



УДК 574.583:579:504.064.3(262.5)

## КОРОТКОПЕРИОДНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ МЕТАЗОЙНОГО МИКРОЗООПЛАНКТОНА В ПРИБРЕЖЬЕ ЧЁРНОГО МОРЯ: ЗАКОНОМЕРНОСТИ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ

© 2017 г. С. А. Серегин, канд. биол. наук, с. н. с., Е. В. Попова, вед. инж.,

Институт морских биологических исследований им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
E-mail: [serg-seryogin@yandex.ru](mailto:serg-seryogin@yandex.ru)

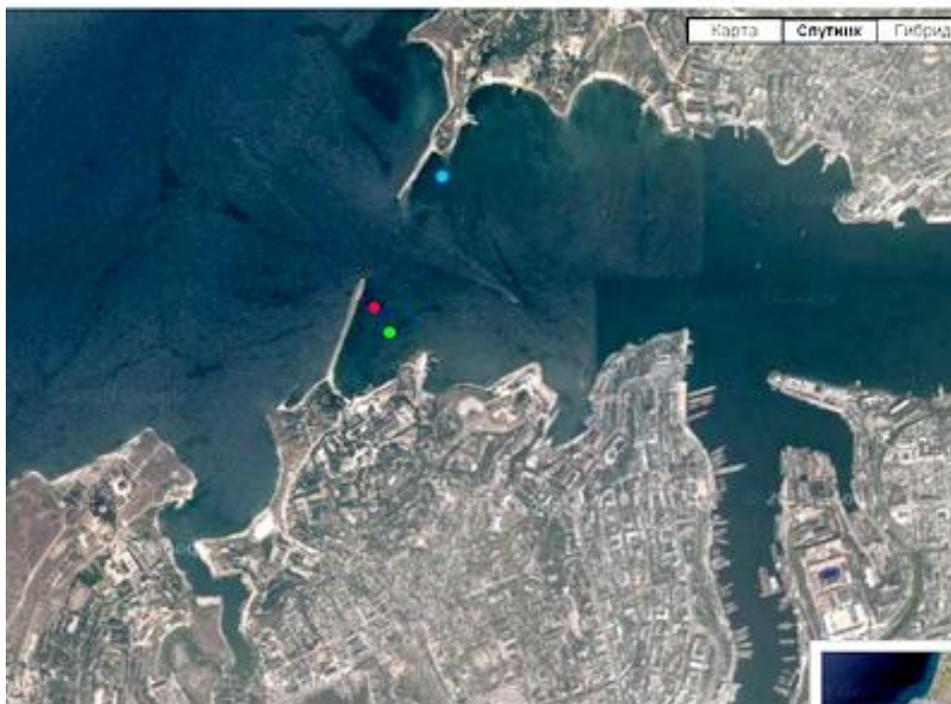
Поступила в редакцию 29.11.2016 г. Принята к публикации 31.03.2017 г.

Метазойный микрозоопланктон (ММЗП) играет важную роль в выживании и питании личинок и мальков многих видов рыб, в том числе промысловых. Изучение изменчивости численности и структуры сообщества ММЗП в прибрежье Чёрного моря на масштабах времени дни — недели в ответ на вариации гидроклиматических факторов (температуры воды, силы и направления ветра и др.) весьма актуально, поскольку ранее подобных исследований микрозоопланктона не проводилось. Данные получены при ежедневном отборе проб в устье бухты Севастопольская с 13 мая по 21 июня 2013 г. в начальный период весенне-летнего возрастания численности ММЗП. Зоопланктон собирали 10-литровым пластиковым пробоотборником из поверхностного слоя моря. Пробы микрозоопланктона концентрировали методом обратной фильтрации и обрабатывали тотально в камере Богорова под микроскопом МБС-9. Наблюдавшееся в ходе исследований увеличение численности зоопланктона происходило на фоне повышения температуры воды и определялось ростом обилия рачковой фракции ММЗП и копепод как основной её части. Основной тренд изменений численности, определяемый температурой, модулировался кратковременными изменениями силы и направления ветра, приводившими к перераспределению численности и видового состава ММЗП в поверхностном слое. Одним из возможных механизмов такого перераспределения может являться различие поведенческих реакций планктонов на турбулентность водной среды, вызываемой ветром. Основой видового разнообразия ММЗП являлись науплиальные и ранние копеподитные стадии копепод родов *Acartia*, *Oithona*, *Paracalanus*, *Centropages*, науплиусы и копеподиты *Harpacticoida*, велигеры двустворчатых и брюхоногих моллюсков, личинки оболочника *Oikopleura dioica*, науплиусы усонюгих раков, личинки полихет. Изменения структуры сообщества включают две стадии, характеризующиеся умеренно высокими или низкими индексами видового разнообразия и соответствующие периодам до и во время массового развития копеподы-вселенца *Oithona davisae*.

