



УДК 595.34:502.72(265.54)

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
ВИДОВОГО СОСТАВА И ПЛОТНОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ
ВЕСЛОНОГИХ РАКООБРАЗНЫХ (CRUSTACEA: COPEPODA)
В ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМ МОРСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ ДВО РАН
(ЯПОНСКОЕ МОРЕ)**

© 2017 г. **В. В. Касьян**, канд. биол. наук, н. с.

Национальный научный центр морской биологии ДВО РАН, Владивосток, Россия
E-mail: valentina-k@yandex.ru

Поступила в редакцию 20.01.2017 г. Принята к публикации 31.03.2017 г.

Дальневосточный государственный морской заповедник ДВО РАН (ДВГМЗ) является самым богатым по разнообразию населения районом морей России, но сведений о пространственно-временной изменчивости зоопланктона в его акватории чрезвычайно мало, а последние наблюдения проводились более 20 лет назад. В данной работе приведены результаты современного исследования видового состава, плотности популяций и распределения веслоногих ракообразных — основных представителей зоопланктона в ДВГМЗ. Работа основана на сборах планктона, которые выполнялись ежемесячно на 10 станциях в акватории ДВГМЗ в пределах 50-метровой изобаты в июне — сентябре 2012 г. В этот сезон в заповеднике отмечается наибольшая изменчивость температуры воды. Обнаружен 21 вид копепод из двух отрядов (Calanoida — 17 видов и Cyclopoidea — 4 вида). Наибольшее видовое богатство отмечено для родов *Acartia* и *Oithona* (по 4 вида). Преобладали морские виды — 80 % общего числа видов в пробах, а по отношению к биотопу — неритические (58 %). Широкобореальные виды составляли 55 % общего числа, тропические и субтропические — 45. Наибольшее количество видов копепод (16) отмечено в июне, наименьшее (5) — в сентябре. В июне — июле доминировали *Oithona similis* и *Pseudocalanus newmani*, в августе — *Paracalanus parvus*, *Oithona brevicornis* и *Oithona similis*, в сентябре — *Paracalanus parvus* и *Oithona brevicornis*. С июня по сентябрь происходило постепенное снижение обилия и разнообразия копепод во всех районах заповедника. Средняя плотность популяций копепод была максимальной в июне, в период развития холодноводных видов *Oithona similis*, *Pseudocalanus newmani*, *Acartia hudsonica* и *Eurytemora pacifica*, а минимальной — в сентябре. Наибольшие концентрации копепод отмечены в июне в западном районе заповедника в зал. Посъета (Посъетский рейд) над горизонтом глубины не более 10 м. По результатам кластерного анализа станций на акватории ДВГМЗ на основе коэффициента видового сходства Брэя — Кёртиса на уровне сходства 60 % выделены три комплекса планктонных копепод, видовой состав которых формируется под влиянием различных водных масс. Наибольшее видовое богатство и плотность копепод отмечены в комплексах западного и восточного районов заповедника. В мелководном комплексе западного района высокая плотность видов солоноватоводных родов *Acartia*, *Eurytemora*, *Centropages*, *Tortanus* и *Pseudodiaptomus* свидетельствует о присутствии там эстуарных и прибрежных вод. Наличие тропических и субтропических видов копепод (*O. nana*, *Mesocalanus tenuicornis*, *Pseudodiaptomus inopinatus*) подтверждает возможность проникновения в западный район тёплых вод из области Восточно-Корейского течения. В глубоководном комплексе восточного района совместное присутствие летом холодноводных и тепловодных видов копепод указывает на выраженную стратификацию водной толщи, где на глубине влияние оказывала холодная глубинная водная масса из Японского моря, а в верхнем слое — её более тёплая поверхностная модификация. В комплексе южного района заповедника, где доминировали панталассные и неритические виды, отмечены минимальные показатели видового богатства и плотности копепод. Обилие летом в этом комплексе холодноводных *O. similis* и *P. newmani* свидетельствует

о поступлении холодных вод в придонный слой, а показатели численности копепод могут характеризовать степень влияния холодных вод на южную часть акватории заповедника. Особенности распределения копепод, их стабильно низкие показатели обилия и разнообразия в исследованной акватории к югу от ДВГМЗ могут быть вызваны опресняющим воздействием речных вод и возможным негативным влиянием загрязняющих веществ. Видовой состав и количественные характеристики копепод возможно использовать для оценки экологического состояния акватории морского заповедника.

Ключевые слова: копеподы, видовой состав, плотность популяций, распределение, Дальневосточный морской заповедник ДВО РАН, Японское море

Дальневосточный государственный морской заповедник ДВО РАН (ДВГМЗ) находится в юго-западной части зал. Петра Великого в Японском море. Этот небольшой участок Южного Приморья является самой богатой по разнообразию населения акваторией из всех морских территорий России. Множество видов рыб, водорослей, беспозвоночных, птиц и млекопитающих сконцентрировано на небольшой территории заповедных островов и побережья с уникальными особенностями геологической структуры и гидрологического режима, что обуславливает высокую актуальность изучения этого района. В летний сезон (июль — сентябрь) восточная глубоководная часть акватории заповедника подвержена значительному влиянию холодного Приморского течения. Западный мелководный участок заповедника отличается длительным летним распреснением, охватывающим все горизонты, и отсутствием резких перепадов температур между поверхностными и придонными слоями воды, а южный — вторжением струй Восточно-Корейского течения с тёплыми тропическими водами. Наибольшая изменчивость гидрологических параметров в морском заповеднике характерна для летнего сезона: наблюдаются резкая температурная стратификация водной толщи вследствие прогрева (особенно велики градиенты в июне — августе), летний минимум солёности при выпадении большого количества осадков (в августе) и интенсивное охлаждение воды с конца августа [6].

Исследования прошлых лет выявили сложность структуры и динамики шельфовых вод зал. Петра Великого [8], разнообразие путей поступления вод из тёплого сектора Японского моря в холодный [15], а также многоплановость гидродинамических процессов в районе морского заповедника [5].

Сведений о количественном распределении и характеристиках сезонного обилия зоопланктона

для районов ДВГМЗ в литературе имеется чрезвычайно мало [2–4, 6, 11, 12]. В основном это работы, посвящённые изучению зоопланктона зал. Посьета (западный район заповедника) — акватории со своеобразным гидрологическим режимом, где условия обитания гидробионтов изменяются от субтропических (летом) до арктических (зимой) [13]. Район исследований в то время был ограничен главным образом мелководной неритической зоной в тёплое время года, а их цели отвечали задачам прикладной рыбохозяйственной науки.

В середине 90-х годов прошлого столетия особое внимание уделялось изучению летнего зоопланктона южного участка заповедника в пределах 20-метровой изобаты, где сказывается влияние р. Туманная. В то время на р. Туманная правительство КНР планировало начать строительство большого транспортного порта, что, безусловно, повлияло бы на экологическую ситуацию в районах ДВГМЗ, прилегающих к устью этой реки [5].

Таким образом, результаты исследований зоопланктона ДВГМЗ базируются на малом фактическом материале, недостаточном для выявления каких-либо закономерностей, собранном с большим отрывом во времени, а также в сроки, несопоставимые для анализа и малоприспособленные для обобщений. Накопленные количественные данные следует рассматривать как первичную информацию, отражающую естественные события в планктонных сообществах в прошлом веке.

