



Серия «Биология. Экология»  
2024. Т. 47. С. 27–44  
Онлайн-доступ к журналу:  
<http://izvestiabio.isu.ru/ru>

ИЗВЕСТИЯ  
Иркутского  
государственного  
университета

Научная статья

УДК 574.2:574.583[262.5]  
<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.47.27>

## Метазойный микрозоопланктон Севастопольской бухты в весенний период: видовое разнообразие и структура сообщества

С. А. Серегин, Е. В. Попова\*

*Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, г. Севастополь, Россия*  
E-mail: [serg-seryogin@yandex.ru](mailto:serg-seryogin@yandex.ru)

**Аннотация.** Исследованы изменения численности, видового разнообразия и структуры сообществ метазойного микрозоопланктона (ММ) в разных участках акватории Севастопольской бухты и прилегающем открытом взморье в конце весеннего гидрологического сезона. Оценена роль существенных характеристик среды (температура и солёность воды) и метеоусловий (ветровой режим) в формировании сезонных изменений показателей ММ. Обсуждается влияние антропогенного загрязнения и эвтрофирования вод бухты на динамику структуры и показателей обилия ММ и связь оценок видового разнообразия с показателями трофности локальных акваторий бухты.

**Ключевые слова:** метазойный микрозоопланктон, численность, биоразнообразие, трофность акваторий, Севастопольская бухта, Чёрное море.

**Благодарности.** Авторы выражают искреннюю благодарность Т. А. Богдановой за определение солёности в пробах воды. Работа выполнена по госбюджетным темам ФИЦ ИнБЮМ РАН: «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (номер гос. регистрации 121041400077-1) и «Структурно-функциональная организация, продуктивность и устойчивость морских пелагических экосистем» (номер гос. регистрации 121040600178-6).

**Для цитирования:** Серегин С. А., Попова Е. В. Метазойный микрозоопланктон Севастопольской бухты в весенний период: видовое разнообразие и структура сообщества // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2024. Т. 47. С. 27–44. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.47.27>

Research article

## Metazoan Microzooplankton of the Sevastopol Bay in Spring: Species Diversity and Community Structure

S. A. Seregin, E. V. Popova\*

*A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russian Federation*

**Abstract.** The original results of studies of metazoan microzooplankton (MM) in different locations of the Sevastopol Bay and the nearest open seashore at the end of the spring hydrological season are presented. Using the Primer 5 software package, changes in the abundance, species composition and structure of the MM community were analyzed. Samples were taken in 3 areas of Sevastopol Bay, differing in the degree of pollution and trophicity of the water. MM sampling, temperature and salini-

© Серегин С. А., Попова Е. В., 2024

\*Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.  
For complete information about the authors, see the last page of the article.

ty measurements were carried out in three layers of the water column: from the surface to a 10-meter depth. The abundance of organisms, species diversity indices (Margalef, Pielou, Simpson, Shannon), the degree of similarity and difference of communities were calculated for successive layers: surface, middle (0-5 m) and bottom (5-10 m), as well as on average for the whole column of water. The species diversity of the MM community during the study period was generally moderately high. The middle layer of water at all stations was characterized by the highest species richness. In spatial terms, a decrease in species diversity was observed in the direction from the open seashore into the bay. Against the backdrop of an increase in water temperature from the end of May to the first ten days of June, a significant increase in the abundance of MM was recorded. In May, the average abundance in the 10-meter layer in different water areas ranged from 10 to 40 thousand ind./m<sup>3</sup>, and at the end of the first ten days of June it increased by 1.5-3.6 times. In both periods there was a trend of increasing abundance from open waters deeper into the bay, coinciding with the temperature trend of local water areas. The absolute maximum of abundance was noted in June in the surface layer in the inner part of the bay – more than 720×10<sup>3</sup> ind./m<sup>3</sup>. Quantitative changes in abundance were accompanied and largely determined by changes in the qualitative composition of MM. At the beginning of the period, the main role in the abundance and determination of similarities/differences in the community structure was played by native species of copepods, rotifers, and mollusk veligers. When the water warmed above 18-19 °C, the role of the heat-loving invader, the copepod *Oithona davisae* Ferrari and Orsi, 1984, sharply increased. The maximum abundance of the non-native species in the local water areas from open waters to the internal waters of the bay increased by more than an order of magnitude: from 23 to 550 × 10<sup>3</sup> ind./m<sup>3</sup>. The direction of changes in the abundance of *O. davisae* in the local water areas studied coincided with an increase in the level of their pollution and trophicity: from the open seashore towards the depths of the bay, both the absolute and relative abundance of the invader and its role in the community structure increased. This testifies to the indicator properties of this species. In general, the changes in abundance, species diversity and community structure of MM in local water areas reflect both seasonal and spatial changes in their trophic status in the natural gradient of the open seaside – the internal space of the Sevastopol Bay and can be used for its indirect assessment.

**Keywords:** metazoan microzooplankton, abundance, biodiversity, trophicity of water areas, Sevastopol Bay, Black Sea.

---

**For citation:** Seregin S.A., Popova E.V. Metazoan Microzooplankton of the Sevastopol Bay in Spring: Species Diversity and Community Structure. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2024, vol. 47, pp. 27-44. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.47.27> (in Russian)

---

## Введение

Видовое разнообразие традиционно используется в качестве одного из показателей благополучия экосистемы. При повышении уровней загрязнения и эвтрофирования оно, как правило, снижается [Мэгарран, 1992] и само становится активным фактором, воздействующим на функционирование экосистемы. Сила его воздействия может быть сопоставимой с такими ведущими драйверами, как глобальное потепление, повышенный уровень CO<sub>2</sub>, эвтрофикация и другими [Biodiversity loss ... , 2012; A global synthesis ... , 2012].

Севастопольская бухта интенсивно используется в качестве портов гражданского и военно-морского назначения. На её пространстве выделены зоны с различной степенью антропогенной нагрузки и, соответственно, эвтрофикации [Совга, Мезенцева, Слепчук, 2020] и загрязнения: от слабого до очень сильного [Гидролого-гидрохимический режим ... , 2006]. Её акватория, вытянутая в широтном направлении на 7,5 км, является удобным объектом гидролого-гидрохимических и биологических исследований в естественном градиенте природных и антропогенных факторов. В частности, по-

казано, что различия в численности и смертности зоопланктона здесь связаны с интенсивностью водообмена, направлением ветров и сезонными изменениями уровня моря [Влияние океанографических факторов ..., 2003].

Одним из биологических объектов исследований в бухте является сообщество метазойного микрозоопланктона (ММ) [Seregin, Popova, 2016, 2019; Серегин, Попова, 2017]. ММ является одним из ключевых компонентов пелагической экосистемы, осуществляющим передачу значительной части вещества и энергии от низших трофических уровней к более высоким [Calbet, 2008], а также важнейшим звеном рациона личинок рыб, обеспечивающим условия воспроизводства рыбных ресурсов моря и его локальных акваторий. ММ представлен короткоживущими видами и формами организмов и способен быстро реагировать на изменения условий окружающей среды. Это делает его хорошим индикатором качества вод и удобным объектом для оперативной диагностики изменений условий среды и влияния антропогенных факторов [Дятлов, 2000].

Ранее было показано, что индексы видового разнообразия ММ хорошо отражают сезонные изменения сообщества, а также уровень трофности локальных акваторий бухты в позднелетний и осенний сезоны [Серегин, Попова, 2023]. Конец весеннего гидрологического сезона характеризуется быстрым ростом численности организмов ММ и сменой доминирующих видов [Серегин, Попова, 2017]. Целью настоящей работы является исследование различий в обилии, биоразнообразии и структуре сообществ ММ в разных зонах Севастопольской бухты, а также оценивание трофического состояния вод бухты по параметрам сообщества ММ в этот динамичный период.

