

УДК 574.5(262.54)

## СТРУКТУРА И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕЗОЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В АТЛАНТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ ЮЖНОГО ОКЕАНА

© 2023 г. В. В. Касьян\*

Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН,  
Владивосток, Россия

\*e-mail: valentina-k@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.12.22 г.

После доработки 13.12.2022 г.

Принята к публикации 15.02.2023 г.

В работе приведены результаты исследования мезозoopланктона у побережья Антарктического п-ова, в проливах Брансфилда и Антарктик, в бассейне Пауэлла моря Уэдделла и у Ю. Оркнейских о-вов в период южного лета 2022 г. Сообщества мезозoopланктона представлены двумя лидирующими группами с доминантными таксонами: копеподы (*Oithona* spp., *Metridia gerlachei* и *Calanoides acutus*) и эвфаузииды (*Euphausia superba*). Максимальные значения численности и биомассы мезозoopланктона отмечены над глубоководными желобами у Ю. Оркнейских о-вов в теплой Антарктической поверхностной воде (AASW), минимальные значения – у Антарктического п-ова в холодных модифицированных водах моря Уэдделла (TWW). Максимальные концентрации копепод наблюдались в прол. Брансфилда у Ю. Шетландских о-вов при поверхностной температуре (SST)  $-0.5-0.5^{\circ}\text{C}$  и солености (SSS) 34.5–34.6‰; икры и личинок *E. superba* на разных стадиях развития – у Ю. Оркнейских о-вов при значениях SST  $1-2^{\circ}\text{C}$  и SSS 34.3–34.5‰. Выделены четыре группы сообществ, различающиеся по составу, обилию и доминированию таксонов. Результаты исследований имеют значение для мониторинга экосистемы Южного океана.

**Ключевые слова:** мезозoopланктон, копеподы, *Euphausia superba*, Атлантический сектор, Южный океан

DOI: 10.31857/S0030157423040056, EDN: YKIPFE

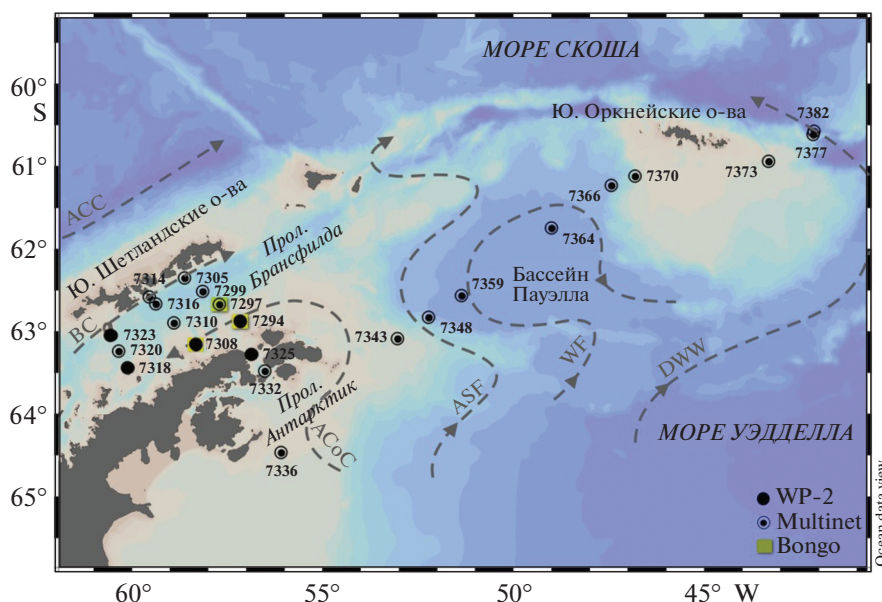
### ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия Антарктический п-ов и окружающие его моря претерпевают существенные перестройки в связи с глобальными изменениями климата [7]. Самым заметным следствием этих изменений является колоссальное сокращение площади ледового покрова и доли многолетних льдов [46]. В Южном океане наблюдается значительное потепление, с 1955 г. температура верхних слоев океана к западу от Антарктического п-ова повысилась более чем на  $1^{\circ}\text{C}$  [30]. Деградация ледового покрова влечет за собой изменение условий окружающей среды, продолжительности продукционного периода, структуры и распространения планктонных сообществ. Биота Южного океана сейчас, несомненно, находится в состоянии трансформации [20, 21, 24, 29, 37, 51]. Мезозoopланктон является важнейшим звеном в пищевой цепи между первичными продуцентами и высшими трофическими уровнями, в том числе и промысловыми. Его биомасса определяет количество ресурсов, доступных для планктоядных рыб, птиц

и морских млекопитающих. Планктонные организмы характеризуются короткими жизненными циклами и первыми могут реагировать на климатические изменения, поэтому их можно рассматривать как индикаторы состояния хрупкой антарктической экосистемы. Чтобы прогнозировать возможные изменения в пелагиали Южного океана в будущем, необходимо ежегодное накопление сведений о сообществах, структуре и количественных характеристиках, а также связях с параметрами внешней среды. Цель данного исследования – изучить пространственное распределение и обилие мезозoopланктонных сообществ в Атлантическом секторе Антарктики и выделить основные параметры окружающей среды, регулирующие их распространение.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использован материал, собранный в ходе 87-го рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” у Антарктического п-ова, в проливах Брансфилда и Антарктик, в бассейне Пауэлла мо-



**Рис. 1.** Карта-схема района сбора планктонных проб с помощью сетей Multinet, WP-2 и Bongo с наложением на водные массы: ACC – Антарктическое Циркумполярное Течение, BC – Течение Брансфила, ACoC – Антарктическое Прибрежное Течение, ASF – Антарктический Шельфовый Фронт, WF – Фронт Уэдделла и DWW – Глубинная вода моря Уэдделла [22, 35, 48]. Цифрами обозначены номера станций.

