

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК [574.583:574.55](268.45-13)“321”

**ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗООПЛАНКТОНА
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ
В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД**© 2020 г. **В. Г. Дворецкий, А. Г. Дворецкий**

Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Российская Федерация

E-mail: vdvoretzkiy@mmbi.infoПоступила в редакцию 07.11.2019; после доработки 17.08.2020;
принята к публикации 25.12.2020; опубликована онлайн 30.12.2020.

Представлены результаты анализа состояния зоопланктонного сообщества в южной части Баренцева моря. Пробы отобраны в ходе экспедиции НИС «Дальние Зеленцы» в мае 2016 г. Гидрологические условия были типичными для мурманской прибрежной водной массы в этот сезон. Всего обнаружено 47 таксонов зоопланктона. Их количество колебалось по станциям от 18 до 29. Копеподы были доминирующей группой в зоопланктоне. Наиболее часто встречались *Calanus finmarchicus*, *Metridia longa*, *Metridia lucens*, *Microcalanus* spp., *Oithona atlantica*, *Oithona similis*, *Pseudocalanus* spp., науплии и яйца копепод, а также кладоцеры *Evadne nordmanni*, личинки иглокожих, полихет, щетинкочелюстные *Parasagitta elegans*, ювенильные стадии эвфаузиид рода *Thysanoessa*. В составе популяций массовых видов копепод *Pseudocalanus* spp. и *Oithona similis* преобладали младшие возрастные группы, что свидетельствовало о продолжающемся их размножении. Суммарная численность зоопланктона варьировала от 748 до 6576 экз. \cdot м⁻³, составляя в среднем 3012. Общая биомасса колебалась от 17 до 157 мг сухой массы \cdot м⁻³, средняя величина равнялась 83. Полученные величины сопоставимы с данными июля 2008 г. и превышают показатели августа 2007 г., что авторы связали с разными сезонами отбора проб и с различающимися гидрологическими условиями. Суточная продукция зоопланктона колебалась в диапазоне 0,49–4,04 мг сухой массы \cdot м⁻³ при средней величине (2,17 ± 0,17), что примерно в 2 раза выше, чем средние показатели для мурманских прибрежных вод в летний период. Вероятно, эти различия связаны с более высокой концентрацией фитопланктона в весеннее время. Суммарная величина запаса зоопланктона в исследуемой акватории (25,8 тыс. км²) оценена в 425 тыс. т сухой массы. Кластерный анализ выявил наличие четырёх групп станций, которые различались соотношением *Calanus finmarchicus*, Copepoda nauplii, *Oithona similis*, личинок иглокожих и аппендикулярий *Fritillaria borealis*. Пространственную изменчивость численности зоопланктона определяли местоположение станций (широта, долгота, глубина), а также температура придонного слоя и средняя солёность вод на станции.

Ключевые слова: зоопланктонное сообщество, копеподы, пелагическая экосистема

Зоопланктон — это ключевой компонент пелагических экосистем, обеспечивающий передачу энергии от первичных продуцентов к более высоким трофическим уровням (Киселев, 1980). Зоопланктон составляет важную часть питания промысловых рыб в северных морях. Южная часть Баренцева моря характеризуется высокой биологической продуктивностью (Зеликман и Камшилов, 1960 ; Зенкевич, 1963). В её прибрежной зоне

расположены акватории нереста и нагула многих видов рыб (Dalpadado & Mowbray, 2013 ; Orlova et al., 2011). Данные о составе и количественных характеристиках зоопланктона позволяют судить об обеспеченности промысловых гидробионтов кормовыми ресурсами (Дворецкий и Дворецкий, 2015 ; Орлова и др., 2004 ; Raymont, 1983).

Важнейшая фаза сукцессионного цикла планктона в арктических морях приходится на весну (Тимофеев, 2000 ; Orlova et al., 2011): в это время первичная продукция достигает максимальных показателей. Зоопланктон утилизирует значительную её часть и расходует впоследствии на свой рост и развитие (Орлова и др., 2004 ; Планктон морей..., 1997). Количество фитопланктона в весенний период во многом определяет запас зоопланктона и его продукцию и в конечном итоге — общее количество доступной для рыб пищи (Киселев, 1980 ; Орлова и др., 2004 ; Raymont, 1983).

Цель работы — изучить структуру, численность, биомассу и продукционные характеристики зоопланктонного сообщества в прибрежной зоне южной части Баренцева моря в весенний период.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в мае 2016 г. в рейсе НИС «Дальние Зеленцы» (рис. 1, табл. 1). Под прибрежной зоной понимали район, занятый мурманской прибрежной водной массой. Данные о температуре и солёности получены зондом SBE 19plus V2 SeaCAT. Информация о содержании хлорофилла *a* взята из работы (Водопьянова и др., 2017).

Сетью Джели (диаметр входного отверстия — 37 см, размер ячеей фильтрующего газа — 180 мкм) в период исследований отобрали 25 тотальных проб зоопланктона. Пробы фиксировали 4%-ным формалином. Схема станций отбора проб приведена на рис. 1. Обработку материала проводили в береговой лаборатории по стандартным методикам (Инструкция по сбору..., 1971 ; ICES Zooplankton..., 2000). Представителей зоопланктона идентифицировали по возможности до видового ранга. Из каждой пробы отбирали три подпробы объёмом 5–10 мл, результаты количественного анализа которых осредняли и пересчитывали в экз. \cdot м⁻³ и экз. \cdot м⁻². Биомассу зоопланктона рассчитывали, используя номограммы, таблицы весов морских гидробионтов и уравнения размерно-весовых зависимостей (Численко, 1968 ; Richter, 1994). Все величины приводили к сухой массе в соответствии с переходными коэффициентами для основных систематических групп (Дворецкий и Дворецкий, 2015 ; ICES Zooplankton..., 2000). Суточную продукцию зоопланктона рассчитывали по методике (Дворецкий, 2012 ; Дворецкий и Дворецкий, 2015, 2018), исходя из средней температуры воды, биомассы и потенциальной скорости роста гидробионтов. Для гидробионтов рассчитывали индивидуальную сухую/углеродную массу, а также генеративную продукцию / скорость роста, значения которых были взяты из опубликованных источников [их полный перечень приведён в (Дворецкий, 2012 ; Дворецкий и Дворецкий, 2015, 2018)].

