



УДК 574.583(282.247.211)

## ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ РАЧКА *THERMOCYCLOPS OITHONOIDES* (SARS, 1863) В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

ФОМИНА  
Юлия Юрьевна

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, rambler7780@rambler.ru

СЯРКИ  
Мария Тагевна

кандидат биологических наук, Институт водных проблем Севера  
КарНЦ РАН, msyarki@yandex.ru

**Ключевые слова:**  
зоопланктон  
популяции  
возрастная структура  
сезонная динамика  
лимническая  
гетерогенность  
модели сглаживания

**Аннотация:** В условиях климатических изменений и антропогенной нагрузки особую актуальность приобретает исследование годовой цикличности планктона и его основных компонентов. Веслоногий ракок *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) является массовым видом пелагического зоопланктона Онежского озера и важным кормовым объектом для рыб-планктофагов. На основе многолетних наблюдений был выполнен анализ жизненного цикла популяций ракка в центральном олиготрофном районе озера и в крупном Петрозаводском заливе в течение всего года. *T. oithonoides* в планктоне встречается круглогодично. Зимой отмечены только копеподиты IV–V стадии, которые зимуют в придонном слое. В подледный период численность ракка составляет  $25.3 \pm 4.8$  экз./м<sup>3</sup>, биомасса –  $0.286 \pm 0.055$  мг/м<sup>3</sup>. Показано, что в центральной части водоема популяционная динамика *T. oithonoides* имеет дициклический характер. В заливе из-за благоприятного температурного режима у ракка возможна ди- и трициклическость. Среднемноголетние максимумы популяций в центре озера по численности достигают 1.31 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса – 0.009 г/м<sup>3</sup>. Величины для популяции в Петрозаводской губе сходные, по численности – 1.36 тыс. экз./м<sup>3</sup>, по биомассе – 0.013 г/м<sup>3</sup> соответственно. В июне неблагоприятные гидрохимические условия в заливе угнетают развитие ракка и вызывают задержку его количественного развития. Сравнение с данными прошлого века показало, что, несмотря на колебания антропогенной нагрузки и климатические изменения, наблюдаемые в последние десятилетия, заметных изменений в характере годовой цикличности *T. oithonoides* не произошло.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 29 мая 2019 года

### Введение

Онежское озеро – это крупнейший после Ладожского озера пресноводный водоем Европы и европейского северо-запада России. Его экосистема испытывает влияние климатических факторов и антропогенной нагрузки. Основными источниками точечного загрязнения являются промцентры – Петрозаводск, Кондопога, Медвежьегорск. В целом на большей части акватории планктонные системы находятся в естественном состоя-

нии, имеют олиготрофный статус. Онежское озеро отличается высоким качеством воды и малой продуктивностью (Онежское озеро..., 2010). В последние десятилетия на территории Карелии наблюдаются климатические колебания, повышение среднегодовой температуры воздуха и количества осадков (Назарова, 2015). В результате этого увеличиваются сроки безледоставного периода и продолжительности периода «биологического лета» (Филатов и др., 2014). В некоторых районах озера отмечается увеличение

Подписана к печати: 06 октября 2019 года

содержания в воде органического вещества, взвешенных веществ, цветности, общего фосфора, железа (Калинкина и др., 2019). Подобные изменения вызывают реакцию как всего planktona в целом, так и отдельных популяций. Жизненные циклы веслоногих копепод синхронизированы с закономерными сезонными колебаниями в окружающей среде (Nilssen, Wærvågen, 2000). Например, в озере Мюгельзе в Берлине в связи с потеплением климата для раков *Thermocyclops oithonoides* и *Mesocyclops leuckarti* отмечено увеличение продолжительности активной planktonной фазы (сдвиг на более ранние сроки весной и на более поздние осенью), а также увеличение годового пика численности (Gerten, Adrian, 2002).

Вид *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) относится к типу членистоногие (Arthropoda), классу ракообразные (Crustacea), подклассу Copepoda, отряду Cyclopiformes, семейству Cyclopidae (подсемейство Cyclopinae), роду *Thermocyclops* Kiefer, 1927 (Определитель..., 2010).

*T. oithonoides* – палеарктический, эври-топный вид, относится к холодноводному комплексу умеренных широт 50–60° с. ш. (Пидгайко, 1984; Куликова, 2017). Ракок расселился из Понто-Каспийского региона после последнего ледникового периода (Nilssen, Wærvågen, 2000).

Оптимальные условия ракок находит при высоких содержаниях растворенного кислорода. Он обитает при pH = 6.4–7.6. В дистрофных водоемах отсутствует, обитая главным образом в эвтрофных (мезотрофных) и олиготрофных озерах (Рылов, 1948). *T. oithonoides* относится к видам со средней толерантностью к нарушению ионного состава воды (Калинкина, Куликова, 2009). Вид отмечен в Норвегии (Nilssen, Wærvågen, 2000), Эстонии (Haberman, Virro, 2004), Германии (Adrian et al., 2006), Финляндии (Lehtovaara et al., 2014), в Псковско-Чудском озере на границе между Эстонией и Россией (Хаберман и др., 2012). Массовый вид в Ладожском озере (Родионова, 2013). *T. oithonoides* встречается в озерах Воже и Лача (Смирнова, 1978), в Куйбышевском (Тимохина, 2000), Горьковском (Гусаков, 2005) и Рыбинском водохранилищах (Лазарева, 2010), в озере Неро (Лазарева, Смирнова, 2008) и др. Самый характерный компонент карельских озер, по данным Т. П. Куликовой (2004, 2007, 2010, 2012), вид отмечен в 409 водоемах из 556 исследованных. Ракок распространен повсеместно от литорали до пелагии.

*T. oithonoides* является важным элементом трофической цепи. Это факультативный хищник. Питается простейшими и молодью ракообразных. Науплиальные стадии используют в пищу водоросли, простейших и детрит (Монаков, 1976). Ракок обеспечивает рыбопродуктивность в озерах тайги и подтайги, составляет основу питания ряпушки и корюшки (Пидгайко, 1984). В уловах Онежского озера рыбы-планктофаги составляют 50–85 % (Онежское озеро..., 2010).