### *Материалы и методы*

Пробы метазоопланктона были отобраны 27 мая и 10 июня 2021 г. в трёх точках севастопольского побережья: в открытом взморье на траверзе входа в Карантинную бухту (ст. 1), в устье Севастопольской бухты (ст. 2), в глубине бухты на траверзе Сухарной балки (ст. 3). Расположение станций на исследуемом участке отражает разнообразие локальных акваторий с разной степенью воздействия природных и антропогенных (уровень загрязнения) факторов на их биоту. Станция 1 соответствует условно чистым водам, ст. 2 – водам со слабым, а ст. 3 – с сильным уровнем загрязнения [Гидролого-гидрохимический режим ... , 2006] (рис. 1). Пробы отбирали в первой половине дня с 9 до 12 ч, длительность обловов по горизонтам на каждой из станций не превышала 15–20 мин.

На каждой из станций отобраны пробы из поверхностного (~10–15 см) слоя воды, а также из слоев 5–0 и 10–0 м (всего 18 проб). Поверхностные пробы отобраны зачерпыванием воды пластиковым пробоотборником, в толще водного столба пробы отбирали планктонной сетью Апштейна с площадью входного отверстия 0,025 м<sup>2</sup> и нейлоновым ситом с ячеей 35 мкм в фильтрующей части. Как показали предыдущие исследования [Seregin, Popova, 2016; Adaptive strategy ... , 2016], различные методы отбора проб не вносят существенных различий в получаемые результаты и адекватно отра-

жают обилие организмов изучаемого сообщества в естественной среде. С помощью гидрологического батометра БМ-48М отобраны пробы воды для определения солёности, температура воды измерялась в поверхностном слое, на глубинах 5 и 10 м. Во время съёмки регистрировали скорость и направление ветра. Поскольку направление ветра в прибрежных районах в течение дня меняется, мы провели частотный анализ ветровых условий в день отбора проб и в три предыдущих дня.



Рис. 1. Карта-схема Севастопольской бухты и прилегающего побережья с районированием по уровню загрязнения: *W* – слабое, *E* – умеренное, *C* – сильное, *S* – очень сильное (по: [Гидролого-гидрохимический режим ... , 2006]). Красными точками обозначены станции отбора проб

Подготовку и обработку проб проводили в соответствии с руководством [ICES Zooplankton Methodology Manual, 2000]. Собранные пробы концентрировали при помощи воронки обратной фильтрации и фиксировали 40%-ным формальдегидом до конечной концентрации в пробе 4%. Анализ проб проводили тотально в камере Богорова под бинокулярным микроскопом МБС-9 (ЛЗОС, Россия) при увеличении 32×. Науплиусов копепод определяли, руководствуясь определителем [Сажина, 1985], процедура подробно описана нами ранее [Seregin, Porova, 2016]. В состав доминирующих таксонов включены те, доля которых составила более 5% от суммарной численности ММ хотя бы в одной из проб.

Результаты количественной обработки проб представляли как концентрацию организмов (экз. м<sup>-3</sup>) в поверхностном слое, подлежащих под ним 0,1–5-метровом и 5–10-метровом слоях. Расчёт численности ММ (в тыс. экз. м<sup>-3</sup>) в слоях 0,1–5 (*Nm*) и 5–10 м (*Nb*) производили по формулам:

$$Nm = (N_5 \times 5 - N_0 \times 0,1) / (h_5 - h_0),$$

$$Nb = (N_{10} \times 10 - N_5 \times 5) / (h_{10} - h_5),$$

где  $N_0$  – численность ММ в поверхностном слое;  $N_5$  – численность в слое 0–5 м,  $N_{10}$  – численность в слое 0–10 м;  $h$  – вертикальная протяжённость слоя.

Обработку полученных данных проводили в программе PRIMER v.5 [Change in marine communities ... , 2014]. Исходные данные по численности ММ для включения в общую матрицу результатов были предварительно трансформированы путём вычисления квадратного корня для снижения возможного эффекта влияния значительно более высокой численности массовых видов. Из рассчитываемых в программе индексов видового разнообразия использовали несколько наиболее употребляемых [Мэггаран, 1992; Шитиков, Розенберг, Зинченко, 2003]:

1) информационный индекс Шеннона:  $H' = -\sum p_i \cdot \ln p_i$ , где  $H'$  – численное значение индекса Шеннона;  $i = 1, 2, \dots, S$  ( $S$  – количество видов);  $p_i$  – доля в пробе особей  $i$ -го вида;  $p_i = n_i/N$  ( $N$  – общая численность);

2) индекс полидоминантности Симпсона:  $1/D = 1/\sum(p_i^2)$ , где  $D$  – вероятность того, что две подряд изъятые особи принадлежат одному виду;

3) индекс выравнимости Пиелу:  $E = H'/H_{\max} = H'/\ln S$ ;

4) индекс видового богатства Маргалефа:  $D_{Mg} = (S - 1)/\ln N$  (прочие обозначения как в индексе Шеннона).

Неоднократно отмечено, что значения многих индексов коррелируют друг с другом. Тем не менее разные индексы могут проявлять неодинаковую чувствительность по отношению к числу видов в сообществе и степени их выравнимости. В частности, общепринято, что индекс Симпсона сильнее зависит от часто встречающихся видов, а индекс Шеннона – от редких видов. У вероятности межвидовых встреч ( $1 - D$ ) и индекса Шеннона число видов является более важным фактором при их количестве менее 10, а при увеличении растет роль эквивалентности [Песенко, 1982; Розенберг, 2007]. Нами ранее показано, что для оценки короткопериодной динамики изменения видового разнообразия сообщества ММ более информативным является индекс Шеннона, который на несколько дней раньше по сравнению с индексом Симпсона ( $PIE = 1 - D$ ) отреагировал на изменение видовой структуры сообщества [Серегин, Попова, 2017]. Оценку трофности локальных акваторий проводили согласно применяемой в схемах комплексного использования и охраны водных ресурсов (КИОВР)<sup>1</sup> градации по средневзвешенным значениям индексов Шеннона для разных слоёв водного столба.

Сходство/различие структуры сообществ ММ на разных станциях, глубинах и в разные моменты времени оценивали по коэффициенту Брэй – Кёртиса. Для графического отображения меры сходства/различия использовали метод многомерного масштабирования (MDS-анализ). Оценку вклада разных видов в сходство/различие структуры ММ на разных станциях и горизонтах отбора проб в разное время проводили с помощью программы Simper из пакета PRIMER v.5.

<sup>1</sup> Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах КИОВР. 2023. URL: <http://www.myshared.ru/slide/369906/>

### Результаты

**Фоновые характеристики среды и метеоусловия.** За период исследования температура поверхностного слоя возросла в разных локациях на 1,0–2,5 °С. Чем дальше вглубь бухты располагались точки отбора проб, тем сильнее проявлялось потепление. На нижележащих горизонтах возрастание температуры было менее выражено. Солёность в большинстве случаев также незначительно повысилась (табл. 1). Скорость ветра в обе даты сбора проб была низкой (см. табл. 1), а направление существенно различалось (рис. 2).

Таблица 1

Координаты станций отбора проб, фоновые характеристики среды и ветровые условия во время отбора в разных участках акватории Севастопольской бухты и прилегающего побережья в мае – июне 2021 г.

