УДК 574.583

DOI: 10.15853/2072-8212.2018.51.73-83

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗООПЛАНКТОНА В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ МОРСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) В 2012 ГОДУ

В.В. Касьян

Н. с., к. б. н.; Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН
690041 Владивосток, Пальчевского, 17
Тел.: (4232) 31-11-69. E-mail: valentina-k@yandex.ru

*ЗООПЛАНКТОН, ВИДОВОЙ СОСТАВ, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ
МОРСКОЙ ЗАПОВЕДНИК ДВО РАН, ЯПОНСКОЕ МОРЕ*

Исследованы видовой состав и пространственное распределение зоопланктона в Дальневосточном морском заповеднике ДВО РАН в июне–сентябре 2012 г. Обнаружены восемь таксономических групп, среди которых доминировали веслоногие ракообразные (Copepoda, 21 вид) и ветвистоусые ракообразные (Cladocera, 5 видов). Наибольшие концентрации Copepoda, Cladocera, Chaetognatha, Appendicularia, Mysida и Pteropoda наблюдались в западном мелководном районе заповедника благодаря наличию циклонической циркуляции вод при южном ветре. Совместное скопление холодноводных и тепловодных видов в восточном глубоководном районе наблюдалось летом благодаря наличию на глубинах воды холодного Приморского течения, а на поверхности — шлейфа теплого Восточно-Корейского течения. В 2012 гг. число тропических и субтропических видов в заповеднике стало меньше, что, возможно, связано с изменениями климата в северо-западной части Японского моря.

SPATIAL DISTRIBUTION OF ZOOPLANKTON IN FAR EASTERN MARINE RESERVE (SEA OF JAPAN) IN 2012

Valentina V. Kasyan

Researcher, Ph. D. (Biology); National Scientific Center of Marine Biology,
Far East Branch, Russian Academy of Sciences
690041 Vladivostok, Palchevskogo, 17
Tel.: (4232) 31-11-69. E-mail: valentina-k@yandex.ru

*ZOOPLANKTON, SPECIES COMPOSITION, SPATIAL DISTRIBUTION, FAR EASTERN MARINE RESERVE FEB
RAS, SEA OF JAPAN*

Species composition and spatial distribution of zooplankton in the Far Eastern Marine Reserve (FEMR) in June–September 2012 was studied. Eight taxonomic groups were found, and Copepoda (21 species) and Cladocera (5 species) dominated. The highest abundance of Cladocera, Chaetognatha, Appendicularia, Mysida и Pteropoda was recorded in the western shallow-water part of the FEMR due to cyclonic circulation of the water masses in case of wind from the South. Presence of aggregated tropical and subtropical species in the eastern deepwater part was observed in summer due to cold deep Primorskoye Current and warm surface plume of the East-Korean Current. In 2012 the number of subtropical and tropical species in the reserve decreased, and the decrease is possibly an effect of climate changes in the northwestern part of the Sea of Japan.

Залив Петра Великого расположен в холодном секторе шельфовой зоны Японского моря и несет тихоокеанскую бореальную фауну с преобладанием холодноводных видов (Бродский, 1957; Долганова, Надточий, 2015). Дальневосточный морской заповедник ДВО РАН находится в юго-западной части зал. Петра Великого, где условия обитания гидробионтов изменяются от субтропических летом до арктических зимой (Ластовецкий, Якунин, 1981). Интерес к исследованию состава и распределения планктона морского заповедника вызван тем, что этот район моря находится в зоне смешения холодных струйных потоков Приморского течения и теплых вод Восточно-Корейского течения (Ластовецкий, Якунин, 1981). Сведений о количественном распределении и характеристиках

сезонного обилия зоопланктона в литературе чрезвычайно мало. Исследования проводились в мелководной неритической зоне в теплое время года и преследовали цели прикладной рыбохозяйственной науки (Кос, 1976, 1977; Бродский, 1981; Дальневосточный морской., 2004).

Создание основы для мониторинга акватории морского заповедника и прилегающих вод требует детального изучения гидробионтов. Особенно в связи с загрязнением морской акватории заповедника различными поллютантами из реки Туманной, протекающей по границе трех стран — России, Китая, Кореи (Tkalin, Shapovalov, 1991; Tkalin, 1996; Вышкварцев, Лебедев, 1997), угольной пылью при круглосуточной перевалке угля в порту «Посьет» и сезонным формированием аноксийных

условий (Stunzhas et al., 2016), которые оказывают негативное влияние на развитие и выживаемость планктонных животных (Милейковский, 1981; Журавель, Подгурская, 2014).

Цель настоящей работы — исследовать пространственное распределение зоопланктона для дальнейшей оценки изменений структуры сообществ на акватории заповедника, которые могут быть связаны с увеличением антропогенных влияний или изменениями климата.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе использованы сборы зоопланктона, выполненные в заповеднике на десяти станциях в июне–сентябре 2012 г. Пробы отбирали 1–3 раза в месяц сетью Джели (диаметр входного отверстия 38 см и фильтрующее сито с ячейей 168 мкм). В южном районе облавливался слой 0–20, максимум до 30 м; в западном — 0–10, 0–20, максимум до 25 м; в восточном — 0–35, максимум — 43 м (рис. 1). Одновременно с отбором проб на каждой станции измеряли температуру и соленость воды у дна и поверхности. Всего было собрано и обработано 85 проб планктона. Пробы фиксировали 4%-м формальдегидом. Веслоногие (Copepoda) и ветвистоусые (Cladocera) ракообразные, как доминантные группы зоопланктона, были подвергнуты более детальной таксономической обработке. До вида определяли только взрослых

рачков и старшие копепоидитные стадии. Остальных представителей зоопланктона определяли до класса или более крупного таксономического уровня. Количественный подсчет проводили в соответствии со стандартными гидробиологическими методиками (Инструкция., 1982).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основными представителями фауны зоопланктона морского заповедника в июне–сентябре были копеподы Copepoda (68%), относящиеся к 2 отрядам, 9 семействам, 12 родам, 21 виду; ветвистоусые ракообразные Cladocera (12%), относящиеся к 2 семействам, 5 родам, 5 видам и оболочники Appendicularia (11%). Видовая структура зоопланктона морского заповедника менялась в течение июня–сентября, но главная роль принадлежала широкобореальным видам, на долю которых приходилось 58% от общего числа видов. Остальные — тропические и субтропические виды. В июне–июле доминировали холодноводные копеподы *Oithona similis* и *Pseudocalanus newmani*, в августе–сентябре — тепловодные копеподы *Paracalanus parvus*, *Oithona brevicornis*, Cladocera и Appendicularia.

