



<http://ecopri.ru>

<http://petsu.ru>

**Издатель**

ФГБОУ «Петрозаводский государственный университет»  
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

**ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ**

<http://ecopri.ru>

**Т. 3. № 3(11). Ноябрь, 2014**

**Главный редактор**

А. В. Коросов

**Редакционный совет**

В. Н. Большаков  
А. В. Воронин  
Э. К. Зильбер  
Э. В. Ивантер  
Н. Н. Немова  
Г. С. Розенберг  
А. Ф. Титов

**Редакционная коллегия**

Г. С. Антипина  
В. В. Вапиров  
А. Е. Веселов  
Т. О. Волкова  
В. А. Илюха  
Н. М. Калинкина  
А. М. Макаров  
А. Ю. Мейгал

**Службы поддержки**

А. Г. Марахтанов  
А. А. Кухарская  
О. В. Обарчук  
Н. Д. Чернышева  
Т. В. Климяк  
А. Б. Соболева

**ISSN 2304-6465**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Анохина, 20. Каб. 208.

E-mail: [ecopri@psu.karelia.ru](mailto:ecopri@psu.karelia.ru)

<http://ecopri.ru>





УДК 574.52 (285)

## Особенности сезонных явлений в зоопланктоне Петрозаводской губы Онежского озера

**СЯРКИ**

**Мария Тагевна**

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

**ФОМИНА**

**Юлия Юрьевна**

*Карельское отделение ФБГНУ «ГосНИОРХ»,  
rambler7780@rambler.ru*

**Ключевые слова:**

Онежское озеро  
зоопланктон  
структура  
сезонная динамика  
сезоны  
летний период  
дискриминантный анализ

**Аннотация:**

Фенологические фазы или сезоны были выделены для зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера с помощью метода дискриминантного анализа. На основе данных по численности и биомассе основных таксономических групп зоопланктона с 1988 по 2010 г. были выделены 4 сезонных состояния сообщества, определены их сроки и продолжительность. В среднем летний период для зоопланктона в Петрозаводской губе продолжается 66 суток, что на 24 суток дольше, чем в центральном районе озера. Рассматривается связь фенологии с гидродинамическим и термическим режимом.

© 2014 Петрозаводский государственный университет

Рецензент: И. А. Стогов

Рецензент: Н. М. Калинкина

Получена: 30 ноября 2014 года

Опубликована: 23 декабря 2014 года

Исследование состояния планктона Онежского озера невозможно без выделения сезонных периодов и их особенностей. В последние десятилетия актуальным становится изучение фенологии как науки «о сезонных явлениях природы, сроках их наступления и причинах, определяющих эти сроки» (Биологический энциклопедический словарь, 1986) и для водных экосистем. Существует две основных проблемы в изучении фенологии планктона крупного озера: невозможность непосредственного наблюдения сезонных явлений в озере и недостаток регулярных рядов данных. До настоящего времени фенология планктона Онежского озера носила описательный характер, сроки событий определялись экспертами с точностью до декады, а сезонные периоды считались по календарным месяцам (Смирнова, 1972; Куликова и др., 1997; Вилянская, 1999).

Решение вопросов о сроках основных явлений в планктоне важно как с научной точки зрения, так и с практической. Основная часть продукционно-деструкционных процессов в планктоне происходит в весенний и летний периоды (Онежское озеро. Атлас, 2010). Кроме того, сроки и продолжительность сезонов чутко реагируют на колебания климатических факторов, из-за этого реакции водных сообществ озер на климатические изменения в последние десятилетия активно изучаются во всем мире (Winder, Schindler, 2004; Adrian et al., 2006).

Практическое применение результатов фенологических исследований планктона востребовано в системе биомониторинга экосистемы Онежского озера. Повышение требований к точности оценок требует разработки критериев ненарушенности сезонных циклов и определения сроков летнего периода (Рекомендации..., 2012).