ря Уэдделла и у Южных Оркнейских о-вов южным летом в январе–феврале 2022 г. Планктонные пробы отбирались с помощью сетей Multinet (площадь входного отверстия  $0.25 \text{ м}^2$ , размер ячеек  $150 \text{ мкм}$ ), WP-2 ( $0.25 \text{ м}^2$ ,  $150 \text{ мкм}$ ) и Bongo ( $0.25 \text{ м}^2$ ,  $505 \text{ мкм}$ ). Буксировка сетей Multinet и WP-2 проводилась вертикально, сети Bongo – путем выполнения кривой буксировки с  $200\text{--}300 \text{ м}$  на поверхность со средней скоростью  $1.5$  узла. Объем профильтрованной воды измерялся с помощью счетчика (Hydrobios, Германия). Закрывающейся системой сетей Multinet на каждой станции отбирались 5 проб из разных горизонтов свыше  $1000 \text{ м}$  до поверхности. В мелководных районах отбор проб осуществлялся сетями WP-2 и Bongo (рис. 1). Всего с помощью различных сетей было отобрано 119 планктонных проб на 23 комплексных станциях. Для определения видового состава, подсчета численности и биомассы мезозoopланктона свежую пробу после подъема на борт просматривали под бинокулярным микроскопом SZX7 (Olympus, Japan) и позже фиксировали 4% раствором формальдегида. Представителей мезозoopланктона по возможности идентифицировали до самого низкого таксономического уровня [11, 52]. Копеподы, как доминантная группа мезозoopланктона, была подвергнута более детальной таксономической обработке с помощью Marine Planktonic Copepods database [40]. Стадии личиночного развития эвфаузиид идентифицировали с помощью определителей [2, 4]. Биомассу мезозoopланктона рассчитывали с использованием эталонных зна-

чений средней массы видов [32]. Полученные величины выражены в миллиграммах сырой массы на  $1 \text{ м}^3$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ). Гидрофизические параметры окружающей среды в изученной акватории, измеренные с помощью зонда Idronaut OCEAN SEVEN 320Plus (Idronaut, Italy), были проанализированы ранее [10, 18, 26].

Многофакторный анализ выполнен с использованием программы PRIMER ver. 6 [12]. Для построения матрицы сходства использовали индекс Брея-Кёртиса, вычисленный на основе данных по численности ( $\text{экз.}/\text{м}^3$ ) организмов в пробах. Для уменьшения влияния доминант, исходные данные были трансформированы извлечением квадратного корня. Кластеризация выполнена методом попарного внутригруппового невзвешенного среднего (UPGMA). Для оценки надежности результатов кластеризации проводили тест SIMPROF (число повторов 999,  $p = 0.05$ ) [12]. При вычислении разнообразия мезозoopланктона на станциях использовали индекс разнообразия Shannon-Weaver index ( $H'$ ). Взаимосвязь между количественными характеристиками мезозoopланктона и параметрами внешней среды была проанализирована с использованием ранговой корреляции Спирмена с использованием программы Statistica 10 (StatSoft Power Solutions, Inc.). Коэффициент корреляции считали значимым при уровне достоверности ( $p < 0.05$ ). Карты распределения численности и биомассы построены с помощью программы Ocean Data View 4.5.