В течение всего периода исследований наибольшие скопления копепоид были отмечены в сообществах мелководного западного ($11\,921 \pm 3874$ экз./м³) и глубоководного восточного ($11\,081 \pm 3790$ экз./м³)

Рис. 1. Карта-схема отбора планктонных проб в Дальневосточном морском заповеднике. Точками показано расположение станций, сплошной линией — границы районов морского заповедника.
Fig. 1. The schematic map of collecting the plankton samples in the Far Eastern Marine Reserve. The dots demonstrate the distribution of the sampling points, and the line – the boundaries of the districts in the Reserve

районов заповедника (рис. 2А). Из них самыми многочисленными были холодноводные копеподы *Oithona similis* (3670 ± 1647 экз./м³), *Pseudocalanus newmani* (2066 ± 1190 экз./м³) и тепловодные *Paracalanus parvus* (1276 ± 890 экз./м³).

Самая высокая численность *P. parvus* была отмечена в западном и восточном районах заповедника (рис. 2Б). Появление *P. parvus* было отмечено в конце июня в б. Экспедиции, тогда как в других районах заповедника вид отсутствовал. Позднее вид распространился равномерно по всей акватории заповедника. *P. parvus* не имеет латентных яиц (Uye, Shibino, 1992) и не обитает в зал. Петра Великого постоянно, а в середине лета приносится с теплыми течениями из южной части Японского моря и в сентябре–октябре занимает доминирующее положение в планктоне глубоководных районов залива (Надточий, Зуенко, 2016). В связи с этим мы предполагаем, что в западном районе существует популяция *P. parvus*, отличная от таковой в других районах заповедника. Ранее на наличие реликтов субтропической фауны в вершинной части зал. Посьета, адаптировавшихся к местным контрастам климата в течение длительного исторического времени, указывал Г.М. Бирюлин с соавторами (1970).

Холодноводный *P. newmani* встречался по всей акватории морского заповедника. Наибольшая плотность его популяции была сосредоточена в восточном мористом районе над глубинами 27–43 м в июне при температуре воды 14–16 °С (рис. 2В). При повышении температуры воды свыше 17 °С (июль) *P. newmani* в планктоне не найден.

Значительную долю в общей численности веслоногих ракообразных составляли циклопоиды (Cyclopoida), среди которых в весенне-летний период преобладали холодноводный *Oithona similis*, а в летне-осенний — тепловодный *Oithona brevicornis*. Наибольшие скопления *O. similis* были отмечены в открытых районах над глубинами свыше 20 м (рис. 2Г), а *O. brevicornis* концентрировался в западном районе над глубинами до 10 м (рис. 2Д).

Остальные представители зоопланктона являлись субдоминирующими или редко встречающимися видами и группами. Холодноводные океанические виды копепод (*Neocalanus plumchrus*, *Metridia pacifica* и *Microcalanus pygmaeus*) были отмечены только в восточном районе заповедника над глубинами выше 43 м при температуре воды 9 °С. Эти копеподы являются индикаторами глу-

бинной япономорской холодной водной массы, и их нахождение указывает на присутствие вод из северной части Японского моря (Приморское холодное течение) (Школдина, Погодин, 1999). В течение июня–сентября холодноводные виды-индикаторы отсутствовали в пробах из южного и западного участков, следовательно, течение, несущее с севера холодные глубинные воды япономорской водной массы, не проникало южнее восточного района заповедника. Тепловодные океанические виды копепод (*Mesocalanus tenuicornis* и *Oithona nana*) в небольшом количестве встречались осенью в южном районе заповедника благодаря летне-осенним дрейфовым течениям, приносящим поверхностные теплые воды Восточно-Корейского течения в южную зону морского заповедника.

Неритические виды копепод, обнаруженные в акватории заповедника, столь же разнообразны, как и океанические. Среди них наибольшее число видов отмечено для представителей родов *Acartia* и *Tortanus*. Холодноводный *A. tumida* был единично найден в сообществе восточного района в июне (9 °С). Второй холодноводный вид акарций, *A. hudsonica*, распространялся по всей акватории заповедника, а его наибольшие скопления были отмечены в западном районе (рис. 2Е). При повышении температуры воды свыше 18 °С *A. hudsonica* в планктоне не обнаружен. Тепловодные виды *A. omorii* и *A. pacifica* концентрировались в западном и восточном районах, а пик их численности наблюдался в б. Экспедиции.

Из видов рода *Tortanus* в заповеднике встречались холодноводный *T. discaudatus* и тепловодный *T. derjugini*. В июне при температуре воды 9–12 °С в западном и восточном районах над глубинами 20–43 м единично встречался *T. discaudatus*. При потеплении вод свыше 15 °С в июле вид не обнаружен. *T. derjugini* был сосредоточен в южном районе в августе при максимальном прогреве вод (22 °С) над глубинами не более 30 м. При снижении температуры воды *T. derjugini* в планктоне заповедника не обнаружен.

Из представителей рода *Centropages* в морском заповеднике в июне–сентябре был отмечен только субтропический *C. tenuiremis*. Скопление вида было отмечено в планктоне западного и восточного районов над глубинами до 30 м в период максимального прогрева вод (август). В сентябре при температуре воды 19 °С пик плотности популяции *C. tenuiremis* наблюдался южнее.