Ранее было показано, что динамика показателей основных групп не синхронна, т. е. сезонные максимумы и минимумы показателей зоопланктона и его групп наблюдаются в различное время. Из-за этого структурные показатели зоопланктона или соотношения его элементов обладают внутрigoдовой изменчивостью и тесно связаны с сезонными состояниями в планктоне (Сярки, 2008, 2010). В связи с этим было предложено использовать их для поиска формальных критериев сезонных состояний в

зоопланктоне Петрозаводской губы с помощью метода дискриминантного анализа (Сярки, 2013). Онежское озеро – одно из великих озер Европы, в настоящее время планктонная система большей его части сохранила свой естественный олиготрофный статус (Ladoga and Onego..., 2010). Трансформации подвергается планктон крупных заливов, испытывающих интенсивное антропогенное воздействие (Куликова, Сярки, 2004; Тимакова и др., 2011).

Основой для работы являются результаты комплексных съемок, в том числе и Петрозаводской губы Онежского озера, выполненных с 1988 по 2010 г. (Сярки, Куликова, 2012). В работе использованы данные 3 пелагических станций, расположенных по продольному разрезу Петрозаводской губы, с глубиной 23–28 м (средняя глубина 25 м). Сезонные наблюдения представлены ежемесячными съемками с июня по октябрь 1989, 1991 и 1993 гг. В остальные годы проводились одноразовые съемки в различные сроки вегетационного периода. Сетные пробы зоопланктона отбирались и обрабатывались общепринятыми методами (Методические рекомендации..., 1984).

Для анализа динамики структуры нами использовался подход, ранее примененный для анализа зоопланктона центральной части озера (Сярки, 2013). Данные были организованы в матрицу, состоящую из 9 переменных, представляющих численность (N) и биомассу (B) основных 4 групп зоопланктона (Calanoida, Cyclopoida, Cladocera, Roratoria), и группирующей переменной, содержащей 60 рядов. Группирующая переменная отражала сезонный период: весенний, раннелетний, позднелетний и осенний. Для начала работы группирующая переменная соответствовала месяцу отбора данных, а затем в процессе анализа изменялась в соответствии с вероятностными рекомендациями для достижения максимальной степени дискриминации.

Границы сезонного периода считались по суткам с начала года самых ранних и поздних данных в сезонной группе. Если точка отстояла от остальной группы более чем на 10 суток, то она считалась отскакивающей и для определения среднесезонных сроков не использовалась.

Результаты анализа показали, что существует достоверное разделение состояний по структуре зоопланктона между 4 сезонами. Степень дискриминации достигает 95 % (табл. 1), причем летние точки были дискриминированы на 100 %. Только 3 точки из 60 были определены ошибочно, причем пересекались данные за весенний и осенний периоды, когда преобладает группа веслоногих рачков и структура зоопланктона сходна.

Таблица 1. Классификационная матрица

	Процент правильной классификации	Весна	Раннее лето	Позднее лето	Осень
Весна	89.47	17	0	0	2
Раннее лето	100.00	0	13	0	0
Позднее лето	100.00	0	0	14	0
Осень	92.85	1	0	0	13
Всего	95.00	18	13	14	15