**Ключевые слова:** метазойный микрозоопланктон, короткопериодная изменчивость, численность, видовое разнообразие, прибрежье, Чёрное море

С конца 2009 г. по настоящее время нами проводится мониторинг численности и видового состава метазойного микрозоопланктона (ММЗП, микрометазоопланктона) в устье бухты Севастопольская и в ближайшем открытом прибрежье [12]. Выбор этой группы планктонных организмов определяется их важной ролью в функционировании не только планктонного сообщества, но

и всей пелагической экосистемы Чёрного моря. Значительна роль ММЗП в передаче вещества и энергии от низших трофических уровней (фито- и бактериопланктона) к более высоким (в частности, ихтиопланктону). Играя существенную роль в питании молоди рыб, ММЗП обеспечивает одно из важнейших условий воспроизводства рыбных запасов моря. Знание состава и структуры



**Рис. 1.** Местоположение станций отбора проб в устье бухты Севастопольская: красная — «Дюкер», синяя — «Равелин», зелёная — «Мартынова бухта»

**Fig. 1.** Location of sampling stations in the mouth of the Sevastopol Bay: red — “Dyuker”, blue — “Ravelin”, green — “Martynova Bay”

ММЗП позволяет использовать его для мониторинга при диагностике качества водной среды, при оценке состояния экосистем на различных стадиях их естественного развития, а также при выявлении изменений этого процесса под влиянием антропогенных факторов [6, 13]. Для исследуемой фракции микрозоопланктона в целом, а также для отдельных групп и видов, его составляющих, характерна выраженная сезонная и межгодовая вариабельность обилия [12]. Данные по короткопериодной (в частности, посуточной) изменчивости ММЗП отсутствуют. В то же время её оценка позволила бы лучше понять механизмы как внутреннего взаимодействия в сообществе микрозоопланктона, так и его внешних связей с другими трофическими уровнями всей пелагической экосистемы, а также выявить ведущие абиотические факторы среды, определяющие вариабельность обилия ММЗП на масштабах времени дни — недели. Кроме того, результаты исследований по короткопериодной изменчивости ММЗП необходимы как дополнительная информация для анализа биогеохимических, биологических и экологических процессов в море. Целями настоящей рабо-

ты являлись оценка короткопериодной изменчивости численности и видового состава метазойного микрозоопланктона в прибрежье Чёрного моря и выявление факторов, определяющих эту изменчивость.

#### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Материалом послужили ежедневные (с 13.05.2013 по 21.06.2013 г.) сборы проб воды для определения численности и видового состава метазойного микрозоопланктона в устьевой части бухты Севастопольская на ст. «Дюкер» (N44.620°, E33.509°), расположенной в непосредственной близости от мониторинговых станций «Равелин» и «Мартынова бухта» (рис. 1). По данным многолетнего экологического мониторинга и биогеохимического районирования морской поверхности б. Севастопольская, указанный район рассматривается как зона слабого загрязнения акватории [3]. Для исследования выбран весенне-летний период сезонного цикла с явно выраженным временным градиентом численности ММЗП. Пробы воды объёмом 2–3 л отбирали в поверхностном слое с помощью пластикового пробоотборника и

стужали в лаборатории с использованием воронок обратной фильтрации [18] и ядерных фильтров с размером пор 1–4 мкм. Полученный концентрат объёмом 30–70 мл фиксировали 40 % раствором формальдегида до конечной концентрации в пробе ~ 1 % и до обработки хранили в холодильнике. Подобная концентрация успешно использовалась ранее и вполне приемлема для кратковременного хранения проб (обработка проводилась в течение 2–4 дней). При обработке проб осуществлялся визуальный контроль над сохранностью организмов и отсутствием признаков разложения в пробе. Анализ проб проводился тотально в камере Богорова под микроскопом МБС-9 при увеличении 4×8. К фракции метазойного микрозоопланктона отнесены зоопланктонные организмы размером от 20 до 500 мкм [2, 5, 9, 11]. Копепод определяли преимущественно до вида на всех стадиях развития [8, 10]; других зоопланктеров — как до видового, так и до более высокого таксономического уровня. Всего собрано и обработано 28 проб. В процессе пробоотбора измеряли температуру поверхностного слоя воды при помощи гидрологического термометра и визуально регистрировали направление и силу ветра. Для контроля данные по ветру сопоставляли с аналогичными данными, приведёнными на сайте <http://www.sevmeteo.info/>. Оттуда же взяты сведения по атмосферному давлению.

Видовое разнообразие ММЗП оценивали с помощью двух индексов. Индекс Шеннона — Уивера рассчитывали по формуле:

$$H = - \sum p_i \cdot \ln p_i,$$

где:  $H$  — численное значение индекса Шеннона;  $i = 1, 2, \dots, S$ ;  $S$  — количество видов;  $p_i$  — доля в пробе особей  $i$ -го вида;  $p_i = n_i/N$ . Индекс Симпсона использовали в форме  $1-D$ , чтобы оценки видового разнообразия были пропорциональны величинам индекса. Таким образом, величина индекса Симпсона рассчитывалась как  $1 - \sum (p_i^2)$ .

Для построения графиков использовали программы Microsoft Excel 2003 и SigmaPlot 11.0. Аппарат статистических расчётов данных программ применяли для вычисления необходимых параметров, характеризующих условия среды и сообщество ММЗП (средние значения  $\pm$  стандартное

