



УДК УДК 595.34:591.1(282.247.211)

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ РАЧКА *EUDIAPTOMUS GRACILIS* (SARS, 1863) В ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ

ФОМИНА
Юлия Юрьевна

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

СЯРКИ
Мария Тагевна

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

Ключевые слова:
веслоногий рачок
Eudiaptomus gracilis
жизненный цикл
зоопланктон
Онежское озеро
Республика Карелия

Аннотация: В условиях изменения климата и сдвигов сезонных сроков особую актуальность приобретает исследование годовой цикличности планктона и его основных компонентов. *Eudiaptomus gracilis* является одним из основных видов доминантного комплекса пелагического зоопланктона Онежского озера и присутствует в нем круглогодично. Он участвует в формировании биоресурсов и является важным элементом кормовой базы рыб-планктонофагов. На основе многолетних наблюдений был выполнен анализ жизненного цикла популяций рачка из разных районов Онежского озера. Получены среднемноголетние траектории сезонной динамики численности возрастных групп *Eudiaptomus gracilis*. Показано, что дициклический характер популяционной динамики сохраняется как в центральной части водоема, так и в крупных заливах, но имеет свои особенности, связанные с термическим режимом, и уровнем трофии. Трофическая обстановка определяет летние численности и биомассы популяции рачка, которые различаются в 1.5–2 раза по районам. Максимальные показатели отмечены в Кондопожской губе, что связано с антропогенным эвтрофированием. Жизненный цикл популяции в Петрозаводской губе имеет особенности, связанные с гидродинамическим режимом залива. Подробно было изучено состояние популяции в подледный период. Показано, что начало размножения зависит от состояния льда и снежного покрова на нем. Отмечены скопления рачков в пелагиали центральной части озера в июне. Сравнение с данными прошлого века показало, что, несмотря на колебания антропогенной нагрузки и климатические изменения в последние десятилетия, заметных изменений в характере годовой цикличности *Eudiaptomus gracilis* не отмечено.

© Петрозаводский государственный университет

Получена: 20 апреля 2017 года

Подписана к печати: 08 октября 2018 года

Введение

Онежское озеро – одно из великих озер Европы, в условиях изменяющегося климата и антропогенной нагрузки требует особого внимания и мониторинга экосистемы (Ladoga and Onego..., 2010; Румянцев и др., 2012 и др.). В последние десятилетия в водоеме отмечены тенденции к более поздним срокам установления ледяного покрова и более ранним срокам очищения ото льда, в результате продолжительность безледо-

ставного периода увеличилась на 20–30 суток (Ефремова, Пальшин, 2017). Кроме того, в центральной части озера и Петрозаводской губе отмечено снижение численности и биомассы глубоководного макрозообентоса (Калинкина и др., 2016). Поэтому становится актуальным изучение естественной годовой цикличности планктона и его элементов.

Вид *Eudiaptomus gracilis* (Sars, 1863) относится к типу членистоногие (Arthropoda), классу ракообразные (Crustacea), подклассу

Copepoda, к отряду Calaniformes, к семейству Diaptomidae (подсемейство Diaptominae Sars, 1903), к роду *Eudiaptomus* Kiefer, 1932 (Определитель..., 2010).

E. gracilis – палеарктический, эвриотопный вид, типичный обитатель крупных и малых озер и рек зоны тундры и тайги (Куликова, 2017). Один из наиболее распространенных видов каланоидных копепод в озерах Германии (Bohonak et al., 2006; Zeller et al., 2006), в озере Женева на границе Швейцарии и Франции (Anneville et al., 2007), в озере Выртсъярв в Эстонии (Haberman, Virro, 2004) и других водоемах Европы. В последние десятилетия отмечен как инвазионный вид в Италии (Visconti, Manca, 2010) и Турции (Bozkurti, Akin, 2012). По данным Т. П. Куликовой (2004, 2007, 2010, 2012), вид отмечен в 439 водоемах из 556 исследованных в Карелии.

Цикл развития в каждом водоеме имеет свои особенности (Ривьер, 2012). Отмечено, что в некоторых озерах вид моноциклический, в мезотрофных водоемах средней и южной Карелии полициклический (Филимонова, 1965).

В Онежском озере *Eudiaptomus gracilis* – массовый вид, встречается от пелагиали до литорали во всех районах озера.

Рачок является важным элементом трофической цепи. *Eudiaptomus* относится к грубым фильтраторам. Он имеет широкий пищевой спектр: детрит, споры грибов, пыльца, но предпочитает водорослей и коловраток. Младшие копеподиты используют в пищу размером 1–12 μm , старшие копеподиты и взрослые рачки – 1–39 μm (Zánkaï, 1994; Šorf, Brandl, 2012). *Eudiaptomus gracilis* является ценным кормовым объектом для рыб-планктофагов и элементом формирования биоресурсов озера (Сярки, 2008).

Цель работы – изучение жизненного цикла веслоногого рачка *Eudiaptomus gracilis* в пелагиали 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

зоопланктона были отобраны в пелагиали Онежского озера, в центральной его части (Центральное Онего – 3 станции, залив Большое Онего – 2 станции, 250 проб) и больших северо-западных заливах (Кондопожский залив – 2 станции, 224 пробы, Петрозаводский залив – 2 станции, 248 проб) (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 одной станции в центральной части Петрозаводской губы.

Центральный район озера и залив Большое Онего в настоящее время имеют олиготрофный статус планктонной 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. Загрязнение губы происходит под влиянием промышленно-бытовых стоков, дренажных, ливневых вод города. Концентрация общего фосфора составляет 18 мкг/л, содержание Chl *a* 3.3 мкг/л, по этим показателям залив имеет мезотрофный статус. Для Кондопожского залива характерно антропогенное загрязнение и эвтрофирование, обусловленное многолетним влиянием сточных вод Кондопожского ЦБК, в вершинной части залива могут быть отмечены высокие концентрации общего фосфора (до 172 мкг/л) и Chl *a* (21 мкг/л) (Крупнейшие..., 2015). Однако, по сравнению с 1980-ми годами, в последние десятилетия объем сточных вод в заливах уменьшился примерно в 1.5 раза (Калинкина и др., 2017).