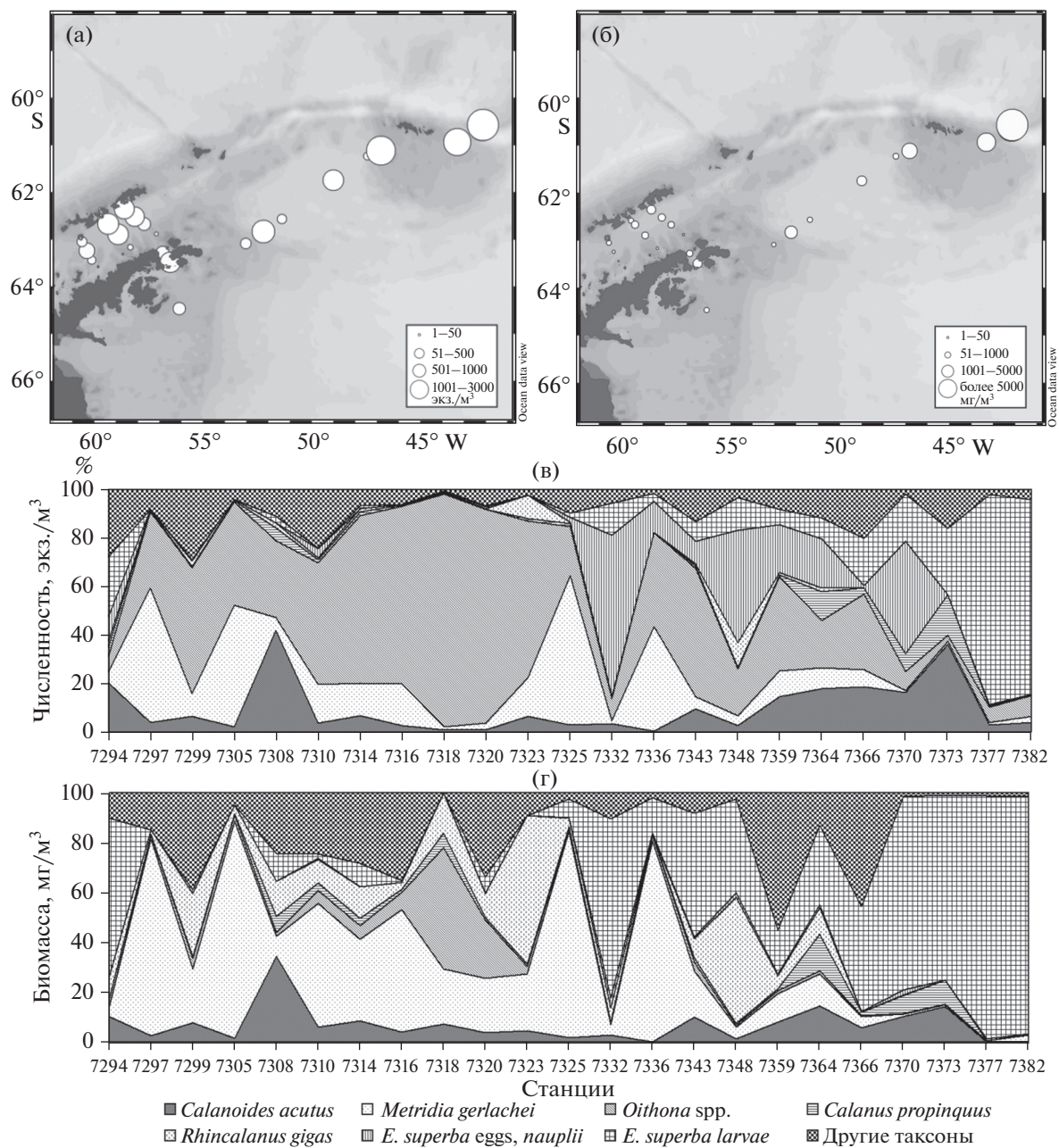


Рис. 2. Численность, экз./м<sup>3</sup> (а), биомасса, мг/м<sup>3</sup> (б) и соотношение, % основных таксонов (в, г) мезозоопланктона в январе—феврале 2022 г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мезозоопланктон представлен 42 видами из 11 крупных таксономических групп, среди которых преобладали копеподы (49% от общей численности и 18% от общей биомассы) и личинки антарктического криля *E. superba* (44 и 68%, соответственно). Общая численность мезозоопланктона варьировала от 47.3 до 2840.6 экз./м<sup>3</sup>, при среднем значении  $1001.2 \pm 469.4$  экз./м<sup>3</sup> (рис. 2а). Суммарная биомасса мезозоопланктона колебалась от 20.1 до 13343.1 мг/м<sup>3</sup>, при среднем значе-

нии  $2643.7 \pm 935.1$  мг/м<sup>3</sup> (рис. 2б). Максимальные значения численности, биомассы и видового разнообразия мезозоопланктона отмечены у Ю. Оркнейских о-вов, а минимальные — в проливе Брансфилда у Антарктического п-ова. Число таксонов увеличивалось в восточном направлении от 7 (ст. 7318) до 27 (ст. 7382), а общее видовое разнообразие сообществ ( $H'$ ) в целом было низким — от 0.684 до 2.253.

В сообществах мезозоопланктона значительную долю составляли копеподы (*Calanoides acutus*,

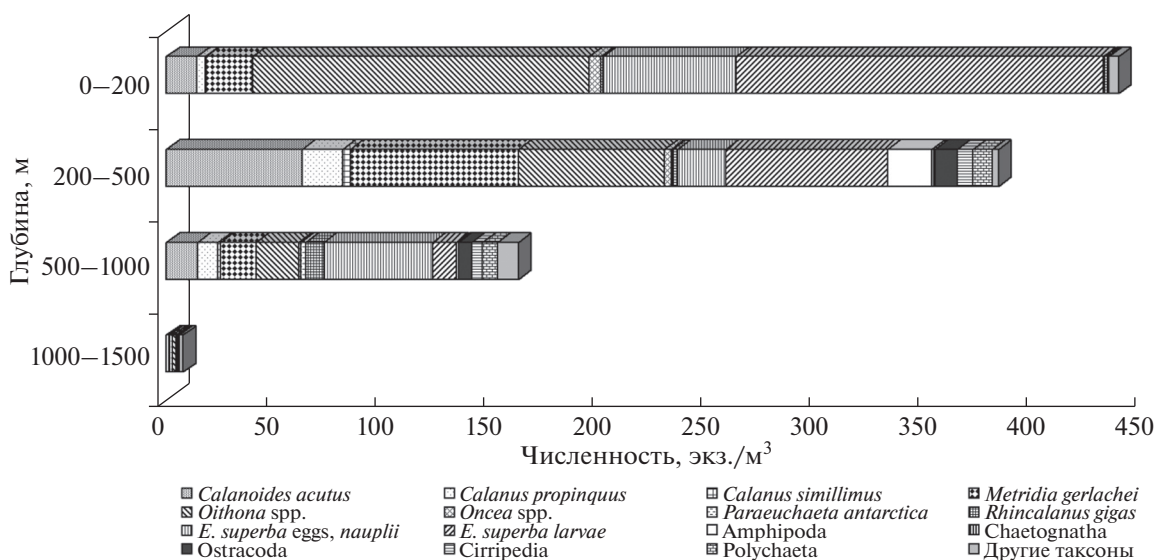


Рис. 3. Вертикальное распределение средней численности (экз./м<sup>3</sup>) основных таксономических групп/видов мезозoopланктона в январе–феврале 2022 г.

*Calanus propinquus*, *Metridia gerlachei*, *Oithona* spp. и *Rhincalanus gigas*), которые были многочисленны в прол. Брансфилда у Ю. Шетландских о-вов и в бассейне Пауэлла. Скопление икры криля *E. superba* наблюдалось в трех районах: в южной глубоководной части прол. Антарктика, над юго-западным и северо-восточным склонами бассейна Пауэлла; личинок *E. superba* — у Ю. Оркнейских о-вов (рис. 2в, 2г).

Сообщества мезозoopланктона в изученной акватории отличались определенной вертикальной структурой. Максимальные показатели средней численности мезозoopланктона наблюдались в поверхностном слое (200–0 м), где преобладали икра, личинки криля *E. superba* и копеподы *Oithona* spp. (рис. 3). Исключением были воды прол. Антарктика и в бассейне Пауэлла, где высокие концентрации икры и науплиусов криля отмечены на значительной глубине (1000–500 м) (табл. 1). Относительно высокие показатели средней численности мезозoopланктона характерны для 500–200 м слоя воды, где основу формировали крупные антарктические копеподы *C. acutus*, *C. propinquus*, *M. gerlachei*, Amphipoda (гиперииды *Themisto gaudichaudii*, *Primno macropa*, *Cyllopus magellanicus*) и Ostracoda (рис. 3). Исключением были воды над северо-восточным склоном бассейна Пауэлла, где в поверхностном теплом слое (1°C) концентрировались копеподы *C. acutus* и *C. propinquus* (табл. 1). Глубже 500 м наблюдались максимумы численности копепод родов *Paraeuchaeta*, *Euchirella* и *Rhincalanus*, при общем снижении средней численности мезозoopланктона. Сообщества, наблюдаемые глубже 1000 м были немногочислен-

ные, а видовое богатство фауны минимальное (рис. 3).