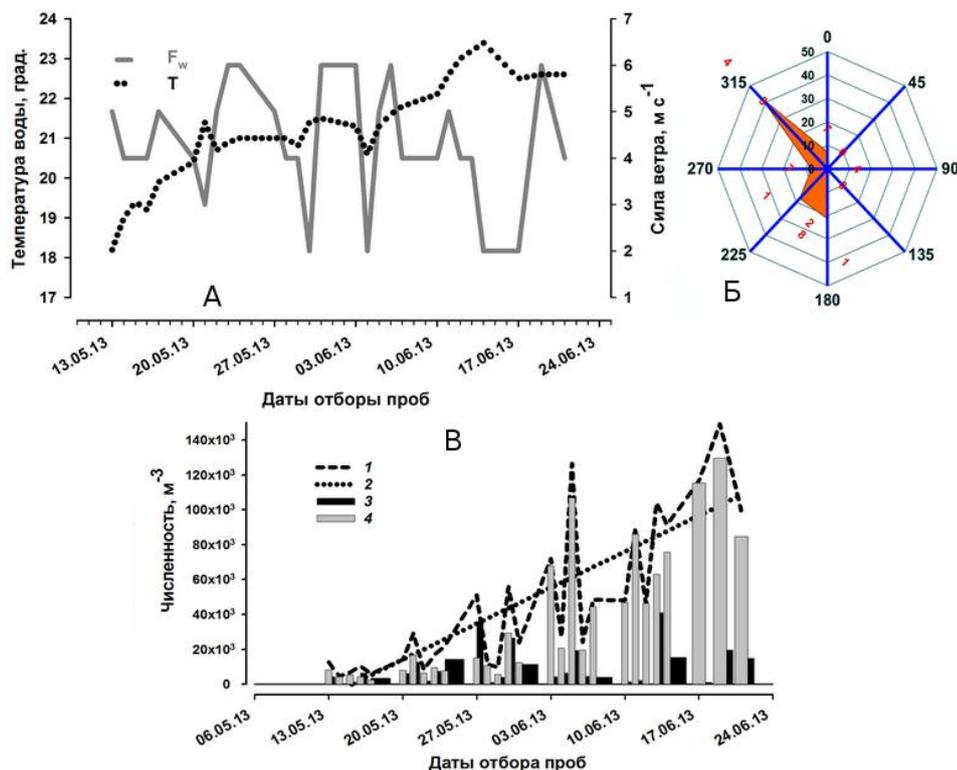
отклонение, коэффициенты вариации, коэффициенты корреляций, критерии различий, уровни достоверности и др.).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

За время наблюдений отмечены существенные колебания климатических и гидрологических факторов (температуры воды, атмосферного давления, скорости и направления ветра). Диапазон изменений температуры воды составил 5.2 °С — от 18.2 до 23.4 °С. При общей закономерности роста температуры наблюдались её заметные флуктуации (рис. 2А). Вероятно, это связано с пульсациями силы и направления ветра (рис. 2А, Б), т. е. с известной закономерностью повышения температуры воды при ослаблении ветровой активности и наоборот [4]. В нашем случае эта связь была слабой ( $r^2 = -0.30$  и  $0.34$ , при  $P > 0.1$  соответственно). Наиболее частыми во время наблюдения были ветры с направлением 180–315°, т. е. южные — юго-западные и западные — северо-западные. Как и в случае с силой ветра, показатели атмосферного давления демонстрировали выраженные пульсации разной длительности и направленности, однако их согласованности с изменениями ветровых характеристик или температуры не отмечено, поэтому в дальнейшем анализе данные по давлению не использовались.

Общая численность ММЗП за время наблюдений изменялась почти в 30 раз: от 4600 до 149 400 экз.·м<sup>-3</sup>, составив за период наблюдений в среднем  $47.3 \pm 42.300$  экз.·м<sup>-3</sup>. Графически характер этих изменений можно представить восходящей пилообразной кривой (рис. 2В). Отмечена статистически значимая связь изменений численности с температурой воды ( $r^2 = 0.71$ ;  $P = 0.00002$ ). Достоверная связь отмечена также между общей численностью и направлением ветра ( $r^2 = 0.37$ ;  $P = 0.05$ ).

Рачковый планктон, представленный в основном копеподами (науплиальными и ранними копеподитными стадиями), составлял основу численности ММЗП. В период май — июнь 2013 г. его доля в общей численности ММЗП возрастала: к концу мая она в среднем составляла около 60 %, а в июне — почти 90 %. Соответственно, доля нерачкового ММЗП уменьшилась с 41 до 9 % от общей



**Рис. 2.** Короткопериодная изменчивость: А — температуры воды поверхностного слоя (Т) и силы ветра (Fw); Б — направления ветра (Роза ветров); В — численности микрометазоопланктона (экз.·м<sup>-3</sup>) (общей — 1, её тренда — 2, не рачкового — 3, рачкового — 4) в устье севастопольской бухты в весенне-летний период 2013 г.