Примечание. Ряды – наблюдаемые величины, столбцы – прогнозируемая классификация

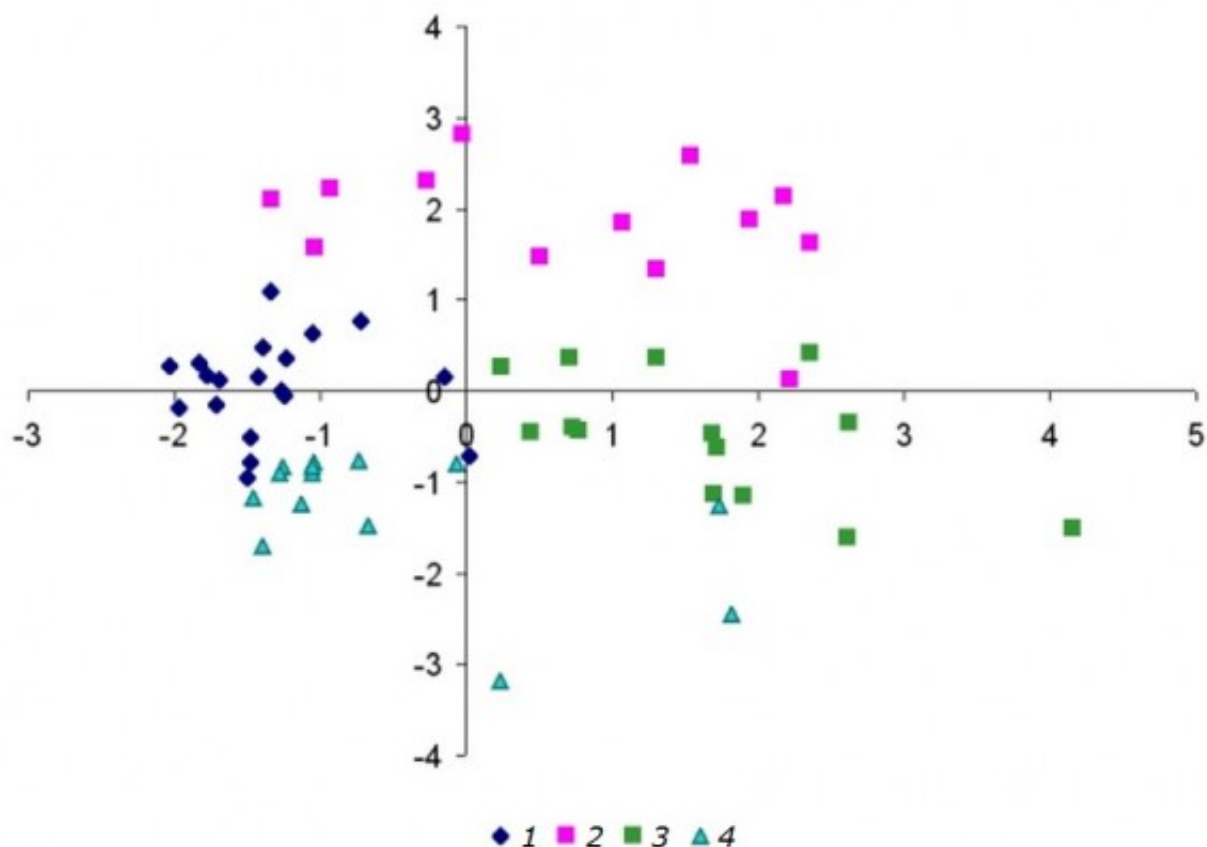


Рис. 1. Распределение данных в первых двух компонентных осях: 1 – весенний, 2 – раннелетний, 3 – позднелетний, 4 – осенний

Fig. 1. Points distribution in the principal components axes: 1 – spring, 2 – early-summer, 3 – late-summer, 4 – autumn

Таблица 2. Коэффициенты классификационных функций для 4 сезонов

	Весна $p = 0.31667$	Раннее лето $p = 0.21667$	Позднее лето $p = 0.23333$	Осень $p = 0.23333$
Ncalanoida	<b>-0.00006</b>	<b>-0.0002</b>	<b>-0.0002</b>	<b>0.00007</b>
Ncyclopoida	<b>-0.00006</b>	<b>-0.0002</b>	<b>-0.0001</b>	<b>0.00005</b>
Ncladocera	-0.00003	0.0000	0.0001	0.00000
Nrotatoria	<b>0.00004</b>	<b>0.0002</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.00000</b>
Bcalanoida	0.00052	0.0013	0.0012	0.00037
Bcyclopoida	<b>0.01055</b>	<b>0.0331</b>	<b>0.0183</b>	<b>-0.00699</b>
Bcladocera	0.00095	0.0019	0.0018	-0.00010
Brotatoria	0.00007	0.0001	-0.0003	-0.00022
Константа	-2.69892	-21.7650	-11.9886	-3.91412

Выделение сезонных состояний производилось по величинам, не содержащим никакой информации о времени отбора, и тем интереснее, что результаты существенно дополнили наши представления о сезонной динамике зоопланктона. Фазы, выделенные по структуре зоопланктона, оказались хорошо согласованы с динамикой количественных показателей и соответствовали экспертным характеристикам сезонов (рис. 2). Высокая степень дискриминации сезонов показывает, что сезонные состояния зоопланктона реально существуют и можно определить их границы. В некоторых случаях сильно различающиеся по количественным показателям данные имеют сходную структуру, и наоборот, при одинаковой численности в один и тот же период сообщество могло иметь различное сезонное состояние. Межгодовая изменчивость проявляется также в существовании переходных периодов, в которых наблюдаются различные сезонные состояния. Например, для зоопланктона Петрозаводской губы в июле отмечаются и весенние, и ранне- и позднелетние состояния.