Цель настоящей работы — исследование современного видового состава, плотности популяций и распределения веслоногих ракообразных как основных представителей зоопланктона в Дальневосточном морском заповеднике в пределах 50-метровой изобаты.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использованы сборы планктона, которые выполнялись ежемесячно на 10 станциях

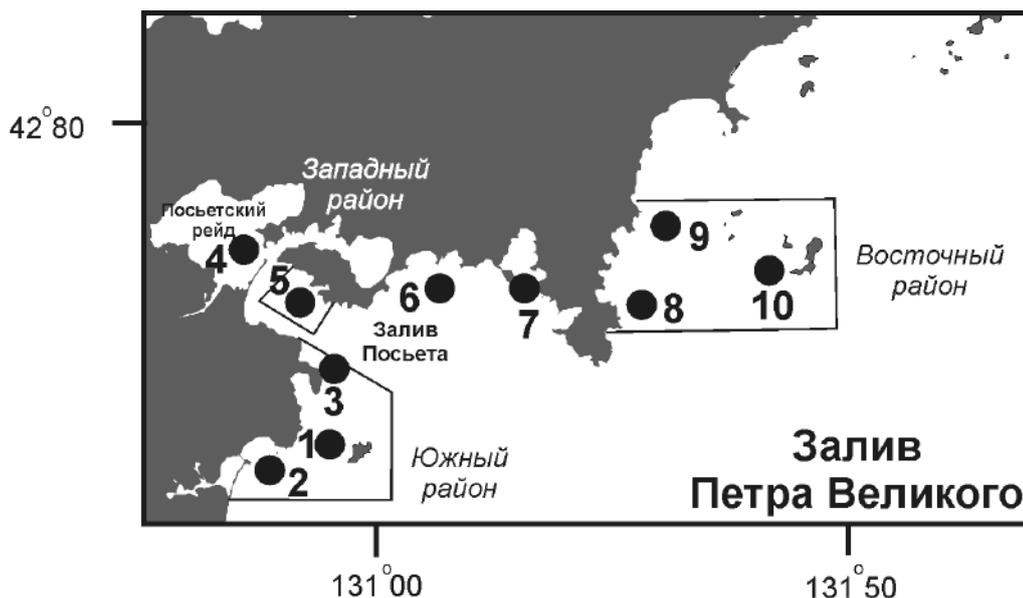


Рис. 1. Карта-схема выполненных планктонных станций в Дальневосточном государственном морском заповеднике

Fig. 1. Plankton sampling stations (numbered circles) in the Far Eastern Marine Reserve

в акватории ДВГМЗ в июне — сентябре 2012 г. (рис. 1). В южном районе облавливали слой 0–20, максимально до горизонта глубины 30 м, в западном — 0–10, 0–20, максимально до 25 м, в восточном — 0–27, максимально до 43 м. Орудие лова служила большая сеть Джели (диаметр входного отверстия — 38 см, фильтрующее сито с ячейей 168 мкм). Одновременно с отбором проб на каждой станции измеряли температуру воды у поверхности (в слое 0–0.5 м). Всего собрано и обработано 40 планктонных проб. Пробы фиксировали 4 %-ным формалином. Количественный подсчёт проводили в соответствии со стандартными гидробиологическими методиками в камере Богорова с использованием бинокля МБС-10 [9]. Анализ сходства — различия таксономического состава копепоид по станциям проводили с помощью кластерного анализа на основе коэффициента сходства Брэя — Кёртиса в программе Past [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовой состав и плотность популяций веслоногих ракообразных. В планктоне Дальневосточного государственного морского заповедника обнаружен 21 вид веслоногих ракообразных, относящихся к 12 родам, 9 семействам и двум отрядам (Calanoida — 17 видов и Cyclopoidea — 4 ви-

да) (табл. 1). Наибольшее таксономическое разнообразие отмечено для представителей родов *Acartia* и *Oithona* (по 4 вида), остальные роды насчитывали не более 2 видов. Среди обнаруженных копепоид преобладали морские виды (80 %), а по отношению к биотопу — неритические (58 %). Видовая структура копепоид изменялась в течение июня — сентября, но главная роль неизменно принадлежала широкобореальным видам, на долю которых приходилось 55 % общего числа видов. Тепловодные виды — тропические и субтропические — составляли 45 % общего числа. В целом подобные соотношения таксоцены копепоид изученного района ДВГМЗ соответствуют биогеографической структуре фауны зоопланктона юго-западной части зал. Петра Великого в летне-осенний период и подтверждают представление о принадлежности этой акватории к району смешения тропической и аркто-бореальной географических зон [2].

В ДВГМЗ наибольшее количество видов копепоид (16) отмечено в июне, а наименьшее (5) — в сентябре. Копепоиды *Oithona similis* обнаружены во всех участках акватории заповедника. Очень часто встречались *O. brevicornis* и науплиусы копепоид (более чем в 90 % проб). В 40 % и более проб найдены еще 2 вида — *Pseudocalanus newmani* и *Neocalanus plumchrus*. Доминировали

Таблица 1. Видовой состав и встречаемость веслоногих ракообразных в Дальневосточном государственном морском заповеднике в июне — сентябре**Table 1.** Species composition and occurrence of copepods in the Far Eastern Marine Reserve (June — September)

Вид	Присутствие вида в районах		
	южный	западный	восточный
<i>Acartia hudsonica</i> Pinhey, 1926	+	+	+
<i>A. tumida</i> Willey, 1920	–	–	+
<i>A. omorii</i> Bradford, 1976	–	+	+
<i>A. pacifica</i> Steuer, 1915	–	+	+
<i>Centropages tenuiremis</i> Thompson et Scott, 1903	+	+	+
<i>Eurytemora pacifica</i> Sato, 1913	–	+	–
<i>Mesocalanus tenuicornis</i> (Dana, 1849)	–	–	+
<i>Metridia pacifica</i> Brodsky, 1950	–	+	–
<i>Microcalanus pygmaeus</i> (Sars, 1900)	–	–	+
<i>Neocalanus plumchrus</i> Marukawa, 1921	+	+	+
<i>Oithona similis</i> Claus, 1866	+	+	+
<i>O. atlantica</i> Farran, 1908	–	+	+
<i>O. nana</i> Giesbrecht, 1892	–	+	–
<i>O. brevicornis</i> Giesbrecht, 1891	+	+	+
<i>Paracalanus parvus</i> (Claus, 1863)	+	+	+
<i>Pseudocalanus minutus</i> (Kroyer, 1845)	–	+	+
<i>P. newmani</i> Frost, 1989	+	+	+
<i>Pseudodiatomus inopinus</i> Burckhardt, 1913	–	+	–
<i>P. marinus</i> Sato, 1913	–	+	–
<i>Tortanus derjugini</i> Smirnov, 1935	+	–	–
<i>T. discaudatus</i> (Thompson et Scott, 1897)	–	+	+