Рис. 2. Пространственное распределение средней численности (экз./м³) зоопланктона. А — Copepoda, Б — *Paracalanus parvus*, В — *Pseudocalanus newmani*, Г — *Oithona similis*, Д — *Oithona brevicornis*, Е — *Acartia hudsonica*, Ж — *Eurytemora pacifica*, З — Cladocera, И — Chaetognatha, К — Appendicularia

Fig. 2. The spatial distribution of the averaged number (spec/m³) of zooplankton organisms

Виды родов *Eurytemora* и *Pseudodiaptomus* были редкими находками в заповеднике. В б. Экспедиции в первой половине лета при температуре воды 10–15 °С было обнаружено скопление холодноводного *E. pacifica* (рис. 2Ж), а во второй половине лета (17–23 °С) здесь уже концентрировались тепловодные *P. marinus* и *P. inopinus* — новый элемент фауны для северо-западной части Японского моря (Kasyan, 2017).

Из массовых представителей других групп зоопланктона, постоянно обитающих в пелагиали заповедника, следует назвать Cladocera, Chaetognatha и Appendicularia.

В период исследований было обнаружено 5 видов ветвистоусых ракообразных (Cladocera). Пик численности кладоцер наблюдался в западном районе, где они составляли до 30% (сентябрь) от общей численности зоопланктона. Общее в распределении видов этой таксономической группы это скопление в прибрежных районах, уменьшение численности по мере удаления от берега и единичные находки в открытых глубоководных районах заповедника (рис. 23). Самым массовым видом был тепловодный *Pleopis polyphemoides* (до 12 тыс. экз./м³). Численность холодноводного *Evadne nordmanni* и тепловодных *Pseudevadne tergestina* и *Penilia avirostris* была относительно невысокой, и распределялись виды по всей акватории заповедника равномерно.

Щетинкочелюстные (Chaetognatha) встречались по всей акватории, и их численность не превышала 15% от всего зоопланктона. Наибольшие скопления видов этой группы были обнаружены летом в западном районе (рис. 2И). Обоючники (Appendicularia) концентрировались в мелководных районах заповедника (рис. 2К), составляя в августе–сентябре 30% от всего зоопланктона.

Амфиподы (Amphipoda) в небольших количествах встречались на глубоководных станциях восточного района заповедника, отсутствуя в прибрежном мелководье. Мизиды (Mysida) в единичных экземплярах отмечены в южном и западном районах в течение всего периода исследований. Велигеры крылоногих моллюсков (Pteropoda) концентрировались в сообществе южного района заповедника.

Неотъемлемой частью зоопланктонных сообществ является меропланктон. Известно, что в июне–сентябре в морском заповеднике были обнаружены личинки 130 таксонов донных беспозвоночных (Колотухина и др., 2015). Из них наи-

более широко были представлены личинки Bivalvia (36 видов) и Polychaeta (7 видов). В июне преобладали личинки Echinodermata, Gastropoda, Bivalvia и Polychaeta, в июле — Echinodermata (*S. nudus*, *S. intermedius*, *Echinocardium cordatum*, *O. sarsi* и *Ophira* sp.), в августе — Bivalvia и Nemertea, в сентябре — Bivalvia (*Alveinus ojanus*, *Musculista senhousia* и *Ruditapes philippinarum*) и Polychaeta (*Polydora* sp., *Pseudopolydora kemp*). Средняя плотность меропланктона в заповеднике варьировала от 400 до 850 экз./м³, была максимальной в июне (3133 ± 1268 экз./м³) и минимальной в сентябре (100 ± 74 экз./м³). Наибольшее видовое разнообразие среди всех личинок регистрировалось в пробах из прибрежных районов, а наименьшее — из открытых участков акватории. Максимум видового богатства отмечался в период наибольших температур, в августе (Колотухина и др., 2015).

При обсуждении вопросов биогеографии исследуемого района мы ограничились рассмотрением представителей отряда Calanoida, т. к. на основе анализа распределения этих видов К.А. Бродский провел районирование пелагиали ДВ морей и северо-западной части Тихого океана. Из всех дальневосточных морей Японское обладает наибольшим разнообразием тепловодной фауны, а в зал. Петра Великого тепловодные элементы наиболее выражены в зал. Посыета (Бродский, 1957). Мы попытались сравнить собственные данные о видовом составе копепод заповедника с аналогичными данными К.А. Бродского (1957) и (Школдина, Погодин, 1999), полученными в промежутки времени и сроки, сопоставимые для анализа и обобщений.

Видовые спектры копепод «посыетской (западной) группировки» заповедника с 1937 по 2012 гг. перекрываются на 41% (7 общих видов) (табл. 1). Большинство отсутствующих в настоящее время видов являются тропическими или субтропическими элементами фауны копепод. К.А. Бродский (1981) в своей статье о зоопланктоне зал. Посыета отмечал, что в 1937 г. он работал в тропических водах, а уже в 1954, 1965 и 1966 гг. — в водах умеренных широт, и все это в одном и том же районе Японского моря. В 90-е гг. число видов было в три раза больше по сравнению с таковым в 2012 г. (табл. 1). Летом 2012 г. кроме тропическо-субтропических (*Calanus pacificus*, *Clausocalanus arcuicornis*, *Clausocalanus furcatus*, *Euchaeta marina*,

Labidocera pavo, *L. bipinnata*, *L. japonica* и др.) не отмечены виды океанического комплекса (*Calanus glacialis*, *Eucalanus bungii*, *Pseudocalanus major*, *Bradyidius pacificus*, *Scolecithricella minor* и др.) и солоноватоводного рода (*Sinocalanus*). Из 15 копепод группировки зал. Петра Великого в заповеднике встречались 13 видов (табл. 1). Отсутствовали океанические *Calanus cristatus*, *C. tonsus*, *Scolecithricella minor* — виды-индикаторы глубоководной водной массы, проникающей с севера Японского моря.

