton structural dynamic and variability off the Bulgarian Black Sea coast during 1991–1995 // Ivanov L., Oguz T (eds). Ecosystem modeling as a management tool for the Black Sea. NATO ASI Ser 1 Global Environ Change. – Dordrecht: Springer, 1998. – P. 281–293.
24. Kovalev A.V., Besiktepe S., Zagorodnyaya J., Kideys A. Mediterraneanization of the Black Sea zooplankton is continuing // Ivanov L., Oguz T (eds) Ecosystem modeling as a management tool for the Black Sea. NATO ASI Ser 1 Global Environ Change. – Dordrecht: Springer, 1998. – P. 199–207.
25. Petranu A. Black Sea biological diversity Romania. V. 4. – New York: United Nations Publications, 1997. – 314 p.
26. Shiganova T.A., Bulgakova Y.V. Effects of gelatinous plankton on Black Sea and Sea of Azov fish and their food resources // ICES Journal of Marine Science. 2000. V. 57, №3. P. 641–648. DOI: <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0736>
27. Turner J.T. Zooplankton fecal pellets, marine snow, phytodetritus and the ocean's biological pump // Progress in Oceanography. 2015. V. 130. P. 205–248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.08.005>
28. Ward B.A., Dutkiewicz S., Jahn O., Follows M.J. A size-structured food-web model for the global ocean // Limnol. Oceanogr. 2012. V. 57(6). P. 1877–1891. DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.6.1877>
29. World Register of Marine Species. URL: <https://www.marinespecies.org/> (дата обращения: 09.10.2023)
30. Zaitsev Y.P. Impact of eutrophication on the Black Sea fauna // General Fisheries Council for the Mediterranean: studies and reviews. V. 64. – Rome: FAO, 1993. –P. 63–86.
31. Zaitsev Y.P., Aleksandrov B.G. Resent Man-Made Changes in the Black Sea Ecosystem // Ozsoy E., Mikaelyan A. (eds). Sensitivity of North Sea, Baltic Sea and Black Sea. NATO ASI Series. V. 27. – Dordrecht: Springer, 1997. – P. 25–32. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-011-5758-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-011-5758-2_3)

Статья поступила в редакцию 07.11.2023; после доработки: 14.12.2023; принята к публикации 15.12.2023

**Сведения об авторах**

Ключанцева Агнислава Павловна – инженер, Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия (Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia), Южное отделение; [agni\\_text@mail.ru](mailto:agni_text@mail.ru); ORCID – <https://orcid.org/0009-0004-0735-9355>

Лукашева Таисия Александровна – к.б.н., инженер, Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, Россия (Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia), Южное отделение; [lukasheva.taisiya@mail.ru](mailto:lukasheva.taisiya@mail.ru).

Корреспондентский адрес: 117997, Российская Федерация, Москва, Нахимовский проспект, 36.

## Seasonal dynamics of coastal zooplankton in the northeastern part of the Black Sea (Blue Bay, Gelendzhik) in 2021-2022

Agnislava P. Klyuchantseva, Taisia A. Lukasheva

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)*

Studies of the structural characteristics of coastal zooplankton in the northeastern part of the Black Sea were carried out for eight months (January-August) in 2021 and 2022. All discovered species and taxa of zooplankton are typical for the current state of the Black Sea. Seasonal dynamics of changes in taxonomic composition and indicators of specific consumption of phytoplankton by zooplankton did not show significant interannual differences. The abundance and biomass of zooplankton, as well as the role of taxonomic groups and species in the total abundance and biomass of zooplankton had significant interannual differences.