В изученном регионе выделены четыре группы станций (SIMPROF R = 0.69,  $p = 0.05\%$ ) с характерными сообществами, которые распределены неравномерно (рис. 4а). Сообщества группы А отмечены в северной части прол. Антарктик, над юго-западным и северо-восточным склонами бассейна Пауэлла (рис. 4б) и характеризовались доминированием копепод *Oithona* spp., *M. gerlachei* и *C. acutus* (виды ранжированы по убыванию значимости). Сообщества группы Б локализованы в прол. Брансфилда у побережья Ю. Шетландских о-вов, где наибольшее значение имели копеподы *Oithona* spp. и *M. gerlachei*. Сообщества группы В, выделенные в глубоководных частях между Антарктическим п-овом и Ю. Оркнейскими о-вами, характеризовались преобладанием икры и личинок криля *E. superba* и комплексом копепод, состоящим из *C. acutus*, *Oithona* spp. и *C. propinquus*. И наконец, сообщества группы Г, локализованные в прол. Брансфилда у Антарктического п-ова, представлены в основном копеподами, среди которых особо значимыми были *C. acutus* и *Oithona* spp. Сообщества мезозoopланктона, характеризующиеся низкой численностью и видовым разнообразием, не вошли ни в одну из групп (рис. 4б).

Сопоставляя расположение выделенных сообществ мезозoopланктона со структурой вод, отмечено, что сообщества (А и В), встречающиеся в прол. Антарктика, между Антарктическим п-овом и Ю. Оркнейскими о-вами, находились в условиях типичных вод моря Уэдделла, которые состояли из трех слоев — теплой Антарктической поверх-

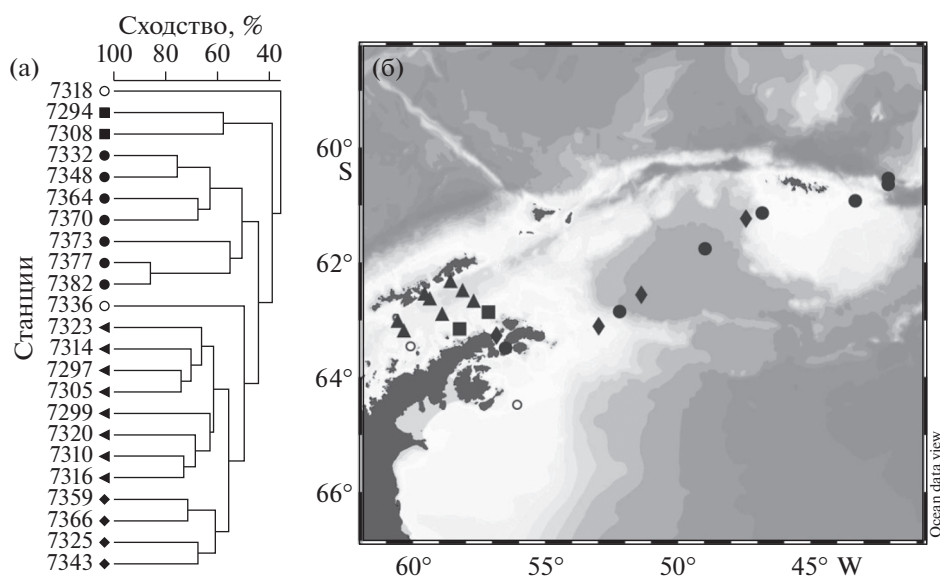


Рис. 4. Результаты кластерного анализа данных по численности (а) и географическое распространение выделенных групп (б). Группы:  $\blacklozenge$  – А,  $\blacktriangle$  – Б,  $\bullet$  – В,  $\blacksquare$  – Г,  $\circ$  – нет группы.

ностная воды (AASW), холодного промежуточного слоя (CIL) и теплой глубинной воды (WDW) [17, 36]. При этом, сообщества А, встречающиеся в северной части прол. Антарктика и над юго-западным и северо-восточным склонами бассейна Пауэлла находились в холодной и пресной модификации AASW. Напротив, сообщества В, выделенные в глубоководных частях прол. Антарктика, в бассейне Пауэлла и у Ю. Оркнейских о-вов, находились в теплой и соленой модификации AASW. Сообщества Б, встречающиеся в прол. Брансфилда у Ю. Шетландских о-вов, отмечены

в теплой воде течения Брансфилда (BC) [49, 54]. Сообщества Г, встречающиеся в прол. Брансфилда у Антарктического п-ова, наблюдались в холодных модифицированных водах моря Уэдделла (TWW), переносимых Антарктическим Прибрежным Течением (ACoC) [16]. Сообщества, не вошедшие ни в одну из групп, отмечены на границе сплоченных льдов в холодных (до  $-1.7^{\circ}\text{C}$ ) и распресненных (33.5‰) шельфовых водах (SW) в зоне локального максимума хлорофилла *a*.

Корреляционные связи между средними значениями численности и биомассы мезозоопланк-

Таблица 1. Численность (экз./м<sup>3</sup>) доминантных таксонов мезозоопланктона в проливе Антарктика (ст. 7332), над юго-западным (ст. 7348) и северо-восточным (ст. 7370) склонами бассейна Пауэлла моря Уэдделла

