



Издатель

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

Научный электронный журнал

ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ

<https://ecopri.ru>

№ 1 (5). Март, 2013

Главный редактор

А. В. Коросов

Редакционный совет

В. Н. Большаков
А. В. Воронин
Э. В. Ивантер
Н. Н. Немова
Г. С. Розенберг
А. Ф. Титов
Г. С. Антипина
В. В. Вапиров
А. М. Макаров

**Редакционная
коллегия**

Т. О. Волкова
Е. П. Иешко
В. А. Илюха
Н. М. Калинкина
J. P. Kurhinen
А. Ю. Мейгал
J. B. Jakovlev
B. Krasnov
A. Gugolek
В. К. Шитиков
В. Н. Якимов

Службы поддержки

А. Г. Марахтанов
Е. В. Голубев
С. Л. Смирнова
Н. Д. Чернышева
М. Л. Киреева

ISSN 2304-6465

Адрес редакции

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33.

E-mail: ecopri@petsu.ru

<https://ecopri.ru>





УДК 574.583

ИЗУЧЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ПЛАНКТОНА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ДВОЙНОГО СГЛАЖИВАНИЯ

СЯРКИ
Мария Тагевна

к.б.н., Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН (г. Петрозаводск, пр. А.Невского, 50), MSyarki@yandex.ru

Ключевые слова: метод скользящих средних, зоопланктон, сезонная динамика, Онежское озеро

Рецензент:
Н. М. Калинин

Аннотация. Для исследования сезонных процессов в зоопланктоне Онежского озера и изменения его величин был проведен анализ данных методом двойного сглаживания. Серия сглаженных кривых описывает траектории изменения численности и биомассы зоопланктона и его основных групп в течение вегетационного периода (с мая по октябрь). Они отражают основные закономерности динамики сообщества, форму траекторий сезонной динамики, фенологию или даты важных явлений, периоды и скорости роста и снижения количества планктеров, сезонные изменения в структуре сообщества.

Подписана к печати:
30 марта 2013
года

© Петрозаводский государственный университет

Введение

Сезонная динамика экосистем является одним из самых заметных явлений в озерах средних и северных широт. Ежегодные колебания факторов среды (освещенности, температуры и др.) определяют сезонную цикличность водных сообществ, особенно значимую для пелагического планктона. Для познания процессов функционирования экосистемы необходима формализация или построение модели сезонной цикличности планктона. Первым шагом на пути динамического описания процессов является определение траектории сезонной динамики, которая зависит от основных закономерностей сезонного цикла (периода и величин максимального развития, периодов роста и снижения количества планктона, синхронности с гидрологическими и термическими явлениями и т. д.). Форма сезонной динамики планктона может отражать трофический статус объекта (Андроникова, 1996). Кроме того, траектория сезонной динамики величин зависит от биологии доминирующих видов, их жизненных циклов и многих других причин, что делает ее специфичной для каждой планктонной группы. Если для хорошо изученных процессов возможно построение аппроксимационной модели (Сярки, Теканова, 2008; Сярки, Чистяков, 2013), то для рекогносцировочных исследований необходим простой и удобный метод. Таким, по нашему мнению, может стать метод двойного сглаживания. Сезонные изменения в зоопланктоне Онежского озера были неоднократно описаны в литературе (Николаев, 1972; Куликова и др., 1997; Сярки, 2008), в тоже время какой-либо формализации сезонных процессов в годовом цикле сделано не было.

Цель нашего сообщения - описать метод определения траектории сезонной

динамики характеристик планктона (на примере Онежского озера) с использованием метода двойного сглаживания.

Материалы

Онежское озеро является уникальным объектом, одним из великих озер Европы. Площадь поверхности составляет 9890 км², средняя глубина – 30 м, максимальная глубина – 120 м, период водообмена – 12 лет. Озеро характеризуется высокой инертностью, центральный и глубоководные районы озера сохранили свой естественный олиготрофный статус (Онежское озеро, 2010; Ladoga and Onego, 2010).

Для анализа использовалась информация из базы данных «Зоопланктон Онежского озера» (Сярки, Куликова, 2012). Основу работы составили результаты комплексных гидробиологических съемок Института водных проблем Севера КарНЦ РАН на Онежском озере в безледный период (май-октябрь) с 1988 по 2010 гг. Зоопланктон отбирался сетным методом и обрабатывался по стандартной методике. Определялась численность и биомасса зоопланктона в целом и его основных групп в столбе воды и по слоям в центральном и глубоководном районе озера на 6 станциях. В каждом отдельном году проводилось от 1 до 5 съемок, и даты отбора в разные годы часто не совпадали. Всего в анализ включены данные для 56 станций наблюдения.