копеподы *O. similis* (в 34 % проб) и *P. newmani* (в 20 %), а субдоминантами были *Paracalanus parvus* (в 12 %), *O. brevicornis* (9 %) и *Acartia hudsonica* (в 9 %). Доля науплиусов копепод и солоноватоводного вида *Eurytemora pacifica* в пробах не превышала в сумме 7 %. В период нашего исследования в морском заповеднике отмечен только один пик плотности популяций копепод — в июне (20959 ± 3007 экз.·м⁻³). Основная причина такой высокой плотности — развитие холодноводных видов *O. similis* (32 % общей численности), *P. newmani* (22 %), *A. hudsonica* (19 %) и *E. pacifica* (11 %), а также высокая численность науплиальных стадий вследствие массового размножения указанных видов ракообразных в данный период. В июне также встречены другие холодноводные виды — неритические *E. pacifica*, *Acartia tumida*, *A. hudsonica*, *O. similis*, *Microcalanus*

pygmaeus, *Tortanus discaudatus*, панталассные и океанические *N. plumchrus*, *Pseudocalanus minutus*, *Ps. newmani*, *Metridia pacifica*. Тепловодные виды копепод — *P. parvus*, *Acartia omorii*, *A. pacifica*, *O. brevicornis* — обнаружены единично только в полужакрытых районах (Посъетский рейд (ст. 4), б. Рейд Паллады (ст. 5) и у м. Дегера (ст. 6)). В июле отмечено сокращение количества холодноводных видов копепод, в то же время количество тепловодных находилось ещё на довольно низком уровне (менее 5 %). По-прежнему доминировали два холодноводных вида — *O. similis* (54 %) и *P. newmani* (29 %). В августе в планктоне заповедника зарегистрирован рост численности субтропических и тропических видов — *P. parvus*, *A. omorii*, *A. pacifica*, *O. brevicornis*, *Centropages tenuiremis*, *Pseudodiatomus marinus*, *Pseudodiatomus inopinus* и *Tortanus derjugini*. Доминирующими видами ста-

ли тепловодные *P. parvus* (38 %) и *O. brevicornis* (33 %), а также холодноводная *O. similis* (21 %). На более глубоких участках акватории морского заповедника (ст. 6 и 10) встречены океанические виды — холодноводный *N. plumchrus* и тепловодный *Mesocalanus tenuicornis*. В сентябре отмечен минимум видового богатства и численности копепоид на всей акватории морского заповедника. В это время доминировали два тепловодных вида — *P. parvus* (57 %) и *O. brevicornis* (35 %).

С июня по сентябрь отмечено снижение в 2–4 раза средней плотности популяций копепоид в морском заповеднике. Это может быть связано как с естественной смертностью организмов и снижением интенсивности размножения, судя по уменьшению количества науплиальных стадий копепоид, так и с выеданием. Известно, что потребителями нехищного зоопланктона являются не только рыбы и их личинки, но и хищный зоопланктон, численность которого в августе — сентябре в водах зал. Петра Великого увеличивается в несколько раз [7, 10]. Кроме того, снижение плотности копепоид в летний период связано с развитием и распространением других групп зоопланктона. Для этого периода у берегов Приморья характерно массовое развитие большинства видов донных беспозвоночных, пелагические личинки которых играют существенную роль в планктоне, а для конца лета типично высокое обилие личинок двустворчатых и брюхоногих моллюсков, иглокожих, полихет и циррипедий. Весьма многочисленны в летний сезон кладоцеры, аппендикулярии и щетинко-челюстные [7].

Результаты кластерного анализа станций на основе коэффициента видового сходства Брэя — Кёртиса показали, что всё подмножество станций на уровне сходства 60 % разбивается на 3 подмножества, которые мы определили как планктонные комплексы (А–В) (рис. 2). Таким образом, выделенные комплексы представляют собой группы видов, количественные отношения между которыми сохраняются на определённой территории.

В комплексе (А) южного района заповедника (ст. 1–3) в июне средняя плотность популяций копепоид составляла 15237 ± 4507 экз. \cdot м⁻³ (табл. 2). В это время преобладали *O. similis* и *P. newmani*. Меньшее значение имели *A. hudsonica* и науплиусы копепоид. В небольшом количестве

(менее 1 %) отмечены *N. plumchrus* (ст. 1, 2) и *O. brevicornis* (ст. 2, 3) (рис. 3). В июле с прогревом вод доминирующим видом была *O. similis*. Доля тепловодных *O. brevicornis* и *P. parvus* несколько увеличилась. Единично встречались холодноводные *N. plumchrus* и *P. newmani*. Средняя плотность копепоид уменьшилась, а количество видов не превышало 5. В августе при максимальном прогреве вод (21 °С) фауна веслоногих ракообразных приобретает более тепловодный характер, чем в июле. Доминируют копепоиды *P. parvus*, *O. similis* и *O. brevicornis* (рис. 3). Значения средней плотности копепоид были минимальными (табл. 2). В сентябре при снижении температуры воды наибольшая численность отмечена для *P. parvus*, меньшие значения зарегистрированы для *O. brevicornis* и *O. similis* (рис. 3). В сентябре 1995 г. копепоиды *O. similis* и *P. parvus* были доминирующими (33 и 21 % соответственно) видами фауны копепоид южной части акватории заповедника [6], тогда как в сентябре 2012 г. основу численности составляли только особи *P. parvus* (58 %). Обилие летом в планктоне копепоид *O. similis* и *P. newmani* свидетельствовало о поступлении холодных вод в придонный слой, а показатели их плотности отражали степень влияния этих вод на южную часть акватории заповедника.

В комплексе (Б) восточного района ДВГМЗ (ст. 6, 8–10) в июне средняя плотность популяций копепоид была относительно высокой (табл. 2). Наибольшие концентрации копепоид (свыше 24 тыс. экз. \cdot м⁻³) отмечены в прибрежной зоне (ст. 8 и 9) при температуре воды 9 °С над горизонтом глубины не более 27 м. Преобладали холодноводные *P. newmani*, *O. similis* и *N. plumchrus* (рис. 3). Плотность холодноводных видов родов *Neocalanus* (до 1700 экз. \cdot м⁻³) и *Pseudocalanus* (до 13000 экз. \cdot м⁻³) на восточном участке была большей, чем в других районах заповедника. В небольшом количестве (менее 3 %) отмечены другие холодноводные виды — *P. minutus*, *A. tumida*, *Oithona atlantica*, *M. pugmaeus*, отсутствующие в южном и западном районах заповедника. Тепловодные виды не зарегистрированы. В июле при повышении температуры воды средняя плотность копепоид уменьшилась в два раза (табл. 2). По-прежнему доминирующими были холодноводные *O. similis* и *P. newmani* (рис. 3). В планктоне появились