Цель работы – изучение жизненного цикла веслоногого рака *T. oithonoides* в пелагии различных районов Онежского озера.

## Материалы

В основу работы положен материал комплексных съемок лаборатории гидробиологии ИВПС КарНЦ РАН с 1988 по 2017 г. в период вегетации (июнь – октябрь) (Сярки, Куликова, 2012; Сярки и др., 2015). Пробы zooplanktona центральной части озера были отобраны в пелагии районов, сходных по термическим и трофическим свойствам (всего 5 станций, 826 проб). Zooplankton заливов изучался на примере Петрозаводской губы (2 станции, 641 проба) (рис. 1).

Зимнее состояние описано по материалам, полученным в рамках российско-швейцарского мультидисциплинарного проекта «Lake Ladoga: life under ice interplay of under-ice processes by global change» в марте 2015–2017 гг. (в одни и те же даты) на станции в центральной части Петрозаводской губы.

Термический режим в центральной части озера и заливе различается из-за высокой пространственной гетерогенности озера. Так, термобар в Петрозаводской губе проходит в третьей декаде мая, а в центральном районе – в середине июня (рис. 2). Сезонная динамика температуры Петрозаводской губы имеет свои особенности, связанные с активной гидродинамикой залива.

Центральный район озера в настоящее время имеет олиготрофный статус planktonной системы, что подтверждается низким уровнем общего фосфора (10 мкг/л) и Chl a (2.7 мкг/л).

Химический состав вод Петрозаводской губы формируется в основном за счет речного стока (95 % – река Шуя), обогащенного биогенами, железом и гумусом. Зимой и весной водные массы Петрозаводской губы представлены на 52–62 % шуйскими водами. Особенно велико влияние речных вод на залив в период прохождения термобара

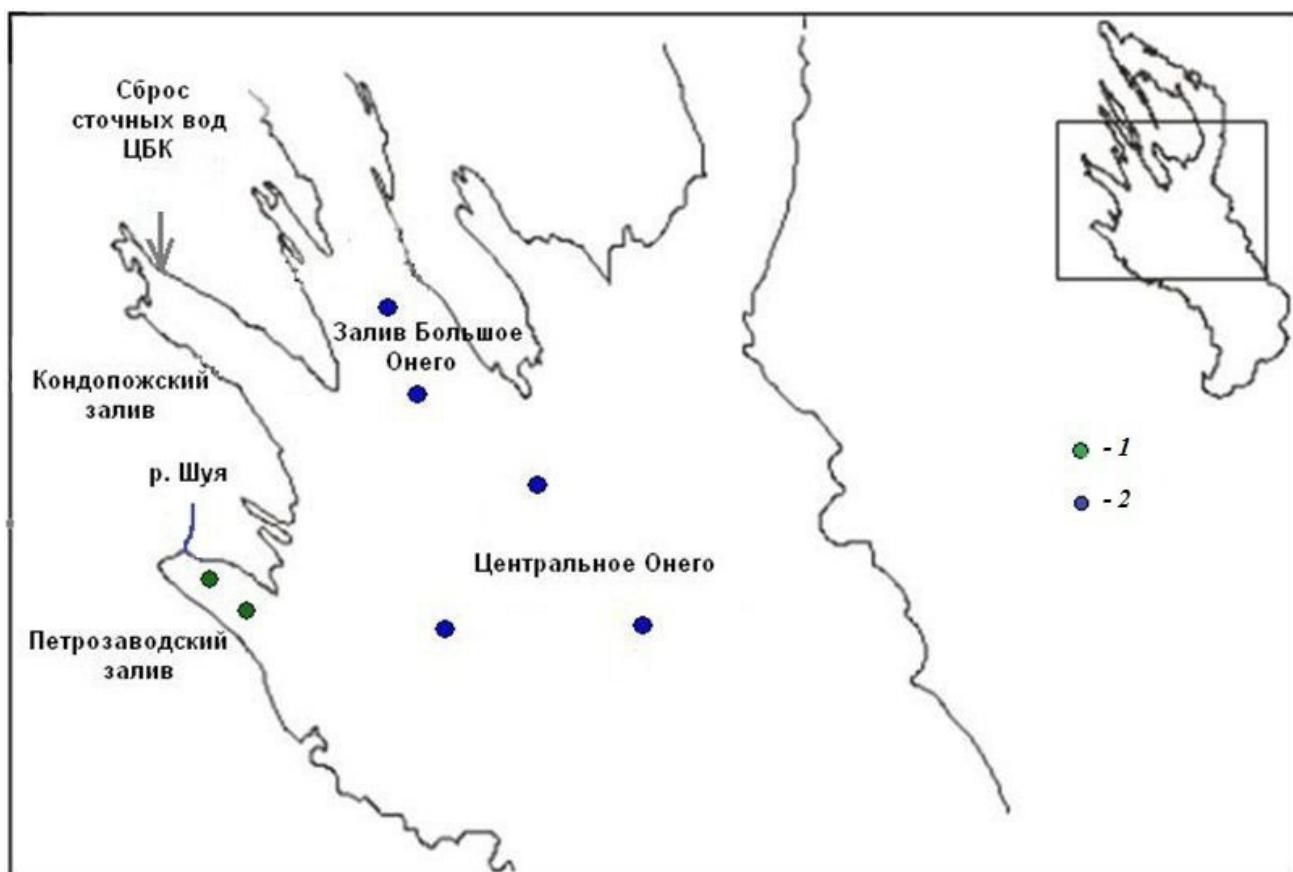


Рис. 1. Схема расположения станций на Онежском озере: 1 – станции в Петрозаводской губе; 2 – станции в центральном районе озера

Fig. 1. Location of stations on Lake Onega: 1 – stations in Petrozavodsk Bay; 2 – stations in the central part