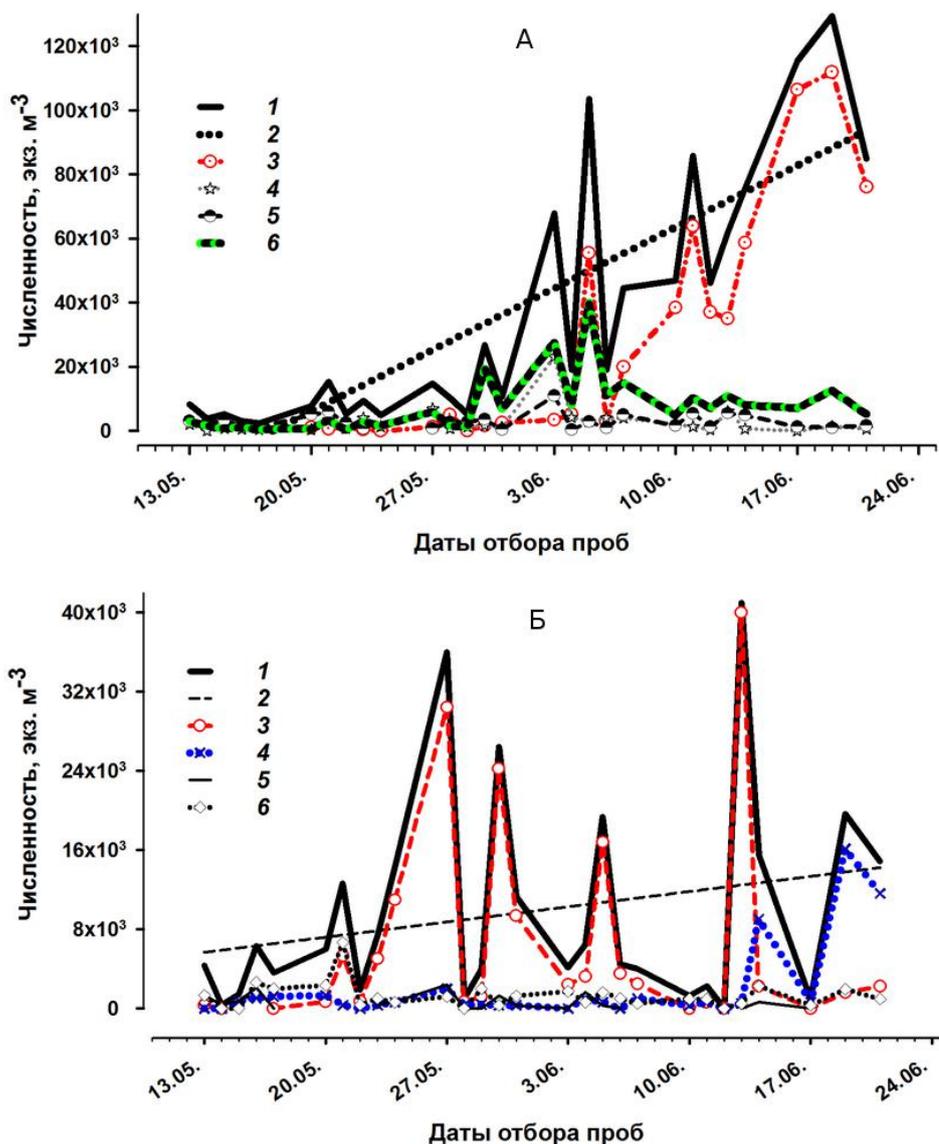
**Fig. 2.** Short-term variability of: А — the surface water temperature (Т) and wind strength (Fw); Б — its direction (Wind Rose); В — the abundance of metazoan microzooplankton (ind.·m<sup>-3</sup>) (total — 1, its trend — 2, noncrustacean — 3 and crustacean — 4) at the mouth of the Sevastopol Bay in the spring — summer 2013

численности при почти неизменных абсолютных количествах (около 9000 и 7100 экз.·м<sup>-3</sup>).

Динамику численности копепод в исследованный период времени можно разделить на два периода. Первый — с середины мая до первых чисел июня, когда численность ММЗП определялась видами *Acartia* spp. (39.3 % численности копепод), *Paracalanus parvus* (Claus, 1863) (23.6 %) и *Centropages ponticus* Karavaev, 1894 (22.8 %). В сумме с гарпактицидами их вклад в общую численность копепод равнялся 90 %. Средняя численность копеподы-вселенца *Oithona davisae* Ferari and Orsi, 1984 в этот период составляла около 5 % от общей и не превышала 5000 экз.·м<sup>-3</sup>. Второй период — с первых чисел июня до конца ежедневных наблюдений (21.06.2013 г.), когда наблюдался резкий подъём численности вида-вселенца (рис. 3А). В этот период его обилие непрерывно возрастало, достигнув к третьей декаде июня

100 000 экз.·м<sup>-3</sup>. По сравнению с первым периодом численность *O. davisae* возросла более чем в 40 раз. Максимально её относительное обилие составляло до 90 % всей численности копепод, а в среднем за второй период — почти 75 %. Средняя численность *P. parvus* уменьшилась с 3000 до 2100 тыс. экз.·м<sup>-3</sup>, а численность *C. ponticus* осталась без изменений (2900 тыс. экз.·м<sup>-3</sup>). При этом в процентном выражении их доля в составе копепод уменьшилась в 6–7 раз — до 3–4 %. Несмотря на рост абсолютной численности *Acartia* spp. ~ в 2.4 раза, её доля в общей численности копепод также заметно снизилась (в среднем — до 16.3 %).

Численность не рачковой фракции ММЗП характеризовалась значительно более медленными темпами роста по сравнению с таковой у рачкового ММЗП. Основным компонентом не рачкового микрометазоопланктона являлись велигеры брюхоногих моллюсков. На протяжении всего перио-