Район	Слой, м	<i>Calanoides acutus</i>	<i>Calanus propinquus</i>	<i>Metridia gerlachei</i>	<i>Oithona</i> spp.	<i>E. superba</i> (eggs, nauplii)	<i>E. superba</i> (larvae)	Другие таксоны
Ст. 7332	50–0	7.8	–	0.7	15.6	52.6	20.1	4.9
	100–50	10.5	–	3.9	52	47.8	16	6.6
	200–100	13.1	1.8	8.8	31.8	95.6	16.3	7.8
	500–200	6.5	1.6	5.3	16.9	270.1	76.5	23.2
	800–500	3.9	–	3.5	–	334.7	30.5	12.3
Ст. 7348	100–0	3.1	2.4	0.1	0.7	–	0.9	2.2
	200–100	0.7	0.1	0.05	0.5	0.8	0.06	6.9
	500–200	12.2	0.02	1.5	36.5	32.5	62.4	10.1
	1000–500	24.3	7.4	1.4	243.2	650.3	130.8	6.2
	1500–1000	–	0.06	0.03	21.1	–	–	0.8
Ст. 7370	50–0	375.2	160.2	–	163.6	1112	469.2	0.9
	100–50	14.9	0.5	1.2	5.8	–	0.2	2.3
	200–100	11.1	0.4	0.1	5.5	–	5.8	6.9
	300–200	3.5	0.5	0.2	5.1	–	0.8	8.4
	500–300	–	0.3	0.6	4.3	–	0.1	4.4

**Таблица 2.** Корреляция Спирмена (Spearman's rank order Correlations) между количественными характеристиками мезозоопланктона и параметрами внешней среды

	SST	200 m T	500 m T	SSS	200 m S	500 m S	Chl <i>a</i>
N Meso	0.380	-0.056	0.182	-0.162	<b>0.454</b>	0.350	0.059
B Meso	0.366	0.009	0.271	-0.277	0.311	<b>0.521</b>	0.084
N Cop	0.291	-0.004	0.139	0.077	0.263	<b>-0.346</b>	0.006
B Cop	0.143	-0.019	0.296	-0.069	0.182	0.128	-0.043
N <i>E. superba</i> (eggs, nauplii, larvae)	0.082	<b>-0.390</b>	0.296	<b>-0.369</b>	0.335	<b>0.415</b>	-0.041
B <i>E. superba</i> (eggs, nauplii, larvae)	0.173	-0.258	0.353	-0.258	0.358	0.423	-0.047

Примечание: *T* – температура (°C), *S* – соленость (‰), Chl *a* – хлорофилл *a* (мг/м<sup>3</sup>), *N* – численность (экз./м<sup>3</sup>), *B* – биомасса (мг/м<sup>3</sup>), Meso – мезозоопланктон, Cop – копеподы. Жирным шрифтом выделены значимые значения ( $p < 0.05$ ).

тона, численностью криля *E. superba* на различных личиночных стадиях и соленостью на глубине 200 м (200 m S) и 500 м (500 m S) были положительными и достоверными. Достоверная отрицательная связь отмечена между численностью икры и личинок криля *E. superba* и поверхностной соленостью (SSS) и температурой воды на глубине 200 м (200 m T), а также между численностью копепод и соленостью (500 m S) (табл. 2). Из общего количества изученных корреляционных зависимостей установлено 6 достоверных связей, которые в равной степени могут отражать изменения численности и биомассы доминантных групп мезозоопланктона при изменении параметров внешней среды.

Несмотря на потепление [30] и опреснение поверхностных вод за счет таяния ледников [13, 38], которое в Атлантическом секторе Южного океана привело к изменению сообществ фитопланктона – от сообществ с преобладанием диатомовых водорослей к криптофитам и мелким жгутиковым [33, 34] и оказало значительное влияние на криля и сальп [24, 33], структура и распределение сообществ мезозоопланктона в исследуемом регионе в летний сезон 2022 г. по сравнению с данными других лет [28, 35, 36, 51, 53] изменились незначительно. Величина средней численности икры и личинок криля в изученном регионе была в 3–5 раз ниже, чем сообщалось ранее другими исследователями [5, 6, 19]. Возможно, период наших исследований мог совпадать с периодом между волнами миграции криля, когда его численность низкая. На наличие волн высокой и низкой численности криля в Атлантическом секторе Антарктики указывалось ранее [5, 44]. Тем не менее, не исключается и проявление тренда на уменьшение численности криля в связи с климатическими изменениями, который начал наблюдаться еще в конце XX века [5, 9, 24, 44].

Различия, наблюдаемые нами в пространственном распределении сообществ мезозоопланктона, могут быть связаны с неоднородностью водных масс в регионе [18, 26, 35]. Наличие в прол.

Брансфилда двух различных сообществ мезозоопланктона подтверждает выводы о существовании в этом районе известной разнонаправленной двуструйной системы [27, 42], состоящей из мощного теплого течения ВС, направленного вдоль Ю. Шетландских о-вов на северо-восток, и слабого холодного течения АСос, направленного на юго-запад. Различия в вертикальном распределении мезозоопланктона могут быть обусловлены сезонной миграцией планктеров, наличием пищи и сезонного пикноклина. Копеподы *C. acutus*, *C. propinquus*, *M. gerlachii*, встречающиеся летом обычно в поверхностном слое 200–0 м [1, 14, 28], в летний период наших исследований были сосредоточены в пределах теплой глубинной воды (500–200 м). Наличие в исследуемой акватории резкого сезонного пикноклина, где градиенты температуры и солености достигали 0.5°C и 0.06‰ на 10 метров, возможно, препятствовали совершению миграции этих видов копепод к поверхности для откорма и размножения. Тем не менее, стратификация водной толщи способствует активной вегетации фитопланктона, как необходимого корма для развития мезозоопланктона [8, 15].

Изменения структуры и обилия мезозоопланктона в Южном океане в наибольшей степени связаны с изменениями биомассы фитопланктона [39, 50]. Дж. Тарлинг с соавторами [47] обнаружили, что копеподы отдают пищевое предпочтение динофлагеллятам, тем самым демонстрируя, что изменение качества пищи и пищевой избирательности могут являться основными факторами, влияющими на стабильность сообществ мезозоопланктона. Высокая численность мезозоопланктона также может быть связана с наличием доступной гетеротрофной пищи, которая входит в биоту морского льда и появляется в летний период во время его таяния [24]. Максимальная численность копепод в изученном регионе была сосредоточена в прол. Брансфилда у Ю. Шетландских о-вов, во время сезонного обилия динофлагеллят (*Phaeocystis antarctica* и *Polarella glacialis*) [26].