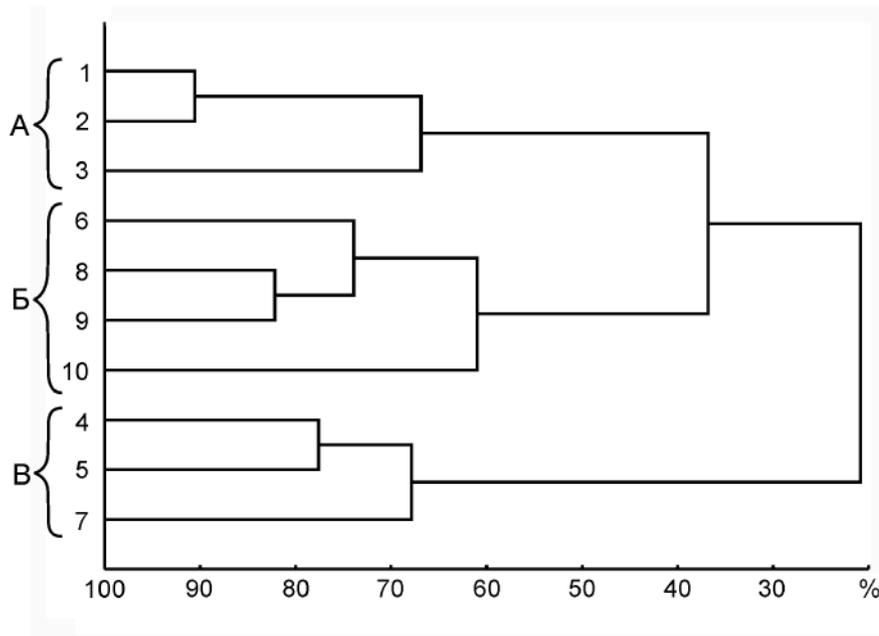


Рис. 2. Дендрограмма сходства между станциями в Дальневосточном государственном морском заповеднике (по коэффициенту сходства Брэя — Кёртиса, метод групповой средней связи)

Fig. 2. Dendrogram of similarity between stations in the Far Eastern Marine Reserve (group-average linking of Bray — Curtis similarity)

Таблица 2. Характеристика районов и количественные показатели веслоногих ракообразных Дальневосточного государственного морского заповедника

Table 2. Characteristics of the area and quantity of copepods in the Far Eastern Marine Reserve

Район, глубина облова, м	Месяц	Температура поверхности воды, Т, °С	Средняя плотность, экз.·м ⁻³	Кол-во видов копепоид
Южный, 18–30 м	июнь	10	15237±4507	5
	июль	16	11905±1701	5
	август	21	3075±1398	5
	сентябрь	19	3237±1402	3
Западный, 10–25 м	июнь	12	24504±5684	14
	июль	18	11547±3501	8
	август	22	7566±3139	8
	сентябрь	20	4068±2588	4
Восточный, 27–43 м	июнь	9	21956±5112	10
	июль	15	13626±3761	9
	август	20	4503±1986	6
	сентябрь	19	4273±1801	3

и были единично отмечены тепловодные виды — *P. parvus*, *A. omorii*, *T. discaudatus* и *O. brevicornis*. В августе в период максимального прогресса вод самыми многочисленными были тепловодный вид *P. parvus* и холодноводный *O. similis* (по 44%), тогда как доля *O. brevicornis* и других тепловодных

видов не превышала 5%. Совместное присутствие в планктоне как холодноводных, так и тепловодных видов копепоид в августе указывало на выраженную стратификацию водной толщи восточной части ДВГМЗ, где на глубине влияла холодная глубинная япономорская водная масса,

а в верхнем слое — её более тёплая поверхностная модификация. В сентябре при полном отсутствии холодноводных видов основу численности копепоид составляли тепловодные *P. parvus* (75 %) и *O. brevicornis* (23 %) (рис. 3).

В комплексе (В) западного района ДВГМЗ (ст. 4, 5 и 7) в июне средняя плотность популяций копепоид была максимальной (табл. 2). Наибольшие концентрации (до 36 тыс. экз.·м⁻³) отмечены в полузакрытой акватории (ст. 4 — Посьетский рейд) при температуре воды 13 °С над горизонтом глубины не более 10 м. Преобладали солоноватоводные неритические *A. hudsonica* и *E. pacifica* (рис. 3). Меньшее значение имели *O. similis* и науплиусы копепоид. В небольшом количестве (менее 1 %) отмечены холодноводные (*N. plumchrus*, *P. minutus*, *P. newmani*) и тепловодные (*P. parvus*, *A. pacifica*, *A. omorii* и *O. brevicornis*) виды. Холодноводные виды встречались в открытых районах (ст. 6 и 7), тогда как тепловодные — в полузакрытых акваториях (ст. 4 и 5). В июле при повышении температуры воды средняя плотность копепоид уменьшилась в два раза (табл. 2), а доминирующими видами стали *O. similis* и *P. newmani*. Концентрация тепловодных видов — *P. parvus*, *A. pacifica*, *A. omorii* и *O. brevicornis* — несколько увеличилась. В августе в период максимального прогрева вод самыми многочисленными были тепловодные *O. brevicornis* и *P. parvus* (рис. 3). В это время в планктоне западной части заповедника обнаружены только тропические и субтропические виды копепоид. Присутствие некоторых из них (например, *O. nana*, *M. tenuicornis*, *P. inopinus*) говорит о возможности проникновения сюда тёплых вод с юга Японского моря [13]. В сентябре происходило постепенное снижение обилия и разнообразия копепоид. Доминировали тепловодные виды *O. brevicornis* и *P. parvus* (см. рис. 3). Нахождение и доминирование в июне копепоид солоноватоводных неритических родов *Acartia* и *Eurytemora*, достигающих массового развития в приустьевых частях Амурского залива [3, 10], указывало на влияние в западном районе заповедника эстуарных вод р. Туманная.

В начале 30-х годов прошлого столетия видовой состав копепоид зал. Посьета (западный район ДВГМЗ) насчитывал 17 видов, с преоблада-

нием представителей субтропической и тропической фаун (*Labidocera pavo* Giesbrecht, 1889, *L. japonica* Mori, 1935, *L. bipinnata* Tanaka, 1936, *Epilabidocera amphitrites* Davis, 1949 и *Acartia plumosa* T. Scott, 1894) [3]. В конце 60-х годов прошлого века отмечено 20 видов копепоид, с руководящей ролью в весенней группировке видов *P. newmani* и *O. similis*, в летней — *Acartia clausi* Giesbrecht, 1889 (суммарно *A. hudsonica* и *A. omorii*), в осенней — *O. brevicornis* и *P. marinus*, в зимней — *Calanus glacialis* Jaschnov, 1955. Число видов субтропической и тропической природы уменьшилось, их встречаемость стала единичной [12]. Показатели плотности копепоид увеличивались с апреля, достигая максимума в июне, а затем снижались до сентября, причём в полузакрытых бухтах они были значительно выше, чем в открытой части зал. Посьета [4]. Результаты нашего исследования показали, что в 2012 г. в планктоне зал. Посьета летом преобладали холодноводные виды копепоид *A. hudsonica*, *E. pacifica*, *O. similis* и *P. newmani*, а осенью — тепловодные *O. brevicornis* и *P. parvus*. Отмечено, что в данном районе находится группировка копепоид, близкая к «Посьетской по Бродскому, 1957», но лишённая характерных для последней тропических видов (пришельцев). Возможно, произошло сокращение ареалов теплолюбивых видов, вызванное наступившим в последние десятилетия похолоданием в зал. Петра Великого [14].