**Keywords:** zooplankton; Black Sea; seasonal dynamics; species composition; abundance; biomass; production.

**References**

1. Chasovnikov V.K., Borodulina P.A. Trends in the interannual variability of nutrients in the northeastern part of the Black Sea according to ship observations for 2017-2021. *Hydrosphere Ecology*. 2022. №2 (8). P. 37–46. DOI: [https://doi.org/10.33624/2587-9367-2022-2\(8\)-37-46](https://doi.org/10.33624/2587-9367-2022-2(8)-37-46) (in Russ.)
2. Chislenko L.L. Nomogrammy dlya opredeleniya vesa vodnyh organizmov po razmeram i forme tela [Nomograms for determining the weight of aquatic organisms by body size and shape]. Moscow, Nauka, 1968. 195 p. (in Russ.)
3. Chukhin V.D. Rapana (Rapana bezoar) na Gudautskoj ustrichnoj banke. [Rapana (*Rapana bezoar*) on the Gudauta oyster bank]. *Tr. Sevastop. biol. stancii. [Proceedings of the Sevastopol biological station]*. 1961. V.14. P. 178–187. (in Russ.)
4. Dropkin E.I. O vliyaniy rapany na faunu Chernogo moray [On the influence of rapana on the fauna of the Black Sea]. *DAN SSSR [Reports of the Academy of Sciences USSR]*. 1963. V.151. P. 700–703. (in Russ.)
5. Gubanova A.D., Garbazei O.A., Altukhov D.A., Mukhanov V.S., Popova E.V. Oithona davisae: naturalization in the Black Sea, interannual and seasonal changes, impact on structure of the planktonic copepod community. *Oceanology*. 2019. V.59. №6. P. 1008–1015. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0030-15745961008-1015> (in Russ.)
6. Hansen P.J., Bjornser P.K., Hansen B.W. Zooplankton grazing and growth: Scaling with the 2–2000-µm body size range. *Limnol. Oceanogr.* 1997. V.42. P. 678–704. DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.4.0687>
7. Horoshilov V.S., Lukasheva T.A. Izmenenie zooplanktonnogo soobshchestva Goluboj buhty posle vseleniya v Chernoe more grebnevika mnemiopsisa [Changes in the zooplankton community of the Blue Bay after the introduction of the ctenophore Mnemiopsis into the Black Sea]. *Oceanology*. 1999. V.39. №4. P. 567–572. (in Russ.)
8. Konsulov A., Kamburska L. Black Sea zooplankton structural dynamic and variability off the Bulgarian Black Sea coast during 1991-1995. Ivanov L., Oguz T (eds). *Ecosystem modeling as a management tool for the Black Sea*. NATO ASI Ser 1 Global Environ Change. Springer, Dordrecht, 1998. P. 281–293.
9. Kovalev A.V., Besiktepe S., Zagorodnyaya J., Kideys A. Meditteraneanization of the Black Sea zooplankton is continuing. Ivanov L., Oguz T (eds) *Ecosystem modeling as a management tool for the Black Sea*. NATO ASI Ser 1 Global Environ Change. Springer, Dordrecht, 1998. – P. 199–207.
10. Kusmorskaya A.P. O zooplanktone Chyornogo morya [About the zooplankton of the Black Sea]. *Tr. AzCherNIRO [Proceedings of AzCherNIRO]*. 1950. V.14. P. 177–214. (in Russ.)

