

# РАКООБРАЗНЫЕ ВОДОЕМОВ ОСТРОВА ВРАНГЕЛЯ (РОССИЯ): ВИДОВОЙ СОСТАВ, СТРУКТУРА И ИЗМЕНЧИВОСТЬ СООБЩЕСТВ

А. А. Новичкова<sup>1,2</sup>, Е. С. Чертопруд<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Россия

e-mail: [anna.hydro@gmail.com](mailto:anna.hydro@gmail.com), [horsax@yandex.ru](mailto:horsax@yandex.ru)

Поступила: 13.04.2020. Исправлена: 28.05.2020. Принята к опубликованию: 02.06.2020.

Водные экосистемы высоких широт и населяющие их сообщества являются ключевыми площадками для экологических исследований и наблюдений за глобальными изменениями климата. В силу своих особенностей, они высокочувствительны к любым внешним воздействиям и быстро реагируют на стрессоры. Мониторинг состояния сообществ беспозвоночных таких водоемов является одним из наиболее актуальных направлений арктических исследований. Остров Врангеля – уникальная природная территория, где сочетаются высокоширотные условия, эндемизм и специфика островной фауны, а также локальные особенности его биогеографического положения в зоне взаимодействия палеарктической и неарктической биоты. Такого рода исследования – неотъемлемая часть работ, проводимых на острове. Однако состав водных беспозвоночных острова изучен крайне слабо. В настоящей работе представлены новые данные о ракообразных внутренних водоемов государственного природного заповедника «Остров Врангеля» (Чукотский автономный округ, Россия). Отмечено 17 видов, ранее не указанных для данной территории. Анализ влияния факторов среды на структуру сообществ ракообразных показал, что наибольшее значение имеют: тип донного субстрата, площадь водоема, район исследований и сезонность. В озерах площадью более 100 м<sup>2</sup> с илистым или глинистым грунтами доминируют крупные (более 0.7 мм) Copepoda отряда Calanoida: *Diatomus*, *Arctodiatomus*, *Leptodiatomus*, *Heteroscope*, *Eurytemora* и Cladocera: *Daphnia* cf. *middendorffiana*. В термокарстовых озерах богатых детритом с площадью зеркала менее 50 м<sup>2</sup> обильны мелкие (менее 0.5 мм) представители Copepoda отрядов Cyclopoida и Harpacticoida. Сезонная изменчивость структуры сообщества зоопланктона четко выражена. В весенний период преобладающим является комплекс бентопланктонных видов с минимальным видовым богатством (в среднем пять видов). В конце июня доминируют ювенильные стадии веслоногих ракообразных, появляются ветвистоусые ракообразные, а общее видовое богатство возрастает в четыре раза (20–24 вида). В середине лета во всех водоемах многочисленны взрослые веслоногие и ветвистоусые ракообразные. К началу августа начинает снижаться разнообразие и обилие копепод, на фоне неизменного состава массовых видов ветвистоусых ракообразных. Выделено два основных типа сообществ, сохраняющих стабильность в межгодовом аспекте. В первом доминируют Calanoida и Anostraca, во втором – представители *Daphnia* и *Chydorus*. Отмечено, что хотя родовой состав ракообразных в водоемах в межгодовом аспекте практически не изменялся, но состав видов был подвержен значительной вариабельности. Показано, что структуру сообществ зоопланктона в арктических водоемах, в первую очередь, определяют два типа экологических фильтров: локальный, связанный со спецификой водоема, обусловленной историей его формирования, и сезонность.

**Ключевые слова:** Cladocera, Copepoda, зоопланктон, сезонность, Чукотка

## Введение

Закономерности организации пресноводных экосистем высоких широт, существующих на градиенте экстремальных факторов среды, составляют фундаментальную проблему экологии (Jacobsen & Dangles, 2012). Полярные водные экосистемы являются наиболее чувствительными и быстро реагирующими на любые изменения условий среды. Они могут являться индикаторами антропогенной нагрузки, органического загрязнения, изменений в химическом составе почв и горных пород, а также климатических сдвигов (Aanes et al., 2002). Особенно заметны перестройки структуры сообществ водоемов, расположенных вблизи ледников или сформировавшихся в

вечной мерзлоте, которые находятся в условиях наибольшего стресса (Walseng et al., 2018). Малая глубина вкупе с суровым климатом создает особые условия в арктических водоемах, сильно влияющие на структуру экосистем. Важным фактором, способствующим успеху арктических водных беспозвоночных, является отсутствие прессы эффективных хищников в таких мелководных озерах. Таким образом, мониторинг состояния сообществ беспозвоночных, населяющих высокоширотные водоемы, является одним из наиболее актуальных направлений арктических исследований в рамках наблюдений за глобальными изменениями климата и таянием ледников. Провести комплексные исследования по инвентаризации

фауны малоизученных районов Арктики крайне тяжело из-за их труднодоступности, ограниченной логистики и очень суровых условий. Однако эти данные совершенно необходимы не только для расширения информации о региональной фаунистике, но и для понимания характера распространения видов и истории их расселения и происхождения.

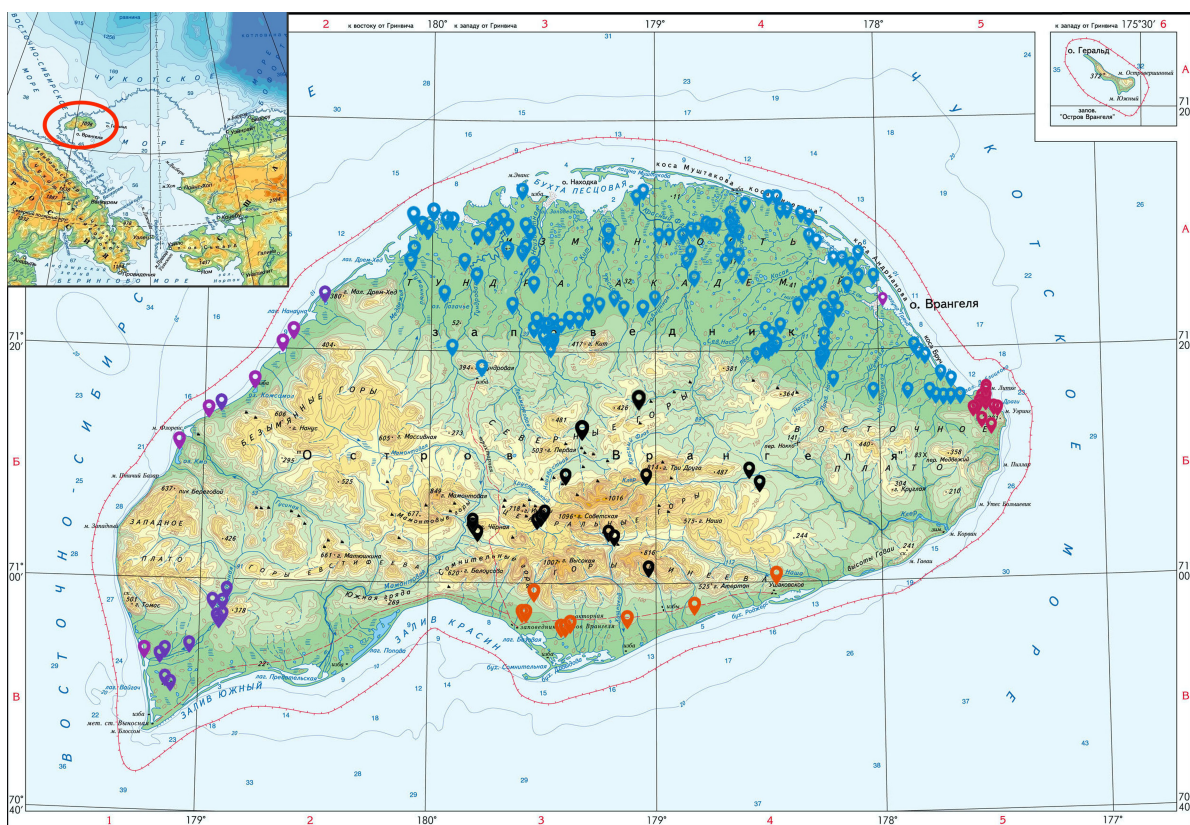
Лежащий в арктических широтах остров Врангеля, является крупнейшим современным рефугиумом фауны Берингии, биогеографической области, которая ранее объединяла запад Северной Америки и северо-восток Евразии (Громов, 1960). Фауна островов Берингийского сектора Голарктики отличается большим разнообразием и эндемизмом (Samchyshyna et al., 2008). Эта обширная территория была практически лишена покровного оледенения во время последнего ледникового максимума, что сделало ее крупнейшим рефугиумом и позволило не только сохранить многие реликтовые формы, но и стать центром видообразования многих видов беспозвоночных. Состав беспозвоночных, населяющих территорию острова Врангеля, в особенности планктонных и бентосных ракообразных, изучен крайне слабо. Солоноватоводным ракообразным острова Врангеля ранее была посвящена единственная работа (Яшнов, 1935). Позднее, зоопланктон и мейобентос данной территории были подробнее изучены авторами данного исследования в 2013 г. (Novichkova & Chertoprud, 2015). Это была первая работа, посвященная инвентаризации фауны водных беспозвоночных острова. В результате было обнаружено 23 новых для острова таксона микроракообразных и освещена вся история гидробиологических исследований внутренних водоемов заповедника. Целью настоящего исследования является продолжение инвентаризации фауны ракообразных водоемов острова, направленное на изучение структуры сообществ, ее межгодовой и сезонной изменчивости.