К сожалению, наши данные по распределению сообществ зоопланктона слишком ограничены, чтобы делать окончательные выводы об общем уменьшении присутствия тепловодных видов в заповеднике. Тем не менее в 1995 и 2012 гг. сбора

материала отмечено уменьшение разнообразия и численности тепловодных видов. Несмотря на то, что использованные данные далеки от истинного временного ряда, они представляют собой первое свидетельство того, как изменились планктонные сообщества морского заповедника на протяжении последних 70 лет.

Вопрос о путях проникновения и распределении субтропических и тропических видов копепод в зал. Петра Великого (юго-западная часть) впервые был поставлен К.А. Бродским (1957). Подчеркивая выраженный южный характер летней фауны зал. Посыета и прилегающей акватории, он не ограничивался указанием на специфические условия обитания в бухтах залива, а пытался проследить возможные пути миграции теплолюбивых видов.

Таблица 1. Встречаемость Copepoda в Дальневосточном морском биосферном заповеднике
Table 1. The occurrence of Copepoda species in the Far Eastern Marine Reserve

Вид Species	Присутствие видов в районах / Occurrence in the districts				
	1937 г. ¹	1995 г. ²	2012 г. ³		
	Западный Western	Южный Southern	Южный Southern	Западный Western	Восточный Eastern
<i>Acartia longiremis</i>	—	+	—	—	—
<i>A. hudsonica</i> *	+	+	+	+	+
<i>A. tumida</i>	—	—	—	—	+
<i>A. omorii</i>	—	—	—	+	+
<i>A. pacifica</i>	+	—	—	+	+
<i>A. plumosa</i>	+	—	—	—	—
<i>Calanus pacificus</i> *	+	+	—	—	—
<i>Centropages abdominalis</i> *	+	—	—	—	—
<i>Centropages tenuiremis</i> *	+	+	+	+	+
<i>Eucalanus bungii</i> *	—	+	—	—	—
<i>Eurytemora pacifica</i> *	+	+	—	+	—
<i>Labidocera japonica</i>	+	+	—	—	—
<i>Labidocera pavo</i>	+	+	—	—	—
<i>Labidocera rotunda</i>	+	+	—	—	—
<i>Mesocalanus tenuicornis</i> *	+	+	—	—	+
<i>Metridia pacifica</i> *	—	+	—	+	—
<i>Microcalanus pygmaeus</i> *	—	+	—	—	+
<i>Epilabidocera longipedata</i>	+	—	—	—	—
<i>Neocalanus cristatus</i>	—	+	—	—	—
<i>Neocalanus plumchrus</i>	—	+	+	+	+
<i>Paracalanus parvus</i> *	+	+	+	+	+
<i>Pseudocalanus newmani</i> *	—	+	+	+	+
<i>P. minutus</i>	—	+	—	+	+
<i>Pseudodiaptomus inopinus</i>	—	—	—	—	—
<i>P. marinus</i> *	+	+	—	+	—
<i>Tortanus discaudatus</i>	+	+	—	+	+
<i>T. derjugini</i>	+	—	+	—	—
<i>T. longipes</i>	+	—	—	—	—
<i>Oithona similis</i>	“—”	+	+	+	+
<i>O. atlantica</i>	“—”	+	—	+	+
<i>O. nana</i>	“—”	—	—	—	+
<i>O. brevicornis</i>	“—”	+	+	+	+
Bcero / In total	17	22	8	15	16

Примечание: 1 — данные К.А. Бродского (1957), 2 — данные Л.С. Школкиной (2004), 3 — собственные данные, “—” — нет данных, * — виды группировки зал. Петра Великого (по Бродскому, 1957).
Note: 1 — data by K.A. Brodsky (1957), 2 — data by L.S. Shkoldina (2004), 3 — author's data, “—” — no data, * — species groups in Peter the Great Bay (Brodsky, 1957)

Ссылаясь на гидрологические данные Т. Ямады (Yamada, 1933) и характер расположения «посыетской группировки», К.А. Бродский высказал предположение, что она является северной границей тепловодной группировки, распространяющейся с теплым течением вдоль восточного побережья Кореи. А.К. Леонов (1960) полагал, что в воды заповедника подходит ветвь Восточно-Корейского течения. Г.М. Бирюлин с соавторами (1970) отрицали проникновение каких-либо теплых течений в зал. Петра Великого, считая, что южные виды, обитающие в заповеднике, являются реликтами субтропической фауны, адаптировавшимися к местным контрастам климата в течение длительного исторического времени. Позже исследователи (Зуенко и др., 2004; Zuenko, 2007) предположили, что на шельфе Южного Приморья летний муссон генерирует нагонную кросс-шельфовую циркуляцию вод, и в поверхностном нагонном потоке планктон переносится из открытого моря к берегу, в результате чего летом в бухтах зал. Петра Великого скапливается огромное количество тропических видов (*Paracalanus parvus* и др.), принесенных сюда из южных районов Японского и Восточно-Китайского морей. Следовательно, горизонтальный транспорт планктона имеет определяющее значение для обилия и распределения в прибрежной зоне зал. Петра Великого видов родов (*Calanus*, *Metridia*, *Pseudocalanus*, *Neocalanus*, *Oithona*, *Paracalanus* и др.), которые не могут проводить в этом районе свои жизненные циклы по причине суровости зимних условий либо недостаточной глубины (Надточий, Зуенко, 2016).