Традиционные методы исследований

Метод скользящего среднего является широко распространенным методом сглаживания временных рядов данных и выявления трендов на фоне высокой изменчивости (Пузаченко, 2004; Шитиков и др., 2005). В гидробиологии этот метод обычно применяется для сглаживания многолетних рядов (Розенберг и др., 1994; Лазарева, 2010).

В большей части работ, посвященных исследованию озерного планктона так или иначе упоминается его сезонная динамика. Но, к сожалению, это либо вербальные описания сезонных изменений, либо ряды скалярных величин. Достаточно часто приводятся величины, осредненные по месяцам или сезонам, которые теряют динамическую информацию о процессах. Устойчивое словосочетание «сезонная динамика» для таких материалов утрачивает свой «динамический» смысл.

Оригинальные методы исследований

В основе предлагаемого метода лежит гипотеза о том, что среднемноголетняя траектория сезонной динамики характеристик зоопланктона является плавной кривой, отражающей основные сезонные закономерности годового цикла в планктоне.

Для построения этой кривой были использованы все имеющиеся данные, из которых были составлены два ряда значений, связанных попарно. Одно из значений – это численность зоопланктона в конкретной пробе, другое – показатель сезонности, представленный как число дней, прошедших с начала года. Все значения в общем ряду ранжировали по показателю сезонности. Данные для разных лет, близкие по времени отбора, в общем ряду расположились по соседству. Полученный ряд оказался нерегулярными – временные интервалы между отдельными его членами сильно различались. Например, фрагмент ряда за июнь–июль содержит разрывы от 2 до 6 дней (табл.).

Таблица. Фрагмент ряда исходных значений численности (экз/м³) и сглаженных по тройкам значений (')

Дата	27.06.94	27.06.94	28.06.94	29.06.89	29.06.94	05.07.94
Показатель сезонности	178	179	185	188	190	190
Численность	6769	484	6283	11151	7465	3432
Показатель сезонности'		181	184	188	189	

Численность'	4512	5973	8300	7349
--------------	------	------	------	------

В этих условиях практически невозможно было выполнять сглаживание изучаемой переменной (численности) простым методом скользящей средней: разрывы в данных делают результирующую кривую сильно изломанной.

Было решено проводить осреднение как собственно анализируемой величины, так и показателя сезонности (в сутках с начала года) (табл.). В примере сглаживание данных «по тройкам» для конца июня дает следующие величины: $(185 + 188 + 190) / 3 = 188$ (дней) и $(6283 + 11151 + 7465) / 3 = 8300$ (экз.). Таким образом, каждое сглаженное среднее значение численности относится к определенному сглаженному показателю сезонности.

Двойное сглаживание значительно увеличило плавность кривой динамики численности. Кроме того, совершенно исчезли сдвиги, обычные для метода скользящей средней, это позволило выполнять повторное сглаживание сглаженных рядов.

Шаг осреднения подбирался эмпирическим путем из вариантов 3, 5, 7, 15. Для определения траектории изменения величин было проведено двойное сглаживание рядов с шагом в 7 элементов ряда.

На диаграмме приведен пример сезонного изменения численности рачков-циклопид и сглаженной траектории сезонной динамики (рис. 1).

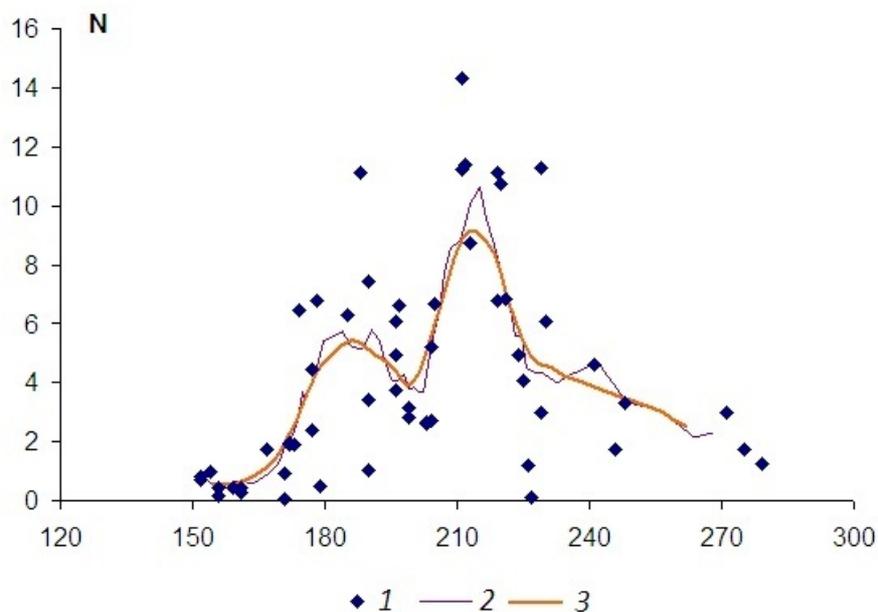


Рис. 1. Распределение численности рачков-циклопид (N , тыс. экз/м³) по сезонам и сглаженная траектория ее сезонной динамики ($n = 56$): 1 - эмпирические данные, 2 - сглаживание с шагом 7, 3 - двойное сглаживание с шагом 7