### Материал и методы

Государственный природный заповедник «Остров Врангеля» располагается на одноименном острове в Чукотском автономном округе и лежит далеко за полярным кругом в Северном Ледовитом океане в зоне тундр и арктических пустынь. Всего на острове Врангеля насчитывается около 1400 рек и ручьев протяженностью более одного километра, в том

числе пять рек, длина которых превышает 50 км (Стишов, 2004). Гидрологический режим водотоков имеет резко выраженный сезонный характер (Lavrushin & Gruzdev, 2012). Озер на острове около 900, причем более 700 из них располагаются на северной равнине, Тундре Академии. Общая площадь озер составляет около 80 км<sup>2</sup>. Большинство из них невелики, и лишь у шести площадь превышает 1 км<sup>2</sup>. Все стоячие водоемы острова лишены ихтиофауны. По происхождению преобладающий тип озер – термокарстовые, их котловины образовались в результате протаивания подземных льдов, и в большинстве своем не превышают 0.5 м глубиной. Помимо термокарстовых, на острове довольно обычны старичные озера, приуроченные к широким долинам рек. Есть также прибрежные лагунные и береговые подпрудные озера, которые наиболее глубоки и обычно солоноватоводны. Кроме равнин, побережий и крупных речных долин, небольшие озера реликтового характера встречаются по подножью центрального горного массива. Все они могут быть отнесены к типу котловинных, тектонического, моренного или смешанного происхождения (Стишов, 2004).

В период с 30 мая по 11 августа 2016 г. была проведена работа по инвентаризации фауны водоемов территории государственного природного заповедника «Остров Врангеля» (Чукотский автономный округ, Россия). Всего было обследовано 170 водных объектов (рис. 1), отобрано более 350 качественных и количественных проб зоопланктона и мейобентоса (Электронное приложение 1). Для 12 водных объектов были проведены повторные (после 2013 г.) исследования с целью выявления межгодовых различий в сообществах, остальные водоемы были изучены впервые. Кроме того, впервые был охвачен практически весь вегетационный период, от начала таяния снега до первых заморозков, в связи с чем появилась возможность изучить сезонные изменения в составе фауны пресноводных беспозвоночных. Особое внимание было уделено водоемам Тундры Академии – обширной северной равнины, покрытой огромным количеством озер и луж. Таким образом, исследованием была охвачена практически вся территория острова, в анализ также было включено несколько солоноватоводных водоемов (участки эстуариев и лагун), фауна которых до настоящего времени оставалась совершенно не изученной.



**Рис. 1.** Расположение государственного природного заповедника «Остров Врангеля» на карте с указанием мест отбора проб в его внутренних водоемах. Цвета точек соответствуют различным участкам острова Врангеля: синий – северное плато, оранжевый – южная равнина, красный – восточная оконечность, фиолетовый – западная оконечность, розовый – солонатоводные водоемы северо-западного побережья.

**Fig. 1.** Location of the Wrangel Island State Nature Reserve with indicating the sampling sites. Different areas of island are marked in different colours: blue – northern plateau, orange – southern plateau, black – central mountains, red – east border, violet – southwestern cape, pink – brackish lagoons of northwestern coast.

В качестве объектов исследования выбраны внутренние водоемы различного происхождения, гидрологического режима и площади, расположенные в различных участках острова – на обширных северной и южной равнинах, западной и восточной оконечностях, а также центральной части (рис. 2). Основным гидрологическим объектом исследований являлись мелководные тундровые озера и лужи, временные или постоянные. Все изученные водоемы были лишены ихтиофауны, и в зимний период промерзали до дна.

Для всех водоемов составлены краткие описания, включающие характер водной растительности, тип грунта, приблизительную площадь акваторий и среднюю глубину (для крупных озер – глубину отбора проб) (Электронное приложение 1). Определение площади акватории малых водоемов проводили с использованием измерительной рулетки, а больших озер – по картографическим материалам. Для определения глубины использовали телескопический мерный шест. Тип грунта определяли по критериям, разработанным Качинским (1958). Также с помощью

портативных приборов Hanna HI 98130 Combo (США) и HM Digital COM-100 (Южная Корея) был определен ряд характеристик воды: температура (°C), pH, электропроводность (ЕС, мкСм/см) и TDS (содержание растворенных солей, ppt/ppm). Только в отдельных случаях измерения не проводили в связи с техническими трудностями.

Для большинства водоемов выполнены серии как качественных, так и количественных проб. Качественные пробы отбирали в очень мелководных водоемах, в прибрежной части или в биотопах с обильным развитием водной растительности, где было невозможно использовать планктонную сеть как орудие лова. Для сбора качественных проб применяли маленький сачок (диаметр кольца 10 см) на длинной рукоятке с диаметром ячеей 50 мкм. Количественные пробы брали планктонной сетью Апштейна диаметром верхнего кольца 15 см (диаметр ячеей 50 мкм). Для количественного учета организмов этой сетью вырезали определенный слой воды известного объема вместе с содержащимся в ней планктоном или зачерпывали мерным сосудом и профильтровывали через сеть. Для различных

биотопов объем воды варьировал от 1 л до 60 л (в среднем 8–14 л) в зависимости от глубины и площади водоема, а также плотности населяющих его планктонных организмов. Полученный объем пробы фиксировали 90% спиртом. Пробы полностью разбирали в камере Богорова (1927). Всех половозрелых ракообразных определяли до вида, используя следующие определители: Смирнов (1971), Smirnov (1995, 1996), Sinev (1999), Kotov et al. (2009), Rogers et al. (2019) для Cladocera; Рылов (1948), Dussart & Defaye (1983), Боруцкий и др. (1991), Brtek & Mura (2000), Алексеев, Цалолихин (2010) для Cyclopoidea и Calanoida; Боруцкий (1952), Dussart (1967), Алексеев, Цалолихин (2010), Фефилова (2015) для Harpacticoida.

Чтобы определить, какие именно факторы среды или характеристики водоемов определяют структуру сообществ и доминирование видов, был проведен одно- и двухуровневый анализ сходства ANOSIM. Для выявления факторов, потенциально определяющих видовой состав микроракообразных выбрали 10 группирующих переменных: участок острова, где были собраны пробы; дата отбора проб; высота над уровнем моря; площадь водоема; средняя глубина; характер донного субстрата, а также такие параметры как электропроводность, соленость, pH и температура. Двухуровневый анализ ANOSIM позволил оценить достоверность группировки одновременно по двум признакам,

то есть влияние одного фактора группировки «на фоне» влияния другого.

Кроме того, был проведен метод регрессионного анализа, основанного на матрице сходства, одна из форм непараметрической многомерной множественной регрессии, DistLM совместно с ординацией dbRDA. Сначала критический тест оценивает влияние каждой отдельной переменной на вариации в структуре видовых группировок, затем с помощью модифицированного информационного критерия Акаике (AICc) отбирается наиболее подходящая модель. Затем dbRDA использовали для ординации подходящих значений из данной модели. Данная ординация была построена на основе переменных многомерного множественного регрессионного анализа (DistLM), сверху наложены векторы среды, объясняющие значительную долю вариации. Отдельно для водоемов одного участка, Тундры Академии, был построен график многомерного шкалирования nMDS, отображающий изученные водоемы острова в виде набора точек в пространстве небольшой размерности, для удобного визуального анализа и как можно более точного отражения сходства между точками. В анализе участвовали данные по водоемам всех типов всех участков острова, для которых имеются полные данные об абиотических факторах, без учета сезонности.



**Рис. 2.** Типичные водоемы разных участков острова Врангеля: А, В – равнинная часть, С, D – центральная гористая часть.  
**Fig. 2.** Typical water bodies in some parts of Wrangel Island: A, B – flat tundra, C, D – mountainous central part.

Вся статистическая обработка данных была проведена в программе PRIMER v7 и пакете PERMANOVA+ (Clarke & Gorley, 2015) с использованием матриц сходства по индексу Кульчинского.

### Результаты

В материалах, собранных в 2016 г. во внутренних водоемах острова Врангеля, отмечено 17 новых видов ракообразных, ранее не указывавшихся для данной территории: один представитель Cladocera, 15 – Copepoda (в т.ч. три – Calanoida, пять – Cyclopoida, семь – Naupacticoida) и один – Gammaridae. Всего в пробах было обнаружено 44 таксона (Электронное приложение 1).