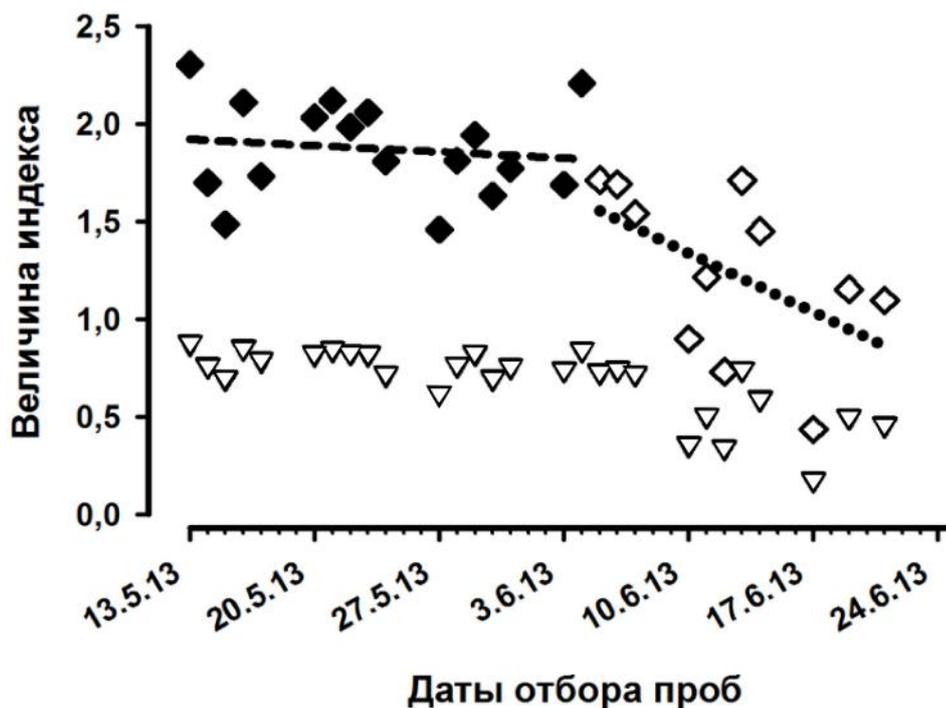


**Рис. 3.** Короткопериодная изменчивость: А — численности копепод (экз.·м<sup>-3</sup>) (1 — общей, 2 — тренд общей, 3 — *Oithona davisae*, 4 — *Paracalanus parvus*, 5 — *Centropages ponticus*, 6 — *Acartia* spp.); Б — нерачкового микрометазоопланктона (1 — общей, 2 — тренд общей, 3 — Gastropoda, 4 — Bivalvia, 5 — *Oikopleura dioica*, 6 — остальные) в устье севастопольской бухты в весенне-летний период 2013 г.

**Fig. 3.** Short-term variability: A — the copepod abundance (ind.·m<sup>-3</sup>) (1 — total, 2 — it's trend, 3 — *Oithona davisae*, 4 — *Paracalanus parvus*, 5 — *Centropages ponticus*, 6 — *Acartia* spp.); Б — the noncrustacean microzooplankton (1 — total, 2 — it's trend, 3 — Gastropoda, 4 — Bivalvia, 5 — *Oikopleura dioica*, 6 — the other) at the mouth of the Sevastopol Bay in the spring — summer 2013

да наблюдений они составляли в среднем 37–40 % его численности (при вариациях от 0 до 90 %). В последнюю неделю наблюдений заметно возросла численность велигеров двустворчатых моллюсков — до 9000–16000 экз.·м<sup>-3</sup>. Личинки аппендикулярий и коловратки были малочисленны, особенно в июне. В начальный период наблюдений (до 21 мая) определённый вклад в рост численности нерачкового ММЗП вносили личинки поли-

хет, в максимуме достигавшие численности более 6000 экз.·м<sup>-3</sup>. Диапазон флуктуаций численности нерачковой фракции ММЗП был заметно выше, чем таковой у рачковой (рис. 3Б). Об этом свидетельствуют и величины коэффициентов вариации (CV): для рачкового ММЗП они составляли 70 % в мае и 49 в июне; CV их относительного количества в общей численности были ещё меньше — 32 и 13 %. В то же время величины CV для нерачко-



**Рис. 4.** Короткопериодная изменчивость биоразнообразия сообщества микроразнообразия в устье Севастопольской бухты в весенне-летний период 2013 г.: индекс Шеннона (◆ — 1 период: 13.05.2013–04.06.2013 г.; ◇ — 2 период: 05.06.2013–21.06.2013 г.); ▽ — индекс Симпсона

**Fig. 4.** Short-term variability of metazoan microzooplankton biodiversity at the mouth of the Sevastopol Bay in the spring—summer 2013: Shannon index (◆ — period 1: 13.05.2013–04.06.2013; ◇ — period 2: 05.06.2013–21.06.2013); ▽ — Simpson index

вого ММЗП составляли по этим же позициям 111 и 104 % и 46 и 86 % соответственно.

В состав ММЗП в рассматриваемый период времени входили науплиальные и ранние копеподитные стадии родов *Acartia*, *Oithona*, *Paracalanus*, *Centropages*, науплиусы и копеподиты Harpacticoida, клadoцеры *Pleopis polyphemoides* (Leuckart, 1859), науплиусы усонюгих раков (Cirripedia), велигеры двустворчатых и брюхоногих моллюсков, личинки полихет и оболочника *Oikopleura dioica* Fol, 1872. Изредка и в малых количествах встречались коловратки, Hydromedusae, а также Isopoda и личинки Phoronida.

Значения индексов Шеннона и Симпсона при исследовании короткопериодной изменчивости имели общий тренд к снижению. При этом хорошо выделяются два периода, в которые скорости изменения значений индексов значительно различались (рис. 4), что совпадало с упомянутым выше изменением пропорций в видовой структуре рачкового ММЗП. Средние значения индекса Шен-

нона для первого и второго периодов составляли 1.87 и 1.24 соответственно; их различия статистически значимы по критерию Манна — Уитни ( $T = 11$  и  $17$  при уровне значимости  $P = < 0.001$ ). В продолжение большей части наблюдений значения индекса Симпсона свидетельствовали о высоком разнообразии сообщества микроразнообразия (0.7–0.9), и лишь с 10 июня показатели индекса снизились до 0.18–0.6, что указывает на уменьшение видового разнообразия (рис. 4). Отметим, что значения коэффициента Симпсона «отреагировали» на изменение видовой структуры сообщества ММЗП на несколько дней позднее, чем показатели индекса Шеннона.