Исходя из вышеизложенного, можно привести общую картину взаимосвязи между распределением зоопланктона и различными гидродинамическими процессами в акватории заповедника (Никитин, Данченков, 1997; Григорьева, Мощенко, 1998; Мощенко и др., 2000; Григорьева, 2012; Stunzhas et al., 2016). С началом летнего муссона при южных и юго-западных ветрах водные массы поступают с юга и юго-востока заповедника, охватывают поверхностный слой (до глубины 20 м), вовлекают в поток холодные воды р. Туманной, которые выносят холодноводные морские и солоноватоводные виды в центральную часть заповедника. В то же время на глубинах более 25–35 м водные массы движутся с севера заповедника в южном направлении, неся воды холодного Приморского течения, а вместе с ними холодноводные

виды морских океанических родов (*Pseudocalanus*, *Neocalanus*, *Oithona* и *Metridia*) даже в период летнего муссона. В июне преобладает западное распространение эстуарных вод, благодаря которому виды солоноватоводных родов (*Acartia*, *Eurytemora*, *Centropages*, *Tortanus* и *Pseudodiaptomus*) концентрируются в западном районе заповедника. В июле–августе шлейф эстуарных вод ослабевает, и в заповедник из южной части Японского моря проникают теплые воды подповерхностной водной массы, несущие тропические и субтропические виды копепод (*Oithona brevicornis*, *Paracalanus parvus*), а также Cladocera, Appendicularia и Chaetognatha. В августе вследствие муссонного климата речной и береговой стоки в акваторию заповедника значительно возрастают. В результате в бух. Экспедиции формируются большие концентрации биогенных веществ (нитраты, фосфаты), что приводит к высокой продукции фитопланктона (Stunzhas et al., 2016) и высокой численности Copepoda, Cladocera, Chaetognatha, Appendicularia, Mysida и Pteropoda. В сентябре в период максимального развития летнего муссона нагон морских вод на южную и восточную части заповедника усиливается, благодаря этому там зафиксированы наибольшие концентрации тепловодных видов. Кроме того, летом в центральной части заповедника формируется циклоническая циркуляция, с помощью которой осуществляется обмен вод и планктона между западной и южной частями заповедника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, пространственное распределение видов в значительной степени зависит от характера переноса вод в заповеднике, а их скопления образуются в соответствии с локальной циркуляцией вод и системой приливно-отливных течений, формирующихся в центральной части акватории. Наибольшие концентрации Copepoda, Cladocera, Chaetognatha, Appendicularia, Mysida и Pteropoda наблюдались летом в западном мелководном районе заповедника благодаря наличию циклонической циркуляции вод при южном ветре. Максимальные концентрации холодноводных видов *P. newmani*, *O. similis*, *N. plumchrus*, *M. pacifica*, *M. pygmaeus*, *A. tumida* и Amphipoda отмечались в сообществах восточного района благодаря подтоку холодных вод Приморского течения из северной части Японского моря. Обнаружение летом

в восточном районе холодноводных и тепловодных видов зоопланктона совместно указывало на влияние холодной глубинной япономорской водной массы на глубине, а на поверхности — более теплой поверхностной япономорской водной массы. Скопление тропических и субтропических видов, не обитающих в заповеднике постоянно (*M. tenuicornis*, *P. parvus*, *P. inopinus*, *P. tergestina* и *P. avirostris*), наблюдалось благодаря наличию теплых вод из области Восточно-Корейского течения. Высокая численность видов солоноватоводных родов *Acartia*, *Eurytemora*, *Centropages*, *Tortanus*, *Pseudodiaptomus*, сосредоточенная в южном районе заповедника, свидетельствовала о влиянии опреснения р. Туманной. Низкие показатели обилия и разнообразия зоопланктона к югу от заповедника могут быть объяснены негативным суммарным воздействием трансграничного потока загрязняющих веществ и сезонным формированием аноксийных условий. В 2012 г. число тропических и субтропических видов в планктоне заповедника стало меньше, и встречались они единично. Возможно, флуктуации в планктонных сообществах морского заповедника непосредственно связаны с климатическими изменениями (например, изменения ветрового режима в результате перестроек барических полей над Северной Пацификой). В будущем необходимы непрерывные мониторинговые исследования, так как они позволяют оценивать изменения структуры сообществ на акватории заповедника, которые могут быть связаны с увеличением антропогенных влияний или изменениями климата.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность А.Ю. Звягинцеву, И.А. Кашину, А.А. Бегуну, А.Н. Городкову за отбор проб планктона в Дальневосточном морском заповеднике. Исследование выполнено в рамках госзадания ФГБУН ННЦМБ ДВО РАН по теме № 0268-2018-0007 «Биоразнообразие Мирового океана: состав и распределение биоты».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бирюлин Г.М., Бирюлина М.Г., Микулич Л.В., Якунин Л.П. 1970. Летние модификации вод залива Петра Великого / Океанография и морская метеорология. Л.: Гидрометеиздат. С. 286–299.
Бродский К.А. 1957. Фауна веслоногих рачков (Calanoida) и зоогеографическое районирование

северной части Тихого океана и сопредельных вод. М., Л.: АН СССР. 222 с.

Бродский К.А. 1981. Изменение видового состава копепод и кладоцер заливов Посыета и Амурского (Японское море) в связи с многолетними колебаниями температуры // Биология моря. Т. 5. С. 21–27.
Вышковарцев Д.И., Лебедев Е.Б. 1997. Проект экономического развития реки Туманган (TREDA) – угроза экосистеме мелководных бухт залива Посыета Японского моря // Биология моря. Т. 23. № 1. С. 51–55.

Григорьева Н.И. 2012. Залив Посыета: физико-географическая характеристика, климат, гидрологический режим / В кн.: Современное экологическое состояние залива Петра Великого Японского моря. Владивосток: ДВФУ. С. 31–61.

Григорьева Н.И., Мощенко А.В. 1998. Водный перенос и гидрологические условия акватории к северу от устья реки Туманная // Вестник ДВО РАН. № 1. С. 7–11.

Долганова Н.Т., Надточий В.В. 2015. Состав, сезонная и межгодовая динамика зоопланктона залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. Т. 181. С. 169–190.