Параметры	Номер станции отбора проб					
	1		2		3	
Координаты, ° с. ш. – в. д.	44,618 – 33,498		44,627 – 33,515		44,617 – 33,574	
Месяц	май	июнь	май	июнь	май	июнь
Температура, °С по глубинным слоям						
0 м	18,0	19,0	18,5	20,0	19,4	21,9
5 м	16,7	16,8	18,5	17,8	18,6	19,2
10 м	14,8	16,8	16,8	17,8	18,6	19,7
Солёность, рсу по глубинным слоям						
0 м	18,35	18,23	18,30	18,32	18,35	18,48
5 м	18,35	18,40	18,32	18,34	18,35	18,50
10 м	–	18,55	–	18,39	18,50	18,59
Ветер: скорость, м/с направление	1,0 СЗ	2,0 ЮЮЗ	2,0 СЗ	3,0 ЮЗЗ	5,0 З	3,0 ЮЗ

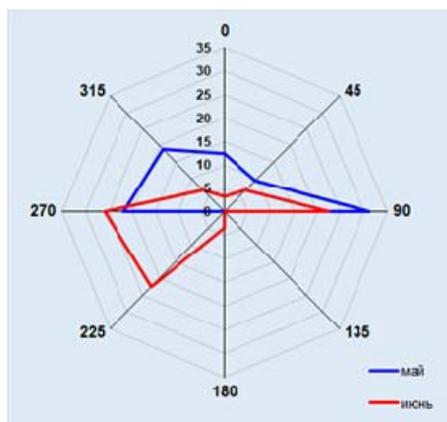


Рис. 2. Розы ветров в дни отбора проб и предшествующие три дня: 24–27.05 и 07–10.06.2021

**Обилие ММ.** Средневзвешенная численность ММ в 10-метровом слое вод в конце мая на исследованном пространстве варьировала от ~10 до более 40 тыс. экз. м<sup>-3</sup>. Направленность изменений показателя в пространстве характеризовалась увеличением по направлению от открытых вод вглубь бух-

ты. Эта закономерность сохранилась и в июне при возрастании численности в 1,5–3,6 раза (табл. 2). При этом максимальное относительное увеличение численности наблюдалось в открытом взморье – в 3,6 раза; в устье бухты и внутри неё – в 1,5–2,5 раза. Абсолютный максимум численности отмечен в июне в поверхностном слое во внутренней части бухты (ст. 3) – более 720 тыс. экз. м<sup>-3</sup>.

Таблица 2

Послойная и общая (в слое 0–10 м) численность метазойного микрозоопланктона (10<sup>3</sup> экз. м<sup>-3</sup>) в разных участках акватории Севастопольской бухты и прилегающего побережья весной 2021 г.

Слой водного столба, м	Номер станции отбора проб, месяц отбора					
	1		2		3	
	май	июнь	май	июнь	май	июнь
Поверхность	64,914	15,596	20,856	45,592	142,931	726,438
0,1–5	9,447	33,804	27,746	66,069	63,984	187,663
5–10	9,372	38,230	28,419	20,397	18,623	12,749
0–10	9,120	32,452	27,061	55,089	36,672	68,729

*Структура сообщества.* В составе ММ в период исследований выделяли рачковую и нерачковую фракции. Первая состояла из науплиусов и копепоидных стадий черноморских копепод рода *Acartia* (*A. clausi* и *A. tonsa*), *Paracalanus parvus* (Claus, 1863), *Pseudocalanus elongatus* (Boeck, 1865), *Centropages ponticus* Karavaev, 1894, *Oithona similis* (Claus, 1866), *Calanus euxinus* Hulsemann, 1991, недавнего вселенца в Чёрное море – теплолюбивого вида копепод *Oithona davisae* Ferari and Orsi, 1984 и гарпактицид. Также в рачковую фракцию входили науплиусы и циприсы усонюгих раков, кладоцеры (*Pleopis polyphemoides* (Leuckart, 1859)) и очень редко малоразмерные *Penilia avirostris* (Dana, 1849). В количественном отношении рачковая фракция доминировала, в большинстве случаев составляя в столбе воды от 70 до 90 % общей численности. Соответственно, на долю нерачкового планктона приходилось не более 30 % общего обилия. В нерачковой фракции доминировали велигеры двустворчатых и брюхоногих моллюсков и личинки полихет; встречались коловратки, личинки аппендикулярий *Oikopleura dioica* Fol, 1872, гребневики (*Beroe ovata* Bruguère, 1789 и *Pleurobrachia pileus* O.F. Müller, 1776), форонид и некоторые другие организмы.

Вклад разных видов и групп ММ в структуру сообществ в локальных акваториях в разные моменты времени представлен на рис. 3. В мае в открытом взморье доминировали *O. similis* (27,5 % численности) и *P. parvus* (25,0 %), а в бухте – представители рода *Acartia* (35,9–53,5 %). Результаты Симпекс-анализа показали, что в мае в направлении от открытых вод внутрь бухты в оценке сходства для каждой из станций увеличивалась роль копепод рода *Acartia* (с 8,8 до более 50 %) и уменьшалась роль *O. similis* и *P. parvus*: с 29 до 5,7 % и с 27 до 0 % соответственно. Основные различия видового состава открытого взморья от вод бухты определялись науплиусами *Acartia* (20–37,8 %), велигерами моллюсков (16,8–35,2 %), науплиусами *O. similis* (8,6–12,4 %) и только на ст. 3 – дополнительно *O. davisae* (12,8 %).

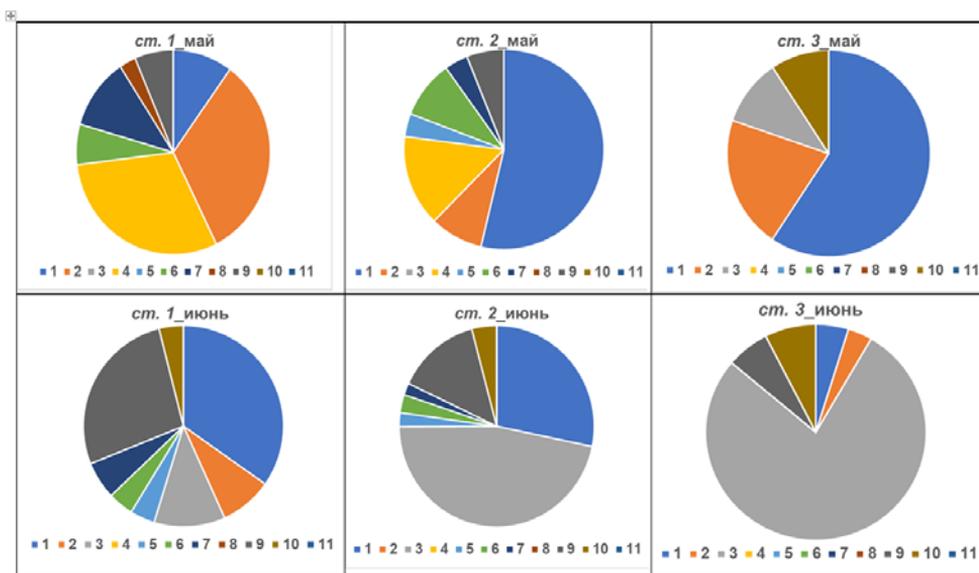


Рис. 3. Вклад основных видов и групп ММ в структуру сообществ в разных участках акватории Севастопольской бухты и прилегающего побережья в весенне-летний период, %. Ст. 1 – открытое взморье, ст. 2 – устье бухты, ст. 3 – внутри бухты. 1 – *Acartia*; 2 – *Oithona similis*; 3 – *O. davisae*; 4 – *Paracalanus parvus*; 5 – *Centropages ponticus*; 6 – Harpacticoida; 7 – Cladocera; 8 – Cirripedia; 9 – Mollusca; 10 – Rotifera; 11 – *Oikopleura dioica*

В июне за пределами бухты наиболее многочисленны были *O. davisae* (34,1%), *O. similis* (17,2%), акарции (10,0%), велигеры двустворчатых и брюхоногих моллюсков (7,2%). Однако основная роль в картине сходства структуры сообщества этого участка акватории по Simper-анализу принадлежала *Acartia* (31,4%), велигерам моллюсков (24,5%), *O. similis* (7,7%); на долю *O. davisae* приходилось 10,4%. Внутри бухты доля влияния вида-вселенца на структуру сообщества значительно возрастала как для отдельных станций 2 и 3 (42,1 и 71,2% в мере сходства), так и при сравнении их между собой (44,5 и 73,5% в мере различий). Причём роль вселенца возрастала по направлению вглубь бухты.

MDS-анализ, визуализирующий «карту» ранжированных значений сходства/различия между данными о численности и видовом составе ММ, показал, что наибольший разброс значений характерен для поверхностного слоя при послойном сравнении отобранных проб и для станции в глубине Севастопольской бухты при сравнении отдельных станций между собой (рис. 4, а, б).