Эстуарные водоёмы характеризуются динамичной средой в силу быстрой изменчивости физических и гидрологических факторов: приливно-отливных явлений, речного стока, ветровых пульсаций и сезонного изменения температуры. Именно к такому типу акваторий относится б. Севастопольская. Основным фактором, определяющим циркуляцию вод в бухте, является ветер. Его ва-

риации по силе и направленности могут приводить к изменению пространственного распределения температуры и солёности в течение нескольких часов. Преобладающие восточные ветры способствуют выносу вод из бухты, а южные, юго-восточные и юго-западные — поступлению морских вод в акваторию. Динамика водного режима бухты определяется, прежде всего, сгонно-нагонными явлениями [3]. Их влияние на перераспределение планктонных организмов у побережья Крыма отмечалось и ранее [4, 7]. Воздействие «ветровых событий» (wind events) на короткопериодные изменения обилия и видового разнообразия планктона отмечено и для других организмов, например для фитопланктона в прибрежных водах северо-западной части Средиземного моря [21], а также для микропланктона в глубоководной части этого района в позднелетний период (исследования по программе DYNAPROC [15]).

Проведённые нами исследования в весенне-летний период показали значимое влияние температурного и ветрового факторов на короткопериодную изменчивость обилия микрометазоопланктона в прибрежных водах Крыма. При этом температура воды выступала как фактор, определяющий направление основного тренда изменений обилия ММЗП, а ветровое воздействие сказывалось прежде всего на кратковременном его варьировании в поверхностном слое. Вероятно, сильная зависимость между ростом численности ММЗП и температурой воды проявилась именно в связи с экспансией в прибрежные биотопы Чёрного моря теплолюбивого вида-вселенца *O. davisae*. Ранее нами показано, что степень его обилия в сезонном и межгодовом масштабе времени сильно зависит от сроков прогревания вод до 18–20 °С и от общего количества тепла, аккумулированного водой в тёплый период года [17]. О ведущей роли гидроклиматических факторов среды и, прежде всего, температуры воды в межгодовых вариациях структуры зоопланктонного сообщества свидетельствуют и результаты, полученные другими исследователями. В частности, для внутреннего эстуария Бильбао ведущая роль температуры в вариациях биотических показателей зоопланктона проявилась как на уровне больших таксономических групп, так и на уровне отдельных видов копепоид, в том числе видов-вселенцев [20]. Мож-

но также полагать, что одной из причин кратковременных флуктуаций численности микрометазоопланктона при воздействии ветровых возмущений могло являться не только пассивное перемещение организмов токами воды, но также и поведенческие отклики зоопланктеров, например различные реакции разных видов копепоид на изменение турбулентности водной среды, вызываемой ветром. Так, *Acartia* или *Centropages* могут изменять режимы питания при варьировании условий среды и менее подвержены воздействию подвижности воды, тогда как *Oithona* оказалась более чувствительной к воздействию турбулентности. Она снижала активность питания и опускалась в более глубокие слои воды при неблагоприятных условиях, что отмечено как в эксперименте, так и при натуральных наблюдениях за вертикальным распределением *O. davisae* в условиях шторма или ветрового волнения [14, 16, 21]. Таким образом, при усилении ветрового воздействия происходило перераспределение не только численности, но и видового состава ММЗП в поверхностном слое, что могло быть отражено изменениями значений индексов разнообразия.

Как уже отмечалось, амплитуда флуктуаций численности у нерачкового ММЗП оказалась выше, чем у копепоид. Большая его часть представлена меропланктонными организмами, в частности планктонными стадиями брюхоногих и двустворчатых моллюсков. В определённый момент их жизненного цикла наступает фаза оседания личинок на дно, т. е. исчезновения из планктона. В благоприятных условиях планктонная фаза жизни моллюсков может составлять несколько дней, т. е. длительность её сопоставима с продолжительностью наблюдений за короткопериодной изменчивостью численности ММЗП. Процесс перехода меропланктонных организмов к бентосной фазе, естественно, оказывал влияние на изменение общей численности и усиливал короткопериодные флуктуации обилия его нерачковой фракции.

Использованные показатели видового разнообразия — индексы Шеннона и Симпсона — характеризуют не только общее количество видов в сообществе. Они объединяют видовое богатство и выравнивают в единую величину и количественно дифференцируют системы с одинаковым видовым богатством, но с разной степенью доми-

нирования тех или других видов. Считается, что индекс видового разнообразия Симпсона придаёт большее значение постоянно встречающимся, обычным видам, а индекс Шеннона увеличивает значимость редких видов. Возможно, в связи с этими особенностями значения индекса Шеннона «отреагировали» на изменение видовой структуры сообщества ММЗП на несколько дней раньше, чем показатели индекса Симпсона при резком увеличении численности *O. davisae* в начале июня, притом что в мае этот вид или не встречался, или присутствовал в незначительных количествах.

**Заключение.** Видовой состав метазойного микрозоопланктона прибрежных вод в период исследований представлен преимущественно представителями рачкового планктона — копеподами родов *Acartia*, *Oithona*, *Paracalanus*, *Centropages*. В нерачковой фракции ММЗП преобладали велигеры брюхоногих и двустворчатых моллюсков, личинки полихет и оболочника *Oikopleura dioica*. Увеличение численности ММЗП происходило прежде всего за счёт его рачковой фракции. При возрастающем доминировании в планктоне копеподы *O. davisae* общее видовое разнообразие сообщества ММЗП снижалось, что свидетельствовало о сезонной перестройке биоценоза прибрежных вод Чёрного моря под влиянием вида-вселенца.