Структура фауны веслоногих ракообразных морского заповедника в летне-осенний период отражала влияние гидрологических особенностей местообитания (глубины водной толщи, наличия пресных стоков, закрытости акватории, степени водообмена с открытыми водами). Если в планктоне южного района заповедника доминирующими видами были панталассные и неритические копепоиды, то в западном мелководном районе преобладали только неритические. «Сугубо неритический характер» отмечен для зал. Посьета (Посьетский рейд). В западном районе ДВГМЗ наблюдались редукция некоторых тропических элементов фауны копепоид и увеличение числа видов бореального происхождения. Восточный глубоководный район заповедника отличался от других преобладанием в планктоне океанических видов копепоид.

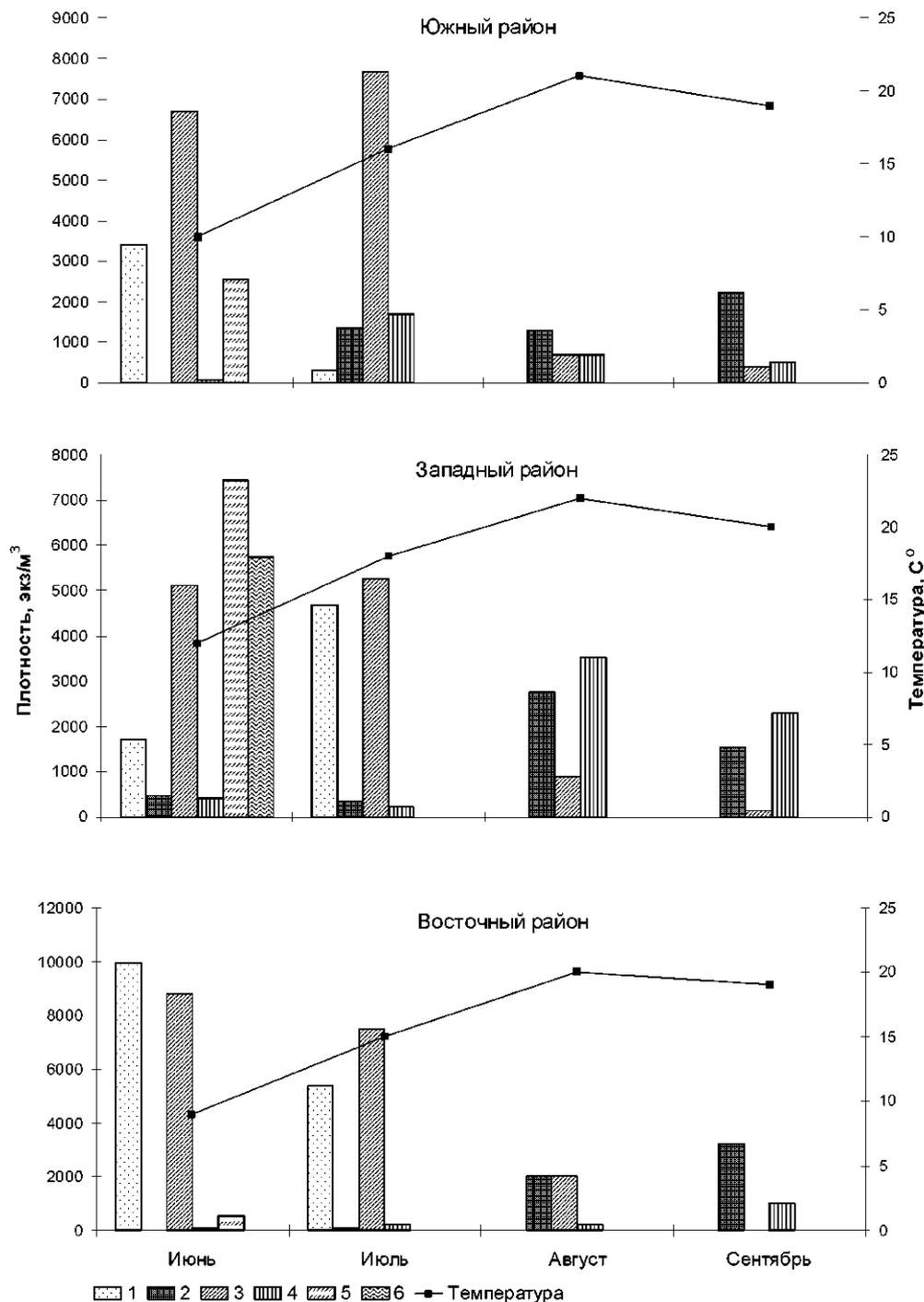


Рис. 3. Изменение средней плотности популяций массовых видов копепод и температуры воды в летне-осенний период в Дальневосточном государственном морском заповеднике. 1 — *Pseudocalanus newmani*, 2 — *Paracalanus parvus*, 3 — *Oithona similis*, 4 — *Oithona brevicornis*, 5 — *Acartia hudsonica*, 6 — *Eurytemora pacifica*

Fig. 3. Dynamics of copepod mass species population density and sea surface temperature in summer-autumn in the Far Eastern Marine Reserve. 1 — *Pseudocalanus newmani*, 2 — *Paracalanus parvus*, 3 — *Oithona similis*, 4 — *Oithona brevicornis*, 5 — *Acartia hudsonica*, 6 — *Eurytemora pacifica*

Пространственное распределение веслоногих ракообразных. Из отр. Calanoida в районе ДВГМЗ самыми многочисленными были ши-

роко распространённые панталассные верхнеинтерзональные виды — бореально-арктический *Pseudocalanus newmani* и циркумтропический низ-

кобореальный *Paracalanus parvus*. Вид *P. newmani* распространялся по всей акватории морского заповедника, плотность его популяции варьировала от 0.5 до 18 тыс. экз.·м⁻³. Наибольшие скопления этого вида обнаружены в июне — июле в морском районе над горизонтом глубины не более 27 м при температуре воды 14–17 °С (рис. 4). По литературным данным [16], *P. newmani* частично или полностью отсутствует в мелководной части бухт, тяготея к глубоководным районам заливов. У юго-восточной оконечности о. Хоккайдо наибольшая плотность вида зарегистрирована в мае (1995 г.) и июне (1982 г.) [20]. Известно [17], что в Амурском заливе *P. newmani* при увеличении прогрева вод отходит от мелководных участков, концентрируясь летом в глубоководных частях (свыше 30 м), где наблюдается поступление холодных вод [1]. По результатам наших исследований, в морском заповеднике при температуре воды более 17 °С (июль) *P. newmani* в планктоне не обнаружен. При сравнении с имеющимися данными обнаруживается сходство в динамике и поведении популяции *P. newmani* на акватории заповедника с популяциями, обитающими у берегов Японии [19] и Камчатки [16]: отмечено снижение значений плотности популяции с последующим исчезновением этого вида в планктоне с середины июля.