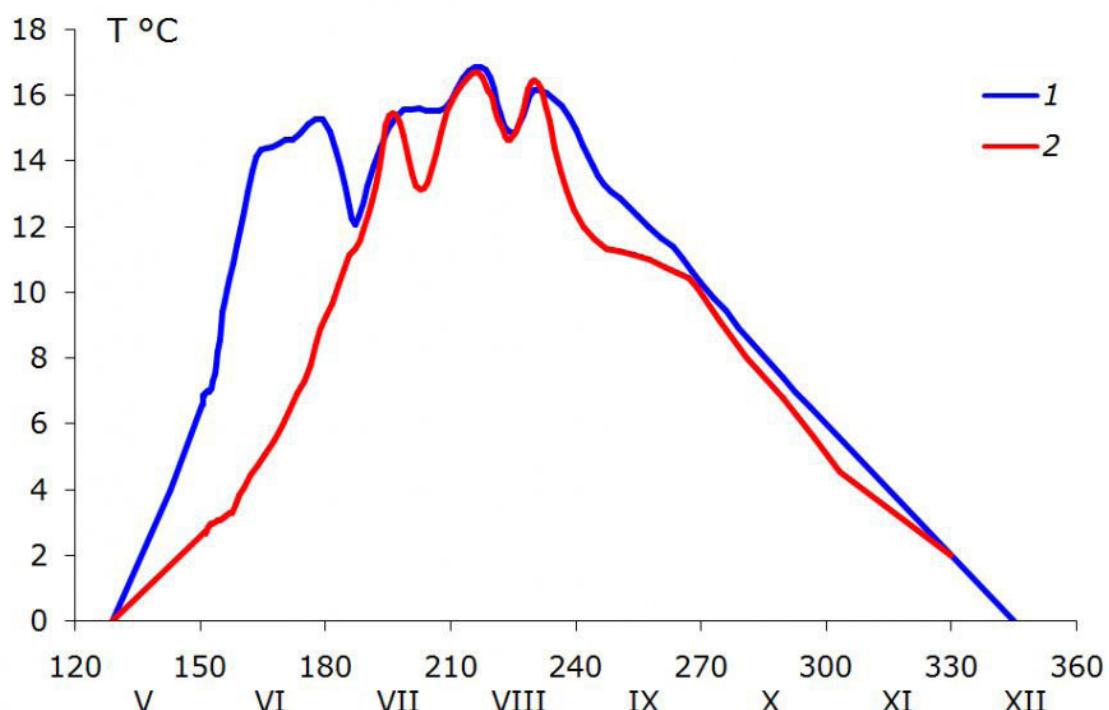


Рис. 2. Средняя температура воды (скользящие средние): 1 – Петрозаводская губа; 2 – центральный район

Fig. 2. Average water temperature (variable averages): 1 – Petrozavodsk Bay; 2 – central part

и после него, когда водообмен с центральным плесом озера ограничен, формируются неблагоприятные для зоопланктона гидрохимические условия. После прохождения термобара показатели химического состава воды в заливе близки к озерным. Летом и осенью доля озерных вод достигает 82–86 %. Петрозаводская губа испытывает значительную антропогенную нагрузку (промышленно-бытовые стоки, дренажные, ливневые воды города, водный транспорт). Концентрация общего фосфора составляет 18 мкг/л, содержание Chl *a* 3.3 мкг/л, по этим показателям залив имеет мезотрофный статус (Крупнейшие..., 2015; Лозовик и др., 2019).

## Методы

Пробы зоопланктона отбирали планктонной сетью Джеди (с диаметром отверстий 100 мкм) фракционно по слоям (0–5, 5–10, 10–25, 25–50, 50–75, 75–100 м) и фиксировали 4 % формалином. Сбор и обработку материала проводили по стандартной методике (Методические рекомендации..., 1984).

Численность *T. oithonoides* просчитывали по размерно-возрастным группам: младшие копеподиты (I–III стадии), старшие копеподиты (IV–V стадии), самцы, самки, самки с яйцами. Науплии не идентифицировались до вида и не учитывались.

При вычислении биомассы зоопланктона использовались размеры и индивидуальные веса, рассчитанные для Онежского озера (Куликова, Сярки, 1994).

Для сопоставимости данных из районов с различными глубинами анализировались величины численности в столбе воды под квадратным метром.

Плавные кривые сезонной динамики показателей получены сглаживанием временных рядов (с 1988 по 2017 г.) методом скользящего среднего с шагом в 7 элементов. Для этого ряды данных ранжировались по показателю сезонности (сутки с начала года). Ввиду нерегулярности рядов применялся метод скользящего среднего в модификации двойного сглаживания (Сярки, 2013).

## Результаты

*T. oithonoides* в планктоне встречается круглогодично. Зимой отмечены только копеподиты IV–V стадии, которые зимуют в придонном слое. В подледный период численность рака составляет  $673.5 \pm 125.7$

экз./м<sup>2</sup> ( $25.3 \pm 4.8$  экз./м<sup>3</sup>), биомасса  $7.61 \pm 1.42$  мг/м<sup>2</sup> ( $0.286 \pm 0.055$  мг/м<sup>3</sup>). Доля *T. oithonoides* в планктоне по численности в среднем 3.5 %, по биомассе – 1.5 %.

В первой декаде июня в центральном районе озера наблюдается численность рака в среднем 4.2 тыс. экз./м<sup>2</sup> (0.06 тыс. экз./м<sup>3</sup>), биомасса 0.05 г/м<sup>2</sup> (0.001 г/м<sup>3</sup>). Основную роль в популяции в это время играют старшие копеподиты, доля которых составляет около 90 %. В Петрозаводской губе отмечены близкие значения численности 4.3 тыс. экз./м<sup>2</sup> (0.16 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и биомассы – 0.07 г/м<sup>2</sup> (0.003 г/м<sup>3</sup>), в первую очередь за счет взрослых раков и младших копеподитных стадий (около 40 % каждая возрастная группа) (рис. 3, 4).

В конце июня – начале июля в центре озера увеличивается количество самцов и самок, и в первой декаде июля отмечается их максимальное количество по численности – 5.8 тыс. экз./м<sup>2</sup> (0.08 тыс. экз./м<sup>3</sup>), по биомассе – 0.09 г/м<sup>2</sup> (0.001 г/м<sup>3</sup>). В первой декаде августа наблюдается второй максимум взрослых раков, который почти в два раза больше первого (численность 10.6 тыс. экз./м<sup>2</sup>, или 0.26 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 0.15 г/м<sup>2</sup>, или 0.004 г/м<sup>3</sup>). Для младших и старших копеподитов волны генераций тоже хорошо выражены.

