



<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. 2. № 4(8). Декабрь, 2013**

**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. Калинин  
А. М. Макаров  
А. Ю. Мейгал

**Службы поддержки**

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

**ISSN 2304-6465**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Красноармейская, 31. Каб. 343.

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

<http://ecopri.ru>



УДК 574.583(285)

## Как долго длится лето для зоопланктона Онежского озера?

**СЯРКИ**  
**Мария Тагевна**

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

### Ключевые слова:

Онежское озеро  
зоопланктон  
сезоны  
дискриминантный анализ  
межгодовые колебания

### Аннотация:

Для описания реакции водных экосистем на возможные изменения климата требуется исследование фенологии сообществ. Ранее для зоопланктона Онежского озера в безледный период были выделены четыре сезона, но сезонные границы между ними, принципиально не наблюдаемые в озере, были обозначены очень приблизительно. Известно, что структура зоопланктона по сезонам закономерно изменяется, что позволило с помощью дискриминантного анализа по численности и биомассе основных групп зоопланктона выделить формальные признаки структуры сезонных состояний. Были определены границы между сезонами. Летний период для зоопланктона в Онежском озере длится 40 суток и состоит из двух сезонных фаз: ранне- и позднелетней. Лето не совпадает с календарным периодом (июль - август), начинается в первой декаде июля (190 суток с начала года) и заканчивается в середине августа (230 суток).

© 2013 Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Е. В. Лепская

Получена: 04 марта 2014 года

Опубликована: 21 марта 2014 года

### Введение

Наблюдающиеся в последние десятилетия климатические колебания вызывают изменения гидрологического и термического режима Онежского озера (Климат Карелии..., 2004; Efremova et al., 2013), что определяет актуальность изучения фенологии планктона (Strail, 2000; Thackeray et al., 2010).

Зоопланктон Онежского озера изучен достаточно хорошо. Описан его состав, количественные и продукционно-деструкционные характеристики (Зоопланктон Онежского озера, 1971; Куликова и др., 1997; Сярки, 2008), но сезонная динамика и особенно фенология его практически не исследованы. Чаще всего сезоны ассоциируются с календарными месяцами, летним периодом для планктона в Онежском озере считается июль - август. Основные трудности в изучении фенологии планктона Онежского озера: сложность выявления сезонных фаз и недостаток сезонных регулярных наблюдений. Данная работа является частью большого исследования фенологии экосистемы Онежского озера, в частности его пелагического планктона.

Известно, что структура сообществ изменяется в процессе сезонных сукцессий. Было сделано предположение, что структура зоопланктона и соотношение количества его основных групп могут характеризовать его сезонные состояния.

Целью нашей работы было провести анализ сезонных состояний зоопланктона и с помощью дискриминантного анализа формализовать характеристики сезонов по его структуре.

## Материалы

Основой для работы являются результаты комплексных съемок в центральном и глубоководных районах Онежского озера с 1989 по 2010 г. (Сярки, Куликова, 2011). Сезонные наблюдения представлены ежемесячными съемками на станции в глубоководном районе с июня по октябрь 1989, 1991 и 1993 гг. (15 проб). В остальные годы проводились одноразовые съемки в различные сроки вегетационного периода. В работе анализируются данные сетных уловов зоопланктона в слое 0–5 м с 5 станций в центральной и глубоководной частях озера.

Данные были организованы в матрицу, состоящую из 9 переменных (численности в тыс. экз./куб. м и биомассы в г/куб. м основных 4 групп зоопланктона и группирующей переменной) и 55 рядов (данные 5 станций в центральной и глубоководной частях озера с 1989 по 2010 г.). Группирующая переменная отражала сезонный период: весенний, раннелетний, позднелетний и осенний.

## Традиционные методы исследований

В литературе фенология зоопланктона описана очень приблизительно, в лучшем случае с точностью до декад (Зоопланктон Онежского озера, 1971; Куликова и др., 1997). В большинстве работ сезоны ассоциированы с календарными сроками, все осреднения и описания летнего периода, как правило, производятся на основе данных за июль – август. При этом совершенно не учитывается межгодовая изменчивость температурного режима и влияние синоптической ситуации, которая может сильно изменять состояние планктона.

В Онежском озере летними считаются два месяца (июль и август), период «биологического лета» с устойчивыми температурами поверхностного слоя воды выше 10 °С начинается в первых числах июля (180 суток с начала года) и длится 90 суток (Атлас, 2010).