Обработку полученных данных проводили методами вариационной статистики, определяли средние величины и ошибку средней. Структуру зоопланктонного сообщества анализировали на основе расчёта коэффициентов Брея — Кёртиса. Для выявления связи между численностью зоопланктона и факторами среды использовали алгоритм BIO-ENV программного пакета Primer 5.0. Расчёты запаса зоопланктона и интегральной суточной продукции для исследуемой акватории выполняли с использованием ГИС «КартМастер» (разработчик — ВНИРО, г. Москва) (Бизиков и др., 2007).



Рис. 1. Схема станций отбора зоопланктона в южной части Баренцева моря в мае 2016 г.

Fig. 1. Scheme of zooplankton sampling stations in the southern Barents Sea in May 2016

Таблица 1. Характеристики станций отбора проб зоопланктона в южной части Баренцева моря

Table 1. Characteristics of zooplankton sampling stations in the southern Barents Sea

Станция	Дата	Время отбора (UTC+3:00)	Глубина, м	Слой отбора, м	Координаты	
					с. ш.	в. д.
1	22.05.2016	23:58	284	270–0	70°30′	32°31′
2	23.05.2016	20:35	181	170–0	70°23′	32°20′
3	24.05.2016	12:37	300	280–0	70°15′	32°06′
4	24.05.2016	17:30	261	250–0	70°23′	32°49′
5	24.05.2016	23:43	192	180–0	70°11′	33°09′
6	25.05.2016	03:52	169	160–0	70°15′	32°48′
7	25.05.2016	10:05	137	130–0	70°08′	32°48′
8	25.05.2016	19:00	247	240–0	70°15′	33°30′
9	26.05.2016	01:07	238	230–0	70°08′	33°30′
10	26.05.2016	04:52	214	210–0	70°01′	34°11′
11	26.05.2016	09:25	249	240–0	70°07′	34°13′
12	27.05.2016	00:10	208	200–0	69°52′	34°12′
13	27.05.2016	12:16	219	210–0	70°60′	33°31′
14	27.05.2016	16:35	247	240–0	70°30′	33°30′
15	27.05.2016	19:25	246	240–0	70°15′	33°31′
16	27.05.2016	21:54	147	140–0	70°00′	33°31′
17	28.05.2016	00:51	180	170–0	69°44′	34°13′
18	28.05.2016	04:04	213	200–0	69°50′	34°42′
19	28.05.2016	06:45	244	240–0	70°01′	34°42′
20	28.05.2016	09:37	215	200–0	70°06′	35°19′
21	28.05.2016	20:05	233	220–0	69°48′	35°20′
22	28.05.2016	23:00	187	180–0	69°37′	35°13′
23	29.05.2016	01:43	176	160–0	69°30′	35°11′
24	29.05.2016	05:35	167	160–0	69°37′	34°41′
25	29.05.2016	14:35	263	250–0	69°30′	33°30′

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Средняя температура воды в слое облова варьировала от +4,1 до +5,4 °С, солёность — от 34,15 до 34,66 ‰. Полученные величины типичны для мурманской прибрежной водной массы (Ожигин и Ившин, 1999). Согласно (Водопьянова и др., 2017), концентрация хлорофилла *a* изменялась в фотическом слое от 0,11 до 0,91 мг·м⁻³; на глубине 75 м (станция 4) фиксировали локальный максимум (1,26 мг·м⁻³); в придонных слоях содержание пигмента составляло 0,15–0,30 мг·м⁻³ (Водопьянова и др., 2017). Подобное мозаичное распределение фитопигментов зарегистрировано в предыдущие годы (Планктон морей..., 1997) и является характерным для прибрежных вод Кольского п-ова (Планктон морей..., 1997).

В пробах обнаружено 47 таксонов зоопланктона (табл. 2). Наиболее часто (> 80 % просмотренных проб) встречались *Calanus finmarchicus*, науплии и яйца копепод, *Metridia longa*, *Metridia lucens*, *Microcalanus* spp., *Oithona atlantica*, *Oithona similis*, *Pseudocalanus* spp., *Evadne nordmanni*, личинки иглокожих и полихет, *Parasagitta elegans*, ювенильные стадии *Thysanoessa* spp. Количество таксонов на станциях варьировало от 18 до 29. Максимум отмечен на ст. 13, минимум — на ст. 20. Южная часть Баренцева моря наиболее богата по видовому составу планктона: здесь обнаружено свыше 280 таксонов животных (Дворецкий и Дворецкий, 2015 ; Dvoretzky & Dvoretzky, 2010). Весной количество видов возрастает за счёт появления меропланктона, в состав которого входят главным образом личинки донных беспозвоночных (Планктон морей..., 1997 ; Тимофеев, 2000 ; Orlova et al., 2011), что подтвердило наше исследование.