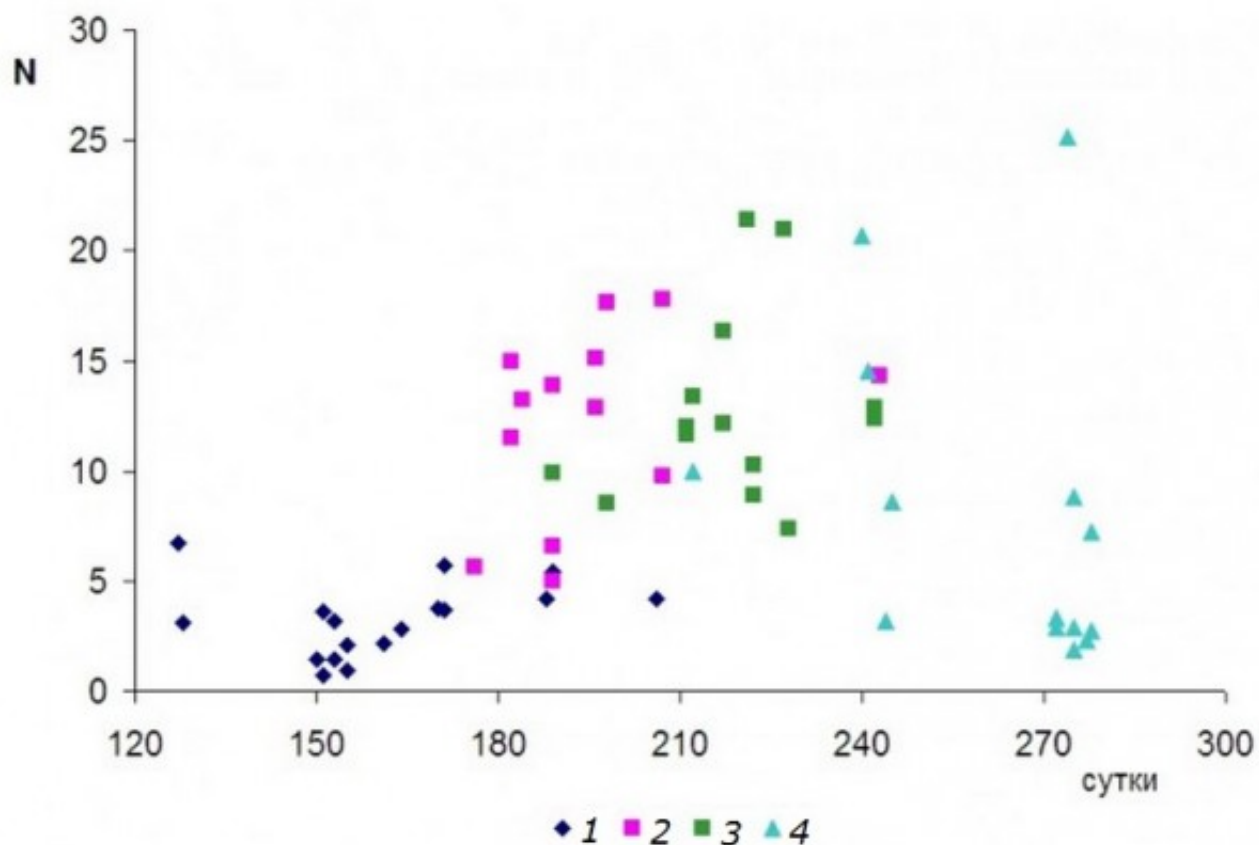


Рис. 2. Сезонное изменение численности зоопланктона (N, тыс. экз./куб. м) Петрозаводской губы Онежского озера по данным 1988–2010 гг.: 1 – весна, 2 – раннее лето, 3 – позднее лето, 4 – осень  
Fig. 2. Seasonal change of zooplankton density (th. ind.·m<sup>3</sup>) in Petrozavodskaya Bay of Lake Onega from 1988 to 2010: 1 – spring, 2 – early-summer, 3 – late-summer, 4 – autumn

Интересно было сравнить длительность сезонных фаз в Петрозаводской губе и в центральной части озера, где сезоны были выделены аналогичным методом ранее (Сярки, 2013) (рис. 3).