Анализ влияния факторов среды на структуру сообществ ракообразных водоемов острова Врангеля показал, что наибольшее влияние оказывают: характер донного субстрата, площадь водоема, участок острова и сезонность (дата отбора проб) (табл.). Самые значительные различия наблюдаются между водоемами с разными типами грунтов, особенно отличается группа каменистых и песчано-каменистых грунтов. По сезонности различия сильны между весенними (конец мая – начало июня) и осенними (август – начало сентября) группировками зоопланктона, в летний период сходство сообществ ракообразных выше. Максимальный эффект показан при

комбинированном влиянии типа грунта и площади водоема (табл.).

На диаграмме ординации dbRDA проиллюстрированы отношения между факторами среды, объясняющими вариации в сообществах ракообразных (рис. 3). Оси ординации RDA1 и RDA2 объясняют значительную долю общей вариации – 45% и 17% соответственно. Основные определяющие факторы, такие как тип грунта, площадь водоема, дата отбора проб, участок острова, а также электропроводность скоррелированы с первой осью. Со второй осью скоррелированы менее значимые по влиянию факторы: температура воды, pH, высота над уровнем моря, а также содержание растворенных солей.

Наглядно продемонстрировано влияние грунта на формирование структуры и состава сообществ ракообразных с помощью MDS-шкалирования для участка Тундры Академии (рис. 4). Все водоемы Тундры Академии были условно разделены на три группы в зависимости от типа донного субстрата: с преобладанием песка или илистого песка, глинистые и с заметной примесью каменистых грунтов. Все три группы на графике довольно четко дифференцируются друг от друга. Такой показатель как наличие и обилие детрита в донных осадках или топкость грунта значимого влияния на распределение ракообразных в водоемах не оказывают.

**Таблица.** Результаты ANOSIM теста, сгруппированные по различным факторам  
**Table.** Results of the ANOSIM test grouped by various factors

	R-статистика	p значение
<i>Одноуровневый ANOSIM</i>		
<b>район</b>	<b>0.187</b>	<b>0.001</b>
<b>дата</b>	<b>0.104</b>	<b>0.001</b>
высота	0.091	0.002
<b>площадь</b>	<b>0.202</b>	<b>0.001</b>
глубина	0.025	0.121
<b>грунт</b>	<b>0.327</b>	<b>0.001</b>
ЕС	0.070	0.006
TDS	0.080	0.011
pH	0.019	0.158
температура	0.015	0.201
<i>Двухуровневый ANOSIM</i>		
Грунт (во всех размерных группах по площади)	0.407	0.001
Площадь (во всех типах грунтов)	0.281	0.001
Грунт (во всех сезонах)	0.337	0.001
Дата (во всех типах грунтов)	0.179	0.096
Площадь (во всех сезонах)	0.257	0.001
Дата (во всех размерных группах по площади)	0.122	0.079

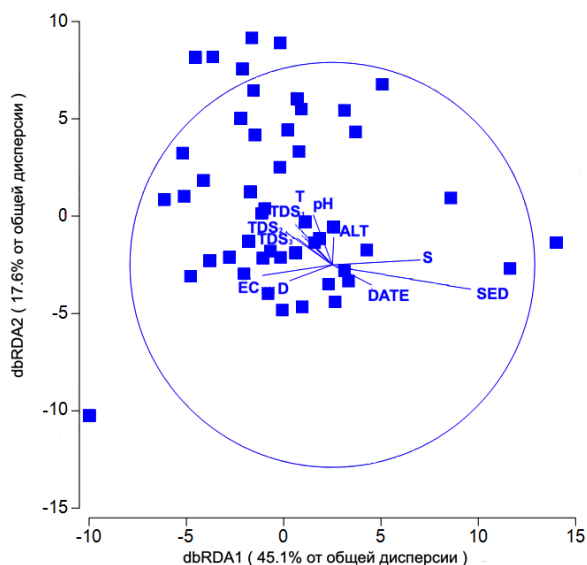
*Примечание:* Факторы с  $p < 0.005$  и  $R > 0.1$  выделены жирным шрифтом.

### Обсуждение

#### Новые фаунистические находки

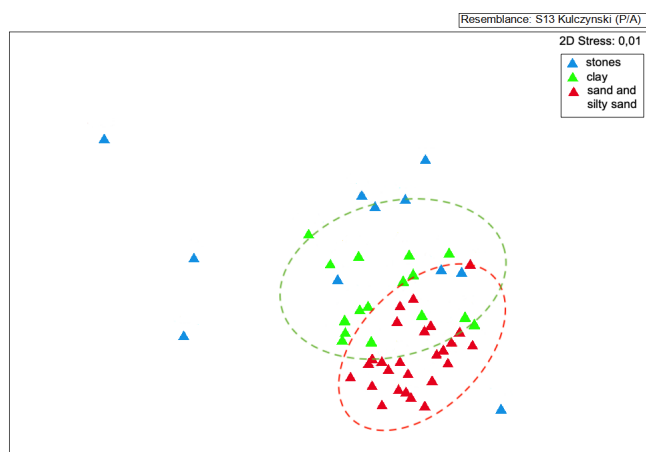
Общий список ракообразных, известных во внутренних водоемах острова Врангеля (в том числе солоноватоводные, а также Ostracoda, определение которых не проводилось) по литературным и оригинальным данным был существенно расширен до 57 таксонов (Электронное приложение 2). Среди всех обнаруженных видов всего один представитель Cladocera встречен для острова Врангеля впервые. Это *Eurycerus (Teretifrons) glacialis* Lilljeborg, 1887. Это широко распространенный в северном полушарии голарктический вид, обитающий на территории Гренландии, Исландии и некоторых других северных территориях Европы, а также на Сахалине, Курилах, Магаданской области, Камчатке и Чукотке (Hann, 2011). Однако, в связи с последними ревизиями рода *Eurycerus*, многие его находки нуждаются в проверке. Например, находки с Кольского полуострова, острова Вайгач, Новой Земли, а также некоторых северных регионов Америки и Канадской Арктики могут быть представителями другого вида подрода *Teretifrons* (Bekker & Kotov, 2016) Ранее на острове Врангеля найдены представители другого вида *E. (Eurycerus) longirostris* Hann, 1982, населяющего большую часть неарктических территорий от центральной Мексики до Юкона и Аляски, а также отмеченный на островах Беринга (Камчатка, Командорские острова) (Novichkova & Chertoprud, 2015) и Врангеля (Bekker et al., 2014). В 2016 г. были встречены оба этих вида, различимые по головным порам и некоторым другим признакам.

Гораздо больше новых для острова видов отмечено среди веслоногих ракообразных (Copepoda). Это закономерная особенность для высокоширотных арктических регионов, где доля видов веслоногих ракообразных заметно превышает число видов ветвистоусых (Novichkova & Azovsky, 2017). Среди обнаруженных новых видов встречены представители трех основных свободноживущих отрядов Copepoda. В большинстве водоемов наиболее многочисленными ракообразными, как по численности, так и по биомассе, были представители семейства Diaptomidae: впервые обнаруженные *Arctodiaptomus cf. laticeps* (G.O. Sars, 1863), *Arctodiaptomus wierzejskii* (Richard, 1888) и *Leptodiaptomus angustilobius* (G.O. Sars, 1898). Эти виды хорошо различимы на взрослых стадиях, однако, вплоть до середины – конца июля популяции каляноид в водоемах острова находятся на стадии ко-



**Рис. 3.** Ординация анализа избыточности RDA фауны ракообразных острова Врангеля, показывающая взаимоотношение с переменными факторов среды. Векторы показывают направление действия факторов на графике ординации: T – температура, ALT – высота (м н.у.м.), S – площадь зеркала, SED – тип донного субстрата, DATE – дата отбора проб, D – участок острова, EC – электропроводность, TDS – содержание растворенных солей (TDS<sub>1</sub> – общее, TDS<sub>2</sub> – NaCl, TDS<sub>3</sub> – KCl).

**Fig. 3.** Distance-based RDA ordination of crustacean fauna on Wrangel Island showing its relationship with the environmental variables. Vectors indicate the direction of the effect of environmental factors in the ordination plot: T – temperature, ALT – altitude (m a.s.l.), S – surface area, SED – bottom sediment, DATE – date of sampling, D – district of sampling, EC – conductivity, TDS – total dissolved salts (incl. TDS<sub>1</sub> – total, TDS<sub>2</sub> – NaCl, TDS<sub>3</sub> – KCl).



**Рис. 4.** MDS ординация исследованных водоемов Тундры Академии, построенная на основе индекса Кульчинского для качественных данных с распределением по типу донного субстрата. Треугольниками обозначены водоемы с различным типом грунта: красный – песок и заиленный песок, зеленый – глинистый, синий – озера с преобладанием каменистых грунтов.