Видовое разнообразие сообщества ММ в весенний период в целом характеризовалось умеренно высокими величинами использованных индексов (табл. 3). Наибольшим видовым богатством на всех станциях характеризовался средний слой вод. В пространственном отношении уменьшение видового разнообразия наблюдалось в направлении от открытого взморья внутрь бухты. В согласии с градицией оценок трофического статуса водных объек-

тов в схемах КИОВР открытое взморье соответствовало в мае олиготрофным водам, а в июне – переходным от олиготрофных к мезотрофным, статус вод в устье бухты характеризовался как олиготрофный на грани перехода в мезотрофный в начале наблюдений и мезотрофно-эвтрофный – в конце, а во внутренней части бухты соответственно как мезотрофный и эвтрофный.

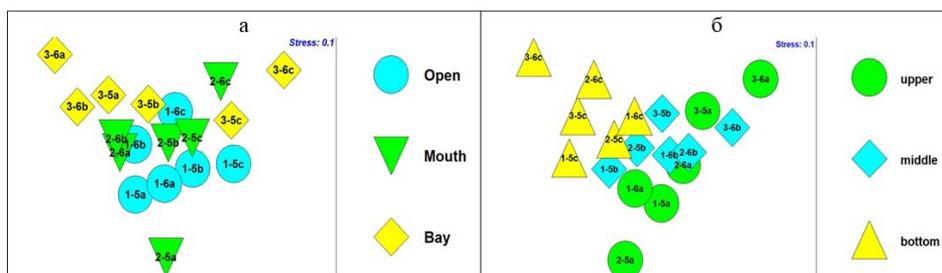


Рис. 4. Графический (2D) результат MDS-анализа структуры сообщества ММ: а – в разных локальных акваториях; б – в разных слоях воды (а – 0 м; б – 0,1–5 м; с – 5–10 м)

Таблица 3

Средневзвешенные индексы видового разнообразия сообществ метазойного микрозоопланктона в мае – июне 2021 г. в разных участках Севастопольской бухты и прилегающего побережья

Индекс разнообразия	Номер станции отбора проб, месяц отбора					
	1		2		3	
	май	июнь	май	июнь	май	июнь
Индекс Шеннона	2,20	1,89	1,95	1,57	1,76	1,28
Индекс полидоминантности	6,72	3,98	4,11	2,86	4,09	2,42
Индекс Пиелу	0,74	0,61	0,66	0,52	0,61	0,46
Индекс Маргалефа	2,01	2,04	1,80	1,89	1,56	1,47

### Обсуждение

Современный гидрологический и гидрохимический режим Севастопольской бухты и орография окружающей её береговой зоны определяют естественный фон функционирования экосистемы морской акватории, который сформировался в результате влияния природных факторов и длительного антропогенного воздействия. В частности, в её пространстве выделены зоны с разной степенью загрязнения/трофности, образующие градиент вдоль основной акватории бухты.

Максимальное повышение температуры воды в разных акваториях наблюдалось в поверхностном слое: на 1,0–2,5 °С (в среднем слое на 0,1–1,0 °С, в придонном слое на 1,0–2,0 °С) с тенденцией возрастания вглубь бухты. В придонном слое наблюдалась почти обратная зависимость: вне бухты температура возросла на два градуса, а в бухте – на один градус. Наименьшие температурные изменения были характерны для промежуточного слоя вод. Этот же слой характеризовался более высокими показателями сходства в структуре сообществ ММ на разных станциях в противоположность поверхностному слою (см. рис. 4, б). Известно, что Севастопольская бухта характеризуется

двухслойной вертикальной структурой течений: в поверхностном слое течение направлено на восток и несёт воды открытого моря внутрь бухты. В придонном слое метаморфизированные (в результате смешивания речных и морских вод) воды движутся к выходу из бухты на запад [Течения в Севастопольской ... , 2014]. Вероятно, эта структура и определяет более высокую консервативность промежуточного слоя вод.

Температура является ключевым фактором, воздействующим на скорость большинства физиологических процессов экотермных планктонных организмов (скорости роста, продукции и др.) [Life in a warming ... , 2014] и структуру их сообществ. Соответственно градиенту увеличения температуры воды в пространстве изучаемой акватории в период исследований наблюдались и различия общей численности сообщества ММ, наиболее выраженные в июне. Ранее было показано, что при весенне-летнем прогреве прибрежных черноморских вод до 18–20 °С начинается активное развитие популяции теплолюбивой копеподы-вселенца *Oithona davisae* [Seregin, Popova, 2016; Adaptive Strategy ... , 2016]. В короткий срок этот вид становится доминирующим в сообществе ММ, определяя значительное возрастание его общей численности [Серегин, Попова, 2017].

Связь изменений в сообществе ММ с температурным фактором наблюдается и при анализе структуры сообщества по вертикали водного столба. Прослеживается общая тенденция уменьшения различий между верхними слоями по мере потепления. При этом наблюдаются и локальные различия между акваториями. В глубине бухты потепление вод происходит раньше, максимальные различия (коэффициент сходства Брея – Кёртиса равен 70–86 %) регистрировались между более холодным придонным слоем и верхними слоями уже в мае. В открытом взморье этот процесс тормозился более медленным прогревом вод (см. табл. 1): «сближения» структуры сообщества между верхними слоями в мае ещё не наблюдалось. На станции в устье бухты, граничащем с открытыми водами, в мае наибольшие различия наблюдались между тонким поверхностным слоем и двумя нижними (коэффициент Брея – Кёртиса 73–74 %), а в июне – в процессе прогрева верхних слоёв воды – между двумя верхними и придонным (коэффициент Брея – Кёртиса 84–88 %).

Сравнение структуры сообществ между станциями показало, что их сходство с открытыми водами было тем выше, чем ближе к устью бухты располагались станции внутри бухты; разброс данных для станции в глубине бухты оказался наибольшим (см. рис. 4, а). Такая зависимость была характерна и для нижнего (5–10 м), и для вышерасположенного слоя 0,1–5 м и в мае, и в июне. Исключения могли наблюдаться в узком поверхностном слое, весьма подверженном краткосрочным изменениям под действием внешних факторов, что подтверждает MDS-анализ: наибольший разброс данных был характерен именно для поверхностного слоя (см. рис. 4, б). Одним из таких высоко вариабельных факторов является ветер. Для Севастопольской бухты ветровой режим является одним из основных, определяющих циркуляцию вод [Гидролого-гидрохимический режим ... , 2000, 2006]. Вариации в силе и направленности ветра могут приводить к изменению пространственного

распределения температуры и солёности (как маркеров водных масс) в течение нескольких часов. Существенное влияние ветра на перераспределение численности ММ в поверхностном слое Севастопольской бухты отмечено нами ранее [Серегин, Попова, 2017], а также документировано для микро- и фитопланктона в ряде исследований в Адриатическом море [Short-term variation ... , 2008; Short-term dynamics ... , 2011].

Рост общей численности ММ по мере потепления сопровождался изменениями в структуре сообщества. Численность рачковой фракции не претерпела существенных изменений в большинстве локальных акваторий, составляя от 70 до 90 % общей численности ММ. Численность нерачковой фракции ММ в прибрежных водах вне бухты возросла, в устье бухты осталась без изменений, а внутри бухты уменьшилась.

Значительные изменения наблюдались в соотношении видов Copepoda, составлявших основную долю рачковой фракции и общей численности ММ. Главную роль в этих изменениях играл теплолюбивый вселенец *Oithona davisae*. Если в конце мая его доля в 10-метровом слое вод составляла 4 % от средневзвешенной численности копепод в открытом взморье, 7,2 % в устье бухты и только в удалённой от устья внутренней части бухты превышала 11 %, то через две недели она составляла 39–43 % во всех локальных акваториях бухты. Доля других видов копепод заметно снизилась даже при увеличении абсолютной численности отдельных видов. Максимумы численности вселенца в ряду локальных акваторий от открытых вод к внутренним водам бухты возрастали более чем на порядок: с 23 до 550 тыс. экз. м<sup>-3</sup>. Таким образом, направленность изменений численности *O. davisae* в исследованных локальных акваториях совпадает с увеличением уровня их загрязнения и трофности. Прибрежные мелководные и хорошо прогреваемые воды – основной биотоп *O. davisae* как в исконных, так и во вновь заселённых морских регионах. Известно, что виды семейства Oithonidae могут являться биоиндикаторами антропогенного загрязнения, поскольку их высокая численность часто связана с повышенным уровнем антропогенного прессинга на морские прибрежные акватории [Proposition of indicators ... , 2016; Copepod assemblages ... , 2018]. Аналогичные изменения в соотношении вида вселенца и аборигенных видов копепод были отмечены нами при исследовании короткопериодной изменчивости их численности в весенне-летний период [Серегин, Попова, 2017].