Таблица 2. Список таксонов зоопланктона, их частота встречаемости в пробах и средняя численность в южной части Баренцева моря в мае 2016 г.

Table 2. List of zooplankton taxa, their frequency in samples, and mean abundance in the southern Barents Sea in May 2016

Таксон	Частота встречаемости в пробах, %	Средняя численность, экз·м ⁻³
<i>Acartia longiremis</i>	64	1
<i>Anomalocera patersoni</i>	4	< 1
<i>Calanus finmarchicus</i>	100	1743
<i>Calanus hyperboreus</i>	36	< 1
<i>Centropages hamatus</i>	32	< 1
Соперода ova	100	12
Соперода nauplii	100	400
<i>Metridia longa</i>	96	36
<i>Metridia lucens</i>	100	16
<i>Microcalanus pusillus</i>	100	8
<i>Microcalanus pygmaeus</i>	100	98
<i>Oithona atlantica</i>	100	10
<i>Oithona similis</i>	100	308
<i>Triconia borealis</i>	16	< 1
<i>Paraeuchaeta</i> spp. I–IV	20	< 1
<i>Paraeuchaeta norvegica</i> V–VI	12	< 1
<i>Pseudocalanus</i> spp. I–IV	100	26
<i>Pseudocalanus minutus</i> V–VI	100	10
<i>Pseudocalanus acuspes</i> V–VI	96	< 1
<i>Temora longicornis</i>	40	< 1
<i>Evadne nordmanni</i>	100	6

Продолжение на следующей странице...

Таксон	Частота встречаемости в пробах, %	Средняя численность, экз.·м ⁻³
<i>Podon leuckartii</i>	32	< 1
<i>Aglantha digitale</i>	48	< 1
<i>Rathkea octopunctata</i>	8	< 1
Bivalvia juv.	56	7
Cirripedia nauplii	8	< 1
Echinoidea (echinopluteus larvae)	100	126
Gastropoda larvae	72	3
Ophiuroidea (ophiopluteus larvae)	100	36
Polychaeta larvae	88	11
<i>Chionoecetes opilio</i> zoea + megalopa	12	< 1
<i>Hyas</i> spp. zoea	4	< 1
<i>Paralithodes camtschaticus</i> zoea	4	< 1
<i>Pandalus borealis</i> larvae	8	< 1
<i>Boroecia borealis</i>	68	< 1
Pisces larvae	64	< 1
<i>Limacina helicina</i> larvae	4	< 1
<i>Parasagitta elegans</i>	88	< 1
<i>Meganocythanes norvegica</i>	8	< 1
<i>Thysanoessa inermis</i>	4	< 1
<i>Thysanoessa raschii</i>	4	< 1
<i>Thysanoessa</i> spp. calytopis	100	49
<i>Thysanoessa</i> spp. nauplii	96	23
<i>Thysanoessa</i> spp. furcillii	100	24
<i>Fritillaria borealis</i>	52	43
<i>Oikopleura labradoriensis</i>	40	13
Nemertini pilidium larvae	4	< 1

Общая численность зоопланктона изменялась в широком диапазоне от 748 до 6576 экз.·м⁻³, составляя в среднем (3012 ± 255). Обилие зоопланктона прибрежных акваторий во многом зависит от внешних факторов — системы циркуляций, наличия фронтальных зон, пресноводного стока (Дворецкий и Дворецкий, 2015 ; Тимофеев, 2000). Наибольшая изменчивость численности зоопланктона характерна для юго-восточной части моря и некоторых заливов (Зеликман, 1977 ; Зенкевич, 1963 ; Планктон морей..., 1997), где создаются благоприятные условия для формирования скоплений планктона.

Суммарная биомасса зоопланктона варьировала от 17 до 157 мг сухой массы·м⁻³, среднее значение составило (83 ± 7). Полученные величины сопоставимы с показателями, зарегистрированными в южной части Баренцева моря в июле 2008 г. (Дворецкий и Дворецкий, 2015), и превышают значения, отмеченные в районе Кольского залива в августе 2007 г. (Dvoretsky & Dvoretsky, 2012), которые, в свою очередь, определяют фазу сезонного развития зоопланктонного сообщества (Зеликман, 1977 ; Orlova et al., 2011 ; Raymont, 1983).

Продукция зоопланктона колебалась от 0,49 до 4,04 мг сухой массы·м⁻³·сут⁻¹ при среднем значении (2,17 ± 0,17). Полученные величины примерно в 2 раза выше средних показателей мурманских прибрежных вод (2008–2013) во время летнего периода — 0,64–1,25 мг сухой массы·м⁻³·сут⁻¹ (Дворецкий и Дворецкий, 2015, 2016, 2018); это связано, вероятно, с обилием пищи для зоопланктона в мае. Известно, что весной наблюдается увеличение численности фитопланктона, за которым обычно следует пик биомассы зоопланктона (Зенкевич, 1963 ; Киселев, 1980 ; Тимофеев, 2000). Летом концентрация микроводорослей существенно меньше, поэтому