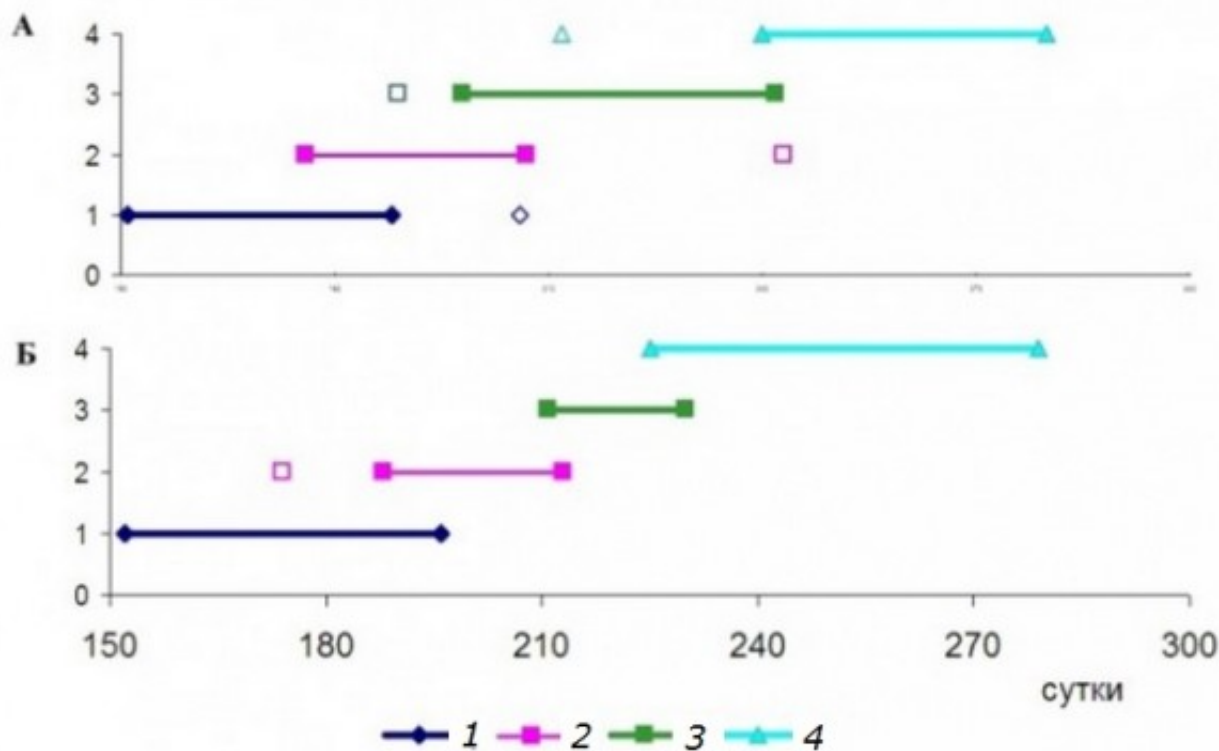


Рис. 3. Длительность сезонных периодов для зоопланктона в Петрозаводской губе (А) и в центральной части озера (Б): 1 – весенний, 2 – раннелетний, 3 – позднелетний, 4 – осенний

Fig. 3. The duration of seasonal phases of zooplankton in Petrozavodskaya Bay (A) and the central part of the lake (B): 1 – spring, 2 – early-summer, 3 – late-summer, 4 – autumn

Длительность и сроки наступления сезонных фаз связаны с прогревом вод. Так, в среднем термобар проходит по Петрозаводской губе во второй декаде мая, а в центральную часть озера приходит в третьей декаде июня. «Биологическое лето», или прогрев поверхностного слоя воды свыше 10 °С, в заливе начинается в первой декаде июня, а в центре озера только в начале июля.

Естественно, что длительность обеих фаз летнего периода в центральной части озера короче, чем в Петрозаводской губе, соответственно 42 и 66 суток. Раннелетний период, связанный с преобладанием коловраток, в заливе начинается на 12 суток раньше, чем в центральной части озера, а позднелетний – на 8 суток. Длительность позднелетнего периода, характеризующегося присутствием летних видов зоопланктона и преобладанием кладоцер, в губе почти в два раза, или на 25 суток, больше, чем в центре озера (44 против 19 соответственно).