Анализ ежесуточных изменений численности микрозоопланктона поверхностного слоя выявил 2 основных фактора, обуславливающих закономерности этих изменений. Общий тренд возрастания численности ММЗП в исследуемый период года определялся повышением температуры моря. Короткопериодные отклонения от общего тренда связаны с флуктуациями воздействия ветровых возмущений (силы и направления ветра), вызывавшими изменение турбулентности водной среды. Одним из механизмов короткопериодных изменений численности и видового состава ММЗП могло являться различие поведенческих реакций зоопланктеров на уровень этой турбулентности.

Исследования выполнены в рамках Госзадания по теме «Изучение механизмов адаптации, трансформации и эволюции морских и океанических систем в условиях климатических изменений и антропогенного влияния» (№ 1001-2014-0013).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Галковская Г.А., Калиновска К., Молотков Д.В., Трифонов О.В. Влияние стратификации на вертикальное распределение микрозоопланктона в олиготрофном озере // Доклады национальной академии наук Беларуси. 2010. Т. 54, № 3. С. 88–91. [Galkovskaya G.A., Kalinovska K., Molotkov D.V., Trifonov O.V. Vliyanie stratifikatsii na verticalnoe raspredelenie mikrozooplanktona v oligotrofnom ozere. *Doklady Natsional'noi Akademii Nauk Belarusi*. 2010, vol. 54, no. 3, pp. 88–91. (in Russ.)].
2. Заика В.Е., Морякова В.К., Островская Н.А., Цалкина А.В. Распределение морского микрозоопланктона. Киев: Наукова думка, 1976. 92 с. [Zaika V.E., Moriakova V.K., Ostrovskaya N.A., Tsalkina A.V. *Raspredelenie morskogo mikrozooplanktona*. Kiev: Naukova dumka, 92 p. (in Russ.)].
3. Иванов В.А., Овсяный Е.И., Репетин Л.Н., Игнатьева О.Г. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты и его изменения под воздействием климатических и антропогенных факторов. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. 91 с. [Ivanov V.A., Ovsyanyi E.I., Repetin L.N., Ignatjeva O.G. *Gidrologo-gidrokhimicheskii rejim Sevastopolskoi bukhty i ego izmeneniya pod vozdeystviem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov*. Sevastopol: EKOSI-Gidrophizika, 2006, 91 p. (in Russ.)].
4. Казанкова И.И. Особенности динамики оседания личинок мидии и митилястера в связи со сгонно-нагонными явлениями у юго-западных берегов Крыма (Чёрное море) // Экология моря. 2000. Вып. 51. С. 35–39. [Kazankova I.I. Osobennosti dinamiki osedaniya lichinok midii i mitilyastera v svyazi so sgonno-nagonnymi yavleniyami u iugo-zapadnykh beregov Kryma. *Ekologiya morya*, 2000, iss. 51, pp. 35–39. (in Russ.)].
5. Ковалев А.В. Орудия и метод суммарного учёта морского микро- и мезозоопланктона // Экология моря. 1980. Вып. 3. С. 61–64. [Kovalev A.V. Instruments and method for total registration of sea micro- and mesozooplankton.