уровень продукции зоопланктона снижается (Планктон морей..., 1997). Наиболее продуктивными считаются воды на стыке фронтальных зон. В августе 2010 г. продукция зоопланктона в пределах фронтальных зон в центральной части Баренцева моря составляла 0,18–4,02 мг сухой массы·м⁻³·сут⁻¹ (Дворецкий и Дворецкий, 2017). В мае 2016 г. отмечены близкие величины, что подтверждает высокую продуктивность зоопланктона прибрежной акватории. В другие сезоны суточная продукция зоопланктона может быть гораздо выше, чем весной. В Печорском море в июне 2001 г. максимальная продукция копепод достигала 14,6 мг сухой массы·м⁻³·сут⁻¹; в губе Дворовая в июле 2008 г. максимальная продукция зоопланктона превышала 28,3 мг сухой массы·м⁻³·сут⁻¹ (Дворецкий и Дворецкий, 2015). Как правило, зоны повышенной продуктивности фиксируют в заливах и губах, воды которых обогащаются биогенами и взвесью (Дворецкий и Дворецкий, 2015, 2016 ; Тимофеев, 2000). Рассчитанный суточный P/B-коэффициент (production/biomass ratio) зоопланктона составил 0,02–0,03, что сопоставимо с величинами, полученными ранее в прибрежных водах Баренцева моря (Дворецкий и Дворецкий, 2015, 2016 ; Dvoretzky & Dvoretzky, 2012).

Доминирующей группой в зоопланктоне в период исследований были копеподы: на их долю в среднем приходилось 90 % численности, 96 % биомассы и 94 % общей продукции зоопланктона. Указанный результат вполне закономерен, поскольку веслоногие ракообразные формируют основную часть зоопланктона арктических морей на протяжении всего года (Орлова и др., 2004 ; Численко, 1968 ; Orlova et al., 2011). В табл. 3 приведены количественные показатели зоопланктона в исследуемый период.

Таблица 3. Суммарные величины численности, биомассы и суточной продукции зоопланктона и копепод в южной части Баренцева моря в мае 2016 г.

Table 3. Total zooplankton and copepod abundance, biomass, and daily production in the southern Barents Sea in May 2016

Показатель	\bar{X}	SE	Min	Max
Численность зоопланктона/копепод, тыс. экз.·м ⁻²	584 / 521	36 / 29	202 / 178	889 / 802
Биомасса зоопланктона/копепод, г сухой массы·м ⁻²	16,3 / 15,8	1,1 / 1,1	4,2 / 4,0	25,8 / 25,6
Продукция зоопланктона/копепод, мг сухой массы·м ⁻²	426 / 403	27 / 26	121 / 113	648 / 636

Примечание: \bar{X} — среднее; SE — стандартная ошибка; min — минимальное значение; max — максимальное.

Note: \bar{X} is mean; SE is standard error; min is minimum value; max is maximum.

Пространственное распределение биомассы суммарного зоопланктона и его суточной продукции приведено на рис. 2. Для исследуемой акватории площадью 25,8 тыс. км² суммарная величина запаса зоопланктона оценена в 425 тыс. т сухой массы. В этой акватории в сутки, согласно расчётным данным, воспроизводилось около 10 тыс. т сухой массы зоопланктона.

Кластерный анализ выявил наличие четырёх групп станций (рис. 3), которые были довольно близкими между собой по обилию и составу зоопланктона. Минимальное сходство между кластерами по коэффициенту Брея — Кёртиса составило 65 %. Основной вклад в различие между группами станций вносили *Calanus finmarchicus* (2–8 %), *Oithona similis* (1–4 %), науплиусы копепод (2–4 %), личинки иглокожих (1–5 %) и аппендикулярия *Fritillaria borealis* (1–3 %). Четыре кластера значимо отличались структурой зоопланктонных сообществ, то есть соотношением массовых видов (ANOSIM Test, global $R = 0,779$, $p < 0,001$).

Наибольшая численность и биомасса зоопланктона выявлены на станциях кластера 3, минимальные — на станциях кластера 4. Доминирующими группами по численности на станциях кластеров 1–3 были *Calanus finmarchicus* (в среднем 58–63 %) и науплиусы копепод

(12–18 %). Особенностью кластера 4 была высокая доля *Oithona similis* в общем обилии зоопланктона. По биомассе в пределах всех групп станций преобладал *Calanus finmarchicus*, при этом на станциях кластера 4 его вклад был минимальным (< 88 %).

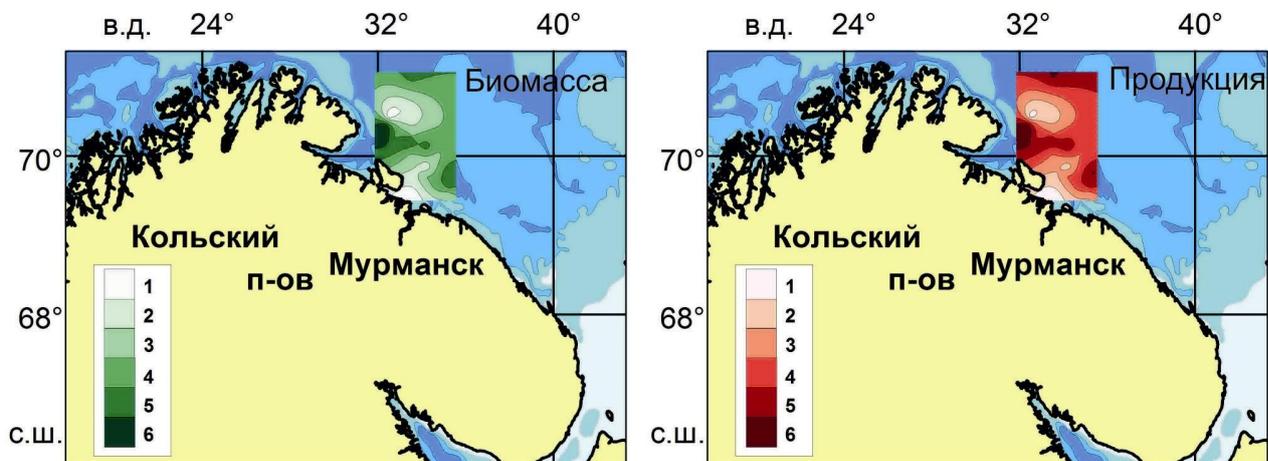


Рис. 2. Распределение биомассы и суточной продукции суммарного зоопланктона в южной части Баренцева моря в мае 2016 г. Биомасса (г сухой массы·м⁻²): 1 — < 5; 2 — 5–10; 3 — 10–15; 4 — 15–20; 5 — 20–25; 6 — > 25. Продукция (мг сухой массы·м⁻²·сут⁻¹): 1 — < 100; 2 — 100–200; 3 — 200–300; 4 — 300–400; 5 — 400–500; 6 — > 500