11. Kusmorskaya A.P. Sezonnye i godovye izmeneniya zooplanktona Chernogo morya [Seasonal and annual changes in zooplankton of the Black Sea]. *Tr. Vsesoyuzn. Gidrobiol. Ob-va [Proceedings of the All-Union Hydrobiological Society]*. 1955. V.6. P. 158–192. (in Russ.)
12. Lebedeva L.P., Shushkina E.A., Vinogradov M.E., Lukasheva T.A., Anokhina L.A. Mnogoletnyaya transformatsiya struktury mezozooplanktona severo-vostochnogo pribrezh'ya Chernogo morya pod vozdejstviem grebnevikov–vselencev [Long-term transformation of the structure of mesozooplankton in the northeastern coastal zone of the Black Sea under the influence of invasive ctenophores]. *Oceanology*. 2003. V.43. №5. P. 710–715. (in Russ.)
13. Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morej [Key to the fauna of the Black and Azov Seas]. Mordecai-Boltovsky F.D (ed.). V.2: Crustaceans. Kyiv, Naukova Dumka, 1969. 535 p. (in Russ.)
14. Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morej [Key to the fauna of the Black and Azov Seas]. Mordecai-Boltovsky F.D (ed.). V.3: Arthropods (except crustaceans), mollusks, echinoderms, chaetognaths, chordates. Kyiv, Naukova Dumka, 1972. 339 p. (in Russ.)
15. Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morej [Key to the fauna of the Black and Azov Seas]. Mordecai-Boltovsky F.D (ed.). V.1: Protozoa, sponges, coelenterates, worms, tentacles. Kyiv, Naukova Dumka, 1968. 437 p. (in Russ.)
16. Pasternak A.F. Sezonnaya dinamika chislennosti i biomassy zooplanktona u poberezh'ya Severnogo Kavkaza [Seasonal dynamics of zooplankton abundance and biomass off the coast of the North Caucasus]. *Sezonnye izmeneniya chernomorskogo planktona [Seasonal changes in the Black Sea plankton]*. Nauka, Moscow, 1983. P. 139–177. (in Russ.)
17. Petranu A. Black Sea biological diversity Romania. V. 4. United Nations Publications, New York, 1997. 314 p.
18. Selifonova Zh.P. *Oithona brevicornis* Giesbrecht (Copepoda: Cyclopoida) v zooplanktone portov severo-vostochnogo shel'fa Chernogo morya [Oithona brevicornis Giesbrecht (Copepoda: Cyclopoida) in the zooplankton of ports of the north-eastern shelf of the Black Sea]. *Biol. vnutrennih vod xBiology of inland waters*. 2009. V.1. P. 33–35. (in Russ.)
19. Shiganova T.A., Bulgakova Y.V. Effects of gelatinous plankton on Black Sea and Sea of Azov fish and their food resources. *ICES Journal of Marine Science*. 2000. V.57. №3. P. 641–648. DOI: <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0736>
20. Shushkina E.A., Vinogradov M.E., Lebedeva L.P. Raspredelenie zooplanktona v pribrezh'e severo-vostochnoj chasti Chernogo morya v tyoplyj klimaticheskij period [Distribution of zooplankton in the coastal zone of the northeastern part of the Black Sea during the warm climatic period]. *Oceanology*. 2004. V.44. №4. P. 524–537. (in Russ.)
21. Turner J.T. Zooplankton fecal pellets, marine snow, phytodetritus and the ocean's biological pump. *Progress in Oceanography*. 2015. V.130. P. 205–248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.08.005>
22. Vinogradov M.E., Sapozhnikov V.V., Shushkina E.A. Ekosistema Chernogo moray [Ecosystem of the Black Sea]. Nauka, Moscow, 1992. 112 p. (in Russ.)
23. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Anokhina L.L., Vostokov S.V., Kucheruk N.V., Lukosheva T.A. Mass development of the ctenophore *Beroe ovata* Eschscholtz off the northeastern coast of the Black Sea. *Oceanology*. 2000. V.40. №1. P. 52–55. (in Russ.)
24. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Arnautov G.N. Raspredelenie troficheskikh gruppirovok zooplanktona u severnogo Peru. [Distribution of mesoplankton trophic groups near northern Peru]. *Frontal'nye zony yugo-vostochnoj chasti Tihogo okeana [Frontal zones of the southeastern Pacific Ocean]*. Nauka, Moscow, 1984. P. 199–218. (in Russ.)
25. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Musaeva E.I., Sorokin P.Yu. A new invader to the Black Sea is the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) (Ctenophora: Lobata). *Oceanology*. 1989. V.29. №2. P. 293–299. (in Russ.)
26. Vinogradov M.E., Shushkina E.A., Nikolaeva G.G. Massovoe razvitie grebnevika mnemiopsisa kak proyavlenie antropogennogo vozdejstviya na ekosistemu moray [Mass development of the ctenophore *Mnemiopsis* as a manifestation of anthropogenic impact on the marine ecosystem]. *Prakticheskaya ekologiya morskikh regionov. Chernoe more. [Practical ecology of marine regions. Black Sea]*. Naukova dumka, Kyiv, 1990. P. 94–116. (in Russ.)
27. Ward B.A., Dutkiewicz S., Jahn O., Follows M.J. A size-structured food-web model for the global ocean. *Limnol. Oceanogr.* 2012. V.57(6). P. 1877–1891. DOI: <https://doi.org/10.4319/lo.2012.57.6.1877>
28. World Register of Marine Species. URL: <https://www.marinespecies.org/> (дата обращения: 09.10.2023)
29. Yunev O.A., Konovalov S.K., Velikova V. Anthropogenic eutrophication in the pelagic zone of the Black Sea: long-term trends, mechanisms, consequences. GEOS, Moscow, 2019. 164 p. DOI: <https://doi.org/10.34756/GEOS/2019.16.37827> (in Russ.)
30. Zaitsev Y.P. Impact of eutrophication on the Black Sea fauna. General Fisheries Council for the Mediterranean: studies and reviews. V.64. FAO, Rome, 1993. P. 63–86.



31. Zaitsev Y.P., Aleksandrov B.G. Resent Man-Made Changes in the Black Sea Ecosystem. Ozsoy E., Mikaelyan A. (eds). Sensitivity of North Sea, Baltic Sea and Black Sea. NATO ASI Series. V.27. Springer, Dordrecht, 1997. P. 25–32. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-011-5758-2\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-011-5758-2_3)

ССЫЛКА:

**Ключанцева А.П., Лукашева Т.А. Сезонная динамика прибрежного зоопланктона северо-восточной части Черного моря (Голубая бухта, г. Геленджик) в 2021-2022 гг. // Экология гидросферы. 2023. №2 (10). С. 18–31. URL: <http://hydrosphere-ecology.ru/386>**

**Klyuchantseva A.P., Lukasheva T.A. Seasonal dynamics of coastal zooplankton in the northeastern part of the Black Sea (Blue Bay, Gelendzhik) in 2021-2022. *Hydrosphere Ecology*. 2023. №2 (10). P. 18–31. URL: <http://hydrosphere-ecology.ru/386>**

**DOI – [https://doi.org/10.33624/2587-9367-2023-2\(10\)-18-31](https://doi.org/10.33624/2587-9367-2023-2(10)-18-31) EDN – GHLQA**