В Петрозаводской губе активное развитие популяции *T. oithonoides* начинается с первой декады июля. Подобная задержка летнего развития в заливе была отмечена ранее для веслоногого рака *Eudiaptomus gracilis* (Фомина, Сярки, 2018). Задержка в развитии в июне здесь может быть связана с неблагоприятными гидрохимическими условиями в период термобара и после его прохождения. Активное развитие популяции в начале июля может быть связано с гидродинамикой вод в заливе и с переносом раков течениями из центрального плеса озера. Волны генерации слабо выражены для старших копеподитов, для младших копеподитов и взрослых раков сливаются.

Максимум развития популяции *T. oithonoides* в центральном районе и Петрозаводском заливе приходится на начало августа. В центре озера численность рака может достигать 46.4 тыс. экз./м<sup>2</sup> (1.31 тыс. экз./м<sup>3</sup>), биомасса – 0.39 г/м<sup>2</sup> (0.009 г/м<sup>3</sup>), в популяции *T. oithonoides* в Петрозаводской губе отмечены близкие значения – 35.6 тыс. экз./м<sup>2</sup> (1.36 тыс. экз./м<sup>3</sup>) и 0.34 г/м<sup>2</sup> (0.013 г/м<sup>3</sup>) соответственно.

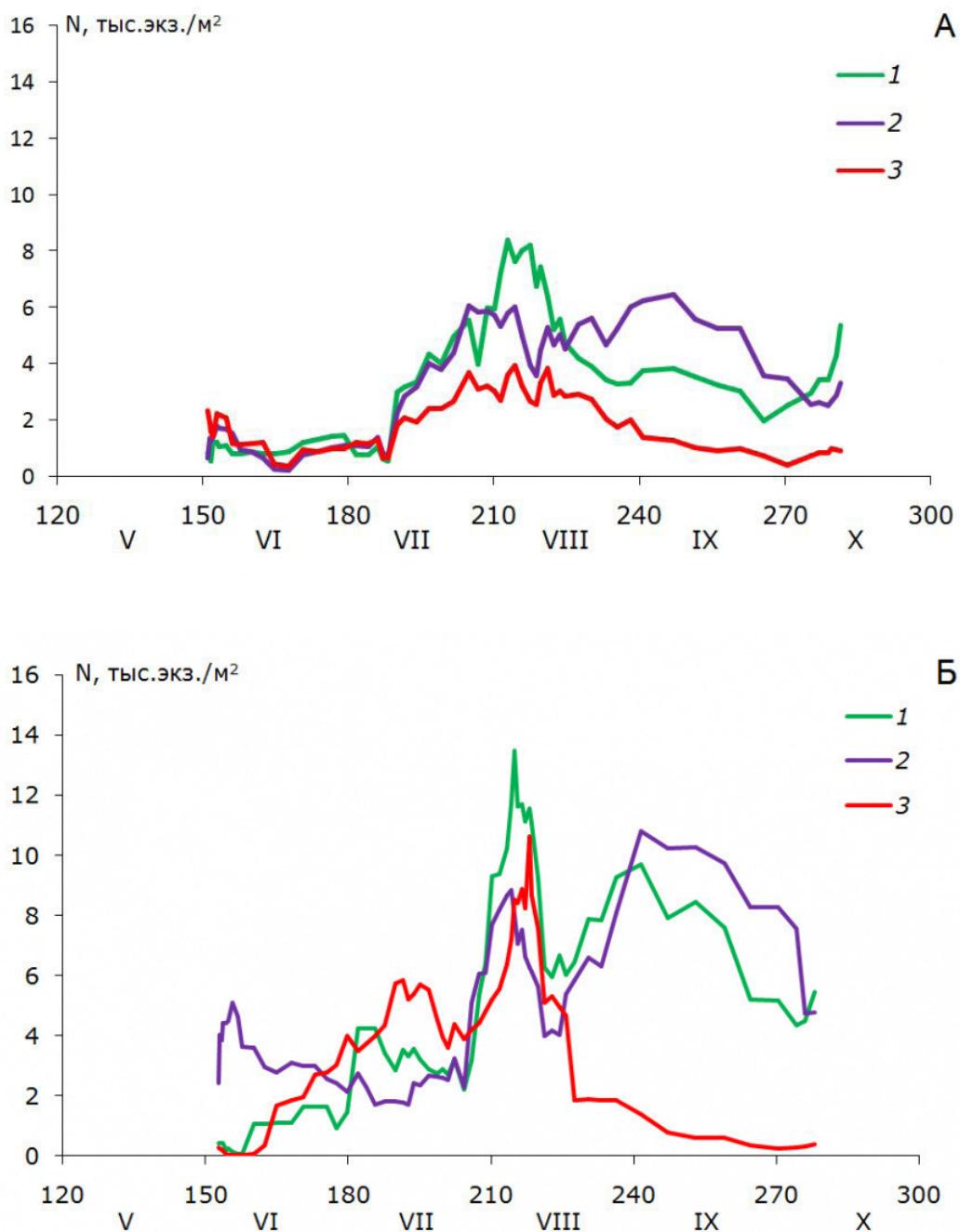


Рис. 3. Динамика численности ( $N$ , тыс. экз./ $m^2$ ) возрастных групп *T. oithonoides* в Петрозаводской губе (А) и центральном районе (Б): 1 – взрослые раки; 2 – старшие копеподиты; 3 – младшие копеподиты  
Fig. 3. Abundance dynamics ( $N$ , th. ind./ $m^2$ ) of *Thermocyclops oithonoides* age groups in Petrozavodskaya Bay (A) and in the central part of Lake Onega (B): 1 – adults; 2 – senior copepodites; 3 – young copepodites

Осенью доля взрослых раков снижается, доля копеподитов, наоборот, увеличивается (рис. 4). Старшие копеподиты уходят в диапаузу и мигрируют в придонный слой. В это время в структуре популяции рака в Петрозаводской губе доля младших копеподитов больше, чем в центральном районе озера. Возможно, это связано с более благоприятными термическими условиями в заливе, когда ракок в теплые годы может давать не

две генерации, как в центре озера, а три. По данным В. М. Рылова (1948), *T. oithonoides* дицикличен, в некоторых озерах он моноцикличен. В карельских озерах вид может быть полицикличен (Филимонова, 1965). Nilssen и Wærvågen (2000) отмечают, что в озерах Норвегии в жизненном цикле *T. oithonoides* может быть две или три генерации в год в зависимости от ежегодных колебаний температуры воды.