Fig. 2. Distribution of total zooplankton biomass and daily production in the southern Barents Sea in May 2016. Biomass (g of dry mass per m²): 1 – < 5; 2 – 5–10; 3 – 10–15; 4 – 15–20; 5 – 20–25; 6 – > 25. Daily production (mg of dry mass per m² per day): 1 – < 100; 2 – 100–200; 3 – 200–300; 4 – 300–400; 5 – 400–500; 6 – > 500

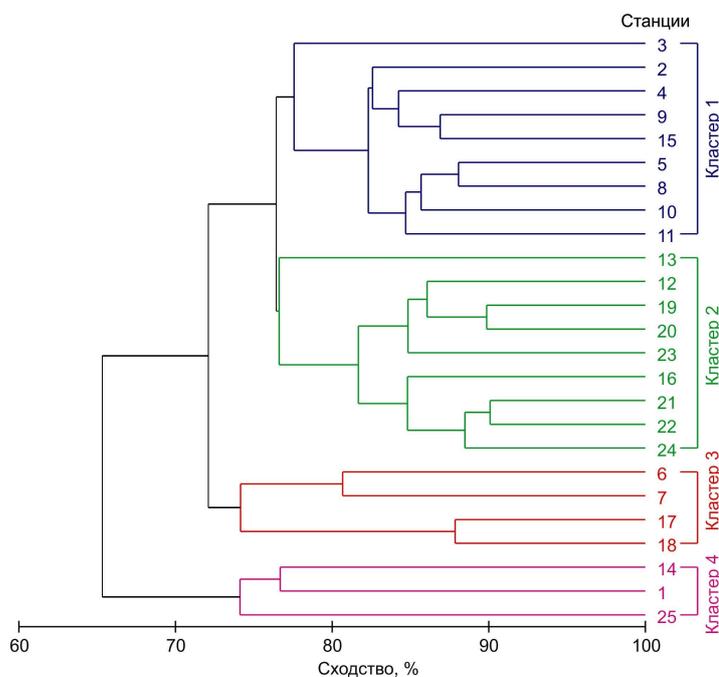


Рис. 3. Дендрограмма сходства станций по численности зоопланктона (коэффициент Брея — Кёртиса, %) в южной части Баренцева моря в мае 2016 г.

Fig. 3. Dendrogram of stations similarity in terms of zooplankton abundance (Bray – Curtis index, %) in the southern Barents Sea in May 2016

Алгоритм расчёта BIO-ENV показал, что пространственные вариации обилия зоопланктона определялись совокупностью пяти факторов — широты, долготы, глубины на станции (местоположение), придонной температуры и средней солёности ($r = 0,541$). Близкое значение коэффициента корреляции ($r = 0,540$) получено для комбинации трёх факторов — широты, придонной температуры и средней солёности. Для других комбинаций факторов значения коэффициентов корреляции были ниже. Известно, что гидрологические условия и географическое положение влияют на зоопланктонные сообщества. Указанные факторы имеют существенное значение в распределении планктонных организмов в арктических морях (Дегтерева, 1973 ; Тимофеев, 2000). Скорее всего, в нашем случае вариации зоопланктона были в большей степени связаны с гидрологическими факторами — температурой и солёностью; широта опосредованно отражала пространственные изменения этих двух факторов. С продвижением на север температура уменьшалась, а солёность возрастала, что оказывало влияние на соотношение массовых видов и численность зоопланктона.

Выявлена слабая корреляция обилия зоопланктона с концентрацией хлорофилла *a*, величина которого косвенно отражает состояние фитопланктона — основного кормового ресурса зоопланктона. Вероятно, это связано с разными сроками обилия фито- и зоопланктона. Пик цветения фитопланктона в южной части моря приходится на апрель, а зоопланктон отбирали в мае, когда концентрация фитопланктона снижалась (Планктон морей..., 1997), поэтому прямой связи между количеством фито- и зоопланктона не обнаружено (Дворецкий и Дворецкий, 2015 ; Тимофеев, 2000).

Возрастная структура *Calanus finmarchicus* характеризовалась доминированием младших копеподитных стадий, составляющих в среднем более 60 % суммарной численности популяции. На долю взрослых особей приходилось менее 1 % (рис. 4).