## Оригинальные методы исследований

Ранее нами было показано, что в сезонном цикле зоопланктона происходит закономерное изменение его структуры и соотношения основных групп (Сярки, 2013). Организмы таксонов (Calanoida, Cyclopoida, Cladocera и Rotatoria) отличаются по своей биологии (размерам, скорости роста и размножения, жизненным циклам, типу питания и т. д.), поэтому их значение в фазах сезонного цикла будет различным. Было сделано предположение, что соотношение групп зоопланктона является характерным признаком для сезонного состояния и воспроизводится ежегодно. Для подтверждения этого положения и выявления формализованных признаков был использован метод дискриминантного анализа.

Результаты деления на 4 сезона не удалось достичь 100 % дискриминации, так как структура весеннего и осеннего планктона оказалась очень близка (табл. 1). Действительно, и весной, и осенью преобладали веслоногие рачки. Но тем не менее фазы летнего периода были уверенно классифицированы на 100 %.

Таблица 1. Классификационная матрица\*

	Процент правильной классификации	Весна	Раннее лето	Позднее лето	Осень
Весна	100 %	21	0	0	0
Раннее лето	100 %	0	16	0	0
Позднее лето	100 %	0	0	10	0
Осень	37.5 %	5	0	0	3
Всего	90.9 %	26	16	10	3

\* Ряды – наблюдаемые величины, столбцы – прогнозируемая классификация.

По тесту хи-квадрат две первые компонентных оси достоверны с уровнем значимости  $p < 0.001$ . Первая ось связана с количеством коловраток, вторая – с ветвистоусыми (табл. 2).

Таблица 2. Корреляция переменных с каноническими осями

	Root 1	Root 2
N calanoida	0.25	0.18
N cyclopoida	0.12	0.39
N cladocera	0.19	0.60
N rotatoria	0.47	0.28
B calanoida	0.27	0.30
B cyclopoida	0.15	0.21

B cladocera	0.08	0.81
B rotatoria	0.50	0.06

Весенний и осенний периоды очень сходны. Летние данные четко разделяются на две фазы: ранне- и позднелетнюю (рис. 1).

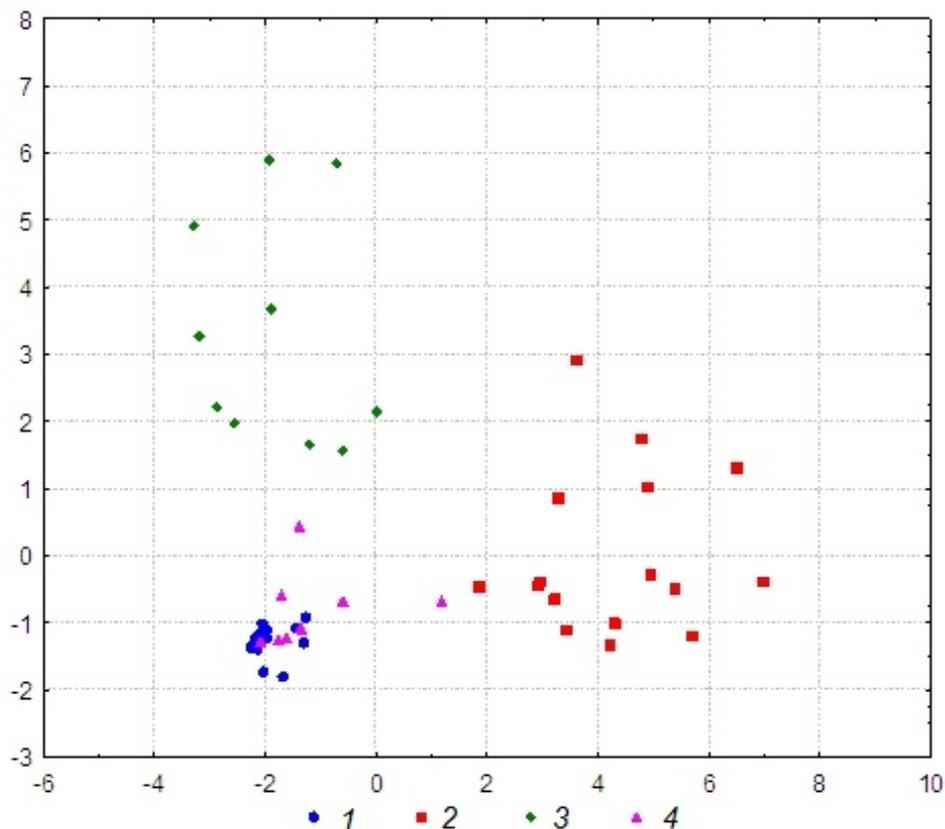


Рис. 1. Распределение данных в осях первых двух компонент. 1 – весна, 2 – раннее лето, 3 – позднее лето, 4 – осень