В отличие от *Paracalanus newmani*, вид *P. parvus* относится к тепловодным и обитает в самых верхних слоях водных масс (0–25 м) [21]. В ДВГМЗ *P. parvus* обнаружен в июне в западном районе над горизонтом глубины не более 10 м (плотность популяции свыше 500 экз.·м⁻³), тогда как в других районах заповедника данный вид отсутствовал. В июле при прогреве вод свыше 16 °С отмечено довольно равномерное распределение *P. parvus* по всей акватории заповедника. В августе — сентябре отмечена максимальная плотность вида в западном (над горизонтом глубины до 10 м) и в восточном (над горизонтом глубины до 40 м) районах заповедника (рис. 4). Существует мнение, что тепловодный *P. parvus* заносится с тёплыми водами Восточно-Корейского течения с юга Японского моря в прибрежную часть зал. Петра Великого. В Амурском заливе данный вид образует популяцию в летний период и обитает преимущественно в глубоководных районах за-

лива над горизонтом глубины свыше 20 м до наступления выхолаживания вод ниже 10 °С [10]. Обычно в зал. Петра Великого *P. parvus* появляется в планктоне в конце лета при максимальном прогреве вод, обилен на протяжении всей осени до декабря при поверхностной температуре воды 2–4 °С и держится в основном в глубоководной части [7]. Есть предположение, что в зал. Посьета существует популяция *P. parvus*, отличная от таковой в зал. Петра Великого. На наличие реликтов субтропической фауны в зал. Посьета, адаптировавшихся к контрастам местного климата в течение длительного исторического времени, указывал Г. М. Бирюлин с соавторами [1], и мы придерживаемся высказанной им точки зрения. Отметим, что влияние на климатические изменения в районе ДВГМЗ может эпизодически оказывать тёплое течение из Корейского пролива, которое иногда достигает зал. Посьета, но интенсивность этого течения имеет, вероятно, многолетний период колебаний. К. А. Бродский [3] высказывал предположение, что сообщество копепод в зал. Посьета является северной границей тепловодной группировки, распространяющейся с тёплым течением вдоль восточного побережья Кореи.

Значительную долю в общей численности веслоногих ракообразных в районе ДВГМЗ составляли циклопиды, среди которых в весенне-летний период преобладали *Oithona similis*, а в летне-осенний — *O. brevicornis*. Отмечены высокая численность *O. similis* в морском заповеднике в течение всего периода исследований и их равномерное распределение по всей акватории. Максимальная плотность вида была зарегистрирована в июне — июле. С июня по сентябрь плотность *O. similis* по всей акватории заповедника постепенно уменьшилась в 10–20 раз. Субтропический вид *O. brevicornis* встречался в планктоне заповедника уже в июне и достигал массового развития в августе. Максимальные скопления этого вида отмечены в зал. Посьета (Посьетский рейд) в августе — сентябре над горизонтом глубины до 10 м (рис. 4).

Заключение. Фауна веслоногих ракообразных Дальневосточного государственного морского заповедника в южной части зал. Петра Великого в летне-осенний период имела выраженный бореальный характер, со включением немногих видов арктического и тропическо-субтропического

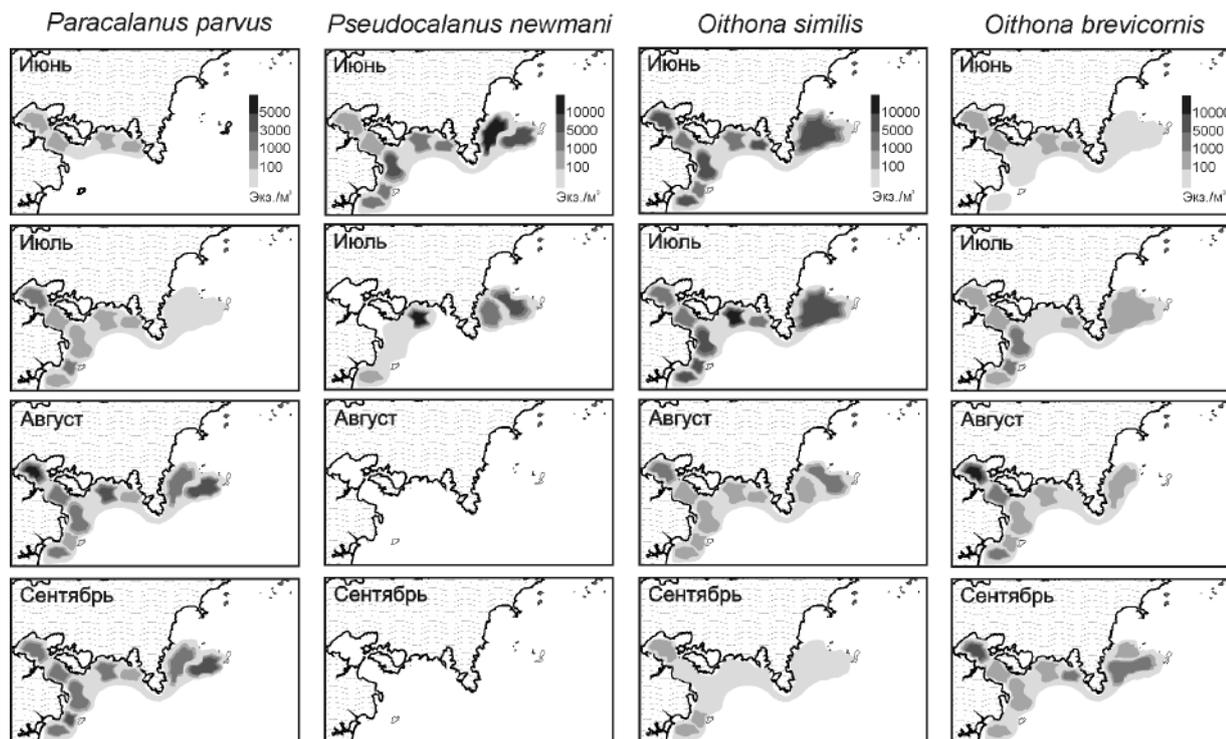


Рис. 4. Пространственно-временное распределение плотности популяций (экз.·м⁻³) доминирующих видов копепоид в ДВГМЗ

Fig. 4. Spatio-temporal distribution of copepod mass species population density (ind.·m⁻³) in the Far Eastern Marine Reserve

генезиса. Обнаружен 21 вид копепоид из двух отрядов (Calanoida — 17 видов и Cyclopoida — 4 вида). В июне — июле доминировали *Oithona similis* и *Pseudocalanus newmani*, в августе — *Paracalanus parvus*, *Oithona brevicornis* и *Oithona similis*, в сентябре — *Paracalanus parvus* и *Oithona brevicornis*. С июня по сентябрь происходило постепенное снижение обилия и разнообразия копепоид во всех районах заповедника. Средняя плотность популяций копепоид была наибольшей в июне, в период развития холодноводных видов *Oithona similis*, *Pseudocalanus newmani*, *Acartia hudsonica* и *Eurytemora pacifica*, а минимальной — в сентябре. Наибольшая плотность копепоид отмечена в июне в западном районе заповедника в зал. Посьета (Посьетский рейд) над горизонтом глубины не более 10 м.

