

---

**Применение конфлюэнтного анализа для изучения  
сезонной динамики планктона Онежского озера**

Сярки М. Т.

*ИВПС КарНЦ РАН, пр. Невского 50, Петрозаводск, 185030, Россия*  
e-mail: syarki@nmpi.krc.karelia.ru

Чистяков С. П.

*ИПМИ КарНЦ РАН, Пушкинская 11, Петрозаводск, 185910, Россия*  
e-mail: chistiakov@krc.karelia.ru

---

Сезонная динамика планктона является одним из самых важных процессов в лимнических экосистемах (к которым, в частности, относятся крупные озера) и объясняет 70–80% вариабельности гидробиологических данных. Целью работы являлось выявление основных особенностей сезонной динамики показателей планктона пелагиали Онежского озера. В основу работы положены данные комплексных гидробиологических съемок в глубоководном районе Онежского озера за период с 1988 по 2006 г. [1]. Анализировалась динамика основных систематических групп фито- и зоопланктона (общие численности и биомассы фито- и зоопланктона, численность и биомасса основных таксономических групп и некоторых массовых видов), а также скорости первичного продуцирования и динамика температуры воды за вегетационный период (с мая по октябрь).

Нами построены математические модели среднемноголетней сезонной динамики количественных характеристик планктона Онежского озера. В связи с тем, что гидробиологические процессы, наблюдаемые в разные годы, отличаются не только интенсивностью, но и значительными временными сдвигами, использование регрессионного анализа не совсем корректно. Наиболее подходящим статистическим аппаратом в данной ситуации является конфлюэнтный анализ [2], основанный на предположении, что предикторные переменные содержат случайную ошибку. В нашем случае модель конфлюэнтного анализа имеет вид

$$\begin{aligned} P_{0i} &= F(t_{0i}, \Theta) , \\ P_i &= P_{0i} + \varepsilon_i , \\ t_i &= t_{0i} + \delta_i , \end{aligned} \tag{1}$$

где  $F(t, \Theta)$  — известная функция,  $\Theta$  — вектор параметров,  $P_{0i}$  и  $t_{0i}$  — среднемноголетние (ненаблюдаемые), а  $P_i$  и  $t_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  — наблюдаемые величины характеристик планктона и время наблюдения (в сутках с начала года) соответственно. Предполагается, что случайные ошибки наблюдения зависимой и независимой переменных  $\varepsilon_i$  и  $\delta_i$  удовлетворяют обычным предположениям конфлюэнтного анализа [2]. Поскольку сезонная динамика

планктона в значительной степени определяется температурными условиями, в качестве  $F(t, \Theta)$  использовалась функция, применявшаяся для описания сезонной динамики температуры воды в различных озерах Карелии и Белом море [3].

Получение статистических оценок  $\hat{\Theta}$  параметров модели (1) основано на использовании метода минимальных расстояний, состоящего в минимизации суммы расстояний от наблюдаемых точек до кривой, определяемой уравнением  $P_0(t) = F(t, \Theta)$ . Поскольку зависимая и независимая переменные представлены в различных единицах измерения, применение метода минимальных расстояний потребовало оценки соотношения дисперсий  $\sigma_\varepsilon^2$  и  $\sigma_\delta^2$ , что было осуществлено экспериментальным путем.

Построенные нами модели указанного вида дали основу для изучения и формализации процесса сезонной динамики планктона и его межгодовой вариабельности. На графиках функций  $P_0(t) = F(t, \hat{\Theta})$  выделяются особые точки, имеющие биологический смысл. Их можно соотнести с важными для планктона явлениями, а именно, датами и величинами среднесезонных максимумов, периодами максимальных и нулевых скоростей изменений величин и т.д. Вычисленные динамические характеристики процессов являются важнейшими экологическими параметрами сообществ, основных групп планктона и отдельных видов. Они несут ценную информацию о жизнедеятельности и функционировании планктона в сезонном цикле и могут быть использованы для построения и верификации имитационных моделей. Оценка вариабельности сезонного цикла величин будет использована в мониторинге состояния экосистемы Онежского озера по гидробиологическим показателям.

## Литература

1. Шаров А. Н., Вислянская И. Г., Куликова Т. П., Сярки М. Т. *Онежское озеро и его притоки. Характеристика биоценозов*, Состояние водных объектов республики Карелия, Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007, 49–62.
2. Айвазян С. А., Бухштабер В. М., Енюков И. С., Мешалкин Л. Д. *Прикладная статистика. Классификация и снижение размерностей*, М.: Финансы и статистика, 1985.
3. Пальшин Н. И., Ефремова Т. В. *Стохастическая модель годового хода температуры поверхности воды в озёрах*, Метеорология и гидрология **3** (2005), 85–94.