Причиной эвтрофирования водоёмов является избыточное поступление в них биогенных элементов и легкоокисляемой органики. В Севастопольской бухте главными источниками таких поступлений являются речной сток, сток ливневых вод с окружающей территории и промышленно-бытовые сточные воды [Гидролого-гидрохимический режим ... , 2006; Sources of coastal ... , 2019; Вержевская, Миньковская, 2020]. Вторичным источником органики является фитопланктон, массово развивающийся при избытке биогенов. Таким образом, антропогенная составляющая оказывает преобладающее воздействие на экологическое состояние Севастопольской бухты [Orekhova, Varenik, 2018].

Использование индексов биоразнообразия для опосредованной оценки трофности отдельных водоёмов или локальных акваторий основано на связи их экологического состояния и видового разнообразия населяющих их организмов. Во-первых, в природоохранной сфере принимается в качестве аксиомы, что богатые видами сообщества организмов всегда предпочтительнее обеднённых, поскольку многочисленные факты указывают на тесную, пусть и не всегда однозначную связь видовой структуры с обилием, продуктивностью и устойчивостью экосистем [Бигон, Харпер, Таунсенд, 1989; Мэггаран, 1992]. Во-вторых, мониторинг окружающей среды, основанный на методах биоиндикации, исходит из отрицательной корреляции между уровнем загрязнения и биоразнообразием. В обоих случаях биоразнообразие характеризует степень благополучия экосистем. Использование индексов видового разнообразия применяется в схемах КИОВР<sup>2</sup>: индексы Шеннона, Пиелу и Симпсона (индекс полидоминантности) для зоопланктонного сообщества хорошо отражали трофический уровень озёр Чебаркульской группы в Челябинской области [Пузнецките, Марушкина, 2005]. В предыдущих исследованиях нами показано, что величины индексов Шеннона и полидоминантности, рассчитанные для сообщества метазойного микрозоопланктона в летний и осенний периоды, соответствовали как изменениям трофности локальных акваторий севастопольского побережья в градиенте открытое взморье – бухта, так и их сезонным изменениям. В летний период для открытого взморья был определён олиготрофный статус вод, для устья бухты – мезотрофный, а для внутренней части бухты – переходный от мезотрофного к гипертрофному. В осенний период статус трофности этих акваторий характеризовался, соответственно, как мезотрофный – мезотрофный – переходный к гипертрофному [Серегин, Попова, 2023]. В целом эти оценки совпадают с определениями трофности по индексу E-TRIX, учитывающему концентрацию биогенных элементов, содержание кислорода и биомассу фитопланктона (хлорофилла *a*) и достигающему максимумов в октябре [Губанов, Стельмах, Клименко, 2002; Губанов, Губанова, Родионова, 2015; Слепчук, Хмара, Маньковская, 2017].

Величины индексов видового разнообразия сообщества ММ в исследуемых акваториях в весенний период 2021 г. соответствовали несколько более низким уровням трофности по сравнению с летним и осенним сезонами как в открытом побережье, так и внутри бухты. Рассмотрим вероятные причины. Основным фактором, определяющим трофность акватории Севастопольской бухты, являются неорганические формы азота [Слепчук, Хмара, Маньковская, 2017; Совга, Мезенцева, 2019; Совга, Мезенцева, Слепчук, 2020], а также кремний и фосфаты [Губанов, Губанова, Родионова, 2015]. Следует учесть, что сток реки Чёрной оказывает максимальное влияние на гидрохимический режим бухты в период половодья с декабря по апрель [Орехова, Медведев, Овсянный, 2018]. Рекреационная нагрузка и, соответственно, объём бытовых стоков в исследуемый сезон ещё далеки от максимумов. Так называемый летний пик развития фитопланктона в июле – августе, характерный

<sup>2</sup> Метод оценки качества вод ...

для акваторий под антропогенным прессом и не свойственный открытым районам моря [Сезонные особенности ... , 2007; Stelmakh, Kovrigina, 2021], ещё не наступил. Таким образом, все три основных источника поступления биогенов в изученный период не оказывали максимально отрицательного воздействия на уровень трофности акваторий бухты и видовое разнообразие сообщества ММ. Даже в придонных слоях отсутствовали явления деградации видового и численного состава ММ, как это может наблюдаться в августе – ноябре [Серегин, Попова, 2023] из-за дефицита кислорода, расходуемого в процессе минерализации взвешенного органического вещества [Кондратьев, Видничук, 2020]. Видимо, в силу вышеперечисленных условий весеннего сезона оценки трофического состояния различных акваторий по био-разнообразию сообщества ММ оказались менее высокими по сравнению с летне-осенним периодом. Тем не менее их направленность оставалась той же самой: районам с более высокой загрязнённостью/трофностью соответствовало более низкое биоразнообразие планктонного сообщества.

### **Заключение**

Конец весеннего гидрологического сезона на юго-западном побережье Крыма (Севастопольская бухта и прилегающее открытое взморье) на фоне повышения температуры воды характеризуется значительным возрастанием численности метазойного микрозоопланктона. В конце мая 2021 г. средневзвешенная численность в 10-метровом слое составляла в разных акваториях от 10 до 40 тыс. экз. м<sup>-3</sup>, а в конце 1-й декады июня возросла в 1,5–3,6 раза. В пространственном отношении в оба срока наблюдался тренд увеличения численности от открытых вод вглубь бухты, совпадающий с температурным трендом локальных акваторий. Количественные изменения обилия сопровождалась и во многом определялись изменениями качественного состава ММ. В начале периода основную роль в формировании численности и определении сходства/различия в структуре сообществ играют аборигенные виды копепод, коловратки и велигеры моллюсков. При потеплении воды выше 18–19 °С резко возрастает роль теплолюбивого вселенца *Oithona davisae*. При этом, чем далее вглубь бухты располагаются станции, тем выше абсолютная и относительная численность вида и его роль в структуре сообщества. Изменения показателей обилия, видового разнообразия и структуры сообщества ММ в локальных акваториях отражали изменения их трофического статуса в естественном градиенте открытое взморье – внутреннее пространство Севастопольской бухты. Оценки трофности локальных акваторий севастопольского побережья в конце весеннего гидрологического периода оказались несколько ниже по сравнению с летним и осенним периодами, что находится в соответствии со степенью антропогенного воздействия в разные сезоны.

### **Список литературы**

Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества : в 2 т. М. : Мир, 1989. 667 с.

Вержевская Л. В., Миньковская Р. Я. Структура и динамика антропогенной нагрузки на прибрежную зону Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 2. С. 92–106. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-2-92-106>

Влияние океанографических факторов на экологическое состояние Севастопольской бухты (Черное море) / Л. Н. Репетин, А. Д. Гордина, Е. В. Павлова, А. С. Романов, Е. И. Овсяный // Морской гидрофизический журнал. 2003. № 2. С. 66–80.

Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты в условиях антропогенного воздействия (по наблюдениям 1998–1999 гг.) / Е. И. Овсяный, Р. Б. Кемп, Л. Н. Репетин, А. С. Романов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : МГИ НАН Украины, 2000. С. 79–103.

Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов / В. А. Иванов, Е. И. Овсяный, Л. Н. Репетин, А. С. Романов, О. Г. Игнатъева // МГИ НАН Украины. Севастополь, 2006. 90 с.

Губанов В. И., Губанова А. Д., Родионова Н. Ю. Диагноз трофности вод Севастопольской бухты и взморья г. Севастополя // Актуальные проблемы аквакультуры в современный период : материалы Междунар. науч. конф. Ростов-на-Дону : АЗНИИРХ, 2015. С. 64–67.