На акватории ДВГМЗ выявлены три группы планктонных комплексов, видовой состав которых формируется под влиянием различных водных масс. Наибольшее видовое богатство и плотность копепоид отмечены в комплексах западного и восточного районов заповедника. В

комплексе мелководного западного района высокая плотность солоноватоводных видов из родов *Acartia*, *Eurytemora*, *Centropages*, *Tortanus* и *Pseudodiaptomus* свидетельствовала о присутствии там эстуарных и прибрежных вод. Наличие тропических и субтропических видов копепоид (*O. nana*, *M. tenuicornis*, *P. inopinus*) подтверждает возможность проникновения в западный район тёплых вод из области Восточно-Корейского течения. Совместное присутствие в глубоководном комплексе планктона восточного района ДВГМЗ как холодноводных, так и тепловодных видов копепоид в летний период указывает на выраженную стратификацию водной толщи, где на глубине влияние оказывала холодная глубинная водная масса из Японского моря, а в верхнем слое — её более тёплая поверхностная модификация.

В комплексе южного района заповедника отмечены минимальные показатели видового богатства и плотности копепоид. Доминирующими видами здесь были панталассные и неритические копепоиды. Обилие в этом комплексе холодноводных *O. similis* и *P. newmani* в летний период свидетель-

стует о поступлении холодных вод в придонном слое, а показатели численности копепод могут характеризовать степень влияния холодных вод на южную часть акватории заповедника.

Особенности распределения копепод в исследованном районе, их постоянно низкие показатели обилия и разнообразия к югу от ДВГМЗ могут быть вызваны опресняющим воздействием речных вод и возможным негативным влиянием загрязняющих веществ.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта ДВО РАН «Динамика высокопродуктивных морских экосистем дальневосточных морей России в условиях глобальных климатических изменений и всевозрастающей антропогенной нагрузки» (№ 0268-2015-0020) и в рамках госзадания ФГБУН ННЦМБ ДВО РАН по теме «Динамика морских экосистем в условиях глобальных климатических изменений и антропогенного воздействия», направление 51 «Экология организмов и сообществ» (гос. рег. № 115081110035).

Благодарности: Автор выражает благодарность А. Ю. Звягинцеву, И. А. Кашину, А. А. Бегуну, А. Н. Городкову за отбор проб планктона в Дальневосточном морском заповеднике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Бирюлин Г. М., Бирюлина М. Г., Микулич Л. В., Якунин Л. П. Летние модификации вод залива Петра Великого // *Океанография и морская метеорология*. Ленинград: Гидрометеиздат. 1970. С. 286–299. [Birylin G. M., Biryulina M. G., Mikulich L. V., Yakunin L. P. Summer modification waters of the Peter the Great Bay. *Okeanografiya i morskaya meteorologiya*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970, pp. 286–299. (in Russ.)].
2. Бродский К. А. *Фауна веслоногих рачков (Calanoida) и зоогеографическое районирование северной части Тихого океана и сопредельных вод*. Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1957. 222 с. [Brodsky K. A. *Fauna veslonogih rachkov (Calanoida) i zoogeograficheskoe raionirovanie severnoy chasti Tihogo okeana i sopredelnyh vod*. Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1957, 222 p. (in Russ.)].
3. Бродский К. А. Изменение видового состава копепод и кладоцер заливов Посъета и Амурского (Японское море) в связи с многолетними колебаниями температуры // *Биология моря*. 1981. № 5. С. 21–27. [Brodsky K. A. Species composition of copepods and cladocerans in the Pos'et and Amursky Bays (Sea of Japan) in connection with the long-term temperature fluctuations. *Biologiya morya*, 1981, no. 5, pp. 21–27. (in Russ.)].
4. Вышкварцев Д. И., Крючкова Г. А., Карапетян Т. Ш. Исследования зоопланктона в мелководных бухтах залива Посъета в 1969–1971 гг. // *Исследования пелагических и донных организмов дальневосточных морей*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1979. С. 17–29. [Vyshkvartsev D. I., Krychkova G. A., Karapetyan T. Sh. Studies of zooplankton in shallow waters of the Posiet Bay in 1969–1971 gg. *Issledovaniya pelagicheskikh i donnyh organizmov dalnevostochnih morey*. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1979, pp. 17–29. (in Russ.)].
5. Вышкварцев Д. И., Лебедев Е. Б. Проект экономического развития реки Туманган (TREDA) – угроза экосистеме мелководных бухт залива Посъета Японского моря // *Биология моря*. 1997. Т. 23, № 1. С. 51–55. [Vyshkvartsev D. I., Labedev E. B. Draft economic development of the Tumangan River (TREDA) – a threat to the ecosystem of the shallow water of the Pos'et Bay, Sea of Japan. *Biologiya morya*, 1997, vol. 23, no. 1, pp. 51–55. (in Russ.)].
6. *Дальневосточный морской биосферный заповедник. Биота* / отв. ред. А. Н. Тюрин, А. Л. Дроздов. Владивосток: Дальнаука. 2004. Т. 2. 848 с. [Far-Eastern Marine Biosphere Reserve. *Biota*. A. N. Tyurin, A. L. Drozdov (Eds.). Vladivostok: Dalnauka, 2004, vol. 2, 848 p. (in Russ.)].
7. Долганова Н. Т., Надточий В. В. Состав, сезонная и межгодовая динамика зоопланктона залива Петра Великого (Японское море) // *Известия ТИНРО*. 2015. Т. 181. С. 169–190. [Dolganova N. T., Nadtochy V. V. Composition, seasonal and interannual dynamics of zooplankton in Peter the Great Bay (Japan Sea). *Izvestiya TINRO*, 2015, vol. 181,