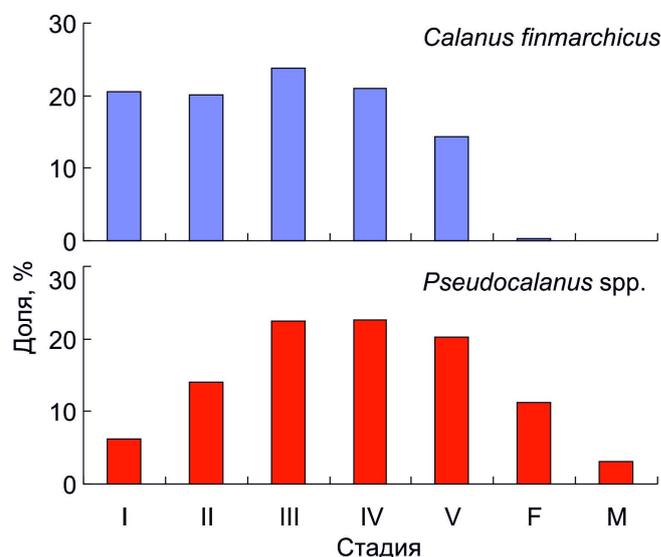


Рис. 4. Возрастная структура массовых видов копепод (средняя доля в популяции для всех станций) в южной части Баренцева моря в мае 2016 г.

Fig. 4. Age structure of common copepod species (mean ratio in population at all stations) in the southern Barents Sea in May 2016

Подобное распределение различных возрастных стадий свидетельствовало о недавно закончившемся нересте вида в пределах исследованной акватории, что хорошо согласуется с общей схемой развития *Calanus finmarchicus* в Баренцевом море (Дворецкий и Дворецкий, 2015 ; Камшилов, 1952 ; Планктон морей..., 1997 ; Тимофеев, 2000). В популяциях *Pseudocalanus* spp.

в основном были представлены копеподиты II–IV стадий (рис. 4), при этом доля взрослых особей в среднем составила около 10 %, что, несомненно, свидетельствовало о продолжающемся размножении *Pseudocalanus* spp. (Дворецкий и Дворецкий, 2015). В популяции *Oithona similis* обнаружены все стадии развития, при этом доля молоди была низкой, что связано с невысокой уловистостью использованной нами сети в отношении указанных возрастных групп. Как правило, в Баренцевом море мелкие короткоциклические виды размножаются на протяжении всего года, формируя 1–2 генерации (Дворецкий и Дворецкий, 2011 ; Raymont, 1983).

Высокие величины численности, биомассы и продукции веслоногих ракообразных создали благоприятные пищевые условия для личинок и молоди пелагических рыб, а также личинок донных видов рыб. В целом проведённый анализ свидетельствует о высоком продукционном потенциале зоопланктона в южной части Баренцева моря на протяжении весеннего сезона.

Выводы:

1. В южной части Баренцева моря в пробах зоопланктона обнаружено 47 таксонов. Наиболее часто встречались копеподы *Calanus finmarchicus*, *Metridia longa*, *M. lucens*, *Microcalanus* spp., *Oithona atlantica*, *O. similis*, *Pseudocalanus* spp., а также яйца и науплиусы копепод, клadoцера *Evadne nordmanni*, личинки иглокожих, полихет, щетинкочелюстные *Parasagitta elegans* и ювенильные стадии эвфаузиид рода *Thysanoessa*. На долю копепод в среднем приходилось 90 % численности, 96 % биомассы и 94 % общей продукции зоопланктона.
2. Общая численность зоопланктона колебалась в широком диапазоне, составляя в среднем (3012 ± 255) экз.·м⁻³. Средние величины сухой массы и суточной продукции зоопланктона — (83 ± 7) и $(2,17 \pm 0,17)$ мг сухой массы·м⁻³ соответственно. В сутки в исследованной акватории воспроизводилось, согласно проведённым расчётам, порядка 10 тыс. т сухой массы зоопланктона.
3. По обилию и составу зоопланктона кластерным анализом выделено четыре группы станций. Основной вклад в различие между группами вносили *Calanus finmarchicus*, Copepoda nauplii, личинки иглокожих, *O. similis* и *Fritillaria borealis*. Пространственные вариации обилия зоопланктона определяла совокупность пяти факторов — широты, долготы, глубины на станции, придонной температуры и средней солёности, из которых наиболее важными были температура, солёность и широта.
4. Возрастная структура массовых видов веслоногих ракообразных *Pseudocalanus* spp. и *Calanus finmarchicus* характеризовалась преобладанием младших копеподитов, что свидетельствовало о продолжающемся размножении *Pseudocalanus* spp., а также о недавно закончившемся нересте *C. finmarchicus*.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН по теме «Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)» (№ гос. регистрации 0228-2016-0001).

Благодарность. Авторы благодарят анонимных рецензентов за ценные замечания, позволившие улучшить статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бизиков В. А., Гончаров С. М., Поляков А. В. Географическая информационная система «Картмастер» // *Рыбное хозяйство*. 2007. № 1. С. 96–99. [Bizikov V. A., Goncharov S. M., Polyakov A. V. The geographical informational system “CardMaster”. *Rybnoe khozyaistvo*, 2007, no. 1, pp. 96–99. (in Russ.)]
2. Водопьянова В. В., Ващенко П. С., Макаревич П. Р. Концентрация хлорофилла в пелагиали Баренцева моря в весенний период // *Труды Кольского научного центра РАН*. 2017. Т. 8, № 2–4. С. 31–38. [Vodopyanova V. V., Vaschenko P. S., Makarevich P. R. Concentration of chlorophyll in pelagic waters of the Barents Sea