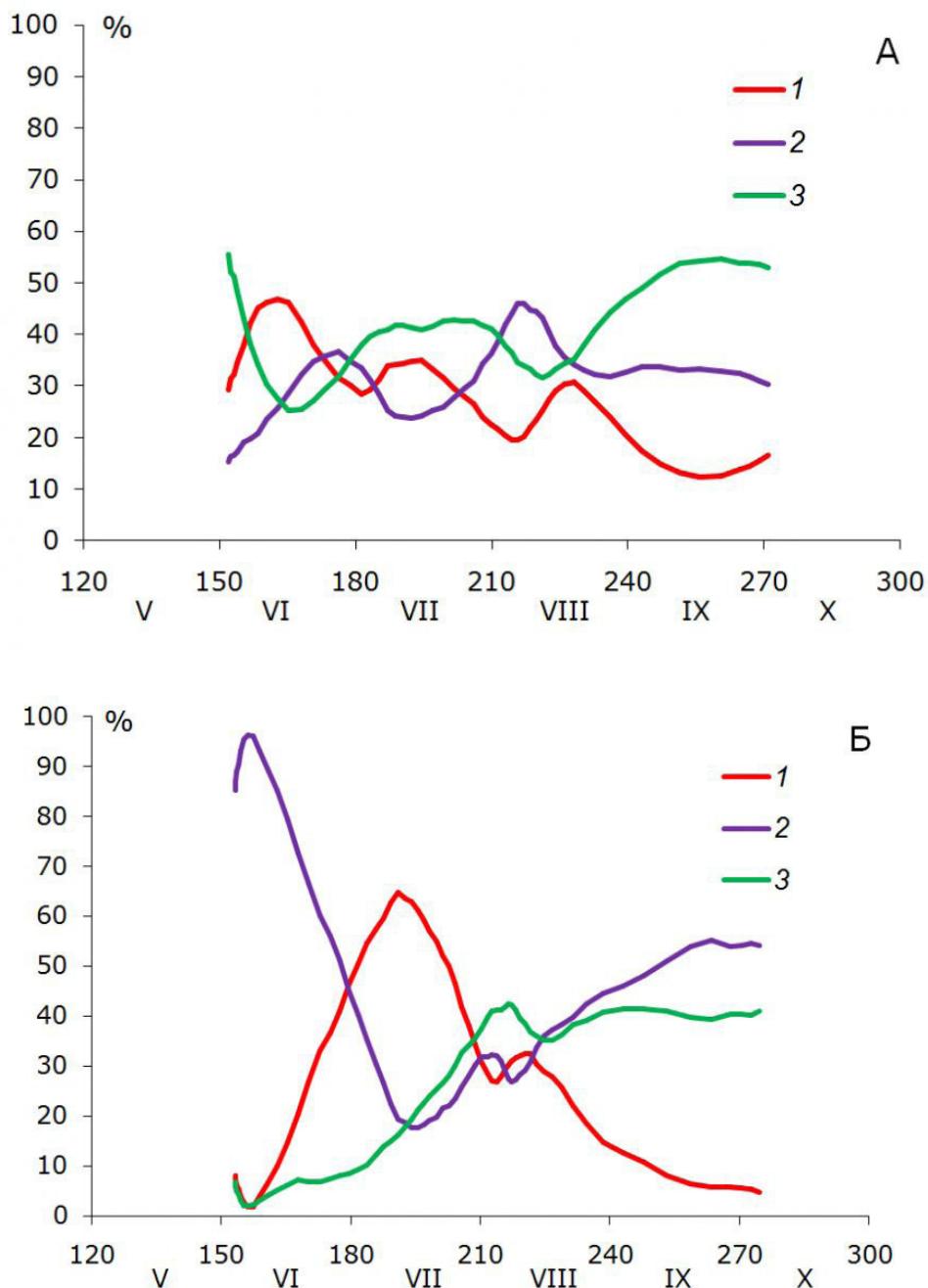


Рис. 4. Структура популяции (%) *T. oithonoides* в Петрозаводской губе (А) и центральном районе (Б): 1 – взрослые раки; 2 – старшие копеподиты; 3 – младшие копеподиты

Fig. 4. Population structure (%) of *Thermocyclops oithonoides* in Petrozavodskaya Bays (A) and in the central part of Lake Onega (B): 1 – adults; 2 – senior copepodites; 3 – young copepodites

Петрозаводский залив прогревается примерно на месяц раньше, чем центральный район, поскольку скорость развития *T. oithonoides* зависит от температуры, размножение рака в губе начинается уже в мае. Доля яйценосных самок в заливе в начале июня и до конца августа составляет око-

ло 50 % от общего количества самок. В центре озера в начале июня доля яйценосных самок составляет в среднем 5 %, но в июле их число резко возрастает. Короткий вегетационный период вызывает синхронизацию размножения самок (рис. 5).