Термический режим в заливах и центральной части различается из-за высокой пространственной гетерогенности озера. Так, весенний прогрев и образование вертикальной стратификации в Петрозаводской и Кондопожской губах происходит примерно на месяц раньше, чем в центральном и глубоководном районах. Сезонная динамика температуры Петрозаводской губы имеет свои особенности, связанные с активной гидродинамикой залива.

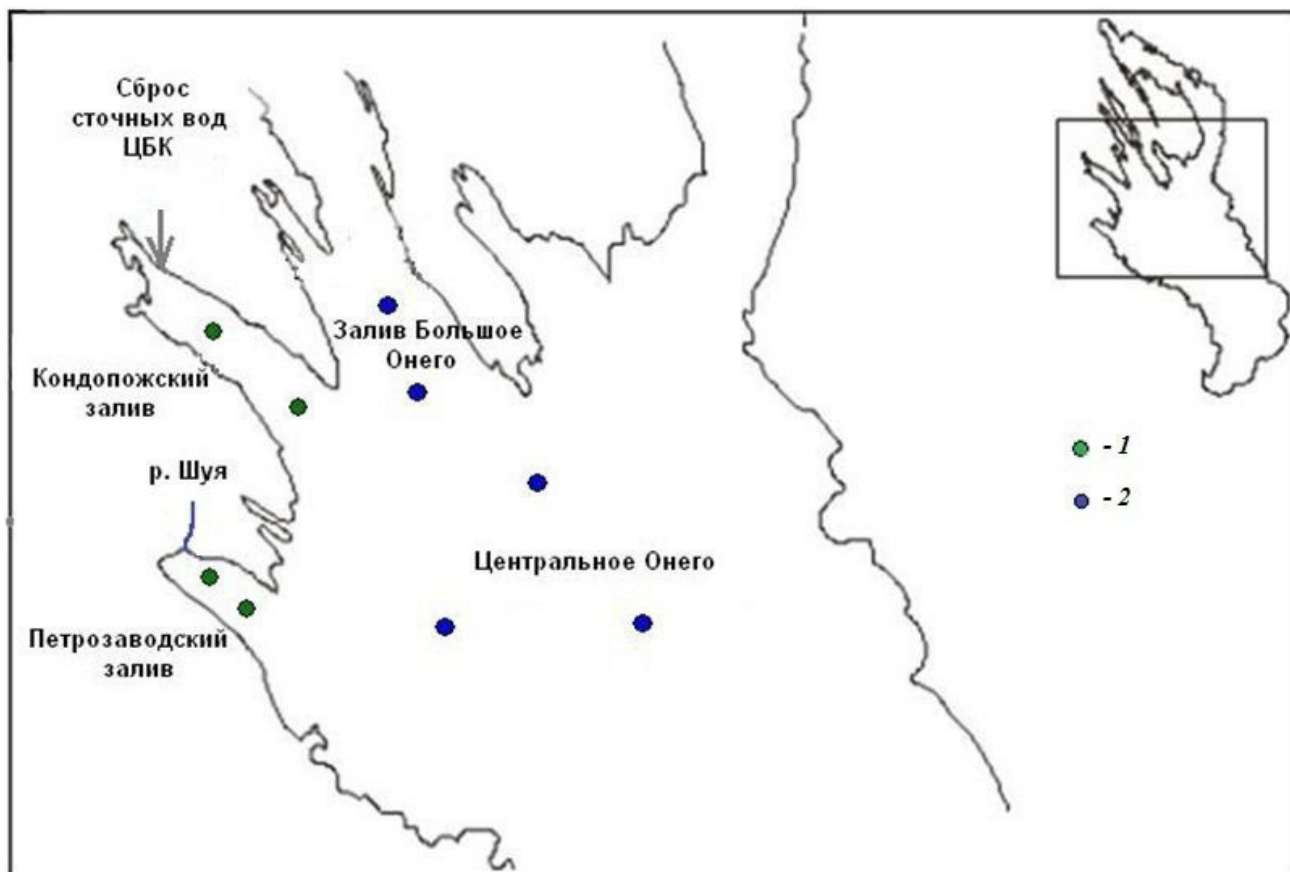


Рис. 1. Схема расположения станций на Онежском озере. 1 – станции в заливах; 2 – станции в центральном и глубоководном районах

Fig. 1. The scheme of stations location on Lake Onega. 1 – stations in the bays; 2 – stations in the central and deepwater parts

Методы

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

Численность *Eudiaptomus gracilis* 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 в расчетах 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.

Для получения плавных кривых сезонной динамики показателей временные ряды сглаживались методом скользящего средне-

го. Для этого данные ранжировались по показателю сезонности (сутки с начала года). Ввиду высокой изменчивости и нерегулярности рядов применялся метод скользящего среднего в модификации двойного сглаживания, который позволяет выявить основные особенности динамики рядов (Сярки, 2013).

Результаты

Eudiaptomus gracilis встречается в планктоне круглогодично, частота встречаемости его в пробах 80–90 %. Почти во все сезоны годы рачок *Eudiaptomus gracilis* – массовый вид, особенно велика его роль в зимнем планктоне, когда он может достигать 80 % от общей численности зоопланктона. Было установлено, что в Онежском озере рачок имеет две генерации, т. е. является дициклическим видом.

Жизненный цикл вида имеет определенные закономерности. В зимний период у *Eudiaptomus gracilis*, в отличие от близкородственного вида *E. graciloides* (Lilljeborg, 1888), отсутствует диапауза (Jiménez-Melero et al., 2005; Bohonak et al., 2006). Первое размножение начинается в феврале – мар-

те, подо льдом, но еще не носит массового характера. Численность самок в этот период несколько выше (0.12 ± 0.08 тыс. экз./м³), чем самцов (0.08 ± 0.04 тыс. экз./м³). Взрослые рачки образуют скопления в слое ниже 15 м.