- in the spring period. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*, 2017, vol. 8, no. 2–4, pp. 31–38. (in Russ.)]
3. Дворецкий В. Г. Продукция кормового зоопланктона в Баренцевом море в летний период // *Известия ТИНРО*. 2012. Т. 168. С. 169–183. [Dvoretsky V. G. Zooplankton production in the Barents Sea in summer. *Izvestiya TINRO*, 2012, vol. 168, pp. 169–183. (in Russ.)]
 4. Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. *Биология и роль Oithona similis в зоопланктоне морей Арктики*. Апатиты : Изд-во Кольского науч. центра РАН, 2011. 349 с. [Dvoretsky V. G., Dvoretsky A. G. *Biology and Role of Oithona similis in Zooplankton of Arctic Seas*. Apatity : Izd-vo Kol'skogo nauch. tsentra RAN, 2011, 349 p. (in Russ.)]
 5. Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Экология зоопланктонных сообществ Баренцева моря и сопредельных вод. Санкт-Петербург : Реноме, 2015. 736 с. [Dvoretsky V. G., Dvoretsky A. G. *Ecology of Zooplankton Communities in the Barents Sea and Adjacent Waters*. Saint Petersburg : Renome, 2015, 736 p. (in Russ.)]
 6. Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Географические закономерности распределения интегральных показателей зоопланктона в Баренцевом море в летний период // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2016. № 3. С. 40–46. [Dvoretsky V. G., Dvoretsky A. G. Geographical regularities of distribution of integral indices of zooplankton in the Barents Sea in summer period. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2016, no. 3, pp. 40–46. (in Russ.)]. <http://doi.org/10.15356/0373-2444-2016-3-40-46>
 7. Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Структура и продуктивность зоопланктонных сообществ фронтальных зон Баренцева моря в августе 2010 г. // *Наука Юга России*. 2017. Т. 13, № 3. С. 71–84. [Dvoretsky V. G., Dvoretsky A. G. Structure and productivity of zooplankton assemblages in frontal zones of the Barents Sea in August 2010. *Nauka Yuga Rossii*, 2017, vol. 13, no. 3, pp. 71–84. (in Russ.)]. <http://doi.org/10.23885/2500-0640-2017-13-3-71-84>
 8. Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Широтные вариации структуры сообществ и продуктивности зоопланктона в Баренцевом море (лето 2013 г.) // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2018. Т. 64, № 3. С. 294–310. [Dvoretsky V. G., Dvoretsky A. G. Latitudinal variations of zooplankton community structure and productivity in the Barents Sea (summer 2013). *Problemy Arktiki i Antarktiki*, 2018, vol. 64, no. 3, pp. 294–310. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2018-64-3-294-310>
 9. Дегтерева А. А. Зависимость численности и биомассы планктона от температуры в юго-западной части Баренцева моря // *Труды Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии*. 1973. Вып. 33. С. 13–23. [Degtereva A. A. Dependence of abundance and biomass of plankton on temperature in the south-western Barents Sea. *Trudy Polyarnogo nauchno-issledovatel'skogo instituta morskogo rybnogo khozyaistva i okeanografii*, 1973, iss. 33, pp. 13–23. (in Russ.)]
 10. Зеликман Э. А., Камшилов М. М. Многолетняя динамика биомассы планктона южной части Баренцева моря и факторы, её определяющие // *Труды Мурманского морского биологического института*. 1960. Вып. 2 (6). С. 68–113. [Zelikman E. A., Kamshilov M. M. Mnogoletnyaya dinamika biomassy planktona yuzhnoi chasti Barentseva morya i faktory, ee opredelyayushchie. *Trudy Murmanskogo morskogo biologicheskogo instituta*, 1960, iss. 2 (6), pp. 68–113. (in Russ.)]
 11. Зеликман Э. А. Сообщества арктической пелагиали // *Океанология. Биология океана*. Т. 2. *Биологическая продуктивность океана*. Москва : Наука, 1977. С. 43–55. [Zelikman E. A. Soobshchestva arkticheskoi pelagiali. *Okeanologiya. Biologiya okeana*. Vol. 2. *Biologicheskaya produktivnost' okeana*. Moscow : Nauka, 1977, pp. 43–55. (in Russ.)]
 12. Зенкевич Л. А. *Биология морей СССР*. Москва : Изд-во АН СССР, 1963. 739 с. [Zenkevich L. A. *Biologiya morey SSSR*. Moscow : Nauka, 1963, 739 p. (in Russ.)]
 13. *Инструкция по сбору и обработке планктона*. Москва : ВНИРО, 1971. 82 с. [Instruktsiya po sboru i obrabotke planktona. Moscow : VNIRO, 1971, 82 p. (in Russ.)]
 14. Камшилов М. М. Цикл размножения *Calanus finmarchicus* Gunner на Восточном Мурмане // *Доклады Академии наук СССР*. 1952. Т. 85, № 4. С. 929–932. [Kamshylov M. M. Tsikl razmnozheniya *Calanus finmarchicus* Gunner na Vostochnom Murmane // *Doklady Akademii nauk SSSR*. 1952. T. 85, No. 4. S. 929–932. [Kamshylov M. M. Tsikl