Губанов В. И., Стельмах Л. В., Клименко Н. П. Комплексные оценки качества вод севастопольского взморья (Черное море) // Экология моря. 2002. Вып. 62. С. 76–80.

Дятлов С. Е. Роль и место биотестирования в комплексном мониторинге загрязнения морской среды // Экология моря. 2000. Вып. 51. С. 83–87.

Кондратьев С. И., Видничук А. В. Локальная сезонная гипоксия и образование сероводорода в придонных водах Севастопольской бухты в 2009–2019 годах // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 2. С. 107–212.

Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М. : Мир, 1992. 181 с.

Орехова Н. А., Медведев Е. В., Овсяный Е. И. Влияние вод реки Черной на гидрохимический режим Севастопольской бухты (Черное море) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2018. Вып. 3. С. 84–91.

Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М. : Наука, 1982. 288 с.

Пузнечикте К. С., Марушкина Е. В. Применение индексов альфа-разнообразия зоопланктонных сообществ для оценки трофического статуса водоемов (на примере некоторых озер Чебаркульской группы) // Вестник Челябинского государственного университета. Серия 12, Экология. Природопользование. 2005. № 1 (1). С. 22–25.

Розенберг Г. С. Несколько слов об индексе разнообразия Симпсона. Самарская Лука. 2007. Т. 16, № 3 (21). С. 581–584.

Сажина Л. И. Науплиусы массовых видов пелагических копепод Мирового океана. Киев : Наукова думка, 1985. 238 с.

Сезонные особенности гидролого-гидрохимической структуры вод Севастопольской бухты, микропланктон и распределение его биохимических компонент / А. С. Лопухин, Е. И. Овсяный, А. С. Романов, С. А. Ковардаков, И. В. Сысоева, Ю. В. Брянцева, О. А. Рылькова, Н. А. Гаврилова, В. В. Губанов, С. А. Лопухин, Ю. Г. Каменир, К. Гомис, Д. Г. Вильсон, Р. Б. Кемп // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь : МГИ НАН Украины, 2007. Вып. 15. С. 74–109.

Серегин С. А., Попова Е. В. Короткопериодная изменчивость метазойного микрозоопланктона в прибрежье Чёрного моря: закономерности и определяющие факторы // Морской биологический журнал. 2017. Т. 2. № 1. С. 56–65. URL: <https://marine-biology.ru/mbj/article/view/68>

Серегин С. А., Попова Е. В. Обилие, видовое разнообразие и структура сообщества метазойного микрозоопланктона в градиенте бухта–взморье (на примере Севастопольской бухты) // Морской биологический журнал. 2023. Т. 8, № 2. С. 74–90. <https://doi.org/10.21072/mbj.2023.08.2.05>

Слепчук К. А., Хмара Т. В., Маньковская Е. В. Сравнительная оценка уровня трофности Севастопольской и Южной бухт с использованием индекса E-TRIX // Морской гидрофизический журнал. 2017. № 5. С. 67–78. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2017-5-67-78>

Совга Е. Е., Мезенцева И. В. Экологическое состояние центральной части акватории Севастопольской бухты в зависимости от уровня антропогенной нагрузки. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2019. № 3. С. 52–60.

Совга Е. Е., Мезенцева И. В., Слепчук К. А. Сравнение ассимиляционной емкости и индекса трофности различных частей акватории Севастопольской бухты // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2020. № 3. С. 63–76. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-3-63-76>

Течения в Севастопольской бухте по данным ADCP-наблюдений, ноябрь 2014 г. / Е. М. Лемешко, А. Н. Морозов, С. А. Шутов, В. В. Зима, А. А. Чепыженко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2014. № 28. С. 25–30.

Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change / D. U. Hooper, E. C. Adair, B. J. Cardinale, J. E. K. Byrnes, B. A. Hungate, K. L. Matulich, A. Gonzalez, J. E. Duffy, L. Gamfeldt, M. I. O'Connor // Nature. 2012. Vol. 486. P. 105–108. <https://doi.org/10.1038/nature11118>

Adaptive Strategy of Thermophilic *Oithona davisae* in the Cold Black Sea Environment / L. S. Svetlichny, E. S. Hubareva, A. N. Khanaychenko, A. Gubanov, D. Altukhov, S. Besiktepe // TrJFAS. 2016. Vol. 16. P. 77–90. [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16\\_1\\_09](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16_1_09)

Biodiversity loss and its impact on humanity / B. J. Cardinale, J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G. M. Mace, D. Tilman, D. A. Wardle, A. P. Kinzig, G. C. Daily, M. Loreau, J. B. Grace, A. Larigauderie, D. S. Srivastava, S. Naeem // Nature. 2012. Vol. 486. P. 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>

Calbet A. The trophic roles of microzooplankton in marine systems // ICES Journal of Marine Science. 2008. Vol. 65. P. 325–331. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn013>

Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation / K. R. Clarke, R. N. Gorley, P. J. Somerfield, R. M. Warwick // Plymouth : PRIMER-E, 2014. 260 p.

Copepod assemblages as a bioindicator of environmental quality in three coastal areas under contrasted anthropogenic inputs [Gulf of Gabes, Tunisia] / Z. Drira, S. Kmiha-Megdiche, H. Sahnoun, M. Tedetti, M. Pagano, H. Ayadi // J. Mar. Biol. Assoc. U. K. 2018. Vol. 98, N 8. P. 1889–1905. <https://doi.org/10.1017/S0025315417001515>

ICES Zooplankton methodology manual / R. P. Harris, P. H. Wiebe, J. Lenz, H. R. Skjoldal, M. Huntley (Eds). Bodmin ; Cornwall : Acad. Press, 2000. 684 p.

Life in a Warming Ocean: Thermal Thresholds and Metabolic Balance of Arctic Zooplankton / M. Alcaraz, J. Felipe, U. Grote, E. Arashkevich, A. Nikishina // J. Plankton Res. 2014. Vol. 36. P. 3–10. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbt111>

Orekhova N. A., Varenik A. V. Current Hydrochemical Regime of the Sevastopol Bay // Phys. Oceanogr. 2018. Vol. 25, N 2. P. 124–135. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2018-2-124-135>

Proposition of indicators of anthropogenic pressure in the Bay of Toulon (Mediterranean Sea) based on zooplankton time-series / B. Serrano, A. Aubert, L. Stemann, N. Rossi, J.-L. Jamet // Continental Shelf Res. 2016. Vol. 121. P. 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.01.016>

Seregin S. A., Popova E. V. Long-term dynamics of abundance of the copepod-invader, *Oithona davisae*, in the coastal waters of the Black Sea // Russ. J. Biol. Invas. 2016. Vol. 7, N 4. P. 374–382. <https://doi.org/10.1134/S207511171604007X>

Seregin S. A., Popova E. V. Different-Scale Variations in the Abundance and Species Diversity of Metazoan Microzooplankton in the Coastal Zone of the Black Sea // Water Resources. 2019. Vol. 46, N 5. P. 769–779. <https://doi.org/10.1134/S009780781905018X>

Short-term dynamics of microplankton abundance and diversity in NW Mediterranean Sea during late summer conditions (DYNAPROC 2 cruise; 2004) / S. Lasternas, A. Tunin-Ley, F. Ibañez, V. Andersen, M.-D. Pizay, R. Lemée // Biogeosciences. 2011. Vol. 8, Is. 3. P. 743–761. <https://doi.org/10.5194/bg-8-743-2011>

Short-term variation of phytoplankton assemblages in Mediterranean coastal waters recorded with an automated submerged flow cytometer / M. Thyssen, D. Mathieu, N. Garcia, M. Denis // J. Plankton Res. 2008. Vol. 30, Is. 9. P. 1027–1040. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbn054>

Sources of coastal waters pollution near Sevastopol / V. M. Gruzinov, N. N. Dyakov, I. V. Mezenceva, Yu. A. Malchenko, A. N. Korshenko, N. V. Zhohova // Oceanology. 2019. Vol. 59, N 4. P. 523–532. <https://doi.org/10.1134/S0001437019040076>