Также характерным для зоопланктона залива является более длительные, чем в центре озера, переходные периоды, во время которых отмечаются различные сезонные состояния зоопланктона, обусловленные межгодовой изменчивостью. Длина переходных периодов, особенно весенне-летнего, связана с величиной межгодовой изменчивости факторов среды, таких как скорость прогрева и температура воды. Так, в июле в зоопланктоне Петрозаводской губы в разные годы наблюдаются три сезонных состояния (весеннее, ранне- и позднелетнее). Это может быть объяснено активной гидродинамикой вод залива, которая вызывает перемешивание водных слоев и приводит к резким колебаниям температуры воды, что сказывается на состоянии пелагического планктона в период съемки.

Сезонная динамика планктона синхронизирована с естественной цикличностью факторов среды (температурный режим, освещенность и т. д.), поэтому изменения климатических факторов (длины безледного и вегетационного периодов, «биологического лета» и т. п.) обязательно скажутся на годовом цикле планктона и его периодичности. Исследование сроков и длины сезонных периодов актуально для развития системы биомониторинга Онежского озера, требующей применения формальных критериев в оценках и большой четкости в методиках и датах отбора материала. С помощью статистического метода дискриминантного анализа было подтверждено выделение 4 сезонных фаз, различающихся по структуре зоопланктона. Были получены коэффициенты для формул дискриминации, которые позволяют определять сезонные состояния зоопланктона по показателям численности и биомассе его таксономических групп.

Среднегодовое значение длины летнего периода для зоопланктона Петрозаводской губы Онежского озера составляет 66 суток, с третьей декады июня по начало сентября. Фенология зоопланктона и ее межгодовая изменчивость зависят от гидрологического и термического режимов района его обитания. Биологический энциклопедический словарь [Bioillogicheskyy enciklopedicheskyy slovar] / под ред. М. С.

Гилярова. М.: Советская энциклопедия, 1986. 831 с.

Вислянская И. Г. Структура и динамика биомассы фитопланктона [Structure and dynamics of phytoplankton] // Онежское озеро. Экологические проблемы. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1999. С. 146–158.

Куликова Т. П., Кустовлянкина Н. Б., Сярки М. Т. Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера [Zooplankton as a component of Lake Onego ecosystem]. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1997. 112 с.

Куликова Т. П., Сярки М. Т. Влияние антропогенного евтрофирования на распределение зоопланктона в Кондопожской губе Онежского озера [Effect of anthropogenic eutrophication on zooplankton distribution in Kondopoga Bay of Lake Onega] // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 91–97.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов в гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция [Sampling and processing guidelines in hydrobiological studies in freshwater bodies. Zooplankton and its production]. Л., 1984. 33 с.

Онежское озеро. Атлас [Lake Onego . Atlas]. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 151 с.

Рекомендации. Оценка состояния пресноводных экосистем по комплексу химико-биологических показателей [Assessment of freshwater ecosystems state by chemical and biological parameters]. Ростов н/Д: Росгидромет: ФГБУ ГХИ, 2012. 22 с.

Смирнова Т. С. Планктонные коловратки и ракообразные [Plankton Rotarian and Crustacean] // Зоопланктон Онежского озера. Л.: Наука, 1972. С. 126–240.

Сярки М. Т. Оценка рыбопродуктивности по состоянию кормовой базы. Зоопланктон [Evaluation of fish production by food resources. Zooplankton] // Биологические ресурсы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. С. 54–67.

Сярки М. Т. Зоопланктон [Zooplankton] // Онежское озеро. Атлас / под ред. Н. Н. Филатова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. С. 117–119.

Сярки М. Т. Как долго длится лето для зоопланктона Онежского озера? [How long does the summer last for zooplankton in the Lake Onego ?] // Принципы экологии. 2013. № 4. С. 70–75. DOI: 10.15393/j1.art.2013.2781

Сярки М. Т., Куликова Т. П. «Зоопланктон Онежского озера». База данных [Database "Zooplankton of the Lake Onego "]. Рег. номер 2012621150 (9/11/2012). Правообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) (RU)

Тимакова Т. М., Сабылина А. В., Полякова Т. Н., Сярки М. Т., Теканова Е. В., Чекрыжева Т. А. Современное состояние экосистемы Онежского озера и тенденции ее изменения за последние десятилетия [Modern state of the Lake Onego ecosystem and the trends of its change over the past decades] // Водные проблемы севера и пути их решения. Тр. Карельского научного центра РАН. 2011. № 4. С. 42–49.

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.