Прогрев воды, обилие фитопланктона и высокая концентрация хлорофилла *a* могут являться ключевыми факторами высокой численности другой доминантной группы мезозoopланктона — личинок криля *E. superba* [25, 31, 41, 43, 45]. Летом в 2022 г. максимальные скопления икры и личинок криля, так же как и в другие годы [3, 19, 25], были отмечены на границе морей Уэдделла и Скоша, в прогретых водах у Ю. Оркнейских о-вов. Возможно, часть икры и личинок уэдделловской группировки переносится западной ветвью круговорота Уэдделла и смешивается с группировкой, переносимой водами южной струи АЦТ [23].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Атлантическом секторе Южного океана в летний сезон 2022 г. мезозoopланктон был представлен 42 видами из 11 крупных таксономических групп, среди которых преобладали копеподы, икра и личинки антарктического криля *E. superba*. Численность и биомасса мезозoopланктона увеличивалась в восточном направлении от Антарктического п-ова к Южным Оркнейским о-вам. Максимальные значения численности и биомассы мезозoopланктона отмечены в теплой Антарктической поверхностной воде, минимальные значения, соответственно, отмечены в холодной модифицированной воде моря Уэдделла. Таксономическое разнообразие мезозoopланктона было значительно выше в глубоководных районах, чем в прибрежных зонах у Антарктического п-ова. Выделены четыре группы сообществ мезозoopланктона, которые тесно связаны с неоднородностью водных масс в изученном регионе. Различия в вертикальном распределении мезозoopланктона обусловлены сезонной миграцией планктеров, наличием пищи и стратификацией водной толщи. Корреляционные связи показали, что биомасса мезозoopланктона может увеличиваться с глубиной, при этом изменения значений поверхностной солености и температуры воды могут влиять на изменения численности икры и личинок криля *E. superba*.

Это предварительные результаты комплексного исследования, которые будут подробно проанализированы в последующих публикациях и предоставят бесценную информацию о жизни планктонных организмов в экстремальных условиях изменяющегося Южного океана. Результаты настоящего и будущих исследований будут иметь практическое значение при прогнозировании долгосрочных изменений биоты Южного океана и для разработки будущих оценок и стратегий ее сохранения и управления.

**Благодарности.** Автор благодарит руководство ИО РАН и начальника экспедиции Морозова Е.Г. за организацию экспедиционных работ, зам. нач. экспедиции Молодцову Т.Н. и Орлова А.М., от-

ряды Планктона и Бентоса за отбор планктонных проб, коллег из ИО РАН, ИнБЮМ РАН, ТОИ ДВО РАН, ННЦМБ ДВО РАН за плодотворные дискуссии, а также капитана и экипаж НИС “Академик Мстислав Келдыш” за всестороннюю помощь.

**Источники финансирования:** Работа выполнена в рамках темы государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FMWE-2022-0001 и № 122072000067-9 (ННЦМБ).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронина Н.М. Экосистемы пелагиали Южного океана. 1984. М.: Наука, 206 с.
2. Макаров Р.Р. Личинки *Euphausia superba* Dana в планктоне моря Скотия // Труды ВНИРО. 1974. Т. 99. С. 84–102.
3. Макаров Р.Р., Меньшенина Л.Л. Общие черты распределения личинок эвфаузиид в водах Антарктики // Океанология. 1989. Т. 29. № 5. С. 825–831.
4. Перцова К.Н. Личинки эвфаузиид Антарктики // Труды института океанологии АН СССР. 1976. Т. 105. С. 147–170.
5. Сологуб Д.О. Распределение и возрастной состав личинок эвфаузиид (*Euphausiacea*) в районе Антарктического полуострова // Труды ВНИРО. 2015. Т. 154. С. 3–15.
6. Спиридонов В.А., Залота А.К., Яковенко В.А., Горбатенко К.М. Состав популяции и транспорт молоди антарктического криля в районе бассейна Пауэлла (северо-западная часть моря Уэдделла) в январе 2020 г // Труды ВНИРО. 2020. Т. 181. С. 33–51.
7. Anisimov O.A., Vaughan D.G., Callaghan T.V. et al. Polar regions (Arctic and Antarctic). In: Parry M.L., Canziani O.F., Palutikof J.P. et al. (eds). Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: University Press, 2007. P. 653–685.
8. Atkinson A. Life cycle strategies of epipelagic copepods in the Southern Ocean // Journal of Marine Systems. 1998. V. 15. Iss. 1–4. P. 289–311. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(97\)00081-X](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(97)00081-X)
9. Atkinson A., Tarling G.A., Shreeve R.S. et al. Natural growth rates in Antarctic krill (*Euphausia superba*). II. Predictive models based on food, temperature, body length, sex, and maturity stage // Limnol. Oceanogr. 2006. V. 51. No. 2. P. 973–987.
10. Bitiutskii D.G., Samyshev E.Z., Minkina N.I. et al. Distribution and demography of Antarctic krill and salps in the Atlantic sector of the Southern Ocean during austral summer 2021–2022 // Water. 2022. V. 14. No. 23. 3812. <https://doi.org/10.3390/w14233812>
11. Boltovskoy D. South Atlantic Zooplankton. 1999. Leiden: Backhuys Publishers, 868 pp.
12. Clarke K.R., Gorley R.N. PRIMER v6: User Manual/Tutorial. 2006. Plymouth: PRIMER-E. 192 pp.
13. Cook A.J., Fox A.J., Vaughan D.G., Ferrigno J.G. Retreating Glacier fronts on the Antarctic Peninsula over the