Журавель Е.В., Подгурская О.В. 2014. Раннее развитие плоского морского ежа *Scaphechinus mirabilis* в воде из различных районов залива Петра Великого (Японское море) // Изв. ТИНРО. Т. 178. С. 206–216.
Зуенко Ю.И., Надточий В.В., Селина М.С. 2004. Гидрологические процессы и сукцессия планктона в прибрежной зоне Японского моря в летний период // Изв. ТИНРО. Т. 135. С. 144–177.

Инструкция по количественной обработке морского сетного планктона. 1982. Владивосток: ТИНРО. 29 с.

Касьян В.В., Егоров Д.С. 2017. Разнообразие зоопланктона в юго-западной части залива Петра Великого Японского моря / Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление. Сб. статей по матер. Всерос. науч. конф. (3–6 октября 2017 г., Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО. С. 315–319.
Колотухина Н.К., Омеляненко В.А., Куликова В.А. 2015. Состав и распределение пелагических личинок *Bivalvia* юго-западной части залива Петра Великого (Японское море) // Биота и среда заповедников Дальнего Востока. № 5. С. 73–84.

Кос М.С. 1976. Зоопланктон залива Посыета / Прибрежные сообщества дальневосточных морей. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С. 64–93.

- Кос М.С. 1977. Сезонные изменения в составе, структуре и распределении зоопланктона зал. По-сьет (Японское море) // Исследования фауны морей. Т. 19 (27). С. 29–56.
- Ластовецкий Е.И., Якунин Л.П. 1981. Гидрометеорологическая характеристика Дальневосточного морского заповедника / Цветковые растения островов Дальневосточного морского заповедника. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. С. 18–33.
- Леонов А.К. 1960. Региональная океанография. Л.: Гидрометеиздат. Ч. 1. 766 с.
- Милейковский С.А. 1981. Обзор советских исследований по влиянию антропогенного фактора на естественные сообщества морского и эстуарного зоопланктона и нейстона // Биология моря. № 4. С. 3–11.
- Мощенко А.В., Ванин Н.С., Ламыкина А.Е. 2000. Рельеф дна, донные отложения и гидрологические условия российской части приустьевой зоны реки Туманной / Экологическое состояние и биота юго-западной части залива Петра Великого и устья реки Туманной. Под ред. В.Л. Касьянова. Владивосток: Дальнаука. С. 42–75.
- Надточий В.В., Зуенко Ю.А. 2016. Механизмы транспорта субтропического планктона в прибрежные воды Южного Приморья на примере *Paracalanus parvus* // Изв. ТИНРО. Т. 184. С. 241–252.
- Никитин А.А., Данченков М.А. 1997. Пути переноса теплых субтропических вод в район Дальневосточного морского заповедника / III Дальневост. конф. по заповедному делу (9–12 сентября 1997 г.). Владивосток: Дальнаука. С. 80–81.
- Школдина Л.С. 2004. Состав зоопланктона / В кн.: Дальневосточный морской биосферный заповедник. Биота. Владивосток: Дальнаука. Т. 2. С. 637–648.
- Школдина Л.С., Погодин А.Г. 1999. Состав планктона и биоиндикация вод юго-западной части залива Петра Великого Японского моря // Биология моря. Т. 2. С. 178–180.
- Kasyan V.V. 2017. First record of copepod *Pseudodiaptomus inopinus* Burckhardt, 1913 in Peter the Great Bay, Sea of Japan // Russian Journal of Biological Invasions. V. 8 (2). P. 131–134.
- Stunzhas P.A., Tishchenko P.Y., Barabanshchikov Y.A., Volkova T.I., Zvalinskii V.I., Mikhailik T.A., Semkin P.J., Tishchenko P.P., Khodorenko N.D., Shvetsova M.G., Ivin V.V., Vyshkvartsev D.I., Golovchenko F.M. 2016. The first case of anoxia in waters of the Far East Marine Biosphere Reserve // Doklady Earth Sciences. Vol. 467. № 1. P. 295–298.
- Tkalin A.V. 1996. Chlorinated hydrocarbons in coastal bottom sediments of the Japan Sea // Environmental Pollution. Vol. 91 (2). P. 183–185.
- Tkalin A.V., Shapovalov E.N. 1991. Influence of Typhoon Judy on chemistry and pollution of the Japan Sea coastal water near the Tumangan River mouth // Ocean Research. Vol. 13. № 2. P. 95–101.
- Uye S., Shibino N. 1992. Reproductive biology of the planktonic copepod *Paracalanus* sp. in the Inland Sea of Japan // Journal Plankton Research. Vol. 14. № 3. P. 343–358.
- Yamada T. 1933. Report on the distribution of the plankton. App. to annual report hydrographic observation. Vol. 7. Fusan.
- Zuenko Y.I. 2007. Application of a lower trophic level model to a coastal sea ecosystem // Ecological modeling. Vol. 202. № 1–2. P. 132–143.
- Zuenko Y.I., Dolganova N.T., Nadtochy V. 2010. Forecasting of climate change influence on zooplankton in the Japan Sea // Pacific Oceanography. Vol. 5. № 1. P. 6–19.