Stelmakh L., Kovrigina N. Phytoplankton Growth Rate and Microzooplankton Grazing under Conditions of Climatic Changes and Anthropogenic Pollution in the Coastal Waters of the Black Sea (Sevastopol Region) // Water. 2021. Vol. 13, Is. 22. 3230. <https://doi.org/10.3390/w13223230>

## References

Bigon M., Kharper Dzh., Taunsend K. *Ekologiya. Osobi, populyatsii i soobshchestva* [Ecology. Individuals, populations and communities]. Moscow, Mir Publ., 1989. 667 pp. (in Russian)

Verzhevskaya L.V., Minkovskaya R.Ya. Struktura i dinamika antropogennoy nagruzki na pribrezhnuyu zonu Sevastopolskogo regiona [Structure and dynamics of anthropogenic load on the coastal zone of the Sevastopol region]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoi i shelfovoi zon morya* [Ecological Safety of the Coastal and Shelf Zones of the Sea], 2020, no. 2, pp. 92-106. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-2-92-106> (in Russian)

Repetin L.N., Gordina A.D., Pavlova E.V., Romanov A.S., Ovsyanyi E.I. Vliyanie okeanograficheskikh faktorov na ekologicheskoe sostoyanie Sevastopolskoi bukhty (Chernoe more) [Influence of oceanographic factors on the ecological state of the Sevastopol Bay (Black Sea)]. *Morskoi gidrofizicheskii zhurnal* [Physical Oceanography], 2003, no. 2, pp. 66-80. (in Russian)

Ovsyanyi E.I., Kemp R.B., Repetin L.N., Romanov A.S. Gidrologo-gidrokhimicheskii rezhim Sevastopolskoi bukhty v usloviyakh antropogennoy vozdeistviya (po nablyudeniym 1998-1999 gg). [Hydrological and hydrochemical regime of the Sevastopol Bay under conditions of anthropogenic impact (according to observations in 1998-1999)]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoi i shelfovoi zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources]. Sevastopol, MHI NAS of Ukraine Publ., 2000, is. 1, pp. 79-103. (in Russian)

Ivanov V.A., Ovsyanyi E.I., Repetin L.N., Romanov A.S., Ignatyeva O.G. *Gidrologo-gidrokhimicheskii rezhim Sevastopolskoi bukhty i ego izmeneniya pod vozdeistviem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov* [Hydrological and hydrochemical regime of the Sevastopol Bay and its changes under the influence of climatic and anthropogenic factors]. MGI NAS of Ukraine. Sevastopol, 2006. 90 p. (in Russian)

Gubanov V.I., Stelmah L.V., Klimenko N.P. Kompleksnye ocenki kachestva vod sevastopolskogo vzmor'ja (Chernoe more) [Comprehensive assessment of the water quality of the Sevastopol seaside (Black Sea)]. *Ekologiya morya*. [Ecology of Sea], 2002, is. 62, pp. 76-80. (in Russian)

Gubanov V.I., Gubanova A.D., Rodionova N.Yu. Diagnostika trofnosti vod Sevastopolskoi bukhty i vzmor'ja g. Sevastopol'ja [Diagnosis of water trophicity in the Sevastopol Bay and its offshore]. *Aktual'nye problemy akvakultury v sovremennyy period* [Current issues in aquaculture]. Proc. Int. Conf., Rostov-on-Don, Russia. Rostov-on-Don, 2015, pp. 64-67. (in Russian)

Dyatlov S.E. Rol i mesto biotestirovaniya v kompleksnom monitoringe zagryazneniya morskoi credy [The role and place of biotesting in the integrated monitoring of marine pollution]. *Ekologiya morya* [Ecology of Sea], 2000, is. 51, pp. 83-87. (in Russian)

Kondratyev S.I., Vidnichuk A.V. Lokalnaya sezonnaya gipoksiya i obrazovanie serovodoroda v pridonnykh vodakh Sevastopolskoi bukhty v 2009–2019 godakh [Local seasonal hypoxia and the formation of hydrogen sulfide in the bottom waters of the Sevastopol Bay in 2009-2019]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoi i shelfovoi zon morya* [Ecological Safety of the Coastal and Shelf Zones of the Sea], 2020, no. 2, pp. 107-212. (in Russian)

Magurran E. *Ekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie* [Ecological diversity and its measurement]. Moscow, Mir Publ., 1992, 181 p. (in Russian)

Orekhova N.A., Medvedev E.V., Ovsyanyi E.I. Vliyanie vod reki Chernoi na gidrokhimicheskii rezhim Sevastopolskoi bukhty (Chernoe more) [Influence of the waters of the Chernaya River on the hydrochemical regime of the Sevastopol Bay (Black Sea)]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoi i shelfovoi zon morya* [Ecological Safety of the Coastal and Shelf Zones of the Sea], 2018, is. 3, pp. 84-91. (in Russian)

Pesenko Yu.A. *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* [Principles and methods of quantitative analysis in faunistic research]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 288 p. (in Russian)

Puznetskite K.S., Marushkina E.V. Primenenie indeksov alfa-raznoobraziya zooplanktonnykh soobshchestv dlya otsenki troficheskogo statusa vodoemov (na primere nekotorykh ozer chebarkul'skoi gruppy) [Application of indices of alpha-diversity of zooplankton communities to assess the trophic status of water bodies (on the example of some lakes of the Chebarkul group)]. *Bull. Chelybinsk St. Univ. Ser. 12. Ecol., Nat. Manag.*, 2005, no. 1 (1), pp. 22-25. (in Russian)

Rozenberg G. S. Neskolko slov ob indekse raznoobraziya Simpsona [A few words about the Simpson Diversity Index]. *Samarskaya Luka*, 2007, vol.16, no. 3 [21], pp. 581-584. (in Russian)

Sazhina L.I. *Naupliusy massovykh vidov pelagicheskikh kopepod mirovogo okeana*. [Nauplii of mass species of pelagic copepods of the World Ocean]. Kyiv, Naukova Dumka Publ., 1985, 238 p. (in Russian)

Lopukhin A.S., Ovsyanyi E.I., Romanov A.S., Kovardakov S.A., Sysoeva I.V., Bryantseva Yu.V., Rylkova O.A., Gavrilova N.A., Gubanov V.V., Lopukhin S.A., Kamenir Yu.G., Gomis K., Vil'son D.G., Kemp R.B. Sezonnye osobennosti gidrologo-gidrokhimicheskoi struktury vod Sevastopol'skoi bukhty, mikroplankton i raspredelenie ego biokhimicheskikh component. [Seasonal features of the hydrological and hydrochemical structure of the waters of the Sevastopol Bay, microplankton and the distribution of its biochemical components]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoi i shelfovoi zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa* [Ecological safety of coastal and shelf zones and integrated use of shelf resources]. MGI NAS of Ukraine, Sevastopol, 2007, is. 15, pp. 74-109. (in Russian)

Seregin S.A., Popova E.V. Korotkoperiodnaya izmenchivost' metazoynogo mikrozooplanktona v pribrezh'e Chernogo morya: zakonomernosti i opredelyayushchie faktory [Short-term variability of metazoan microzooplankton in the Black Sea coast: regularities and determining factors]. *Mar. Biol. J.*, 2017, vol. 2, no. 1, pp. 56-65. Available at: <https://marine-biology.ru/mbj/article/view/68> (in Russian)

Seregin S.A., Popova E.V. Obilie, vidovoe raznoobrazie i struktura soobshchestva metazoynogo mikrozooplanktona v gradiente bukhta-vzmor'e (na primere Sevastopolskoi bukhty) [Abundance, species diversity and community structure of metazoan microzooplankton in the bay-seaside gradient (on the example of the Sevastopol Bay)]. *Mar. Biol. J.*, 2023, vol. 8, no. 2, pp. 74-90. <https://doi.org/10.21072/mbj.2023.08.2.05> (in Russian)

Slepchuk K.A., Khmara T.V., Mankovskaya E.V. Sravnitel'naya otsenka urovnya trofnosti Sevastopolskoi i Yuzhnoi bukht s ispolzovaniem indeksa E-TRIX [Comparative assessment of the trophic level of the Sevastopol and Yuzhnaya bays using the E-TRIX index]. *Morckoi gidrofizicheskii zhurnal* [Marine Hydrophysical Journal], 2017, no. 5, pp. 67-78. <https://doi.org/10.22449/0233-7584-2017-5-67-78> (in Russian)