Размножение и скорость развития эудиаптомуса зависит от температурных и трофических условий, которые, в свою очередь, определяются состоянием льда и снежного покрова на нем. В марте 2015 г. снег практически растаял; т. к. лед хорошо пропускает солнечную радиацию, то весенний прогрев воды привел к началу подледной конвекции и быстрому развитию водорослей. Улучшение трофических и температурных условий

обусловило ускоренное развитие науплий и копепоидитов. Доля самок с яйцами в популяции составляла в среднем 10 % от общей численности (или 22 % от количества самок), старших и младших копепоидитов по 10 %. В 2016 и 2017 гг. при толстом снежном покрове прогрев воды не начался, подледная конвекция отсутствовала, поэтому популяция находилась в зимнем состоянии. Самки уже начали откладывать яйца, но копепоидитов было еще мало 1–2 % (рис. 2).

Зимой численность изменяется от 0.1–0.2 тыс. экз./м³ (1.8–3.0 тыс. экз./м²) до 0.4–0.5 тыс. экз./м³ (11.5–13.3 тыс. экз./м²), а биомасса – от 0.003–0.005 г/м³ (0.06–0.12 г/м²) до 0.02–0.03 г/м³ (0.55–0.65 г/м²).

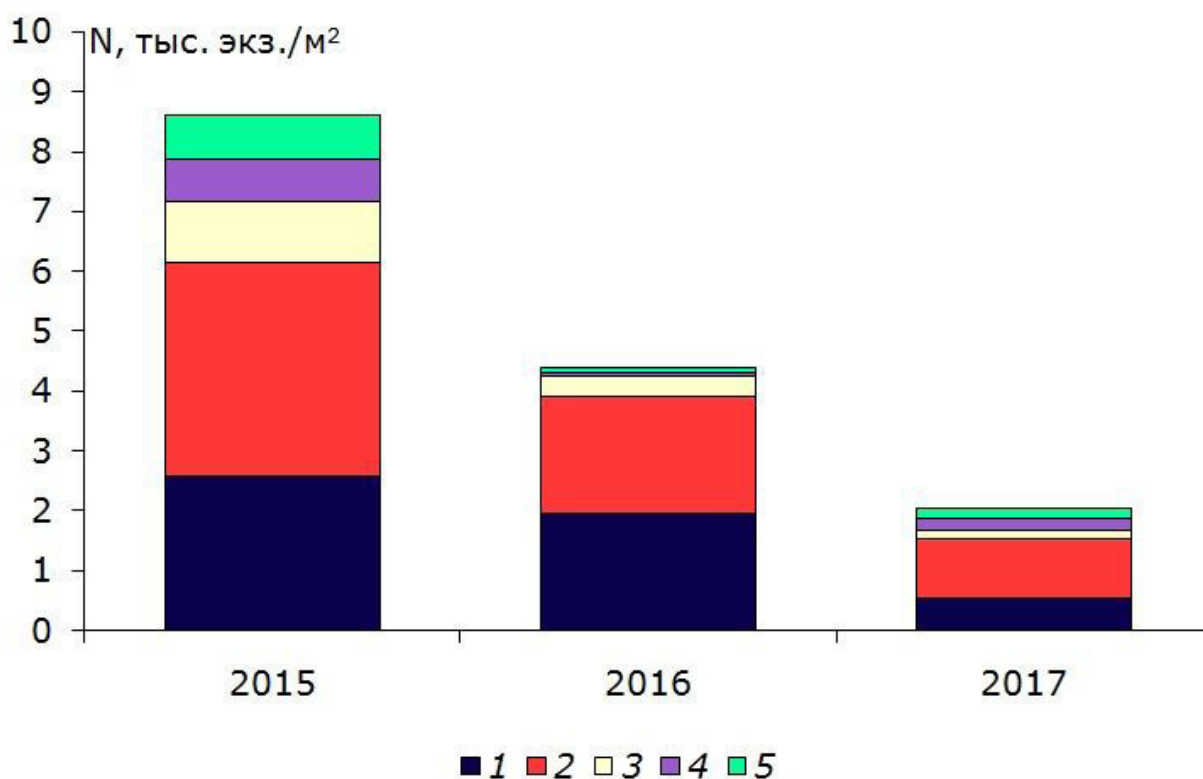


Рис. 2. Численность (N, тыс. экз./м²) и структура популяции *Eudiaptomus gracilis* в марте 2015, 2016, 2017 гг. 1 – самцы, 2 – самки, 3 – самки с яйцами, 4 – старшие копепоидиты, 5 – младшие копепоидиты

Fig. 2. Abundance (N, th. ind./m²) and population structure of *Eudiaptomus gracilis* in March 2015, 2016, 2017. 1 – males, 2 – females, 3 – females with eggs, 4 – late copepodites, 5 – early copepodites

После схода льда начинается прогрев воды, и образуется термобар. Количественные показатели и структура популяции рачка в это время различаются по районам (табл. 1). Численность *Eudiaptomus gracilis* в заливах схожа, биомасса в Кондопожской губе несколько выше за счет большего ко-

личества взрослых рачков. В центральной части численность больше почти в 2 раза, а биомасса – примерно в 3–4 раза, в результате скопления взрослых особей. Высокая доля взрослых рачков отражает задержку в развитии популяции в центральной части из-за разности термических режимов.

Таблица 1. Средняя численность, биомасса и структура популяции по районам в июне
Table 1. Average abundance, biomass and structure of the population by areas in June

Район	Численность, тыс. экз./м ²	Биомасса, г/м ²	Численность, тыс. экз./м ³	Биомасса, г/м ³	Количество взрослых рачков, %
Центральная часть	7.7 ± 1.5	0.35 ± 0.06	0.11 ± 0.02	0.005 ± 0.001	85
Петрозаводская губа	3.8 ± 1.9	0.08 ± 0.03	0.15 ± 0.07	0.003 ± 0.001	41
Кондопожская губа	4.4 ± 2.4	0.13 ± 0.06	0.11 ± 0.07	0.003 ± 0.002	54

В центральной части озера доля взрослых рачков превышает долю копепоидов вплоть до июля (рис. 3). Активный рост числа младших копепоидов происходит в первой декаде июля. Достигают максимума во второй половине июля, в среднем 14.1 тыс. экз./м² (0.2 тыс. экз./м³). Волны первой и второй ге-

нераций сливаются для младших копепоидов и явно выражены для старших. К началу сентября численность копепоидов превышает количество взрослых особей, т. е. развитие продолжается в октябре и второй максимум взрослых рачков будет позднее.