- past half-century // *Science*. 2005. V. 308. P. 541–544. <https://doi.org/10.1126/science.1104235>
14. *Delgado L.E., Jana R., Mari V.H.* Testing hypotheses on life-cycle models for Antarctic calanoid copepods, using qualitative, winter, zooplankton samples // *Polar Biology*. 1998. V. 20. No. 1. P. 74–76. <https://doi.org/10.1007/s003000050278>
  15. *Deppeler S.L., Davidson A.T.* Southern Ocean phytoplankton in a changing climate // *Frontiers in Marine Science*. 2017. V. 4. 40. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00040>
  16. *Fedotova A.A., Kashin S.V.* Interannual variations of water mass properties in the central basin of the Bransfield Strait. In: *Morozov E.G., Flint M.V., Spiridonov V.A.* (Eds.). *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean. Oceanography and Ecology // Advances in Polar Ecology*. V. 6. 2021. Springer: Cham, Switzerland, P. 131–141. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78927-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78927-5_9).
  17. *Fedotova A.A., Stepanova S.V.* Water mass transformation in the Powell Basin. In: *Morozov E.G., Flint M.V., Spiridonov V.A.* (Eds.). *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean. Oceanography and Ecology // Advances in Polar Ecology*. V. 6. 2021. Springer: Cham, Switzerland, P. 115–129. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78927-5\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78927-5_8).
  18. *Frey D.I., Krechik V.A., Morozov E.G. et al.* Water exchange between deep basins of the Bransfield Strait // *Water*. 2022. V. 14. No. 20. 3193. <https://doi.org/10.3390/w14203193>
  19. *Gao Q., Xu Z., Huang H. et al.* Geographical distribution and age composition of *Euphausia superba* larvae (Crustacea: Euphausiacea) in the South Shetland Islands region and southern Scotia Sea in relation to environmental conditions // *Acta Oceanol. Sin.* 2013. V. 32. P. 59–67.
  20. *Garcia M.D., Dutto M.S., Chazarreta C.J. et al.* Micro- and mesozooplankton successions in the Antarctic coastal environment during a warm year // *PlosONE*, 2020. V. 15. No. 5. e0232614. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232614>
  21. *Hewes C.D., Reiss C.S., Holm-Hansen O.A.* quantitative analysis of sources for summertime phytoplankton variability over 18 years in the South Shetland Islands (Antarctica) region // *Deep-Sea Res.* 2009. V. 56. P. 1230–1241.
  22. *Heywood K.J., Garabato A.C.N., Stevens D.P., Muench R.D.* On the fate of the Antarctic Slope Front and the origin of the Weddell Front // *J. Geophys. Res.* 2004. V. 109. C06021. <https://doi.org/10.1029/2003JC002053>
  23. *Hofmann E.E., Klinck J.M., Locarnini R.A., Fach B.* Krill transport in the Scotia Sea and environs // *Antarct. Sci.* 1998. V. 10. P. 406–415. <https://doi.org/10013/epic.21917.d001>.
  24. *Johnston N.M., Murphy E.J., Atkinson A. et al.* Status, change, and futures of zooplankton in the Southern Ocean // *Front. Ecol. Evol.* 2022. V. 9. 624692. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.624692>
  25. *Kasyan V.V.* Age structure and spatial distribution of *Euphausia superba* larvae off the Antarctic Peninsula, Southern Ocean // *Water*. 2022. V. 14. 3196. <https://doi.org/10.3390/w14203196>
  26. *Kasyan V.V., Bitiutskii D.G., Mishin A.V. et al.* Composition and distribution of plankton communities in the Atlantic Sector of the Southern Ocean // *Diversity*. 2022. V. 14. No. 11. 923. <https://doi.org/10.3390/d14110923>
  27. *Krechik V.A., Frey D.I., Morozov E.G.* Peculiarities of water circulation in the central part of the Bransfield Strait in January 2020 // *Doklady Earth Sciences*. 2021. V. 496, No. 1. P. 92–95. <https://doi.org/10.1134/S1028334X21010116>
  28. *Lee W., Kim S., Kang S. et al.* Distribution and abundance of zooplankton in the Bransfield Strait and the western Weddell Sea during austral summer // *Ocean and Polar Research*. 2004. V. 26. No. 4. P. 607–618. <https://doi.org/10.4217/OPR.2004.26.4.607>
  29. *Loeb V.J., Santora J.A.* Population dynamics of *Salpa thompsoni* near the Antarctic Peninsula: growth rates and interannual variations in reproductive activity (1993–2009) // *Progr. in Oceanog.* 2012. V. 96. Iss. 1. P. 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2011.11.001>
  30. *Meredith M.P., King J.C.* Rapid climate change in the ocean west of the Antarctic Peninsula during the second half of the 20th century // *Geophys. Res. Lett.* 2005. V. 32. L19604. <https://doi.org/10.1029/2005gl024042>
  31. *Meyer B., Atkinson A., Blume B., Bathmann U.V.* Feeding and energy budgets of larval Antarctic krill *Euphausia superba* in summer // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2003. V. 57. P. 167–177.
  32. *Mizdalski E.* Weight and length data of zooplankton in the Weddell Sea in austral spring 1986 (ANT V/3) // *Ber. Polarforsch.* 1988. V. 55. P. 1–72.
  33. *Moline M.A., Claustre H., Frazer T.K. et al.* Alteration of the food web along the Antarctic Peninsula in response to a regional warming trend // *Global Change Biol.* 2004. V. 10, P. 1973–1980. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00825.x>
  34. *Montes-Hugo M., Vernet M., Martinson D. et al.* Variability on phytoplankton size structure in the western Antarctic Peninsula (1997–2006) // *Deep Sea Res. II*. 2008. V. 55. P. 2106–2117. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2008.04.036>
  35. *Morozov E.G., Flint M.V., Spiridonov V.A.* Antarctic Peninsula region of the Southern Ocean // *Advances in Polar Ecology*; Springer: Cham, Switzerland, 2021. V. 6. 433 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-78927-5>.
  36. *Morozov E.G., Krechik V.A., Frey D.I. et al.* Frontal zone between relatively warm and cold waters in the Northern Weddell Sea. In: *Morozov E.G., Flint M.V., Spiridonov V.A.* (Eds.). *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean. Oceanography and Ecology // Advances in Polar Ecology*. V. 6. 2021. Springer: Cham, Switzerland, P. 31–54. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-78927-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78927-5_3)
  37. *Pakhomov E.A., Pshenichnov L.K., Krot A. et al.* Zooplankton distribution and community structure in the Pacific and Atlantic Sectors of the Southern Ocean during austral summer 2017–18: A pilot study conducted from Ukrainian long-liners // *J. Mar. Sci. Eng.* 2020. V. 8. 488. <https://doi.org/10.3390/jmse8070488>
  38. *Peck L.S., Barnes D.K. A., Cook A.J. et al.* Negative feedback in the cold: ice retreat produces new carbon sinks in Antarctica // *Glob. Change Biol.* 2010. V. 16.