**Fig. 4.** MDS ordination of the sites located in the Tundra of Academy, based on Kulczynski index for qualitative data and factored with the sediment type. Water bodies with types of bottom sediment are marked as triangles: red – sand and silty sand, green – clay, blue – stones.

пеподитов, и различить виды проблематично. *Arctodiptomus laticeps* имеет очень разрозненный ареал от севера Европы до юга Западной Сибири (Фефилова, 2015). Вид *A. wierzejskii* – эвритермный палеарктический, широко распространенный от Европейского Севера до Чукотки. *Leptodiptomus angustilobius* – единственный вид рода, обитающий на территории России, имеет широкое распространение в различных северных областях: Западная и Восточная Сибирь, Ямал, Таймыр, Чукотка, Камчатка.

Среди циклопидных веслоногих ракообразных также отмечено несколько новых находок. Это три вида Cyclopoidea: *Acanthocyclops cf. americanus* (Marsh, 1893), *Diacyclops crassicaudis* (G.O. Sars, 1863) и *Thermocyclops* sp. Представители рода *Diacyclops* являются самыми распространенными на острове Врангеля циклопами. Отдельного интереса заслуживает подсемейство Eucyclopoidea, которое ранее для острова Врангеля указано не было. Наряду с голарктическим видом *E. speratus speratus* (Lilljeborg, 1901), который нередко встречается в водоемах и водотоках севера Сибири, Камчатки и Чукотки, отмечены представители группы *serrulatus*, морфологические признаки которых отличаются от типового *E. serrulatus* (Fischer, 1851). Это непростая для идентификации группа видов, в которой сравнительно недавно начали проводить ревизию, ранее долгое время вид считался космополитом. В ходе ревизии (Aleksseev & Defaye, 2011) показано, что *E. serrulatus* населяет лишь часть Палеарктики, в то время как остальные его находки, скорее всего, принадлежат к другим, близким с ним, видам. При этом подтвержденная самая восточная точка распространения – это дельта реки Лены, а находки на арктических островных территориях остаются под сомнением и требуют проверки. На территории России восточнее Байкала, по всей видимости, *E. serrulatus* не распространен. Напротив, в последние годы здесь находят множество новых видов этой группы – в бассейне Амура, оз. Ханка, р. Чаун (Чукотка) (Aleksseev et al., 2006). В бассейне Анадыря нахождение *E. serrulatus* также не подтверждено. Здесь распространен новый для науки вид *Eurycercus* sp. (Streletskaia, 2010). Вид с острова Врангеля может оказаться представителем именно этого таксона.

Среди гарпактикоидных копепоидов обнаружено лишь три пресноводных представителя (семейство Canthocamptidae), из которых *Bryocamptus (Bryocamptus) subarcticus* (Willey, 1925) – новый для острова Врангеля. Это достаточно редкий

вид, который был отмечен лишь в трех водоемах. Причем большая его численность наблюдалась в высокогорных озерах, расположенных в центральной части острова в самом истоке реки Кларк. Вид известен с полуострова Камчатка, острова Беринга, Большеземельской Тундры, плато Путорана, бассейна реки Уса (Боруцкий, 1952; Фефилова, 2015; Novichkova & Chertoprud, 2016). Кроме того, впервые обнаружено шесть солоноватоводных видов. *Ectinosoma melaniceps* Воеск, 1865 обычен для илистой литорали морей (Боруцкий, 1952) и обитает в широком диапазоне широт от Тропиков до Арктики (Chertoprud et al., 2010). Хотя на острове Врангеля *E. melaniceps* отмечен впервые, но для литоральной зоны Чукотского моря вид был известен и ранее. Относительно недавно описанный *Halectinosoma chislenki* Clément & Moore, 1995 обитает на илистой литорали и верхней сублиторали Белого, Баренцева и Чукотского морей (Корнев, Чертопруд, 2008). Вид типичен для высокой Арктики, например, отмечен у побережья Земли Франца Иосифа (Clément & Moore, 1995). *Halectinosoma curticorne* (Воеск, 1873) – обычный вид для илистой литорали морей, иногда встречается в эстуариях и лагунах (Корнев, Чертопруд, 2008), имеет широкий ареал, охватывающий как арктические акватории, так и Средиземноморье, Бенгальский залив и центральную часть тихоокеанского побережья США (Chertoprud et al., 2010). *Pseudobradya arctica* (Oloffson, 1917) является аркто-бореальным видом. Его ареал охватывает опресненные заливы Баренцева, Карского, Лаптевых морей, а также Балтийское море (Боруцкий, 1952; Abramova & Tuschling, 2005; Garlitska & Azovsky, 2016). *Geeopsis incisipes* (Klie, 1913) имеет циркумарктическое распространение по побережью Северного Ледовитого океана (Боруцкий, 1952), встречается в эстуариях Дальнего Востока России и Корейского полуострова (Chertoprud et al., 2015). Этот вид типичен для солоноватоводных вод, обитает на мягких грунтах эстуариев и лагун вблизи моря (Lang, 1948; Боруцкий, 1952; Фефилова, 2015). *Nannopus didelphis* Fiers & Kotwicki, 2013 описан для литорали и лагун Шпицбергена (Fiers & Kotwicki, 2013). Вид впервые обнаружен за пределами типового локалитета. С большой вероятностью *N. didelphis* характерен для солоноватоводных вод именно Высокой Арктики.

Впервые, в одной из исследованных лагун острова обнаружен бокоплав *Gammarus setosus* Dementieva, 1931 – широко распространенный

морской вид, населяющий преимущественно сублитораль практически всех северных акваторий, в том числе Чукотского и Восточно-Сибирского морей, омывающих остров. Ранее (Яшнов, 1935) в солоноватоводных водоемах был указан лишь *G. wilkitzkii* Vigula, 1897, для которого это была самая восточная точка распространения в Полярном бассейне.

#### Структура сообществ ракообразных

Наиболее значительное влияние на структуру сообществ зоопланктона оказывают три группы факторов: географические (участок острова, где отбирали пробы), гидрологические и гидрохимические особенности водоемов (площадь водоема, электропроводность, минерализация, pH и температура воды), сезон исследований (табл.). Из них первая и вторая группы являются тесно скоррелированными. Это связано с тем, что различные участки острова Врангеля значительно различаются между собой по геоморфологии, которая, в свою очередь, определяет формирование специфических черт водоемов. Изменчивость типов донного грунта, солености, состава макрофитов в изученных озерах тесно связана со сменой разных типов рельефа (Vincent & Hobbie, 2019). В частности, в центральной гористой части острова отсутствуют заболоченные термокарстовые озера, которые представляют собой основной тип водоемов низинной тундры, что обусловлено разным характером осадконакопления в этих районах. Солоноватоводные озера встречаются только в прибрежных районах, что непосредственно связано с их лагунным происхождением.

Большую часть вариаций структуры зоопланктонных сообществ между водоемами как одного ландшафтного района острова, так и разных участков, определяет влияние площади водоема и типа донного субстрата. Причем наиболее значительное влияние этих факторов проявляется при их комплексном воздействии (табл.). Определяющее влияние типа грунта на структуру сообществ зоопланктона мелководных водоемов отмечено и для других субарктических и арктических регионов (например, Исландии и Шпицбергена) (Novichkova et al., 2014; Walseng et al., 2018). Кроме того, для некоторых арктических территорий вариации структуры зоопланктонного сообщества связаны с минерализацией воды в озерах. Однако данный фактор играет значимую роль только в тех случаях, когда его значения варьируют в несколько десятков раз: от 0 ppm до 450 ppm (полуостров Быковский, Яку-

тия) (Novichkova et al., 2020); от 50 ppm до 6000 ppm (Шпицберген) (Walseng et al., 2018; Jensen et al., 2019). Температура воды является значимым фактором при объяснении вариаций структуры сообществ зоопланктона в разновозрастных водоемах ледникового происхождения. По мере увеличения дистанции от водоема до ледника, которая коррелирует с возрастом водоема, температура воды постепенно увеличивается, что приводит к смене доминирования видового комплекса Copepoda на Cladocera (Walseng et al., 2018).