- pp. 169–190. (in Russ.).
8. Зуенко Ю. И. Типы термической стратификации вод на шельфе Приморья // *Комплексные исследования морских гидробионтов и условий их обитания*. Владивосток: ТИНРО, 1994. С. 21–39. [Zuenko Y. I. Types of thermal stratification of the water on the shelf Primorye. *Kompleksnyye issledovaniya morskikh gidrobiontov i uslovij ih obitanija*. Vladivostok: TINRO, 1994, pp. 21–39. (in Russ.)].
 9. *Инструкция по количественной обработке морского сетного планктона*. Владивосток: ТИНРО. 1982. 29 с. [*Instruktsiya po kolichestvennoi obrabotke morskogo setnogo planktona* (Manual on Quantitative Processing of Marine Net Plankton). Vladivostok: TINRO, 1982, 29 p. (in Russ.)].
 10. Касьян В. В., Чавтур В. Г. Распределение и сезонная динамика зоопланктона в Амурском заливе Японского моря. 1. Веслоногие ракообразные // *Известия ТИНРО*. 2006. Т. 144. С. 312–330. [Kasyan V. V., Chavtur V. G. Distribution and seasonal dynamics of zooplankton in the Amursky Bay of the Sea of Japan. I. Copepoda. *Izvestiya TINRO*, 2006, vol. 144, pp. 312–330. (in Russ.)].
 11. Кос М. С. Зоопланктон залива Посьета // *Прибрежные сообщества Дальневосточных морей*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1976. С. 64–93. [Kos M. S. Zooplankton in the Posiet Bay. *Pribrezhnie soobshestva Dalnevostochnih morej*. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1976, pp. 64–93. (in Russ.)].
 12. Кос М. С. Сезонные изменения в составе, структуре и распределении зоопланктона зал. Посьет (Японское море) // *Исследования фауны морей*. 1977. Т. 19 (27). С. 29–56. [Kos M. S. Seasonal dynamics of, zooplankton composition, structure and distribution in the Posiet Bay (Sea of Japan). *Issledovaniya fauny morej*. 1977, vol. 19 (27), pp. 29–56. (in Russ.)].
 13. Ластовецкий Е. И., Якунин Л. П. Гидрометеорологическая характеристика Дальневосточного государственного морского заповедника // *Цветковые растения островов Дальневосточного морского заповедника*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1981. С. 18–33. [Lastovetsky E. I., Yakunin L. P. Hydrometeorological characteristics of the Far Eastern Marine Reserve. *Flowering plants of the Far Eastern Islands Marine Reserve*. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1981, pp. 18–33. (in Russ.)].
 14. Лучин В. А., Тихомирова Е. А. Типовые распределения океанографических параметров в заливе Петра Великого (Японское море) // *Известия ТИНРО*. 2012. Т. 169. С. 134–146. [Luchin V. A., Tihomirova E. A. Typical distribution of oceanographic parameters in Peter the Great Bay (Japan Sea). *Izvestiya TINRO*, 2012, vol. 169, pp. 134–146. (in Russ.)].
 15. Никитин А. А., Данченков М. А. Пути переноса теплых субтропических вод в район Дальневосточного морского заповедника // *III Дальневосточная конф. по заповедному делу*: тез. докл., 9–12 сент. 1997 г., Владивосток. Владивосток: Дальнаука, 1997. С. 80–81. [Nikitin A. A., Danchenkov M. A. Transport of warm subtropical waters in the area of the Far Eastern Marine Reserve. *III Far Eastern Conference on Reserve: tez. dokl.*, 9–12 Sept. 1997, Vladivostok. Vladivostok: Dalnauka, 1997, pp. 80–81. (in Russ.)].
 16. Саматов А. Д. Виды рода *Pseudocalanus* (Copepoda: Calanoida) в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) // *Биология моря*. 2001. Т. 27, № 4. С. 259–267. [Samatov A. D. Species of the genus *Pseudocalanus* (Copepoda: Calanoida) in Avachinsky Bay (south-eastern Kamchatka). *Biologiya morya*, 2001, vol. 27, no. 4, pp. 259–267. (in Russ.)].
 17. Чавтур В. Г., Касьян В. В. Распределение и динамика *Pseudocalanus newmani* Frost (Copepoda: Calanoida) в Амурском заливе Японского моря // *Известия ТИНРО*. 2002. Т. 130. С. 483–502. [Chavtur V. G., Kasyan V. V. Distribution and dynamics of *Pseudocalanus newmani* Frost (Copepoda: Calanoida) in the Amursky Bay of the Sea of Japan. *Izvestiya TINRO*, 2002, vol. 130, pp. 483–502. (in Russ.)].
 18. Hammer O., Harper D. A., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 2001, vol. 4, no. 1, pp. 1–9.
 19. Yamaguchi A., Ikeda T., Shiga N. Population

- structure and life cycle of *Pseudocalanus minutus* and *Pseudocalanus newmani* (Copepoda: Calanoida) in Toyama Bay, Southern Japan Sea. *Plankton Biology and Ecology*, 1998, vol. 45, iss. 2, pp. 183–193.
20. Yamaguchi A., Shiga N. Vertical distribution and life cycle of *Pseudocalanus minutus* and *Pseudocalanus newmani* (Copepoda: Calanoida) off Cape Esan, southwestern Hokkaido. *Bulletin of Plankton Society of Japan*, 1997, vol. 44, no. 1-2, pp. 11–20.
21. Zhang F., Sun S., Yang B., Ji P. Seasonal changes in abundance of small Copepod *Paracalanus parvus* in the Yellow Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2006, vol. 37, pp. 322–329.

**Spatial and temporal changes of species composition
and population density of copepods (Crustacea: Copepoda)
in the Far Eastern Marine Reserve, Sea of Japan**

V. V. Kasyan

National Scientific Center of Marine Biology, Far East Branch,
Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation
E-mail: valentina-k@yandex.ru

In Russia the Far East Marine Reserve (FEMR) is the Federal Nature Reserve with the richest but insufficiently studied biodiversity. Spatiotemporal variations in the zooplankton dwelling in the area were sporadically observed over 20 years ago. The recent investigation focused on the species composition, population density and distribution of copepods — the basic member of zooplankton in FEMR. Samples of plankton were taken from 10 stations above the 50-m isobath monthly during June – September 2012, the months when temperature in the seawater area varies widest. The Calanoida and Cyclopoida copepods were represented by 17 and by 4 species, respectively; 21 species altogether. Genera *Acartia* and *Oithona* had larger diversity — by 4 species each. Marine species dominated in the samples (80 % of the total species number), neritic — in the biotope (58 %). The copepods were boreal (55 %) and tropical + subtropical (45 %). Species number increased to 16 in June and dropped to 5 in September. *Oithona similis* and *Pseudocalanus newmani* dominated during June – July, *Paracalanus parvus*, *Oithona brevicornis* and *O. similis* — in August, and *P. parvus* and *O. brevicornis* — in September. The abundance and diversity decreased in all areas of the reserve from June to September. In June, when the cold-water *O. similis*, *P. newmani*, *Acartia hudsonica* и *Eurytemora pacifica* prevailed, the average population density ($20959 \pm 3007 \text{ ind.} \cdot \text{m}^{-3}$) maximally increased and in September it was minimal. Concentrations of copepods were largest (to 36 thousand $\text{ind.} \cdot \text{m}^{-3}$) above the 10-m depth in the Gulf of Posyet (western FEMR) in June. Cluster analysis applied to the total seawater area of the reserve evaluated Bray — Curtis coefficient as 60 %; three plankton copepod complexes were determined, species composition in each formed under the influence of the water mass. The complexes from the west and the east of FEMR had larger species richness and population density. In the shallow-water western complex high densities of brackish-water copepods (genera *Acartia*, *Eurytemora*, *Centropages*, *Tortanus* and *Pseudodiaptomus*) suggested presence of estuarine and coastal waters whereas tropical and subtropical *O. nana*, *Mesocalanus tenuicornis*, *Pseudodiaptomus inopinatus* — warm-water intrusion from the East Korea current. The concurrent presence of cold- and warm-water copepods in the deep-water eastern complex in summer evidenced the water stratification effect when cold water from the Sea of Japan dominated in the depth and its warmer modification — in the upper seawater layer. The diversity and density were poorest in the southern complex, largely of Panthalassa and neritic copepods. In summer, large presence of cold-water copepods *O. similis* and *P. newmani* indicated the cold-water mass penetration to near-bottom layer; numbers estimates of these copepods can represent the degree of the cold-water effect in the south of the reserve. The copepod distribution, stable abundance and diversity in the seawater area south of FEMR suggested desalination by the river influx and, possibly, harmful impact of pollutants. Species composition and quantitative characteristics of copepods can be used for environmental quality determination in different areas of FEMR.

Keywords: copepoda, species composition, population density, distribution, Far Eastern Marine Reserve FEB RAS, Sea of Japan