- P. 2614–2623.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02071.x>
39. Pinkerton M.H., Decima M., Kitchener J.A. et al. Zooplankton in the Southern Ocean from the continuous plankton recorder: distributions and long-term change // *Deep Sea Res. I*. 2020. V. 162. 103303.  
<https://doi.org/10.1016/j.dsr.2020.103303>
  40. Razouls C., de Bovee F., Kouwenberg J., Desreumaux N. Diversity and geographic distribution of marine planktonic copepods. Sorbonne University, CNRS. 2005–2021. Available at <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en/> (accessed February 2022).
  41. Ross R.M., Quetin L.B., Kirsch E. Effect of temperature on developmental times and survival of early larval stages of *Euphausia superba* Dana // *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 1988. V. 121. P. 55–71.
  42. Sangra P., Gordo C., Hernandez-Arencibia M. et al. The Bransfield Current system // *Deep Sea Res. I*. 2011. V. 58. P. 390–402.  
<https://doi.org/10.1016/j.dsr.2011.01.011>
  43. Schmidt K., Atkinson A., Venables H.J., Pond D.W. Early spawning of Antarctic krill in the Scotia Sea is fuelled by “superfluous” feeding on non-ice associated phytoplankton blooms // *Deep Sea Res. II*. 2012. V. 59–60. P. 159–172.
  44. Siegel V., Watkins J.L. Distribution, biomass and demography of Antarctic krill, *Euphausia superba* // *Advances in Polar Ecology. Biology and ecology of Antarctic krill*. 2016. V. 1. P. 21–100.
  45. Spiridonov V.A. Spatial and temporal variability in reproductive timing of Antarctic krill (*Euphausia superba*) // *Polar Biol.* 1995. V. 15. P. 161–174.  
<https://doi.org/10.1007/BF00239056>
  46. Stammerjohn S.E., Martinson D.G., Smith R.C. et al. Trends in Antarctic annual sea ice retreat and advance and their relation to El Niño – Southern Oscillation and Southern Annular Mode variability // *J. Geophys. Res. Oceans*. 2008. V. 113. C03S90.
  47. Tarling G.A., Peck V., Ward P. et al. Effects of acute ocean acidification on spatially-diverse polar pelagic foodwebs: insights from on-deck microcosms // *Deep Sea Res. II*. 2016. V. 127. P. 75–92.
  48. Thompson A.F., Heywood K.J., Thorpe S.E. et al. Surface circulation at the tip of the Antarctic Peninsula from drifters // *J. Phys. Oceanog.* 2009. V. 39. P. 3–26.
  49. Tokarczyk R. Classification of water masses in the Bransfield Strait and southern part of the Drake Passage using a method of statistical multidimensional analysis // *Polish Pol. Res.* 1987. V. 8. P. 333–366.
  50. Trifoglio N.L., Olguin Salinas H.F., Franzosi C.A., Alder V.A. Annual cycle of phytoplankton, protozoa and diatom species from Scotia Bay (South Orkney Islands, Antarctica): community structure prior to, during and after an anomalously low sea ice year // *Progress in Oceanography*. 2022. V. 204. 102807.  
<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2022.102807>
  51. Voronina N.M. Comparative abundance and distribution of major filter-feeders in the Antarctic pelagic zone // *J. of Mar. Sys.* 1998. V. 17. Iss. 1–4. P. 375–390.  
[https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(98\)00050-5](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(98)00050-5)
  52. WoRMS Editorial Board. World Register of Marine Species. 2015. <http://www.marinespecies.org>.
  53. Yakovenko V.A., Spiridonov V.A., Gorbatenko K.M. et al. Macro- and mesozooplankton in the Powell Basin (Antarctica): species composition and distribution of abundance and biomass in February 2020 // *Antarctic Peninsula Region of the Southern Ocean*. Springer: Cham, Switzerland, 2021; V. 6. P. 131–141.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-030-78927-5\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-78927-5_27)
  54. Zhou X.Q., Zhu G.P., Hu S. Influence of tides on mass transport in the Bransfield Strait and the adjacent areas // *Antarctic Polar Sci.* 2020. V. 23. 100506.  
<https://doi.org/10.1016/j.polar.2020.100506>

## Structure and Spatial Distribution of Mesozooplankton Communities in the Atlantic Sector of the Southern Ocean

V. V. Kasyan<sup>#</sup>

*A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch,  
 Russian Academy of Sciences (NSCMB FEB RAS), Vladivostok, Russia*

<sup>#</sup>*e-mail: valentina-k@yandex.ru*

In this paper, the composition and patterns of spatial distribution of mesozooplankton communities in the waters of the Bransfield Strait, the Antarctic Sound, the Powell Basin of the Weddell Sea and the waters off the Antarctic Peninsula and South Orkney Islands during the austral summer of 2022 are presented. Among the mesozooplankton communities two groups were found to be the most abundant: copepods *Calanoides acutus*, *Metridia gerlachei* and *Oithona* spp., and euphausiids *Euphausia superba*. The maximum abundance and biomass of the mesozooplankton were found in the warm Antarctic surface deep-sea water off the South Orkney Islands. The minimum values, respectively, were found in the cold modified Weddell Sea waters off the Antarctic Peninsula. Copepods was concentrated in the Bransfield Strait near the South Shetland Islands with sea surface temperature (SST) of  $-0.5$ – $-0.5^{\circ}\text{C}$  and sea surface salinity (SSS) of 34.5–34.6‰; and the krill *E. superba* eggs and larvae at different development stages was concentrated in the waters off the South Orkney Islands with SST values of  $1$ – $2^{\circ}\text{C}$  and SSS values of 34.3–34.5‰. Four groups of mesozooplankton communities at different composition, abundance, and taxa dominance were identified. The results of this and future study have practical implications for monitoring the state of the changing ecosystem of the Southern Ocean.

**Keywords:** Mesozooplankton, copepods, krill *Euphausia superba*, Atlantic sector, Southern Ocean