REFERENCES

- Klochkova N.G., Berezovskaya V.A. *Makrofitobentos Avachinskoy guby i ego antropogennaya destruktziya* [Macrophytobenthos of the Avacha Bay and its anthropogenic destruction]. Vladivostok: Dalnauka, 2001, 208 p.
- Klochkova T.A., Klochkova N.G. Problems of genesystematics and change of the generic name and authority in the kelp species *Saccharina bongardiana* and *Saccharina gurjanovae*. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 2018, vol. 43, pp. 87–95. (In Russian with English abstract)
- Klimova A.V., Klochkova T.A., Klochkova N.G. Finding type specimens of species from the genus *Alaria* Greville distributed in the marine flora of Kamchatka. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 2016, vol. 38, pp. 51–62. (In Russian with English abstract)
- Ocheretyana S.O., Klochkova N.G., Klochkova T.A. 2015. Seasonal species composition of “green tide”-forming algae from Avacha Bay and effect of anthropogenic pollution on physiology and growth of some green algae. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 2015, vol. 33, pp. 30–36. (In Russian with English abstract)

- Sukhovveeva M.V., Podkorytova A.V. *Promyslovyye vodorosli i travy morey Dal'nego Vostoka: Biologiya, rasprostraneniye, zapasy, tekhnologiya pererabotki* [Commercial algae and grasses of the Far Eastern seas: Biology, distribution, reserves, processing technology]. Vladivostok: TINRO-Center, 2006, 243 p.
- Ushakov P.V. Fauna Okhotskogo morya i usloviya ee sushchestvovaniya [Fauna of the Sea of Okhotsk and conditions for its existence]. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1953, 461 p.
- Ar Gall E. (Le Gall Y.), Asensi A., Marie D., Kloareg B. 1996. Parthenogenesis and apospory in the Laminariales: a flow cytometry analysis. *Eur. J. Phycol.*, vol. 31 (4), pp. 369–380.
- Boo G.H., Lindstrom S.C., Klochkova N.G., Yotsukura N., Yang E.C., Kim H.G., Waaland J.R., Cho G.Y., Miller K.A., Boo S.M. Taxonomy and biogeography of *Agarum* and *Thalassiophyllum* (Laminariales, Phaeophyceae) based on sequences of nuclear, mitochondrial, and plastid markers. *Taxon*, 2011, vol. 60, pp. 831–840.
- Charrier B., Abreu M.H., Araujo R., Bruhn A., Coates J.C., De Clerck O., Katsaros C., Robaina R.R., Wichard T. Furthering knowledge of seaweed growth and development to facilitate sustainable aquaculture. *New Phytol.*, 2017, vol. 216 (4), pp. 967–975.
- Cho G.Y., Klochkova N.G., Krupnova T.N., Boo S.M. The reclassification of *Lessonia laminarioides* (Laminariaceae, Phaeophyta): *Pseudolessonia* gen. nov. *J. Phycol.*, 2006, vol. 42 (6), pp. 1286–1299.
- Clarke J.D. Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) DNA miniprep for plant DNA isolation. *Cold Spring Harb Protoc.*, 2009. doi:10.1101/pdb.prot5177.
- Druehl L.D. Taxonomy and distribution of northeast Pacific species of *Laminaria* / *Can. J. Bot.*, 1968, vol. 46, pp. 539–547.
- Druehl L.D. The pattern of Laminariales distribution in the Northeast Pacific. *Phycologia*, 1970, vol. 9, pp. 237–247.
- Druehl L.D. Note: On the taxonomy of California *Laminaria* (Phaeophyta). *J. Phycol.*, 1979, vol. 15, pp. 337–338.
- Evans L.V. Cytological studies in the Laminariales. *Ann. Bot.*, 1965, vol. 29, pp. 541–562.
- Fang Z.X., Dai J.X. Use of haploid phases in the genetic study of *Laminaria japonica*. *Acta Genet. Sin.*, 1980, vol. 7, pp. 19–25.
- Jackson C., Salomaki E.D., Lane C.E., Saunders G.W. Kelp transcriptomes provide robust support for interfamilial relationships and revision of the little known Arthrothamnaceae (Laminariales) (Letter). *J. Phycol.*, 2017, vol. 53 (1), pp. 1–6.
- Gerard V.A., Mann K.H. Growth and production of *Laminaria longicruris* (Phaeophyta) populations exposed to different intensities of water movement. *J. Phycol.*, 1979, vol. 15, pp. 33–41.
- Guiry M.D., Guiry G. MAlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2018. URL: <http://www.algaebase.org>.
- Hasegawa Y. Problems relating to Hokkaido *Laminaria*. *Fisheries*, 1963, vol. 1963, pp. 113–126.
- Kain J.M. The biology of *Laminaria hyperborea*. Comparison with early stages of competitors. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 1969, vol. 49, pp. 455–473.
- Kanda T. On the gametophytes of some Japanese species of Laminariales. *Sci. Pap. Inst. Algal. Res. Fac. Sci.*, Hokkaido Imperial University, 1936, vol. 1, pp. 221–260.
- Kanda T. On the gametophytes of some Japanese species of Laminariales II. *Sci. Pap. Inst. Algal. Res. Fac. Sci.*, Hokkaido Imperial University, 1938, vol. 2, pp. 87–111.
- Kawai H., Sasaki H. Molecular phylogeny of the brown algal genera *Akkesiphycus* and *Halosiphon* (Laminariales), resulting in the circumscription of the new families Akkesiphycaceae and Halosiphonaceae. *Phycologia*, 2000, vol. 39, pp. 416–428.
- Kawai H., Hanyuda T., Lindeberg M., Lindstrom S.C. Morphology and molecular phylogeny of *Aureophycus aleuticus* gen. et sp. nov. (Laminariales, Phaeophyceae) from the Aleutian Islands. *J. Phycol.*, 2008, vol. 44, pp. 1013–1021.
- Kawai H., Hanyuda T., Gao X., Terauchi M., Miyata M., Lindstrom S.C., Klochkova N.G., Miller K.A. Taxonomic revision of the Agaraceae with a description of *Neoagarum* gen. nov. and reinstatement of *Thalassiophyllum*. *J. Phycol.*, 2017, vol. 53, pp. 261–270.
- Klimova A.V., Klochkova T.A., Klochkova N.G., Kim G.H. Morphological and molecular identification of *Alaria paradisea* (Phaeophyceae, Laminariales) from the Kurile Islands. *Algae*, 2018, vol. 33 (1), pp. 37–48.
- Klochkova N.G., Klochkova T.A. *Costulariella*, a new substitute name for *Costularia* Ju. Petrov et I. Gussarova (Laminariales, Phaeophyceae). *Algae*, 2010, vol. 25 (4), pp. 183–185.
- Klochkova T.A., Kim G.H., Lee K.M., Choi H.-G., Belij M.N., Klochkova N.G. Brown algae