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

Всего три величины: численность коловраток, биомассы кладоцер и коловраток – достоверны для дискриминантной функции с вероятностью  $p < 0.05$ .

Таблица 3. Коэффициенты классификационной функции

	Весна	Раннее лето	Позднее лето	Осень
N rotatoria	0.00003	0.0013	0.0002	0.00023
B cladocera	-0.00181	-0.0361	0.0566	0.00073
B rotatoria	0.00046	0.0447	-0.0057	0.00697
Константы	-1.41686	-24.2238	-13.2016	-3.23923

## Обсуждение

Анализ данных по структуре показал, что в зоопланктоне существуют устойчивые состояния, связанные с сезонами.

В весенний период по численности и биомассе преобладают веслоногие рачки – копеподы. Календарное лето (июль – август) вмещает все четыре сезона. Первую декаду июля сообщество имеет весеннюю структуру. Затем следуют два периода, имеющие продолжительность примерно по 20 суток и различающиеся по структуре сообщества. Раннелетний период (190–210 суток) характеризуется преобладанием как по численности, так и по биомассе (в сыром весе) коловраток. В этот период биомасса зоопланктона вырастает до максимума. Позднелетний или просто летний период (210–228

суток) характеризуется превышением количества кладоцер над коловратками (рис. 2). Общие величины зоопланктона в этот период плавно снижаются. В середине августа с началом сильных штормов наступает осенний период, который характеризуется снижением доли коловраток и кладоцер за счет увеличения роли веслоногих рачков. Из осеннего периода сообщество зоопланктона без резких изменений постепенно переходит в зимнее состояние.

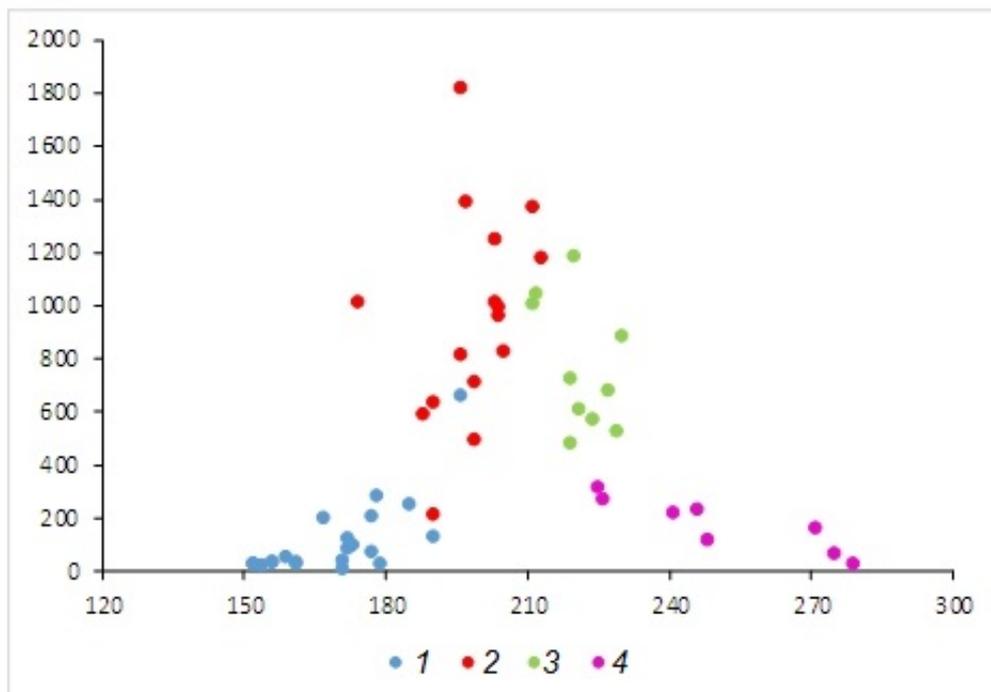


Рис. 2. Сезонная динамика по биомассе ( $B$ ,  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). 1 – весна, 2 – раннее лето, 3 – позднее лето, 4 – осень