- razmnozheniya *Calanus finmarchicus* Gunner na Vostochnom Murmane. *Doklady Akademii nauk SSSR*, 1952, vol. 85, no. 4, pp. 929–932. (in Russ.)]
15. Киселев И. А. *Планктон морей и континентальных водоёмов*. Ленинград : Наука, 1980. Т. 2. 440 с. [Kiselev I. A. *Plankton morei i kontinental'nykh vodootov*. Leningrad : Nauka, 1980, vol. 2, 440 p. (in Russ.)]
 16. Ожигин В. К., Ившин В. А. *Водные массы Баренцева моря*. Мурманск : Изд-во ПИНРО, 1999. 48 с. [Ozhigin V. K., Ivshin V. A. *Vodnyye massy Barentseva morya*. Murmansk : Izd-vo PINRO, 1999, 48 p. (in Russ.)]
 17. Орлова Э. Л., Бойцов В. Д., Ушаков Н. Г. *Условия летнего нагула и роста мойвы Баренцева моря*. Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2004. 198 с. [Orlova E. L., Boitsov V. D., Ushakov N. G. *Usloviya letnego nagula i rosta moivy Barentseva morya*. Murmansk : Izd-vo PINRO, 2004, 198 p. (in Russ.)]
 18. *Планктон морей Западной Арктики*. Апатиты : Изд-во Кольского науч. центра РАН, 1997. 352 с. [*Plankton morei Zapadnoi Arktiki*. Apatity : Izd-vo Kol'skogo nauch. tsentra RAN, 1997, 352 p. (in Russ.)]
 19. Тимофеев С. Ф. *Экология морского зоопланктона*. Мурманск : Изд-во Мурманского гос. пед. ин-та, 2000. 216 с. [Timofeev S. F. *Ekologiya morskogo zooplanktona*. Murmansk : Izd-vo Murmanskogo gos. ped. in-ta, 2000, 216 p. (in Russ.)]
 20. Численко Л. Л. *Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела (морской мезобентос и планктон)*. Ленинград : Наука, 1968. 106 с. [Chislenko L. L. *Nomogrammy dlya opredeleniya vesa vodnykh organizmov po razmeram i forme tela (morskoi mezobentos* i plankton). Leningrad : Nauka, 1968, 106 p. (in Russ.)]
 21. Dalpadado P., Mowbray F. Comparative analysis of feeding ecology of capelin from two shelf ecosystems, off Newfoundland and in the Barents Sea. *Progress in Oceanography*, 2013, vol. 114, pp. 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2013.05.007>
 22. Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Checklist of fauna found in zooplankton samples from the Barents Sea. *Polar Biology*, 2010, vol. 33, iss. 7, pp. 991–1005. <https://doi.org/10.1007/s00300-010-0773-4>
 23. Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G. Estimated copepod production rate and structure of mesozooplankton communities in the coastal Barents Sea during summer–autumn 2007. *Polar Biology*, 2012, vol. 35, iss. 9, pp. 1321–1342. <https://doi.org/10.1007/s00300-012-1175-6>
 24. *ICES Zooplankton Methodology Manual*. New York : Academic Press, 2000, 684 p.
 25. Orlova E. L., Dalpadado P., Knutsen T., Nesterova V. N., Prokopchuk I. P. Zooplankton. In: *The Barents Sea Ecosystem: Russian-Norwegian Cooperation in Science and Management* / T. Jakobsen, V. Ozhigin (Eds). Trondheim : Tapir Academic Press, 2011, pp. 91–119.
 26. Raymont J. E. G. *Plankton and Productivity in the Oceans*. Vol. 2. *Zooplankton*. 2nd edition. Southampton : Pergamon Press, 1983, 824 p. <https://doi.org/10.1017/S0025315400047524>
 27. Richter C. *Regional and Seasonal Variability in the Vertical Distribution of Mesozooplankton in the Greenland Sea*. Bremerhaven, Germany : Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, 1994, 87 p. (Berichte zur Polar- und Meeresforschung ; vol. 154). https://doi.org/10.2312/BzP_0154_1994

ZOOPLANKTON PRODUCTIVITY IN THE COASTAL AREA OF THE SOUTHERN BARENTS SEA IN SPRING

V. G. Dvoretzky and A. G. Dvoretzky

Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russian Federation

E-mail: vdvoretzkiy@mmbi.info

The results of the analysis of zooplankton assemblage state of the southern Barents Sea are presented. Zooplankton samples were collected during the cruise of the RV “Dalnie Zelentsy” in May 2016. Hydrological conditions were typical for Murmansk coastal water this season. A total of 47 zooplankton taxa were identified. Taxa number varied between stations, ranging 18–29, with cope-

pods being a dominant group in zooplankton. The most frequent ones were *Calanus finmarchicus*, *Metridia longa*, *Metridia lucens*, *Microcalanus* spp., *Oithona atlantica*, *Oithona similis*, *Pseudocalanus* spp., copepod nauplii and ova, as well as cladoceran *Evadne nordmanni*, larvae of Echinodermata and Polychaeta, chaetognath *Parasagitta elegans*, and early stages of the euphausiids of the genus *Thysanoessa*. In populations of common copepod species *Pseudocalanus* spp. and *Oithona similis*, early age stages dominated, which indicated their continued reproduction. Total zooplankton abundance ranged from 748 to 6576 ind. \cdot m⁻³, averaging 3012. Total zooplankton biomass varied from 17 to 157 mg of dry mass per m³, with a mean value of 83. The data obtained were comparable to those registered in Murmansk coastal water in July 2008 and were higher than those in August 2007. The authors suggest that it might be related to the differences in sampling seasons and hydrological conditions. Daily zooplankton production was estimated to be 0.49–4.04 mg of dry mass per m³, averaging (2.17 \pm 0.17). These estimates were about twice as high as mean values, registered in Murmansk coastal water during summer period. This seems to be due to higher phytoplankton concentrations in spring. Total zooplankton stock for water area studied (25.8 thousand km²) was estimated to be 425,000 thousand tons of dry mass. Cluster analysis revealed four groups of stations that differ in relative abundance of *Calanus finmarchicus*, Copepoda nauplii, *Oithona similis*, larvae of Echinodermata, and appendicularian *Fritillaria borealis*. Spatial variation of zooplankton abundance was closely related to station location (latitude, longitude, and sampling depth), as well as bottom layer temperature and mean salinity at the station.

Keywords: zooplankton assemblage, copepods, pelagic ecosystem