Для озер острова Врангеля с площадью зеркала более 100 м<sup>2</sup>, имеющих илистый или глинистый грунт, характерно преобладание относительно крупных (размером 0.7–2.0 мм) планктонных ракообразных. В этих водоемах доминируют представители отряда Calanoida (*Diaptomus*, *Arctodiatomus*, *Leptodiatomus*, *Heterocope* и *Eurytemora*), а из Cladocera обильны *Daphnia* cf. *middendorffiana* Fischer 1851 вместе с мелким *Chydorus* cf. *sphaericus* (O.F. Müller, 1785). В малых термокарстовых озерах со средней площадью зеркала менее 50 м<sup>2</sup> и значительным содержанием детрита в грунте крупные планктонные ракообразные часто полностью отсутствуют. Большинство этих водоемов являются мелководными с выраженными зарослями макрофитов; и в них происходит смешение донной и планктонной фаун. Наибольшего разнообразия и обилия достигают копеподы отрядов Cyclopoida (*Diacyclops*, *Acanthocyclops*, *Cyclops* и другие) и Harpacticoida (*Bryocamptus*, *Canthocamptus* и *Attheyella*). Среди ветвистоусых ракообразных только для этой размерной группы водоемов типичен *Eurycercus glacialis*. Значительное обеднение фауны ракообразных прослеживается в озерах с каменистым типом грунта, лишенных зарослей макрофитов. В большинстве случаев площадь зеркала этих водоемов составляет 50–100 м<sup>2</sup>. Характерно, что сообщества микроаракообразных, со сходной таксономической структурой на уровне родов, отмечены для малых водоемов тундр островов Беринга, Исландии, Шокальского и архипелага Шпицберген (Novichkova et al., 2014; Novichkova & Chertoprud, 2016, 2017; Walseng et al., 2018). Озера с доминированием представителей копепод отряда Cyclopoida совместно с ветвистоусыми рода *Chydorus*, обычно имеют относительно небольшую площадь около 50–100 м<sup>2</sup> (Novichkova & Chertoprud, 2016). Тундровые озера, в которых массово развиваются крупные представители Copepoda отряда Calanoida (*Eudiatomus*, *Arctodiatomus*, *Diatomus*, *Sinodiatomus*



*tomus*), имеют различные размеры, но чаще являются наиболее крупными ( $> 100 \text{ м}^2$ ) (Novichkova et al., 2014; Novichkova & Chertoprud, 2016).

#### Сезонная и межгодовая изменчивость

Сезонная изменчивость структуры сообществ зоопланктона в равнинных водоемах острова площадью менее  $100 \text{ м}^2$  выражена достаточно четко. В весенний период (в конце мая – начале июня) доминирующим является комплекс бенто-планктонных видов, включающий преимущественно представителей отрядов Cuscloroida (наиболее разнообразно представлен род *Diacyclops*) и Harpacticoida. Общее видовое богатство всех изученных водоемов в этот период минимально (в среднем пять видов), причем Cladocera полностью отсутствуют. В конце июня массово развиваются ювенильные стадии веслоногих ракообразных. Во многих водоемах они доминируют по обилию. Характерно, что за весь вегетационный период в водоемах наблюдается только один пик размножения копепод, что типично для Арктики (Vincent & Hobbie, 2019). В конце июня, когда вода начинает прогреваться, в водоемах появляются ветвистоусые ракообразные, а общее видовое богатство во всех обследованных водоемах возрастает в четыре раза (20–24 вида). В середине лета (первая – вторая декады июля) во всех водоемах обильны половозрелые веслоногие и ветвистоусые ракообразные. Структура доминирования в сообществе зоопланктона в этот период выражена наиболее четко. В начале августа начинает снижаться разнообразие и обилие копепод, на фоне неизменного состава массовых видов ветвистоусых ракообразных. В связи с этим между съемками, выполненными в начале июня и съемками – в начале августа наблюдаются наиболее резкие различия. Обычно влияние сезона года обусловлено динамикой температурного фактора, который варьирует также и в межгодовом аспекте (Novichkova & Chertoprud, 2017). При этом температура осуществляет грубую регуляцию планктонного сообщества. Так, низкие температуры ( $< 4^\circ\text{C}$ ) воды замедляют или совсем подавляют рост зоопланктона, а повышение температуры до  $7\text{--}8^\circ\text{C}$  и выше обычно вызывает бурное развитие планктонного сообщества (Walseng et al., 2018).

Сезонная смена видов прослеживается и в мейобентосном сообществе. В большинстве изученных водоемов населяющие дно ракообразные представлены *Attheyella* (*Neomrazekiella*) *nordenskioldii nordenskioldii* (Lilljeborg, 1902) и *Canthocamptus glacialis* (Lilljeborg, 1902), неред-

ко сосуществующими. Первый из них наиболее многочислен в самом начале вегетационного периода, в конце мая – начале июня, когда он занимает доминирующее положение в сообществе. *Canthocamptus glacialis* появляется в водоемах позднее, в середине июня. Его доля заметно возрастает уже к концу июня, а к августу он замещает вид *Attheyella nordenskioldii*.

Несмотря на относительно небольшую выборку водоемов (всего 12, различные по размеру озера Тундры Академии), в которых удалось провести исследование и в 2013 г., и в 2016 г., можно отметить низкую изменчивость организации сообществ ракообразных. Структура сообществ в водоемах на уровне родов при сравнении различных лет исследования практически не варьировала. Однако видовой состав был подвержен значительной изменчивости. Выделено два основных типа сообществ, сохраняющих стабильность в межгодовом аспекте. В первом из них доминировали крупные Calanoida или их копеподиты и Anostraca. Во втором сообществе на передний план выходили ветвистоусые ракообразные *Daphnia* и *Chydorus*. Эти два типа доминирующих группировок оставались неизменными при сравнении результатов 2013 и 2016 гг. Необходимо отметить, что в ряде случаев для зоопланктона арктических территорий наблюдается выраженная динамика видовой структуры, связанная с внедрением в сообщества относительно южных теплолюбивых таксонов (Novichkova & Chertoprud, 2017). Так, на основании межгодовых различий в составе фауны Cladocera острова Шокальского, выдвинута гипотеза о существовании скрытого пула бореальных видов (находящихся в арктических водоемах на стадии покоящегося яйца), которые могут появляться в случае возникновения благоприятных климатических условий (например, аномально теплого летнего сезона).

#### Заключение

На примере острова Врангеля можно заключить, что при формировании сообществ зоопланктона арктических водоемов ключевое влияние на их структуру оказывают гидрологические и гидрохимические особенности конкретного водоема, а также сезонность (дата отбора проб). Поскольку в Арктике сезон, благоприятный для развития зоопланктона, как и вегетационный период, краткий (около 2,5 месяцев, с середины июня по конец августа), структура видového комплекса в каждом конкретном водоеме не успевает претерпеть значительных перестроек (Novichkova & Chertoprud,

2016). Обычно в тундровых водоемах пик обилия копепод предшествует пику численности кладоцер, но число этих пиков за биологические весну и лето остается постоянным (Vincent & Hobbie, 2019). Это обусловлено тем, что за короткий период благоприятных для развития температур воды ракообразные обычно не успевают совершить более одного цикла размножения.

Тонкая регуляция структуры сообществ зоопланктона осуществляется на уровне отдельного водоема и обусловлена гидрологией, определяющей характер донного субстрата и, частично, гидрохимическими характеристиками. Значения этих факторов часто коррелируют с типом формирования тундрового водоема (Vincent & Hobbie, 2019). Так, термокарстовые водоемы, обычно имеющие малую площадь и глубину, характеризуются низкой минерализацией, низким рН вод (< 7) и илистым грунтом со значительной примесью детрита. Для крупных озер котловинного типа часто характерны каменистые или песчаные грунты и щелочной рН. Водоемы старичного происхождения часто имеют значительную минерализацию, что связано с регулярным притоком речных вод. Таким образом, существует потенциальная возможность предсказать структуру зоопланктонного комплекса на основании истории формирования водоема.

В итоге, формирование сообществ зоопланктона в арктических водоемах, в отсутствии ихтиофауны, в основном определяют два типа экологических фильтров. На основании особенностей конкретного арктического водоема формируется тот или иной видовой комплекс, ежегодное воспроизводство которого происходит преимущественно за счет покоящихся стадий, находящихся в донных осадках. Температуры летнего сезона определяют то, какая часть скрытого пула покоящихся стадий будет реализована в этом году. Однако данная гипотеза нуждается в дополнительной проверке на основании большего материала.

### Благодарности

Авторы благодарят А.Р. Груздева (директор ФГБУ «Государственный заповедник «Остров Врангеля») за помощь в организации полевых работ, И.П. Олейникова, И.Б. Петухова и М.С. Буданова за содействие в сборе материала. Исследования Cladocera были выполнены при поддержке гранта РНФ №18-14-00325. Исследования Copepoda проведены при поддержке гранта РФФИ №20-04-00145. Статистический анализ данных поддержан грантом МГУ имени М.В. Ломоносова для поддержки ведущих научных школ МГУ «Депозитарий живых систем Московского университета» в рамках Программы развития МГУ.

### Дополнительная информация

Информация о характеристиках станций отбора проб (Электронное приложение 1. Характеристики станций отбора проб водных беспозвоночных на острове Врангеля в 2016 году) и фауне ракообразных, выявленной в водоемах острова Врангеля (Электронное приложение 2. Список видов ракообразных, обнаруженных в водоемах различных участков острова Врангеля), может быть найдена [здесь](#).