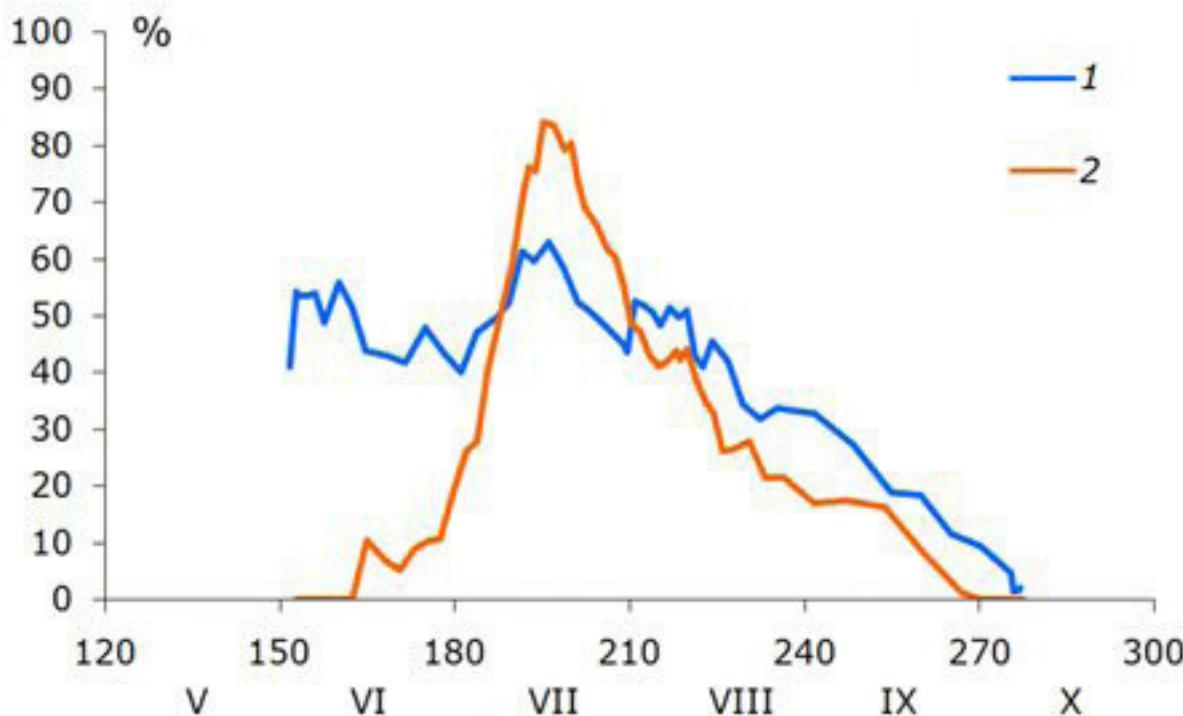


Рис. 5. Доля яйценосных самок *T. oithonoides*: 1 – Петрозаводская губа; 2 – Центральный и глубоководный районы

Fig. 5. Proportion of oviparous females of *Thermocyclops oithonoides*: 1 – Petrozavodskaya Bays; 2 – the central parts of Lake Onega

Значение *T. oithonoides* в зоопланктоне меняется в течение вегетационного периода. Наименьшую роль в сообществе Петрозаводской губы и в центральной части озера ракообразный играет в конце июня – начале июля. Наибольшее значение *T. oithonoides* в заливе наблюдается в первой декаде августа и в начале октября (по численности до 24 %, по биомассе до 8 %), в центральном районе – в начале июня и в начале сентября (по численности до 26 %, по биомассе до 11 %). В связи с небольшими размерами рака (средний вес взрослых раков 0.015 мкг) по биомассе он играет меньшую роль.

## Обсуждение

Полученные результаты показали, что в последние годы (2014–2017) сезонная динамика рака *T. oithonoides* находится в пределах ее межгодовой изменчивости. Определенных трендов в изменении численности и биомассы вследствие изменения климата и сдвигов сезонных сроков, а также колебаний антропогенной нагрузки отмечено не было. В сезонной динамике *T. oithonoides* из центрального района озера и Петрозаводского залива обнаружены различия. Так, в холодноводном центральном районе жизненный

цикл рака имеет дициклический характер, а в заливе с благоприятными температурными условиями зафиксирована его ди- и трициклическость. Настоящая работа является начальным этапом подробного исследования годовой циклическости планктонных раков и в перспективе позволит использовать современные модели жизненных циклов (регрессионные, стохастические или имитационные), позволяющие делать прогноз сезонного развития популяции при различных температурных режимах и трофических условиях.

## Заключение

Веслоногий рак *T. oithonoides* является основным компонентом зоопланктона Онежского озера и важным кормовым объектом для рыб-планктофагов. Жизненный цикл рака в холодноводном олиготрофном районе озера имеет дициклический характер, в крупном Петрозаводском заливе из-за благоприятного температурного режима возможна ди- и трициклическость.

Среднемноголетние максимумы популяций в центре озера по численности достигают 1.31 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомассе – 0.009 г/м<sup>3</sup>. Величины для популяции в Петрозаводской

губе сходные, по численности – 1.36 тыс. экз./ $\text{м}^3$ , по биомассе – 0.013 г/ $\text{м}^3$  соответственно. В июне неблагоприятные гидрохимические условия в заливе угнетают развитие рака и вызывают задержку его количественно-

го развития. Колебания антропогенной нагрузки и климатические изменения пока не оказывают влияния на характер годовой цикличности рака в Онежском озере.