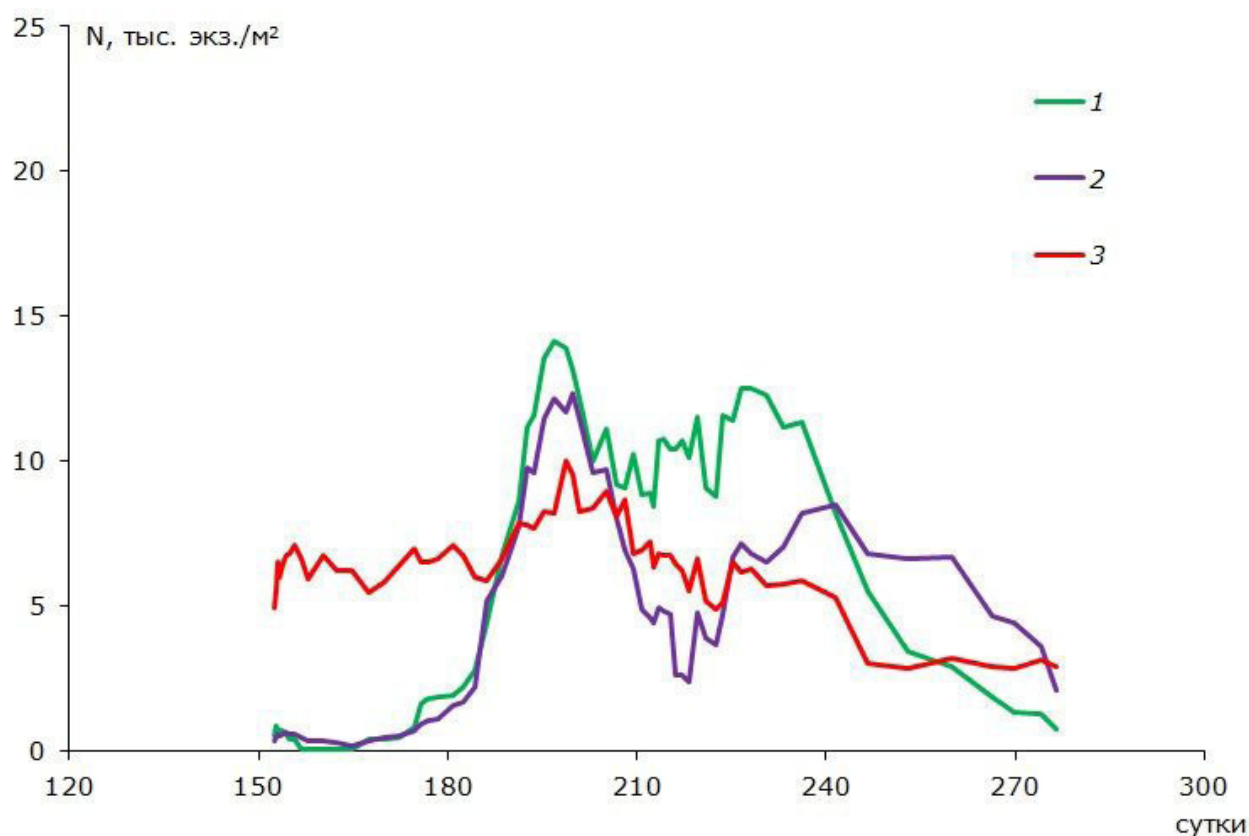


Рис. 3. Динамика численности (N, тыс. экз./м²) возрастных групп *Eudiaptomus gracilis* в центральном и глубоководном районах. 1 – младшие копепоиды, 2 – старшие копепоиды, 3 – взрослые рачки

Fig. 3. Dynamics of the abundance (N, th. ind./m²) of *Eudiaptomus gracilis* age groups in the central and deepwater parts of Lake Onega. 1 – early copepodites, 2 – late copepodites, 3 – adult copepods

В губах, где температурный режим и уровень трофии несколько отличается от пелагиали центрального района и залива Большое Онего, общий характер сезонной динамики рачка сохраняется, но у него есть особенности. Так, в июне в Петрозаводском и Кондопожском заливах развитие популяций начинается раньше и в них уже велика доля копепоидитных стадий (см. табл. 1).

Активный рост количества младших копепоидитов происходит в Кондопожской губе в первой декаде июля, максимум – в начале августа. Поскольку трофическая обстановка в Кондопожской губе значительно лучше, чем в центральном районе и в Петрозаводской губе, численность младших стадий составляет в среднем 23.8 тыс. экз./м² (0.7 тыс. экз./м³). Волны генераций младших и старших копепоидитов хорошо выражены (рис. 4Б). К началу сентября взрослые рачки начинают преобладать над копепоидитами, следовательно, развитие летнего поколения завершается к ноябрю. В целом численность и биомасса популяции выше, чем в других районах озера (табл. 2) из-за повышенного уровня трофии в результате антропогенного эвтрофирования (Тимакова и др., 2014).

Популяция рачка в Петрозаводской губе не достигает максимумов, отмеченных в центральной части озера и Кондопожской губе (табл. 2). Развитие и рост численности младших стадий начинается только к концу июля. Волны генераций для младших копепоидитов не ярко выражены, для старших копепоидитов сливаются и пики в них не выделяются (рис. 4А). К началу августа достигает первого максимума. В это же время отмечаются максимальные значения у взрослых рачков первой генерации. К сентябрю количество взрослых рачков преобладает над копепоидитами, и к ноябрю популяция переходит к зимнему состоянию. Особенности динамики популяции в Петрозаводской губе, возможно, определяются двумя причинами. Первая – это влияние темных вод р. Шуя, которые оказывают негативное воздействие на экосистему залива (Калинкина и др., 2016). Вторая – активная гидродинамика в июле, которая разрушает вертикальную стратификацию, в результате чего температура поверхностных слоев воды сильно варьирует. Ранее было показано, что структура всего зоопланктонного сообщества Петрозаводской губы в июле характеризуется также высокой изменчивостью (Сярки, Фомина, 2014).

Были рассмотрены другие факторы, также влияющие на сезонную динамику рачка.