Fig. 2. Seasonal changes in zooplankton biomass ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). 1 – spring, 2 – early summer, 3 – late summer, 4 – autumn

Результаты анализа могут быть использованы для определения сезонного состояния при одноразовых съемках в системе биомониторинга Онежского озера. Основным требованием к данным является их методическое однообразие. Например, при отборе материала батометром соотношение в пробе размерных фракций, а следовательно, и таксономических групп отличается от таковых в сетных ловах.

В крупных заливах, Петрозаводском и Кондопожском, отмечается заметное антропогенное влияние на структуру зоопланктона (Куликова, Сярки, 2004; Сярки, 2008), поэтому потребуются аналогичный анализ для данных, локализованных в заливах. Можно предположить, что межгодовая изменчивость в районах с антропогенным влиянием будет выше, чем в центральных районах озера.

### Заключение или выводы

В сезонном цикле зоопланктона центральной и глубоководной частей Онежского озера существуют устойчивые сезонные состояния, которые могут быть определены по структуре, в частности по соотношению количественных показателей основных таксономических групп.

Летний период для зоопланктона Онежского озера состоит из двух фаз и длится в среднем 40 суток, не совпадая с календарным и «биологическим» летом. В силу инертности водных масс крупного Онежского озера межгодовая изменчивость сроков переходов между сезонами невелика и переходные периоды непродолжительны.

Успешное применение метода дискриминантного анализа в определении сезонных состояний планктона Онежского озера позволяет рекомендовать его для изучения динамики структуры планктона других объектов.

### Библиография

Сярки М. Т. Как долго длится лето для зоопланктона Онежского озера? // Принципы экологии. 2013. Т. 2. № 4. С. 70–75.

---

Онежское озеро. Атлас / под ред. Н. Н. Филатова. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 151 с.

Зоопланктон Онежского озера / Под ред. И. И. Николаева. Л.: Наука, 1971. 327 с.

Климат Карелии: Изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. 224 с.

Куликова Т. П., Кустовлянкина Н. Б., Сярки М. Т. Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. 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 // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 91–97.

Сярки М. Т. Оценка рыбопродуктивности по состоянию кормовой базы. Зоопланктон // Биологические ресурсы Онежского озера. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. С. 54–67.

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». База данных. Рег. номер 2012621150 (9/11/2012). Правообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) (RU).

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

Efremova T., Palshin N., Zdorovenov R. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes // Estonian Journal of Earth Sciences. 2013. Vol. 62. № 1. P. 33–41.

Thackeray S. J., Sparks T. H., Frederiksen M., Burthe S., Bacon P. J., Bell J. R., Botham M. S., Brereton T. M., Bright P. W., Carvalho L., Clutton-Brock T., Dawson A., Edeards M., Elliott J. M., Harrington R., Johns D., Jones I. D., Jones J. T., Leech D. I., Roy D. B., Scott W. A., Smith M., Smithers R. J., Winfield I. J. and Wanless S. S. Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments // Global Change Biology. 2010. Vol. 16. P. 3304–3313.

Strail D. Meteorological forcing of plankton dynamics in a large and deep continental European lake // OECOLOGIA. 2000. Vol. 122. Issue 1. P. 44–50. DOI: 10.1007/PL00008834.

## How long does the summer last for zooplankton in the Onego lake?

**SYARKI  
Maria**

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

**Keywords:**

Onego lake  
zooplankton  
seasonal period  
discriminant analysis  
interannual variations

**Summary:**

To describe the response of aquatic ecosystems to possible climate changes, the investigation of the lake phenology is needed. Earlier, four seasons in the ice-free period of the Onego lake were determined for zooplankton, but their duration was defined very approximately, because in the lake it is unable to observe this seasonal division exactly. It is well known that the composition of zooplankton has regular seasonal changes. This fact allowed us to distinguish the structural formal features of seasonal conditions using discriminant analysis on the abundance and biomass of the main groups of zooplankton. Seasonal division was defined more exactly. Summer period continues for 40 days and consists of two seasonal phases: early and late summer. This period does not coincide with calendar summer (July-August), it begins in early July (190th day of year) and ends in mid-August (230th day of year).