## Библиография

- Гусаков В. А. Мейобентос Горьковского водохранилища // Биологические ресурсы пресных вод: беспозвоночные. Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский дом печати», 2005. С. 98–141.
- Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Сабылина А. В., Рыжаков А. В. Изменения гидрохимического режима Онежского озера с начала 1990-х годов // Известия РАН. Сер. географическая. 2019. № 1. С. 62–72.
- Калинкина Н. М., Куликова Т. П. Эволюционная обусловленность реакции гидробионтов на изменение ионного состава воды (на примере пресноводного планктона) // Известия РАН. Сер. биологическая. 2009. № 2. С. 243–248.
- Крупнейшие озера-водохранилища Северо-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. 375 с.
- Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна Белого моря. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. 325 с.
- Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна Онежского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 223 с.
- Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна реки Шуя. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 124 с.
- Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов Республики Карелия (Россия): История изучения, основные направления исследований, видовой состав, библиография. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 125 с.
- Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов северной части бассейна Ладожского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. 192 с.
- Куликова Т. П., Сярки М. Т. Размерно-весовая характеристика массовых видов ракообразных и коловраток Онежского озера (справочно-информационный материал). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1994. 16 с.
- Лазарева В. И. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 183 с.
- Лазарева В. И., Смирнова С. М. Ракообразные и коловратки // Состояние экосистемы озера Неро в начале XXI века. М.: Наука, 2008. С. 175–210.
- Лозовик П. А., Зобков М. Б., Бородулина Г. С., Токарев И. В. Оценка внешнего водообмена заливов озер по химическим показателям воды // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. № 1. С. 91–101.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция. Л.: ГосНИОРХ, 1984. 33 с.
- Монаков А. В. Питание и пищевые взаимоотношения пресноводных копепод. Л.: Наука, 1976. 170 с.
- Назарова Л. Е. Атмосферные осадки в Карелии // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 9. С. 114–120.
- Онежское озеро. Атлас. Петрозаводск: Карельский научный центр, 2010. 151 с.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.
- Пидгайко М. Л. Зоопланктон водоемов европейской части СССР. М.: Наука, 1984. 208 с.
- Родионова Н. В. Зоопланктон // Ладога. СПб.: Нестор-История, 2013. С. 298–306.
- Рылов В. М. Фауна СССР. Ракообразные, Cyclopoida пресных вод. Т. III. Вып. 3. М.; Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1948. 318 с.
- Смирнова Т. С. Зоопланктон озер Воже и Лача // Гидробиология озер Воже и Лача в связи с прогнозом качества вод, перебрасываемых на юг. Л.: Наука, 1978. С. 102–130.
- Сярки М. Т. Изучение траектории сезонной динамики планктона с помощью метода двойного сглаживания // Принципы экологии. 2013. № 1 (5). С. 61–67.
- Сярки М. Т., Куликова Т. П. «Зоопланктон Онежского озера»: Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012621150. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) (RU). Дата регистрации в реестре баз данных 9 ноября 2012 г.

- Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. «Планктон пелагиали Онежского озера» : Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620274. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) (RU). Дата регистрации в реестре баз данных 13 февраля 2015 г.
- Тимохина А. Ф. Зоопланктон как компонент экосистемы Куйбышевского водохранилища . Тольятти: ИЭВБ РАН, 2000. 193 с.
- Филатов Н. Н., Руховец Л. А., Назарова Л. Е., Георгиев А. П., Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Влияние изменения климата на экосистемы озер Севера Европейской территории России // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. № 34. С. 48–55.
- Филимонова З. И. Низшие ракообразные планктона озер Карелии // Фауна озер Карелии. Беспозвоночные. М., Л.: Наука, 1965. С. 111–146.
- Фомина Ю. Ю., Сярки М. Т. Жизненный цикл рака *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863) в Онежском озере // Принципы экологии. 2018. № 3. С. 92–105. DOI: 10.15393/j1.art.2018.7842.
- Хаберман Ю., Вирро Т., Бланк К. Зоопланктон // Псковско-Чудское озеро. Тарту: Eesti Loodusfoto, 2012. С. 285–306.
- Adrian R., Wilhelm S. and Gerten D. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming // Global Change Biology. 2006. Vol. 12. P. 652–661.
- Gerten D., Adrian R. Species-specific changes in the phenology and peak abundance of freshwater copepods in response to warm summers // Freshwater Biology. 2002. Vol. 47. P. 2163–2173.
- Haberman J., Virro T. Zooplankton // Lake Võrtsjärv. Tallinn: Encyclopedia Publishers Ltd, 2004. P. 233–251.
- Lehtovaara A., Arvola L., Keskitalo J., Olin M., Rask M., Salonen K., Sarvala J., Tulonen T., Vuorenmaa J. Responses of zooplankton to long-term environmental changes in a small boreal lake // Boreal environment research. 2014. 19 (suppl. A). P. 97–111.
- Nilssen P., Wærvågen S. B. Superficial ecosystem similarities vs autecological stripping: the "twin species" *Mesocyclops leuckarti* (Claus) and *Thermocyclops oithonoides* (Sars) – seasonal habitat utilisation and life history traits // J. Limnol. 2000. Vol. 59 (2). P. 79–102.

## Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института водных проблем Севера КарНЦ РАН.

# THE LIFE CYCLE OF THE COPEPOD *Thermocyclops oithonoides* (SARS, 1863) IN LAKE ONEGA

**FOMINA**  
Yuliya Yur'evna

*Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre,*  
*rambler7780@rambler.ru*

**SYARKI**  
Maria Tagevna

*PhD, Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre,*  
*msyarki@yandex.ru*

**Key words:**  
zooplankton  
population  
age structure  
seasonal dynamics  
limnical heterogeneity  
smoothing models

**Summary:** A study of the annual cycles of plankton community and its main elements is of particular relevance in the conditions of climate change and anthropogenic load. The copepod *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863) is the main component of the pelagic zooplankton of Lake Onega and a valuable component of planktivorous fish diet. The life cycle of the crustacean populations from the central oligotrophic region of the lake and the large Petrozavodsk Bay was analyzed on the basis of long-term observations. *T. oithonoides* is found in plankton all year round. In winter, only stage IV-V copepodites are marked, which overwinter in the bottom layer. During the subglacial period, the abundance of the crustaceans reaches  $25,3 \pm 4,8$  th.ind./m<sup>3</sup>, biomass -  $0,286 \pm 0,055$  mg/m<sup>3</sup>. It was shown that population dynamics of *T. oithonoides* in the central part of the reservoir is dicyclic. In the bay, because of the favorable temperature regime, the crustacean can have di-and three cycles. The average long-term population maximums in the center of the lake reach 1,31 th.ind./m<sup>3</sup> (abundance) and 0,009 g/m<sup>3</sup> (biomass). In the Petrozavodsk Bay the values of population abundance and biomass of *T. oithonoides* are similar (1,36 ind./m<sup>3</sup> and 0,013 g/m<sup>3</sup>, respectively). In June, adverse hydrochemical conditions in the bay inhibit the development of the crustaceans and cause a delay in its quantitative development. Comparison with the data of the last century showed that, despite the fluctuations in anthropogenic load and climate changes observed in recent decades, no noticeable changes in the nature of the annual cycles of *Thermocyclops oithonoides* have occurred.