Соотношение самцов и самок в июне, а также в августе, сентябре и октябре примерно 1:1, только в июле, когда идет активное размножение, 1:2 (в среднем 50 % самок с яйцами от количества самок). В вегетационный период взрослые рачки сосредоточены в основном в верхнем, 5 метровом, слое или в слое от 10 до 25 метров (от 10 до 50 метров на глубоководных станциях). У эудиаптомуса отмечается агрегированность в распределении, самки с яйцами располагаются в более глубоких слоях (ниже 25 метров, на глубоководных станциях ниже 50 метров). По данным J.-E. Svensson (1997), самки с яйцами избегают поверхностных вод в связи с хищничеством рыб, поскольку пигментированные яйца визуально более заметны и легко обнаруживаются.

Скорость прироста численности популяции можно оценить по количеству яиц.

Количество яиц в кладке у *Eudiaptomus gracilis* легко определить, т. к. яйца некоторое время носят в яйцевой сумке. Надо принять во внимание время откладки яиц, когда количество яиц еще мало, но, как правило, это небольшой промежуток времени, поэтому сумки с 2–3 яйцами не учитываются.

Максимально отмеченное количество яиц в сумке мало зависело от трофии района. Величины в олиготрофном центральном районе (21) и в более трофной по условиям Кондопожской губе (22) были близки к показателям Петрозаводской губы (23).

Сезонные различия были выражены сильнее, т. к. трофические и температурные условия существования самок вызывают изменение среднего количества яиц в кладке (рис. 5). Так, подо льдом в марте 2017 г. среднее количество яиц в сумке было 6.7 (медиана 6, максимум 10). В центральном районе такое же количество яиц (6.7) сохранялось в июне (максимум 12). По мере прогрева воды и значительного улучшения трофической обстановки в первой декаде августа среднее количество яиц в кладках выросло до 13.2 (медиана 12.5, максимум 21). К осени среднее количество яиц в кладке снижалось (10.2) при отдельных случаях больших кладок (21).

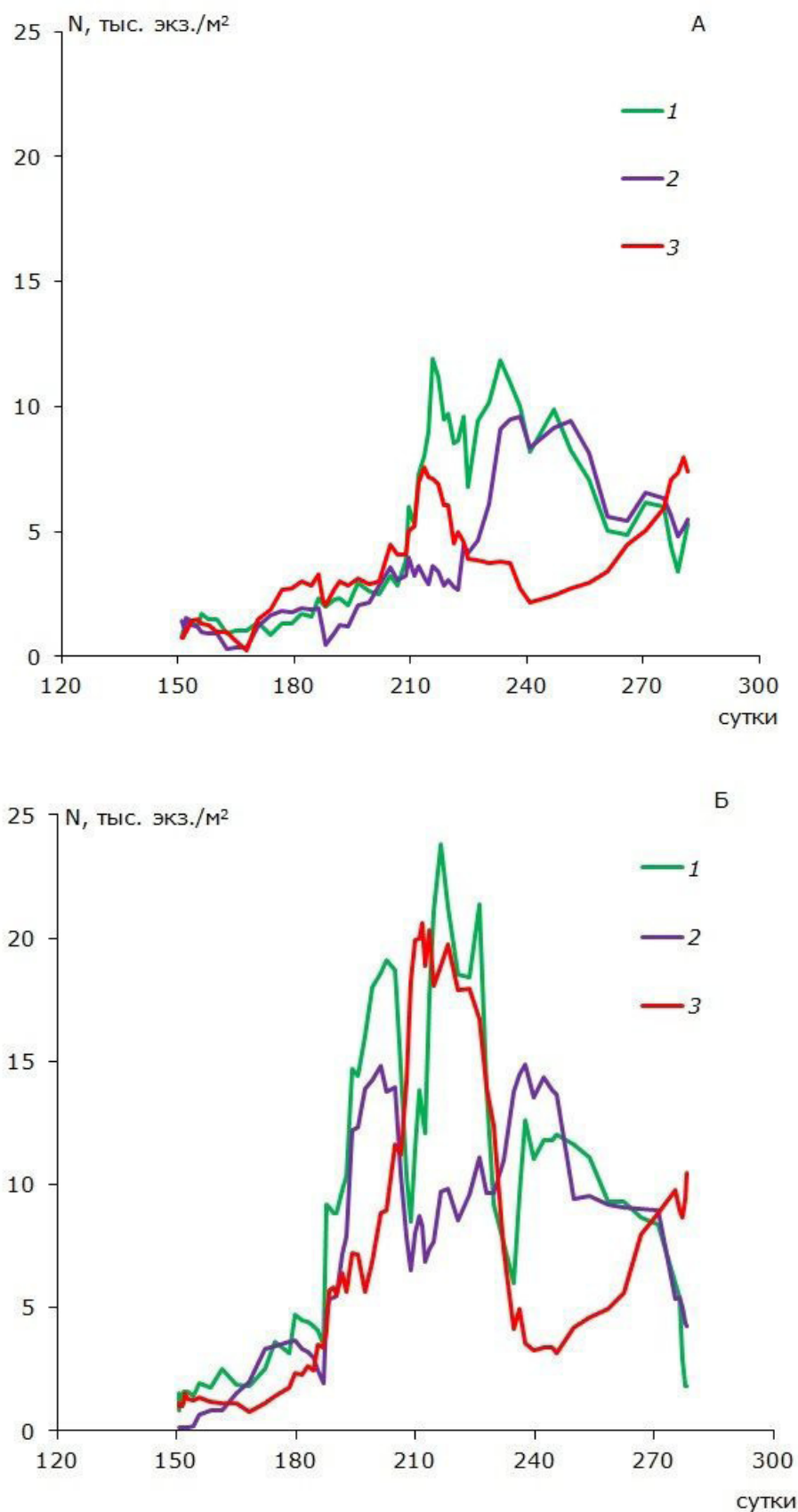


Рис. 4. Динамика численности (N , тыс. экз./м²) возрастных групп в Петрозаводском (А) и Кондопожском (Б) заливах. 1 – младшие копеподиты, 2 – старшие копеподиты, 3 – взрослые рачки