Ladoga and Onego Great European Lakes. Observations and Modelling / eds. L. Rukhovets and N. Filatov. Springer-Praxis, 2010. 302 p.

Winder M., Schindler D. E. Climatic effects on the phenology of lake processes // Global Change Biology. 2004. Vol. 10. Issue 11. P. 1844–1856.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00766).

## Seasonal features of zooplankton in Petrozavodskaya Bay of Lake Onega

**SYARKY  
Maria**

*Northern water problems Institute KRC RAN,  
msyarki@yandex.ru*

**FOMINA  
Julia**

*Karelian branch "GOSNIORH", rambler7780@rambler.ru*

### **Keywords:**

Lake Onega  
zooplankton  
structure  
annual cycling  
seasons  
summer period  
discriminatory analysis

### **Summary:**

Phenological phases or seasons of the zooplankton were determined by the method of discriminatory analysis in Petrozavodsk bay of Lake Onega. On the basis of the data on the zooplankton abundance and the biomass of the main taxonomic groups, received from 1988 to 2010, four seasonal conditions of the community, their timing and duration were determined. On an average, summer period for zooplankton in Petrozavodskaya bay lasts 66 days, it is 24 days longer than in the central area of the lake. The relationship between zooplankton phenology and hydrodynamic and thermal conditions are considered

### **References**

- Biologicheskyy enciklopedichesky slovar, pod red. M. P. Gilyarova. M.: Sovetskaya enciklopediya, 1986. 831 p.
- Vislyanskaya I. G. Structure and dynamics of phytoplankton, Onezhskoe ozero. *Ekologicheskie problemy*. Petrozavodsk: Karel'skiy NC RAN, 1999. P. 146–158.
- Kulikova T. P. Kustovlyankina H. B. Syarki M. T. Zooplankton as a component of Lake Onega ecosystem. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 1997. 112 p.
- Kulikova T. P. Syarki M. T. Effect of anthropogenic eutrophication on zooplankton distribution in Kondopoga Bay of Lake Onega, *Vodnye resursy*. 2004. T. 31. No. 1. P. 91–97.
- Sampling and processing guidelines in hydrobiological studies in freshwater bodies. Zooplankton and its production. L., 1984. 33 p.
- Lake Onego . Atlas. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2010. 151 p.
- Assessment of freshwater ecosystems state by chemical and biological parameters. Rostov n/D: Rosgidromet: FGBU GHI, 2012. 22 p.
- Smirnova T. S. Plankton Rotarian and Crustacean, *Zooplankton Onezhskogo ozera*. L.: Nauka, 1972. P. 126–240.
- Syarki M. T. Evaluation of fish production by food resources. Zooplankton, *Biologicheskie resursy Onezhskogo ozera*. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2008. P. 54–67.
- Syarki M. T. Zooplankton, Onezhskoe ozero. Atlas, pod red. N. N. Filatova. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2010. P. 117–119.
- Syarki M. T. How long does the summer last for zooplankton in the Lake Onego?, *Principy ekologii*. 2013. No. 4. P. 70–75. DOI: 10.15393/j1.art.2013.2781
- Syarki M. T. Kulikova T. P. Database "Zooplankton of the Lake Onego ". Reg. nomer 2012621150 (9/11/2012). Pravoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe uchrezhdenie nauki Institut vodnyh problem Severa



Syarky M., Fomina J. Seasonal features of zooplankton in Petrozavodskaya Bay of Lake Onega // *Principy èkologii*. 2014. Vol. 3. № 3. P. 40–48.

---

Karel'skogo nauchnogo centra RAN (IVPS KarNC RAN) (RU)

Timakova T. M. Sabylina A. V. Polyakova T. N. Syarki M. T. Tekanova E. V. Chekryzheva T. A. Modern state of the Lake Onega ecosystem and the trends of its change over the past decades, *Vodnye problemy severa i puti ih resheniya*. Tr. Karel'skogo nauchnogo centra RAN. 2011. No. 4. P. 42–49.

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.

Ladoga and Onego Great European Lakes. Observations and Modelling, eds. L. Rukhovets and N. Filatov. Springer-Praxis, 2010. 302 p.

Winder M., Schindler D. E. Climatic effects on the phenology of lake processes, *Global Change Biology*. 2004. Vol. 10. Issue 11. P. 1844–1856.