### Литература

- Алексеев В.Р., Цалолихин С.Я. (ред.). 2010. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1: Зоопланктон. М.: Товарищество научных изданий КМК. 494 с.
- Богоров В.Г. 1927. К методике обработки планктона // Русский гидробиологический журнал. Т. 6(8–10). С. 193–198.
- Боруцкий Е.В. 1952. Naupacticoida пресных вод // Фауна СССР. Т. 3: Ракообразные. М.-Л.: Изд-во АН СССР. С. 1–425.
- Боруцкий Е.В., Степанов Л.А., Кос М.С. 1991. Определитель Calanoida пресных вод. СПб.: Наука. 503 с.
- Громов Л.В. 1960. Осколок древней Берингии. М.-Л.: Географиз. 96 с.
- Качинский Н.А. 1958. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: АН СССР. 193 с.
- Корнев П.Н., Чертопруд Е.С. 2008. Веслоногие ракообразные отряда Naupacticoida фауны Белого моря: Морфология, Систематика, Экология. М.: Товарищество научных изданий КМК. 379 с.
- Рылов В.М. 1948. Cyclopoida пресных вод // Фауна СССР. Т. 3(3): Ракообразные. М.-Л.: АН СССР. С. 1–319.
- Смирнов Н.Н. 1971. Chydoridae фауны мира // Фауна СССР. Т. 1: Ракообразные. Л.: Наука. С. 1–532.
- Стишов М. 2004. Остров Врангеля – эталон природы и природная аномалия. Йошкар-Ола: Изд-во Марийского полиграфкомбината. 596 с.
- Фефилова Е.Б. 2015. Копеподы (Copepoda). Веслоногие раки (Copepoda). Фауна европейского Северо-Востока России. Т. 12. М.: Товарищество научных изданий КМК. 319 с.
- Яшнов В.А. 1935. Фауна солоноватоводных водоемов острова Врангеля // Труды Государственного океанографического института. Т. 22. С. 119–134.
- Aanes R., Sæther B.E., Smith F.M., Cooper E.J., Wookey P.A., Øritsland N.A. 2002. The Arctic Oscillation predicts effects of climate change in two trophic levels in a high-arctic ecosystem // Ecology Letters. Vol. 5(3). P. 445–453. DOI: 10.1046/j.1461-0248.2002.00340.x
- Abramova E., Tuschling K. 2005. A 12-year study of the seasonal and interannual dynamics of mesozooplankton in the Laptev Sea: Significance of salinity regime and life cycle patterns // Global Planet Change. Vol. 48(1–3). P. 141–164. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2004.12.010

- Alekseev V., Defaye D. 2011. Taxonomic differentiation and world geographical distribution of the *Eucyclops serrulatus* group (Copepoda, Cyclopidae, Eucyclopininae) // Studies on freshwater Copepoda: a volume in honour of Bernard Dussart. Leiden, The Netherlands: Brill. P. 41–72. DOI: 10.1163/9789004188280\_003
- Alekseev V., Dumont H.J., Baribwegure J.P.D., Vanfleteren J.R. 2006. A redescription of *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851) (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida) and some related taxa, with a phylogeny of the *E. serrulatus*-group // Zoologica Scripta. Vol. 35(2). P. 123–147. DOI: 10.1111/j.1463-6409.2006.00223.x
- Bekker E.I., Kotov A.A. 2016. A revision of the subgenus *Eurycercus* (*Teretifrons*) Frey, 1975 (Crustacea: Cladocera) in the Holarctic with description of a new species from Russian Arctic // Zootaxa. Vol. 4147(4). P. 351–376. DOI: 10.11646/zootaxa.4147.4.1
- Bekker E.I., Novichkova A.A., Kotov A.A. 2014. New findings of *Eurycercus* Baird, 1843 (Cladocera: Anomopoda) in the Eastern Palaearctic // Zootaxa. Vol. 3895(2). P. 297–300. DOI: 10.11646/zootaxa.3895.2.11
- Brtek J., Mura G. 2000. Revised key to families and genera of the Anostraca with notes on their geographical distribution // Crustaceana. V. 73(9). P. 1037–1088. DOI: 10.1163/156854000505083
- Chertoprud E.S., Frenkel S.E., Kim K., Lee W. 2015. Harpacticoida (Copepoda) of the northern East Sea (the Sea of Japan) and the southern Sea of Okhotsk: diversity, taxocenes, and biogeographical aspects // Journal of Natural History. Vol. 49(45–48). P. 2869–2890. DOI: 10.1080/00222933.2015.1056268
- Chertoprud E.S., Garlitskaya L.A., Azovsky A.I. 2010. Large-scale patterns in marine harpacticoid (Crustacea, Copepoda) diversity and distribution // Marine Biodiversity. Vol. 40(4). P. 301–315. DOI: 10.1007/s12526-010-0054-z
- Clarke K.R., Gorley R.N. 2015. Getting started with PRIMER v7. PRIMER-E: Plymouth, Plymouth Marine Laboratory. 20 p.
- Clément M., Moore C.G. 1995. A revision of the genus *Halectinosoma* (Harpacticoida: Ectinosomatidae): a reappraisal of *H. sarsi* (Boeck) and related species // Zoological Journal of the Linnean Society. Vol. 114(3). P. 247–306. DOI: 10.1111/j.1096-3642.1995.tb00118.x
- Dussart B.H. 1967. Les copepodes des eaux continentales d'Europe occidentale (vol. 1). Calanoïdes et Harpacticoides. Paris: Boubee et Cie. 500 p.
- Dussart B.H., Defaye D. 1983. Répertoire mondial des Crustacés Copépodes des eaux intérieures. Calanoïdes. Paris: CNRS Bordeaux. 224 p.
- Fiers F., Kotwicki L. 2013. The multiple faces of *Nannopus palustris* auct. reconsidered: a morphological approach (Copepoda: Harpacticoida: Nannopodidae) // Zoologischer Anzeiger. Vol. 253(1). P. 36–65. DOI: 10.1016/j.jcz.2013.08.001
- Garlitska L.A., Azovsky A.I. 2016. Benthic harpacticoid copepods of the Yenisei Gulf and the adjacent shallow waters of the Kara Sea // Journal of Natural History. Vol. 50(47–48). P. 2941–2959. DOI: 10.1080/00222933.2016.1219410
- Hann B.G. 2011. Redescription of *Eurycercus* (*Teretifrons*) *glacialis* (Cladocera, Chydoridae), and description of a new species, *E. (T.) nigracanthus*, from Newfoundland, Canada // Canadian Journal of Zoology. Vol. 68(10). P. 2146–2157. DOI: 10.1139/z90-298
- Jacobsen D., Dangles O. 2012. Environmental harshness and global richness patterns in glacier-fed streams // Global Ecology and Biogeography. Vol. 21(6). P. 647–656. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00699.x
- Jensen T., Walseng B., Hessen D.O., Dimante-Deimantovića I., Novichkova A., Chertoprud E., Chertoprud M., Sakharova E., Krylov A., Frisch D., Christoffersen K.S. 2019. Changes in trophic state and aquatic communities in high Arctic ponds in response to increasing goose populations // Freshwater Biology. Vol. 64(7). P. 1241–1254. DOI: 10.1111/fwb.13299
- Kotov A.A., Ishida S., Taylor D.J. 2009. Revision of the genus *Bosmina* Baird, 1845 (Cladocera: Bosminidae), based on evidence from male morphological characters and molecular phylogenies // Zoological Journal of the Linnean Society. Vol. 156(1). P. 1–51. DOI: 10.1111/j.1096-3642.2008.00475.x
- Lang K. 1948. Monographie der Harpacticiden. Vol. 1. Vol. 2. Stockholm: Nordiska Bokhandeln. 1682 p.
- Lavrushin V.Yu., Gruzdev A.R. 2012. The salt composition of rivers in Wrangel Island // Lithology and Mineral Resources. Vol. 47(1). P. 1–17. DOI: 10.1134/S0024490211060101
- Novichkova A.A., Azovsky A.I. 2017. Factors affecting regional diversity and distribution of freshwater microcrustaceans (Cladocera, Copepoda) at high latitudes // Polar Biology. Vol. 40(1). P. 185–198. DOI: 10.1080/00222933.2019.1704587
- Novichkova A.A., Chertoprud E.S. 2015. Fauna of microcrustaceans (Cladocera: Copepoda) of shallow freshwater ecosystems of Wrangel Island (Russian Far East) // Journal of Natural History. Vol. 49(45–48). P. 2955–2968. DOI: 10.1080/00222933.2015.1056269
- Novichkova A.A., Chertoprud E.S. 2016. The freshwater crustaceans (Cladocera: Copepoda) of Bering Island (Commander Islands, Russian Far East): species richness and taxocene structure // Journal of Natural History. Vol. 50(21–22). P. 1357–1368. DOI: 10.1080/00222933.2015.1113319
- Novichkova A.A., Chertoprud E.S. 2017. Cladocera and Copepoda of Shokalsky Island: new data from Northwest Siberia // Journal of Natural History. Vol. 51(29–30). P. 1781–1793. DOI: 10.1080/00222933.2017.1355077
- Novichkova A.A., Chertoprud E.S., Gíslason G.M. 2014. Freshwater Crustacea (Cladocera, Copepoda) of Iceland: taxonomy, ecology, and biogeography // Polar Biology. Vol. 37(12). P. 1755–1767. DOI: 10.1007/s00300-014-1559-x
- Novichkova A.A., Kotov A.A., Chertoprud E.S. 2020. Freshwater crustaceans of Bykovsky Peninsula and neighboring territory (Northern Yakutia, Russia) // Arthropoda Selecta. Vol. 29(1). P. 1755–1767. DOI: 10.15298/arthsel
- Rogers D.C., Kotov A.A., Sinev A.Y., Glagolev S.M., Korovchinsky N.M., Smirnov N.N., Bekker E.I. 2019. Chap-