- Ekologiya morya*, 1980, iss. 3, pp. 61–64. (in Russ.).
6. *Метод оценки качества вод и состояния водных экосистем в схемах КИОВР* [Электронный ресурс]. - Режим доступа : <http://ppt4web.ru/ehkologija/metod-ocenki-kachestva-vod-i-sostojaniya-vodnykh-ehkosistem-v-skhemakh-kiovr.html> [Дата обращения: 19.11.2016]. [*Metod otsenki kachestva vod i sostoyaniya vodnykh ekosistem v skhemakh KIOVR* [Electronic resource]. Available at: <http://ppt4web.ru/ehkologija/metod-ocenki-kachestva-vod-i-sostojaniya-vodnykh-ehkosistem-v-skhemakh-kiovr.html> [accessed: 19.11.2016].
  7. Никитин В., Скворцов Е. Непериодические изменения гидрологических элементов и состава планктона у южных берегов Крыма (из зоологического кабинета Национального заповедника в Крыму) // *Записки Крымского общества естествоиспытателей и любителей природы*. 1926 / ред. Е. В. Вульф. Симферополь, 1927. Т. 9. С. 67–79. [Nikitin V., Skvortsov E. Neperiodicheskie izmeneniya gidrologicheskikh elementov i sostava planktona u yuzhnykh beregov Kryma (iz zoologicheskogo kabineta Natsionalnogo zapovednika v Krymu). *Zapiski Kievskogo obshchestva estestvoispytateley i lyubiteley prirody*. 1926. E. V. Vul'f (Ed.). Simferopol, 1927, vol. 9, pp. 67–79. (in Russ.).]
  8. *Определитель фауны Чёрного и Азовского морей: в 3 т. Т. 2: Свободноживущие беспозвоночные. Ракообразные* / Академия наук УССР, Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского. Киев: Наукова думка, 1969. 536 с. [*Opredelitel' fauny Chernogo i Azovskogo morei: in 3 vol. Vol. 2: Svobodnozhivushchie bespozvonochnye. Rakoobraznye* / Akademiya nauk USSR, Institut Biologii Yuzhnykh Morej im. A. O. Kovalevskogo. Kiev: Naukova dumka, 1969, 536 p. (in Russ.).]
  9. Островская Н. А., Скрыбин В. А., Загородняя Ю. А. Микрозоопланктон // *Планктон Чёрного моря* / ред. А. В. Ковалев., З. З. Финенко. Киев: Наукова думка, 1993. С. 165–183. [Ostrovskaya N. A., Skryabin V. A., Zagorodnyaya Yu. A. Mikrozooplakton. In: *Plankton Chernogo morya*. Kovalev A. V., Finenko Z. Z. (Eds.). Kiev: Naukova dumka, 1993, pp. 165–183. (in Russ.).]
  10. Сажина Л. И. *Науплиусы массовых видов пелагических копепод мирового океана*. Киев: Наукова думка, 1985. 238 с. [Sazhina L. I. *Naupliusy massovykh vidov pelagicheskikh copepod mirovogo okeana*. Kiev: Naukova dumka, 1985, 238 p. (in Russ.).]
  11. Сажина Л. И. Плодовитость черноморских копепод в 1992 г. // *Океанология*. 1995. Т. 35, № 4. С. 562–568. [Sazhina L. I. Plodovitost' chernomorskikh copepod v 1992 g. *Okeanologiya*, 1995, vol. 35, no. 4, pp. 562–568. (in Russ.).]
  12. Серегин С. А., Попова Е. В. Численность и видовой состав метазойного микрозоопланктона в прибрежье Севастополя: 2009–2012 гг. // *Рыбное хозяйство Украины*. 2012. № 6 (83). С. 3–9. [Seregin S. A., Popova E. V. Abundance and species composition of metazoan microzooplankton in the coastal waters of Sevastopol: 2009–2012. *Rybnoe khozyaistvo Ukrainy*, 2012, no. 6 (83), pp. 3–9. (in Russ.).]
  13. Gavrilova N., Dolan J. R. A Note on Species Lists and Ecosystem Shifts: Black Sea Tintinnids, Ciliates of the Microzooplankton. *Acta Protozoologica*, 2007, vol. 46, pp. 279–288.
  14. Incze L. S., Hebert D., Wolff N., Oakey N., Dye D. Changes in copepod distributions associated with increased turbulence from wind stress. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, vol. 213, pp. 229–240.
  15. Lasternas S., Tunin-Ley A., Ibañez F., Andersen V., Pizay M. -D., and 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, pp. 743–761.
  16. Saiz E., Calbet A., Broglio E. Effects of small-scale turbulence on copepods: the case of *Oithona davisae*. *Limnology and Oceanography*, 2003, vol. 48, no. 3, pp. 1304–1311.
  17. 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. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2016, vol. 7, iss. 4, pp. 374–382.
18. Sorokin Yu. I., Kopylov A. I., Mamaeva N. V. Abundance and dynamics of microplankton in the central tropical Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 1985, vol. 24, pp. 27–41.
  19. 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. *Journal of Plankton Research*, 2008, vol. 30, iss. 9, pp. 1027–1040.
  20. Uriarte I., Villate F., Iriarte A. Zooplankton recolonization of the inner estuary of Bilbao: influence of pollution abatement, climate and non-indigenous species. *Journal of Plankton Research*, 2016, vol. 38, no. 3, pp. 718–731.
  21. Visser A. W., Saito H., Saiz E., Kiorboe T. Observations of copepod feeding and vertical distribution under natural turbulent conditions in the North Sea. *Marine Biology*, 2001, vol. 138, pp. 1011–1019.

### Short-term variation of metazoan microzooplankton in a coastal area of the Black Sea: the regularities and determining factors

S. A. Seregin, E. V. Popova

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

E-mail: [serg-seryogin@yandex.ru](mailto:serg-seryogin@yandex.ru)

To many fishes, including commercially valuable species, metazoan microzooplankton (MMZP) are the essential prey ensuring survival of their larvae and juveniles. For the Black Sea dependence of the variability of MMZP abundance and structure on hydroclimatic factors (seawater temperature, wind force and direction, etc.) in the coastal area was not earlier studied over as short periods of time as days to weeks; hence this investigation is of high relevance. Samples of MMZP were collected daily in the mouth of Sevastopol Bay and the adjoining open-sea area from 13 May to 21 June 2013, the period when the quantity of MMZP began growing (spring-summer increase). The samples were taken from the sea surface by a 10 l plastic sampler, condensed in the laboratory by reverse filtration and processed in a Bogorov chamber under the microscope MBS-9. Increased crustacean fraction in which copepods dominated suggested growing abundance of the zooplankton with warming of the sea. This main, temperature-dependent, trend was modulated by short-term changes in the force and direction of wind launching quantitative and qualitative re-distribution of MMZP in the surface layer. Different behavioral responses the plankters showed to the wind-induced water turbulence can be a part of the re-distribution machinery. Contributors to the species diversity were largely the naupliar and early copepodid stages of genera *Acartia*, *Oithona*, *Paracalanus*, *Centropages*, the nauplii and copepodites of Harpacticoida, bivalve and gastropod veligers, larvae of the tunicate *Oikopleura dioica*, the nauplii of barnacles, and the larvae of polychaetes. The zooplankton assemblage structure changed in two phases: one, with moderately high values of species diversity index, was prior to, and the other, with low estimates, during the outbreak of the invasive copepod *Oithona davisae*.

**Keywords:** metazoan microzooplankton, short-term variability, abundance, species diversity, coastal, Black Sea