Received on: 29 May 2019

Published on: 06 October 2019

## References

- Adrian R., Wilhelm S. and Gerten D. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming, *Global Change Biology*. 2006. Vol. 12. P. 652–661.
- Filatov N. N. Ruhovec L. A. Nazarova L. E. Georgiev A. P. Efremova T. V. Pal'shin N. I. Climate change impact on the lake ecosystems of the North of European Russia, *Uchenye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2014. No. 34. P. 48–55.
- Filimonova Z. I. Lower crustaceans of the plankton in the lakes of Karelia, *Fauna ozer Karelii. Bespozvonochnye*. M., L.: Nauka, 1965. P. 111–146.
- Fomina Yu. Yu. Syarki M. T. The life cycle of the copepod *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863) in Lake Onega, *Principy èkologii*. 2018. No. 3. P. 92–105. DOI: 10.15393/j1.art.2018.7842.
- Gerten D., Adrian R. Species-specific changes in the phenology and peak abundance of freshwater copepods in response to warm summers, *Freshwater Biology*. 2002. Vol. 47. P. 2163–2173.
- Guidelines for the collection and processing of materials in hydrobiological studies in freshwater. Zooplankton and its products.. L.: GosNIORH, 1984. 33 p.
- Gusakov V. A. Meiobenthos of the Gorky Reservoir, *Biologicheskie resursy presnyh vod: bespozvonochnye*. Rybinsk: Izd-vo OAO «Rybinskiy dom pechati», 2005. P. 98–141.
- Haberman J., Virro T. Zooplankton, Lake Võrtsjärv. Tallinn: Encyclopedia Publishers Ltd, 2004. P. 233–251.
- Haberman Yu. Virro T. Blank K. Zooplankton, Pskovsko-Chudskoe ozero. Tartu: Eesti Loodusfoto, 2012. P. 285–306.
- Kalinkina N. M. Kulikova T. P. Evolutionary conditioning of response to changes in ionic composition of water in hydrobionts: on the example of freshwater zooplankton, *Izvestiya RAN. Ser. biologicheskaya*.

2009. No. 2. P. 243–248.
- Kalinkina N. M. Tekanova E. V. Sablyina A. V. Ryzhakov A. V. Changes in the hydrochemical regime of Lake Onega since the early 1990s, *Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya*. 2019. No. 1. P. 62–72.
- Kulikova T. P. Syarki M. T. Size and weight characteristics of mass species of crustaceans and rotifers in Lake Onega (reference and information material). Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 1994. 16 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of the water bodies in the northern part of the Ladoga Lake basin. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2012. 192 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of the water bodies of the Lake Onega basin. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2007. 223 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of the water bodies of the Republic of Karelia (Russia): History of research, main areas of research, species composition, bibliography. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 125 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of the water bodies of the White Sea basin. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2010. 325 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies of the Shuya river basin. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2004. 124 p.
- Lake Onega. Atlas. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr, 2010. 151 p.
- Lazareva V. I. Smirnova S. M. Crustaceans and rotifers, *Sostoyanie ekosistemy ozera Nero v nachale XXI veka*. M.: Nauka, 2008. P. 175–210.
- Lazareva V. I. Zooplankton structure and dynamics in the Rybinsk reservoir. M.: Tovarishestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2010. 183 p.
- Lehtovaara A., Arvola L., Keskitalo J., Olin M., Rask M., Salonen K., Sarvala J., Tulonen T., Vuorenmaa J. Responses of zooplankton to long-term environmental changes in a small boreal lake, Boreal environment research. 2014. 19 (suppl. A). P. 97–111.
- Lozovik P. A. Zobkov M. B. Borodulina G. S. Tokarev I. V. Effects of external water exchange between bays of lakes on chemical indicators of water, *Vodnye resursy*. 2019. T. 46. No. 1. C. 91–101.
- Monakov A. V. Nutrition and nutritional relationships of freshwater copepods. L.: Nauka, 1976. 170 p.
- Nazarova L. E. Precipitation in Karelia, *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*. 2015. No. 9. P. 114–120.
- Nilssen P., Wærvågen S. B. Superficial ecosystem similarities vs autecological stripping: the «twin species» *Mesocyclops leuckarti* (Claus) and *Thermocyclops oithonoides* (Sars) – seasonal habitat utilisation and life history traits, *J. Limnol.* 2000. Vol. 59 (2). P. 79–102.
- Pidgayko M. L. Zooplankton of the waterbodies in the European part of the USSR. M.: Nauka, 1984. 208 p.
- Rodionova N. V. Zooplankton, *Ladoga*. SPb.: Nestor-Istoriya, 2013. P. 298–306.
- Rylov V. M. SR. The fauna of the USSR. Crustaceans, freshwater cyclopoida. T. III. Vyp. 3. M.; L.: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1948. 318 p.
- Smirnova T. S. Zooplankton of Vozhe and Lacha lakes, *Gidrobiologiya ozer Vozhe i Lacha v svyazi s prognozom kachestva vod, perebrasyvaemyh na yug*. L.: Nauka, 1978. P. 102–130.
- Syarki M. T. Kulikova T. P. Zooplankton of Lake Onega: Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registracii bazy dannyh No. 2012621150. Pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut vodnyh problem Severa Karel'skogo nauchnogo centra RAN (IVPS KarNC RAN) (RU). Data registracii v reestre baz dannyh 9 noyabrya 2012 g.
- Syarki M. T. Tekanova E. V. Chekryzheva T. A. Pelagic plankton of Lake Onega: Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registracii bazy dannyh No. 2015620274. Pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut vodnyh problem Severa Karel'skogo nauchnogo centra RAN (IVPS KarNC RAN) (RU). Data registracii v reestre baz dannyh 13 fevralya 2015 g.
- Syarki M. T. The study of the seasonal dynamics traits of plankton using the double-smoothing method, *Principy ekologii*. 2013. No. 1 (5). P. 61–67.
- The identification key for freshwater invertebrates of Russia and adjacent territories. V. 1. Lower invertebrates. M.: Tovarishestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2010. 495 p.
- The largest lakes-reservoirs of the North-West of the European part of Russia: current state and changes in ecosystems under climate variability and anthropogenic impact. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2015. 375 c.
- Timohina A. F. Zooplankton as a component of the Kuibyshev reservoir ecosystem. Tol'yatti: IEVB RAN, 2000. 193 p.