Fig. 4. Dynamics of the abundance (N , th. ind./m²) of *Eudiaptomus gracilis* age groups in Petrozavodskaya (A) and Kondopozhskaya (B) Bays. 1 – early copepodites, 2 – late copepodites, 3 – adult copepods

Таблица 2. Максимальные показатели популяций *Eudiaptomus gracilis* в летний период
Table 2. Maximum values of *Eudiaptomus gracilis* populations in summer

Район	Численность, тыс. экз./м ²	Биомасса, г/м ²	Численность, тыс. экз./м ³	Биомасса, г/м ³
Центральная часть	50–53	1.50–1.80	0.6–1.8	0.02–0.06
Петрозаводская губа	40–49	1.00–1.10	1.7–2.0	0.03–0.04
Кондопожская губа	51–73	1.80–2.80	1.8–2.4	0.05–0.07

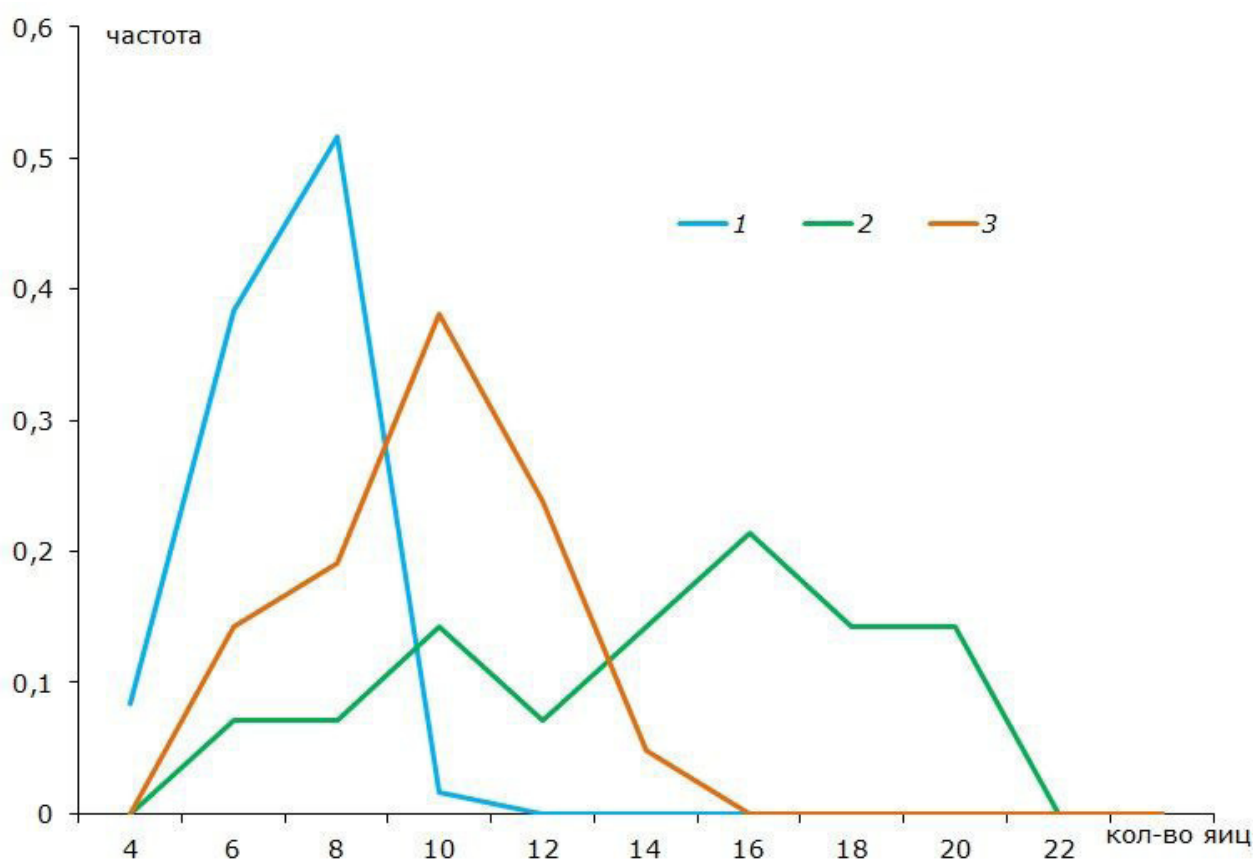


Рис. 5. Распределение частот количества яиц в кладке в различные сезоны. 1 – июнь, 2 – август, 3 – сентябрь

Fig. 5. Frequency distribution of eggs number in egg-laying in different seasons. 1 – June, 2 – August, 3 – September

Температурный режим определяет скорость развития рачков. В холодном центральном и глубоководном районах развитие популяции не заканчивается к сентябрю и доля взрослых особей меньше доли копеподитов. В губах температурные условия лучше и к сентябрю большая часть популяции состоит из взрослых особей.

Обсуждение

По нашим данным, сезонная динамика рачка *Eudiaptomus gracilis* в последние годы (2014–2017 гг.) имеет сходный характер (по срокам и количественным параметрам) с цикличностью, наблюдаемой в прошлом веке. Можно предположить, что на фоне высокой межгодовой изменчивости и широкой нор-

мы реакции эудиаптомуса климатические изменения последних лет заметного влияния на жизненный цикл рачка не оказали.

Заключение

Показано, что дициклический характер популяционной динамики сохраняется как в центральной части водоема, так и в крупных заливах. Трофическая обстановка определяет максимальные летние показатели численности и биомассы популяции рачка.

Сроки развития генераций рачков зависят от температурного режима района. Показаны скопления рачков в пелагиали центральной части озера в июне. В Петрозаводской губе активное летнее развитие рачка задерживается почти на месяц по сравнению с другими районами, что, возможно, связано с особенностями гидродинамического режима залива. Сдвиги сроков сезонных явлений пока не оказывают влияния на характер годовой цикличности рачка в Онежском озере.