Fig. 1. Distribution of cyclopoid density (N , th. ind/m³) and the smoothed trajectory of its seasonality: 1 - empirical data, 2 - smoothing with step 7, 3 - double smoothing with step 7

Для создания модели, описывающей сезонные состояния пелагического зоопланктона, разрывы в сглаженных рядах дополнялись недостающими значениями с помощью метода линейной интерполяции. В результате была получена серия функций, заданных таблицами, где аргументом служит показатель сезонности, а зависимыми величинами - среднемноголетние значения численности и биомассы зоопланктона и его основных групп за каждые сутки вегетационного периода (рис. 2.). Траектории

сезонного изменения величин отразили основные закономерности динамики сообщества, форму траекторий сезонной динамики, даты важных явлений, периоды роста и снижения количества планктонов, изменение структуры сообщества, синхронность событий и т. д.

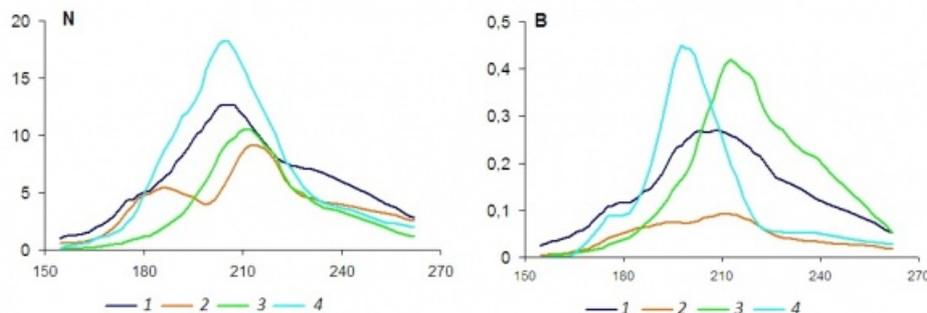


Рис. 2. Сглаженные траектории сезонного изменения численности (N, тыс. экз/куб. м) и биомассы (B, г/куб. м) основных групп зоопланктона в слое 0–5 м: 1 – calanoida, 2 – cyclopoida, 3 – cladocera, 4 – rotatoria

Fig. 2. Smoothed trajectory of seasonal changes in the number (N, th. ind. /cub. m) and biomass (B, g/cub. m) in the main groups of zooplankton in the layer 0–5 m: 1 – calanoida, 2 – cyclopoida, 3 – cladocera, 4 – rotatoria

Согласно экспертным оценкам полученные кривые соответствуют сезонным изменениям в зоопланктоне, но значительно детализируют и уточняют известную ранее информацию (Куликова и др., 1997; Сярки, 2008). Так, анализ данных о численности циклопид и их сглаживание позволили проследить в сезонном цикле волны двух генераций размножения малых циклопов (*Mesocyclops leuckarti* Claus и *Thermocyclops oithonoides* Sars) (рис.1). Обращает на себя внимание факт, что среднемноголетние максимумы численности и биомассы различных групп не синхронизированы друг с другом и отмечаются в разное время. Так, максимумы биомассы коловраток (198 суток) и кладоцер (212 суток) различаются на две недели.

Важным результатом сезонной модели является также возможность расчета абсолютных и относительных суточных изменений численности и биомассы. Эти параметры являются экологически значимыми величинами, характеризующими суточные скорости прироста численности и биомассы сообществ планктона в естественных условиях Онежского озера.

В слое воды 0–5 м, где наблюдаются активные процессы развития планктона, абсолютные приросты численности достигали максимума (1,5 тыс. экз/куб. м • сутки) в третьей декаде июля (200-е сутки), биомассы (0,05 г/куб. м • сутки) – несколько раньше, в первой декаде июля (190-е сутки). Относительные скорости прироста численности и биомассы достигали максимальных значений раньше, в третьей декаде июня (0,10 и 0,12 соответственно). Интересно, что эти скорости соответствуют значениям, определенным весовым способом для массовых видов при подробных наблюдениях (Иванова, 1985; Андроникова, 1996).