- ter 16.2. Arthropoda: Class Branchiopoda // Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Vol. 4: Keys to Palearctic Fauna / C.D. Rogers, J.H. Thorp (Eds.). London etc.: Academic Press. P. 643–724. DOI: 10.1016/B978-0-12-385024-9.00018-6
- Samchyshyna L., Hansson L.-A., Christoffersen K. 2008. Patterns in the distribution of Arctic freshwater zooplankton related to glaciation history // *Polar Biology*. Vol. 31(12). P. 1427–1435. DOI: 10.1007/s00300-008-0482-4
- Sinev A.Y. 1999. *Alona werestschagini* sp. n., new species of genus *Alona* Baird, 1843, related to *A. guttata* Sars, 1862 (Anomopoda, Chydoridae) // *Arthropoda Selecta*. Vol. 8(1). P. 23–30.
- Smirnov N.N. 1995. Check-list of the Australian Cladocera (Crustacea) // *Arthropoda Selecta*. Vol. 4. P. 3–6.
- Smirnov N.N. 1996. Cladocera: the Chydorinae and Sayciinae (Chydoridae) of the world. Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World 11 SPB. Amsterdam: Acad. Publ. 151 p.
- Streletskaia E.A. 2010. Review of the fauna of Rotatoria, Cladocera, and Copepoda of the basin of the Anadyr' River // *Contemporary Problems of Ecology*. Vol. 3(4). P. 469–480. DOI: 10.1134/S1995425510040119
- Vincent W.F., Hobbie J.E. 2019. Chapter 8. Ecology of Arctic Lakes and Rivers // *Arctic: Environment, People, Policies* / M. Nuttall, T. Callaghan (Eds.). UK: Harwood Academic Publishers. P. 197–231.
- Walseng B., Jensen T., Dimante-Deimantovica I., Christoffersen K.S., Chertoprud M., Chertoprud E., Novichkova A., Hessen D.O. 2018. Freshwater diversity in Svalbard: providing baseline data for ecosystems in change // *Polar Biology*. Vol. 41(10). P. 1995–2005 DOI: 10.1007/s00300-018-2340-3
- Alekshev V.R., Tsalolichin S.Ya. (Eds.). 2010. *Guide of freshwater zooplankton and zoobenthos of European Russia*. Vol. 1: Zooplankton. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 494 p. [In Russian]
- Bekker E.I., Kotov A.A. 2016. A revision of the subgenus *Eurycercus* (*Teretifrons*) Frey, 1975 (Crustacea: Cladocera) in the Holarctic with description of a new species from Russian Arctic. *Zootaxa* 4147(4): 351–376. DOI: 10.11646/zootaxa.4147.4.1
- Bekker E.I., Novichkova A.A., Kotov A.A. 2014. New findings of *Eurycercus* Baird, 1843 (Cladocera: Anomopoda) in the Eastern Palearctic. *Zootaxa* 3895(2): 297–300. DOI: 10.11646/zootaxa.3895.2.11
- Bogorov V.G. 1927. To the methods of the zooplankton processing. *Russian Hydrobiological Journal* 6(8–10): 193–198. [In Russian]
- Borutskiy E.V. 1952. *Freshwater Harpacticoids*. In: Fauna USSR. Vol. 3: Crustacea. Moscow – Leningrad: Publisher of AS USSR. P. 1–425. [In Russian]
- Borutskiy E.V., Stepanova L.A., Kos M.S. 1991. *Key to identification of freshwater Calanoida*. St. Petersburg: Nauka. 503 p. [In Russian]
- Brtek J., Mura G. 2000. Revised key to families and genera of the Anostraca with notes on their geographical distribution. *Crustaceana* 73(9): 1037–1088. DOI: 10.1163/156854000505083
- Chertoprud E.S., Frenkel S.E., Kim K., Lee W. 2015. Harpacticoida (Copepoda) of the northern East Sea (the Sea of Japan) and the southern Sea of Okhotsk: diversity, taxocenes, and biogeographical aspects. *Journal of Natural History* 49(45–48): 2869–2890. DOI: 10.1080/00222933.2015.1056268
- Chertoprud E.S., Garlitskaya L.A., Azovsky A.I. 2010. Large-scale patterns in marine harpacticoid (Crustacea, Copepoda) diversity and distribution. *Marine Biodiversity* 40(4): 301–315. DOI: 10.1007/s12526-010-0054-z
- Clarke K.R., Gorley R.N. 2015. *Getting started with PRIMER v7*. PRIMER-E: Plymouth, Plymouth Marine Laboratory. 20 p.
- Clément M., Moore C.G. 1995. A revision of the genus *Halectinosoma* (Harpacticoida: Ectinosomatidae): a reappraisal of *H. sarsi* (Boeck) and related species. *Zoological Journal of the Linnean Society* 114(3): 247–306. DOI: 10.1111/j.1096-3642.1995.tb00118.x
- Dussart B.H. 1967. *Les copepodes des eaux continentales d'Europe occidentale (vol. 1). Calanoïdes et Harpacticoides*. Paris: Boubee et Cie. 500 p.
- Dussart B.H., Defaye D. 1983. *Répertoire mondial des Crustacés Copépodes des eaux intérieures. Calanoïdes*. Paris: CNRS Bordeaux. 224 p.
- Fefilova E.B. 2015. *Copepoda. Fauna of the European north-east of Russia*. Vol. 12. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 319 p. [In Russian]
- Fiers F., Kotwicki L. 2013. The multiple faces of *Nannopus palustris* auct. reconsidered: a morphological approach (Copepoda: Harpacticoida: Nannopodidae). *Zoologischer Anzeiger* 253(1): 36–65. DOI: 10.1016/j.jcz.2013.08.001

## References

Aanes R., Sæther B.E., Smith F.M., Cooper E.J., Wookey P.A., Øritsland N.A. 2002. The Arctic oscillation predicts effects of climate change in two trophic levels in a high arctic ecosystem. *Ecology Letters* 5(3): 445–453. DOI: 10.1046/j.1461-0248.2002.00340.x

Abramova E., Tuschling K. 2005. A 12-year study of the seasonal and interannual dynamics of mesozooplankton in the Laptev Sea: Significance of salinity regime and life cycle patterns. *Global Planet Change* 48(1–3): 141–164. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2004.12.010

Alekshev V., Defaye D. 2011. Taxonomic differentiation and world geographical distribution of the *Eucyclops serrulatus* group (Copepoda, Cyclopidae, Eucyclopinae). In: *Studies on freshwater Copepoda: a volume in honour of Bernard Dussart*. Leiden, The Netherlands: Brill. P. 41–72. DOI: 10.1163/9789004188280\_003

Alekshev V., Dumont H.J., Baribwegure J.P.D., Vanfleteren J.R. 2006. A redescription of *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851) (Crustacea: Copepoda: Cyclopoida) and some related taxa, with a phylogeny of the *E. serrulatus*-group. *Zoologica Scripta* 35(2): 123–147. DOI: 10.1111/j.1463-6409.2006.00223.x