Библиография

- Ефремова Т. В., Пальшин Н. И. Ледовая фенология и термическая структура озер северо-запада России в период ледостава (по данным многолетних наблюдений) // Озера Евразии: проблемы и пути их решения: Материалы 1-й Международной конференции (11–15 сентября 2017 г.). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2017. С. 222–228.
- Калинкина Н. М., Сидорова А. И., Полякова Т. Н., Белкина Н. А., Березина Н. А., Литвинова И. А. Снижение численности глубоководного макрозообентоса Онежского озера в условиях многофакторного воздействия // Принципы экологии. 2016. № 2. С. 43–61.
- Калинкина Н. М., Теканова Е. В., Сярки М. Т. Экосистема Онежского озера: реакция водных сообществ на антропогенные факторы и климатические изменения // Водное хозяйство России. 2017. № 1. С. 4–18.
- 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.
- Методические материалы по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция / Ред. Г. Г. Винберг, Г. М. Лаврентьева. Л.: ГосНИОРХ, 1984. С. 33.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / Под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.
- Ривьер И. К. Холодноводный зоопланктон озер бассейна Верхней Волги. Ижевск: Пермьяков С. А., 2012. 390 с.
- Румянцев В. А., Дробкова В. Г., Измаилова А. В. Великие озера мира. СПб.: Лема, 2012. 370 с.
- Сярки М. Т. Изучение траектории сезонной динамики планктона с помощью метода двойного сглаживания // Принципы экологии. 2013. № 1 (5). С. 61–67.
- Сярки М. Т. Оценка рыбопродуктивности по состоянию кормовой базы. Зоопланктон // Биологические ресурсы Онежского озера / Под ред. В. И. Кухарева, А. А. Лукина. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. С. 54–67.
- 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.
- Сярки М. Т., Фомина Ю. Ю. Особенности сезонных явлений в зоопланктоне Петрозаводской губы Онежского озера // Принципы экологии. 2014. Т. 3. № 3. С. 36–43.
- Тимакова Т. М., Куликова Т. П., Литвинова И. А., Полякова Т. Н., Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. Изменение биоценозов Кондопожской губы Онежского озера под влиянием сточных вод целлюлозно-бумажного комбината // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 1. С. 74–82.
- Филимонова З. И. Низшие ракообразные планктона озер Карелии // Фауна озер Карелии. Беспозвоночные. М.; Л.: Наука, 1965. С. 111–146.
- Anneville O., Molinero J. C., Souissi S., Balvay G., Gerdeaux D. Long-term changes in the copepod community of Lake Geneva // Oxford J. of Plankton Research. Supplement 1. 2007. Vol. 29. P. 49–59.
- Bohonak A. J., Holl M. D., Santer B., Zeller M., Kearns C. M., Hairston N. G. The population genetic consequences of diapause in *Eudiaptomus* copepods // Arch. Hydrobiol. 2006. Vol. 167 (1–4). P. 183–202.
- Bozkurti A., Akin Ş. First record of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1863) (Copepoda: Diaptomida) in the inland waters of Turkey // Turk. J. Zool. 2012. Vol. 36 (4). P. 503–511.
- Haberman J., Virro T. Zooplankton // Lake Võrtsjärv / Eds. J. Haberman, E. Pihu, A. Raukas. Tallinn: Encyclopedia Publishers Ltd, 2004. P. 233–251.
- Jiménez-Melero R., Santer B., Guerrero F. Embryonic and naupliar development of *Eudiaptomus gracilis* and *Eudiaptomus graciloides* at different temperatures: comments on individual variability // Journal of Plankton Research. 2005. Vol. 27 (3). P. 1175–1187.
- Ladoga and Onego – Great European Lakes. Observations and Modelling / Eds. L. Rukhovets, N. Filatov. Chichester, UK: Springer, 2010. P. 302.
- Šorf M., Brandl Z. The rotifer contribution to the diet of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1863) (Copepoda: Calanoida) // Crustaceana. 2012. Vol. 85 (12–13). P. 1421–1429.
- Svensson J.-E. Sex differences in habitat distribution of a planktonic copepod, *Eudiaptomus gracilis* // Ecography. 1997. Vol. 20. № 4. P. 407–416.
- Visconti A., Manca M. The invasive appearance of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars 1863) in Lago Maggiore // J. Limnol. 2010. Vol. 69 (2). P. 353–357.
- Zánkai N. P. Feeding of copepodite and adult stages of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1863) (Copepoda, Calanoida) on mixed plastic beads // Crustaceana. 1994. Vol. 66 (1). P. 90–109.
- Zeller M., Reusch T. B. H., Lampert W. A comparative population genetic study on calanoid freshwater copepods: Investigation of isolation-by-distance in two *Eudiaptomus* species with a different potential for dispersal // Limnol. Oceanogr. 2006. Vol. 51 (1). P. 117–124.

Благодарности

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

LIFE CYCLE OF THE COPEPOD *EUDIAPTOMUS GRACILIS* (SARS, 1863) IN LAKE ONEGA

FOMINA
Yuliya Yr'evna
*Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre,
rambler7780@rambler.ru*

SYARKI
Maria Tagevna
*Northern Water Problems Institute Karelian Research Centre,
msyarki@yandex.ru*

Key words:
copepod
Eudiaptomus gracilis
life cycle
zooplankton
Lake Onega
the Republic of Karelia

Summary: In the context of climate changes and seasonal shifts the study of the annual cyclicity in the plankton community and its elements is very important. *Eudiaptomus gracilis* is the main species in Lake Onega pelagic zooplankton and can be found in the lake all the year round. It takes part in the formation of bioresources, besides it is an important element of planktivorous fish food reserve. On the basis of the long-term observations the life cycle of the crustacean populations from the different areas of the lake was analyzed. Annual trajectories of the seasonal dynamics of age groups were obtained. It was shown that the dicyclic character of the population dynamics in the central part and large bays of Lake Onega is similar, but there are some features connected to the thermal regime and trophic levels. The trophic state determines the maximum summer levels of crustacean population abundance and biomass, which vary 1.5-2 times by areas. The maximum values were recorded in the Kondopozhskaya Bay, they are connected with the anthropogenic eutrophication. The features of the population life cycle in Petrozavodskaya Bay are associated with the hydrodynamic regime of the bay. The state of the population in a subglacial period was studied in detail. It was shown that the beginning of the reproduction depends on the state of ice and snow cover. In comparison with the data of the last century, no noticeable changes in the nature of the annual cyclicity of *Eudiaptomus gracilis* were observed, despite fluctuations in the anthropogenic load and climatic changes in recent decades.