Sovga E.E., Mezentseva I.V. Ekologicheskoe sostoyanie tsentralnoi chasti akvatorii Sevastopolskoi bukhty v zavisimosti ot urovnya antropogennoi nagruzki [Ecological state of the central part of the water area of the Sevastopol Bay depending on the level of anthropogenic load]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoi i shelfovoi zon morya* [Ecological Safety of the Coastal and Shelf Zones of the Sea], 2019, no. 3, pp. 52-60. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2019-3-52-60> (in Russian)

Sovga E.E., Mezentseva I.V., Slepchuk K.A. Sravnenie assimilatsionnoi emkosti i indeksa trofnosti razlichnykh chastei akvatorii Sevastopolskoi bukhty [Comparison of assimilation capacity and trophic index of various parts of the water area of the Sevastopol Bay]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoi i shelfovoi zon morya* [Ecological Safety of the Coastal and Shelf Zones of the Sea], 2020, no. 3, pp. 63-76. <https://doi.org/10.22449/2413-5577-2020-3-63-76> (in Russian)

Lemeshko E.M., Morozov A.N., Shutov S.A., Zima V.V., Chepyzhenko A.A. Tcheniya v Sevastopolskoi bukhte po dannym ADCP-nablyudenii, noyabr 2014 g. [Currents in the Sevastopol Bay according to ADCP observations, November 2014]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoi i shelfovoi zon i kompleksnoe ispolzovanie resursov shelfa* [Ecological Safety of the Coastal and Shelf Zones of the Sea], 2014, is. 28, pp. 25-30. (in Russian)

Shitikov V.K., Rozenberg G.S., Zinchenko T.D. *Kolichestvennaya gidroekologiya: metody sistemnoi identifikatsii* [Quantitative hydroecology: methods of system identification]. Togliatti, Inst. Ecol. Volga Basin RAS Publ., 2003, 463 p. (in Russian)

Hooper D.U., Adair E.C., Cardinale B.J., Byrnes J.E.K., Hungate B.A., Matulich K.L., Gonzalez A., Duffy J.E., Gamfeldt L., O'Connor M.I. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*, 2012, vol. 486, pp. 105-108. <https://doi.org/10.1038/nature11118>

Svetlichny L.S., Hubareva E.S., Khanaychenko A.N., Gubanov A., Altukhov D., Besiktepe S. Adaptive Strategy of Thermophilic *Oithona davisae* in the Cold Black Sea Environment. *TrJFAS*, 2016, vol. 16, pp. 77-90. [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16\\_1\\_09](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v16_1_09)

Cardinale B.J., Duffy J.E., Gonzalez A., Hooper D.U., Perrings Ch., Venail P., Narwani A., Mace G.M., Tilman D., Wardle D.A., Kinzig A.P., Daily G.C., Loreau M., Grace J.B., Larigauderie A., Srivastava D.S., Naeem Sh. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 2012, vol. 486, pp. 59-67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>

Calbet A. The trophic roles of microzooplankton in marine systems. *ICES Journal of Marine Science*, 2008, vol. 65, pp. 325-331. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn013>

Clarke K.R., Gorley R.N., Somerfield P.J., Warwick R.M. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Plymouth, PRIMER-E, 2014, 260 p.

Drira Z., Kmiha-Megdiche S., Sahnoun H., Tedetti M., Pagano M., Ayadi H. Copepod assemblages as a bioindicator of environmental quality in three coastal areas under contrasted anthropogenic inputs [Gulf of Gabes, Tunisia]. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 2018, vol. 98, sp. is. 8, pp. 1889-1905. <https://doi.org/10.1017/S0025315417001515>

*ICES Zooplankton methodology manual*. Harris R.P., Wiebe P.H., Lenz J., Skjoldal H.R., Huntley M. (eds.). Bodmin; Cornwall, Acad. Press, 2000, 684 p.

Alcaraz M., Felipe J., Grote U., Arashkevich E., Nikishina A. Life in a Warming Ocean: Thermal Thresholds and Metabolic Balance of Arctic Zooplankton. *J. Plankton Res.*, 2014, vol. 36, pp. 3-10. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbt111>

Orekhova N.A., Varenik A.V. Current Hydrochemical Regime of the Sevastopol Bay. *Phys. Oceanogr.*, 2018, vol. 25, no. 2, pp. 124-135. <https://doi.org/10.22449/1573-160X-2018-2-124-135>

Serranito B., Aubert A., Stemann L., Rossi N., Jamet J.-L. Proposition of indicators of anthropogenic pressure in the Bay of Toulon (Mediterranean Sea) based on zooplankton time-series. *Continental Shelf Res.*, 2016, vol. 121, pp. 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.01.016>

Seregin S.A., Popova E.V. Long-term dynamics of abundance of the copepod-invader, *Oithona davisae*, in the coastal waters of the Black Sea. *Russ. J. Biol. Invas.*, 2016, vol. 7, no. 4, pp. 374-382. <https://doi.org/10.1134/S207511171604007X>

Seregin S.A., Popova E.V. Different-Scale Variations in the Abundance and Species Diversity of Metazoan Microzooplankton in the Coastal Zone of the Black Sea. *Water Resources*, 2019, vol. 46, no. 5, pp. 769-779. <https://doi.org/10.1134/S009780781905018X>

Lasternas S., Tunin-Ley A., Ibañez F., Andersen V., Pizay M.-D., Lemée R. Short-term dynamics of microplankton abundance and diversity in NW Mediterranean Sea during late summer conditions (DYNAPROC 2 cruise; 2004). *Biogeosciences*, 2011, vol. 8, is. 3, pp. 743-761. <https://doi.org/10.5194/bg-8-743-2011>

Thyssen M., Mathieu D., Garcia N., Denis M. Short-term variation of phytoplankton assemblages in Mediterranean coastal waters recorded with an automated submerged flow cytometer. *J. Plankt. Res.*, 2008, vol. 30, is. 9, pp. 1027-1040. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbn054>

Zhohova N.V. Sources of coastal waters pollution near Sevastopol. *Oceanology*, 2019, vol. 59, no. 4, pp. 523-532. <https://doi.org/10.1134/S0001437019040076>

Stelmakh L., Kovrigina N. Phytoplankton Growth Rate and Microzooplankton Grazing under Conditions of Climatic Changes and Anthropogenic Pollution in the Coastal Waters of the Black Sea (Sevastopol Region). *Water*, 2021, vol. 13, is. 22, 3230. <https://doi.org/10.3390/w13223230>

#### Сведения об авторах

##### **Серегин Сергей Александрович**

кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник  
Институт биологии южных морей  
им. А. О. Ковалевского РАН  
Россия, 299011, г. Севастополь,  
просп. Нахимова, 2  
e-mail: serg-seryogin@yandex.ru

##### **Попова Елена Викторовна**

ведущий инженер  
Институт биологии южных морей  
им. А. О. Ковалевского РАН  
Россия, 299011, г. Севастополь,  
просп. Нахимова, 2  
e-mail: el-popova@yandex.ru

#### Information about the authors

##### **Seregin Sergei Alexandrovich**

Candidate of Sciences (Biology),  
Senior Research Scientist  
Institute of Biology of the Southern Seas named  
after A.O. Kovalevsky RAS  
2, Nakhimov ave., Sevastopol, 299011,  
Russian Federation  
e-mail: serg-seryogin@yandex.ru

##### **Popova Elena Viktorovna**

Leading Engineer  
Institute of Biology of the Southern Seas named  
after A.O. Kovalevsky RAS  
2, Nakhimov ave., Sevastopol, 299011,  
Russian Federation  
e-mail: el-popova@yandex.ru

Статья поступила в редакцию **02.10.2023**; одобрена после рецензирования **12.01.2024**; принята к публикации **19.01.2024**  
Submitted **October, 02, 2023**; approved after reviewing **January, 12, 2024**; accepted for publication **January, 19, 2024**