Обсуждение

Работа с данными меньших временных масштабов обычно затруднена из-за нерегулярности сезонных рядов. Недостаточность наших сезонных данных (1 съемка в год) была скомпенсирована уникальными свойствами Онежского озера. Оно отличается большими размерами, его высокая инертность сглаживает межгодовую изменчивость как температурного режима, так и содержания биогенов (Онежское озеро : атлас, 2010). Все это определяет высокую функциональную и динамическую устойчивость планктонных систем. Межгодовая изменчивость, отражающая особенности конкретных лет, методические погрешности, спорадические

антропогенные воздействия и, наконец, собственную стохастичность живых планктонных систем, не превышает сезонную. В предыдущих исследованиях было показано, что от 50 до 80 % общей изменчивости величин планктона в Онежском озере приходится именно на сезонную составляющую (Теканова, Сярки, 2008; Сярки, 2011). Таким образом, траектории, полученные методом двойного сглаживания, можно считать среднесезонными в сезонном цикле планктона, они могут быть информационной основой для моделирования экосистемы озера (Ladoga and Onego ... , 2010).

Кроме того, модель позволяет определять фенологию явлений в озере и временные сдвиги для данных конкретных лет, характеризующихся различными термическими особенностями, что поможет изучить реакцию водных сообществ на изменение климата.

Заключение или выводы

Определение среднесезонных траекторий сезонного изменения величин позволяет перейти к динамическому описанию сезонных процессов в пелагическом планктоне Онежского озера.

Предлагаемый нами метод двойного сглаживания дает возможность корректно описать форму траектории сезонного изменения величин планктона в условиях нерегулярности рядов и малочисленности данных.

Библиография

Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб.: Наука, 1996. 190 с.

Иванова М. Б. Продукция планктонных ракообразных в пресных водах. Л.: ЗИН АН СССР. 1985. 222 с.

Лазарева В. И. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2010. 183 с.

Куликова Т. П., Кустовлянкина Н. Б., Сярки М. Т. Зоопланктон как компонент экосистемы Онежского озера. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН. 1997. 111 с.

Николаев И. И. Сравнительно-лимнологическая характеристика зоопланктона Онежского озера // Зоопланктон Онежского озера. Л.: Наука, 1972. С. 283–304.

Онежское озеро: атлас / отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2010. 151 с.

Пузаченко Ю. Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 416 с.

Розенберг Г. С., Шитиков В. К., Брусиловский П. М. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов). Тольятти, 1994. 182 с.

Сярки М. Т. Зоопланктон // Биол. ресурсы Онеж. озера. Петрозаводск: Карел. науч. центр РАН, 2008. С. 54–67.

Сярки М. Т. Влияние сезонной цикличности на информативность показателей планктона в системе мониторинга Онежского озера // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем II: Сб. материалов междунар. конф. СПб.: Любавич, 2011. С. 194–199.

Сярки М. Т., Куликова Т. П. Зоопланктон Онежского озера: база данных. – Петрозаводск, 2012. – Рег. номер 2012621150 (9/11/2012); правообладатель Федер. гос. бюджет. учр-ние науки Ин-т вод. проблем Севера Карел. науч. центра РАН (ИВПС КарНЦ РАН) (RU).

Сярки М. Т., Теканова Е. В. Сезонный цикл первичной продукции в Онежском озере // Изв. РАН. Сер. биологическая. 2008. № 5. С. 621–625.

Сярки М. Т., Чистяков С. П. О применении метода ортогональных расстояний для моделирования сезонной динамики планктона Онежского озера // Экология. 2013. № 2. С. 1–3 (в печати).

Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология.

Методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. Кн. 1. 281 с.

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

THE STUDY OF SEASONAL DYNAMICS OF PLANKTON TRAJECTORIES USING THE DOUBLE-SMOOTHING METHOD

**SYARKI
Maria**

*Institute of Northern water problems of KRC RAS
(Petrozavodsk, st.A.Nevskogo, 50), MSyarki@yandex.ru*

Keywords:

Moving average method, zooplankton, seasonal dynamics, Onego Lake

Reviewer:

N. M. Kalinkina

Summary:

To study the seasonal processes in zooplankton of Lake Onega and to determine the changes in the trajectory its values were analyzed by the method of double smoothing. A series of smooth curves describes the trajectories of the changes of the number and biomass of zooplankton and its major groups during the growing season (May to October). They reflect the basic laws of community dynamics, the shape of the trajectories of seasonal dynamics, phenology, or the dates of important events, the periods and the increasing and decreasing rate of plankton amount, the seasonal changes in the community structure.

Published on:

30 March 2013