- (Phaeophyceae) from Russian Far Eastern seas: re-evaluation of *Laminaria multiplicata* Petrov et Suchovejeva. *Algae*, 2010, vol. 25 (2), pp. 77–87.
- Klochkova T.A., Kim G.H., Belij M.N., Klochkova N.G. Morphology and phytogeography of *Laminaria appressirhiza* and *L. inclinatorhiza* (Phaeophyceae) from the Sea of Okhotsk. *Algae*, 2012, vol. 27 (3), pp. 139–153.
- Klochkova T.A., Klochkova N.G., Yotsukura N., Kim G.H. Morphological, molecular, and chromosomal identification of dwarf haploid parthenosporophytes of *Tauya basicrassa* (Phaeophyceae, Laminariales) from the Sea of Okhotsk. *Algae*, 2017, vol. 32 (1), pp. 15–28.
- Lane C.E., Saunders G.W. Molecular investigation reveals epi/endophytic extrageneric kelp (Laminariales, Phaeophyceae) gametophytes colonizing *Lessoniopsis littoralis* thalli. *Bot. Mar.*, 2005, vol. 48, pp. 426–436.
- Lane C.E., Mayes C., Druehl L.D., Saunders G.W. A multi-gene molecular investigation of the kelp (Laminariales, Phaeophyceae) supports substantial re-organization. *J. Phycol.*, 2006, vol. 42 (4), pp. 493–512.
- Lane C.E., Lindstrom S.C., Saunders G.W. A molecular assessment of northeast Pacific *Alaria* species (Laminariales, Phaeophyceae) with reference to the utility of DNA barcoding. *Mol. Phylog. Evol.*, 2007, vol. 4, pp. 634–648.
- Lee Y.-P., Yoon J.T. Taxonomy and morphology of *Undaria* (Alariaceae, Phaeophyta) in Korea. *Algae*, 1998, vol. 13 (4), pp. 427–446.
- Myabe K., Nagai M. Laminariaceae of the Kurile Islands. *Trans. Sapporo Nat. Hist. Soc.*, 1933, vol. 13, pp. 85–102.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). GenBank. 2018. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>. Accessed November 15, 2018.
- Pröschold T., Marin B., Schlosser U.G., Melkonian M. Molecular phylogeny and taxonomic revision of *Chlamydomonas* (Chlorophyta). I. Emendation of *Chlamydomonas* Ehrenberg and *Chloromonas* Gobi, and description of *Oogamochlamys* gen. nov. and *Lobochlamys* gen. nov. *Protist.*, 2001, vol. 152, pp. 265–300.
- Saunders G.W., Druehl L.D. Nucleotide sequences of the internal transcribed spacers and 5.8S rRNA genes from *Alaria marginata* and *Postelsia palmaeformis* (Phaeophyta: Laminariales). *Mar. Biol.*, 1993, vol. 115, pp. 347–352.
- Widdowson T.B. A taxonomic revision of the genus *Alaria* Greville. *Syysis*, 1971, vol. 4, pp. 11–49.
- Wynne M.J. Phaeophyceae. In: *Synopsis and classification of living organisms* (S.P. Parker, ed.), McGraw-Hill, NY, 1982, pp. 115–125.24.
- Yendo K. A monograph of the genus *Alaria*. *J. Coll. Sci.*, Tokyo Imperial University, 1919, vol. 43, pp. 1–145.
- Yotsukura N., Denboh T., Motomura T., Horiguchi T., Coleman A.W., Ichimura T. Little divergence in ribosomal DNA internal transcribed spacer-1 and -2 sequences among non-digitate species of *Laminaria* (Phaeophyceae) from Hokkaido, Japan. *Phycol. Res.*, 1999, vol. 47, pp. 71–80.
- Yotsukura N., Kawai T., Kawashima S., Ebata H., Ichimura T. 2006. Nucleotide sequence diversity of the 5S rDNA spacer in the simple blade kelp genera *Laminaria*, *Cymathaere* and *Kjellmaniella* (Laminariales, Phaeophyceae) from Northern Japan // *Phycol. Res.* Vol. 54 (4). P. 269–279.
- Yotsukura N., Kawashima S., Kawai T., Abe T., Dreuhl L.D. A systematic re-examination of four *Laminaria* species: *L. japonica*, *L. religiosa*, *L. ochotensis* and *L. Diabolica*. *J. Jap. Bot.*, 2008, vol. 83, pp. 165–176.
- Yotsukura N., Druehl L.D. A new name for *Laminaria sachalinensis* (Laminariales, Phaeophyceae). *J. Jap. Bot.*, 2009, vol. 84 (2), 113 p.
- Yotsukura N., Nagai N., Kawai T. A taxonomic re-examination of *Saccharina longipedalis* (Laminariales, Phaeophyceae), an endemic kelp species around Lake Akkeshi in Eastern Hokkaido, Japan. *Bot. Mar.*, 2016, vol. 59 (2–3), pp. 205–210.
- Yoon H.S., Boo S.M. Phylogeny of Alariaceae (Phaeophyta) with special reference to *Undaria* based on sequences of the RuBisCo spacer region. *Hydrobiologia*, 1999, vol. 398/399, pp. 47–55.
- Yoon H.S., Lee J.Y., Boo S.M., Bhattacharya D. Phylogeny of Alariaceae, Laminariaceae, and Lessoniaceae (Phaeophyceae) based on plastid-encoded Rubisco spacer and nuclear-encoded ITS sequence comparisons. *Mol. Phylog. Evol.*, 2001, vol. 21, pp. 231–243.

Статья поступила в редакцию 01.09.2018

Статья принята после рецензии 31.10.2018