- Garlitska L.A., Azovsky A.I. 2016. Benthic harpacticoid copepods of the Yenisei Gulf and the adjacent shallow waters of the Kara Sea. *Journal of Natural History* 50(47–48): 2941–2959. DOI: 10.1080/00222933.2016.1219410
- Gromov L.V. 1960. *The Shard of Ancient Beringia*. Moscow – Leningrad: Geografis. 96 p. [In Russian]
- Hann B.G. 2011. Redescription of *Eurycercus (Teretifrons) glacialis* (Cladocera, Chydoridae), and description of a new species, *E. (T.) nigracanthus*, from Newfoundland, Canada. *Canadian Journal of Zoology* 68(10): 2146–2157. DOI: 10.1139/z90-298
- Jacobsen D., Dangles O., 2012. Environmental harshness and global richness patterns in glacier-fed streams. *Global Ecology and Biogeography* 21(6): 647–656. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00699.x
- Jensen T., Walseng B., Hessen D.O., Dimante-Deimantovica I., Novichkova A., Chertoprud E., Chertoprud M., Sakharova E., Krylov A., Frisch D., Christoffersen K.S. 2019. Changes in trophic state and biodiversity in high Arctic ponds in response to increasing goose populations. *Freshwater Biology* 64(7): 1241–1254. DOI: 10.1111/fwb.13299
- Kachinskiy N.A. 1958. *Mechanical and microaggregate composition of the soil, methods for study*. Moscow: AS USSR. 193 p. [In Russian]
- Kornev P.N., Chertoprud E.S. 2008. *Copepoda of the order Harpacticoida of the White Sea fauna: Morphology, Systematics, Ecology*. Moscow: KMK Scientific Press Ltd. 379 p. [In Russian]
- Kotov A.A., Ishida S., Taylor D.J. 2009. Revision of the genus *Bosmina* Baird, 1845 (Cladocera: Bosminiidae), based on evidence from male morphological characters and molecular phylogenies. *Zoological Journal of the Linnean Society* 156(1): 1–51. DOI: 10.1111/j.1096-3642.2008.00475.x
- Lang K. 1948. *Monographie der Harpacticiden. Vol. 1. Vol. 2*. Stockholm: Nordiska Bokhandeln. 1682 p.
- Lavrushin V.Yu., Gruzdev A.R. 2012. The salt composition of rivers in Wrangel Island. *Lithology and Mineral Resources* 47(1): 1–17. DOI: 10.1134/S0024490211060101
- Novichkova A.A., Azovsky A.I. 2017. Factors affecting regional diversity and distribution of freshwater microcrustaceans (Cladocera, Copepoda) at high latitudes. *Polar Biology* 40(1): 185–198. DOI: 10.1080/00222933.2019.1704587
- Novichkova A.A., Chertoprud E.S. 2015. Fauna of microcrustaceans (Cladocera: Copepoda) of shallow freshwater ecosystems of Wrangel Island (Russian Far East). *Journal of Natural History* 49(45–48): 2955–2968. DOI: 10.1080/00222933.2015.1056269
- Novichkova A.A., Chertoprud E.S. 2016. The freshwater crustaceans (Cladocera: Copepoda) of Bering Island (Commander Islands, Russian Far East): species richness and taxocene structure. *Journal of Natural History* 50(21–22): 1357–1368. DOI: 10.1080/00222933.2015.1113319
- Novichkova A.A., Chertoprud E.S. 2017. Cladocera and Copepoda of Shokalsky Island: new data from Northwest Siberia. *Journal of Natural History* 51(29–30): 1781–1793. DOI: 10.1080/00222933.2017.1355077
- Novichkova A.A., Chertoprud E.S., Gíslason G.M. 2014. Freshwater Crustacea (Cladocera, Copepoda) of Iceland: taxonomy, ecology, and biogeography. *Polar Biology* 37(12): 1755–1767. DOI: 10.1007/s00300-014-1559-x
- Novichkova A.A., Kotov A.A., Chertoprud E.S. 2020. Freshwater crustaceans of Bykovsky Peninsula and neighboring territory (Northern Yakutia, Russia). *Arthropoda Selecta* 29(1): 1755–1767. DOI: 10.15298/arthsel
- Rogers D.C., Kotov A.A., Sinev A.Y., Glagolev S.M., Korovchinsky N.M., Smirnov N.N., Bekker E.I. 2019. Chapter 16.2. Arthropoda: Class Branchiopoda. In: C.D. Rogers, J.H. Thorp (Eds.): *Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates: Vol. 4: Keys to Palaearctic Fauna*. London etc.: Academic Press. P. 643–724. DOI: 10.1016/B978-0-12-385024-9.00018-6
- Rylov V.M. 1948. *Cyclopoida of the freshwaters*. In: Fauna of USSR. Vol. 2: Crustacea. Moscow – Leningrad: AS USSR. P. 1–319. [In Russian]
- Samchyshyna L., Hansson L.-A., Christoffersen K. 2008. Patterns in the distribution of Arctic freshwater zooplankton related to glaciation history. *Polar Biology* 31(12): 1427–1435. DOI: 10.1007/s00300-008-0482-4
- Sinev A.Y. 1999. *Alona werestschagini* sp. n., new species of genus *Alona* Baird, 1843, related to *A. guttata* Sars, 1862 (Anomopoda, Chydoridae). *Arthropoda Selecta* 8(1): 23–30.
- Smirnov N.N. 1971. *Chydoridae of the world fauna*. In: Fauna USSR. Vol. 1: Crustaceans (Crustacea). Leningrad: Nauka. P. 1–532. [In Russian]
- Smirnov N.N. 1995. Check-list of the Australian Cladocera (Crustacea). *Arthropoda Selecta* 4: 3–6.
- Smirnov N.N. 1996. *Cladocera: the Chydorinae and Sayciinae (Chydoridae) of the world. Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World II SPB*. Amsterdam: Acad. Publ. 151 p.
- Stishov M.S. 2004. *Wrangel Island – a standard of nature and a natural anomaly*. Yoshkar-Ola: Mariysky Poligrafcombinat. 596 p. [In Russian]
- Streletskaya E.A. 2010. Review of the fauna of Rotatoria, Cladocera, and Copepoda of the basin of the Anadyr' River. *Contemporary Problems of Ecology* 3(4): 469–480. DOI: 10.1134/S1995425510040119
- Vincent W.F., Hobbie J.E. 2019. Chapter 8. Ecology of Arctic Lakes and Rivers. In: M. Nuttall, T. Callaghan (Eds.): *Arctic: Environment, People, Policies*. UK: Harwood Academic Publishers. P. 197–231.
- Walseng B., Jensen T., Dimante-Deimantovica I., Christoffersen K.S., Chertoprud M., Chertoprud E., Novichkova A., Hessen D.O. 2018. Freshwater diversity in Svalbard: providing baseline data for ecosystems in change. *Polar Biology* 41(10): 1995–2005. DOI: 10.1007/s00300-018-2340-3
- Yashnov V.A. 1935. Fauna of brackish water bodies of Wrangel Island. *Proceedings of the State Oceanographic Institute* 22: 119–134. [In Russian]

## CRUSTACEANS OF WRANGEL ISLAND (RUSSIA): SPECIES COMPOSITION, COMMUNITY STRUCTURE AND VARIABILITY

Anna A. Novichkova<sup>1,2</sup>, Elena S. Chertoprud<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of RAS, Russia*

<sup>2</sup>*Lomonosov Moscow State University, Russia*

*e-mail: anna.hydro@gmail.com, horsax@yandex.ru*

High-latitude aquatic ecosystems and the communities inhabiting them are the key sites for environmental research and observations of global climate changes. Due to their specific traits, they are highly sensitive to any external effects and respond immediately to stressors. Monitoring the state of communities of invertebrates of such water bodies is one of the most relevant areas of Arctic research. Wrangel Island is a unique natural area that combines high-latitude conditions, endemism and specificity of insular fauna, as well as local features of its biogeographic position in the zone of interaction of Palearctic and Nearctic biota. This kind of research is an integral part of the investigations carried out on the island. However, the composition of the aquatic invertebrates of the island is very poorly studied. The current paper presents new data on the crustaceans of inland water bodies of the Wrangel Island State Nature Reserve (Chukotka, Russia). There are 17 species previously unknown for this territory. Analysis of the influence of environmental factors on the community structure of crustaceans has revealed the most important of them: the type of bottom sediment, size of the water bodies, the area of research and seasonality. Lakes with an area of more than 100 m<sup>2</sup> and with a silt or clay bottom were dominated by large (more than 0.7 mm) Copepoda of the order Calanoida: *Diatomus*, *Arctodiatomus*, *Leptodiatomus*, *Heterocope*, *Eurytemora*, and Cladocera: *Daphnia* cf. *middendorffiana*. In thermocarst lakes, rich in detritus with size less than 50 m<sup>2</sup>, were abundant small (less than 0.5 mm) members of Copepoda orders Cyclopoida and Harpacticoida. The seasonal variability of the zooplankton community structure was clearly expressed. During spring a complex of bento-plankton species with a minimal number of species was prevalent (at average 5 species). At the end of June, the juvenile stages of the copepods dominate, cladocerans appear, and the total species richness increased 4 times (20–24 species). In the middle of the summer in all water bodies there were numerous adult copepods and cladocerans. By the beginning of August, the diversity and abundance of copepods began to decline, against the background of the unchanged composition of mass species of Cladocera. Two main types of communities are allocated that maintain an interannual stability. The first one is dominated by Calanoida and branchiopods, the second one by representatives of *Daphnia* and *Chydorus*. It is noted that although the genera composition of crustaceans in water bodies hardly changes from year to year, the composition of species has been subject to significant variability. It is shown that the structure of zooplankton communities in Arctic water bodies is primarily determined by two types of environmental filters: local, related to the specificity of the water body due to the history of its formation, and seasonality.

**Key words:** Chukotka, Cladocera, Copepoda, seasonality, zooplankton