Received on: 20 April 2017

Published on: 08 October 2018

References

- Šorf M., Brandl Z. The rotifer contribution to the diet of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1863) (Copepoda: Calanoida), Crustaceana. 2012. Vol. 85 (12–13). P. 1421–1429.
- Anneville O., Molinero J. C., Souissi S., Balvay G., Gerdeaux D. Long-term changes in the copepod community of Lake Geneva, Oxford J. of Plankton Research. Supplement 1. 2007. Vol. 29. P. 49–59.
- Bohonak A. J., Holl M. D., Santer B., Zeller M., Kearns C. M., Hairston N. G. The population genetic consequences of diapause in *Eudiaptomus* copepods, Arch. Hydrobiol. 2006. Vol. 167 (1–4). P. 183–202.
- Bozkurti A., Akin Ş. First record of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1863) (Copepoda: Diaptomida) in the inland waters of Turkey, Turk. J. Zool. 2012. Vol. 36 (4). P. 503–511.
- Determinant of zooplankton and zoobenthos of fresh water in European Russia. T. 1. Zooplankton, Pod red. V. R. Alekseeva, P. Ya. Calolihina. M.: Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2010. 495 p.
- Efremova T. V. Pal'shin N. I. Ice phenology and thermal structure of the lakes of northwestern Russia during the freeze-up (according to the data of long-term observations), Oзера Evrazii: problemy i puti ih resheniya: Materialy 1-y Mezhdunarodnoy konferencii (11–15 sentyabrya 2017 g.). Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2017. C. 222–228.
- Filimonova Z. I. Lower crustaceans of plankton in lakes of Karelia, Fauna ozer Karelii. Bespozvonochnye. M.; L.: Nauka, 1965. P. 111–146.
- Haberman J., Virro T. Zooplankton, Lake Võrtsjärv, Eds. J. Haberman, E. Pihu, A. Raukas. Tallinn: Encyclopedia Publishers Ltd, 2004. P. 233–251.
- Jiménez-Melero R., Santer B., Guerrero F. Embryonic and naupliar development of *Eudiaptomus gracilis*

- and *Eudiaptomus graciloides* at different temperatures: comments on individual variability, *Journal of Plankton Research*. 2005. Vol. 27 (3). P. 1175–1187.
- Kalinkina N. M. Sidorova A. I. Polyakova T. N. Belkina N. A. Berezina N. A. Litvinova I. A. Decrease in abundance of deep-water macrozoobenthos in Lake Onega in conditions of multifactorial impact, *Principy ekologii*. 2016. No. 2. P. 43–61.
- Kalinkina N. M. Tekanova E. V. Syarki M. T. Ecosystem of Lake Onega: the reaction of aquatic communities to anthropogenic factors and climatic changes, *Vodnoe hozyaystvo Rossii*. 2017. No. 1. P. 4–18.
- Kulikova T. P. Syarki M. T. Size and weight characteristics of mass species of crustaceans and rotifers of Lake Onega (reference and information material). Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 1994. 16 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies of Lake Onega basin. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2007. 223 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies of Lake Ladoga basin. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2012. 192 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies of Shuya River basin. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2004. 124 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies of White Sea basin. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2010. 325 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies of the Republic of Karelia (Russia): History of the study, main research directions, species composition, bibliography. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 125 p.
- Ladoga and Onego – Great European Lakes. Observations and Modelling, Eds. L. Rukhovets, N. Filatov. Chichester, UK: Springer, 2010. P. 302.
- Methodical materials on collection and processing of materials in hydrobiological research on freshwater reservoirs. Zooplankton and its products, Red. G. G. Vinberg, G. M. Lavrent'eva. L.: GosNIORH, 1984. P. 33.
- Riv'er I. K. Cold-water zooplankton in lakes of Upper Volga basin. Izhevsk: Permyakov P. A., 2012. 390 p.
- Rumyancev V. A. Drabkova V. G. Izmailova A. V. Great Lakes of the World. SPb.: Lema, 2012. 370 p.
- Svensson J, E. Sex differences in habitat distribution of a planktonic copepod, *Eudiaptomus gracilis*, *Ecography*. 1997. Vol. 20. No. 4. P. 407–416.
- Syarki M. T. Fomina Yu. Yu. Features of seasonal phenomena in the zooplankton in Petrozavodskaya Bay of Lake Onega, *Principy ekologii*. 2014. T. 3. No. 3. P. 36–43.
- 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. Plankton of the pelagic on 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. Assessment of fish productivity according to the state of the food reserve. Zooplankton, Biologicheskie resursy Onezhskogo ozera, Pod red. V. I. Kuhareva, A. A. Lukina. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2008. P. 54–67.
- Syarki M. T. Study of the seasonal dynamics trajectory of plankton using the method of double smoothing, *Principy ekologii*. 2013. No. 1 (5). P. 61–67.
- The largest lakes-reservoirs of the North-West of the European part of Russia: the current state and changes in ecosystems under climatic and anthropogenic influences. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2015. 375 p.
- Timakova T. M. Kulikova T. P. Litvinova I. A. Polyakova T. N. Syarki M. T. Tekanova E. V. Chekryzheva T. A. Change in the biocenosis in Kondopozhskaya bays of Lake Onega under the influence of sewage from a pulp and paper mill, *Vodnye resursy*. 2014. T. 41. No. 1. P. 74–82.
- Visconti A., Manca M. The invasive appearance of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars 1863) in Lago Maggiore, *J. Limnol.* 2010. Vol. 69 (2). P. 353–357.
- Zánkai N. P. Feeding of copepodite and adult stages of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars, 1863) (Copepoda, Calanoida) on mixed plastic beads, *Crustaceana*. 1994. Vol. 66 (1). P. 90–109.
- Zeller M., Reusch T. B. H., Lampert W. A comparative population genetic study on calanoid freshwater copepods: Investigation of isolation-by-distance in two *Eudiaptomus* species with a different potential for dispersal, *Limnol. Oceanogr.* 2006. Vol. 51 (1). P. 117–124.