



**XII Международная научно-практическая конференция  
«Морские исследования и образование»  
MARESEDU-2023**

**XII International conference  
«Marine Research and Education»  
MARESEDU-2023**

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ /  
CONFERENCE PROCEEDINGS  
Том III (IV) / Volume III (IV)**

**23-27 октября 2023 г.  
г. Москва**



УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

T78

**Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» Том III (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2024, 666 с.:**

**ISBN 978-5-6049290-6-3**

**ISBN 978-5-6051693-0-7 (т. 3)**

Сборник «Труды XII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2023)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, гидрографические и геофизические исследования на акваториях, морские ландшафты морская биология, морские млекопитающие, рациональное природопользование и подводное культурное наследие. Помимо основных секций на конференции были представлены: пленарная сессия, посвященная 70-летию кафедры океанологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и 85-летию ББС МГУ имени Н.А. Перцова, секция научно-популярных фильмов и круглые столы: «Современные авиационные исследования объектов биологического разнообразия. Практика и перспективы развития» и «Применение искусственного интеллекта для изучения биологических объектов».

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский  
пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

Все права на издание принадлежат  
ООО «Центр морских исследований  
МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских исследований  
МГУ имени М.В. Ломоносова», 2024  
© ООО «ПолиПРЕСС»

УДК 574.36

Рубрика 34.35.17

## О СТАТИСТИЧЕСКОМ СРАВНЕНИИ ХАРАКТЕРА РОСТА ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ

## ABOUT STATISTICAL COMPARISON OF THE BIVALVE GROWTH CHARACTER

**Герасимова Александра Владимировна<sup>1</sup>, Максимович Николай Владимирович<sup>1</sup>, Филиппова Надежда Андреевна<sup>1</sup>, Иванова Татьяна Сослановна<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

**Gerasimova Alexandra Vladimirovna<sup>1</sup>, Maximovich Nikolai Vladimirovich<sup>1</sup>, Filippova Nadezhda Andreevna<sup>1</sup>, Ivanova Tatyana Soslanovna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> - St. Petersburg State University, St. Petersburg

### Введение

Сравнение ростовых характеристик двустворчатых моллюсков (и не только) – традиционная задача в классических гидробиологических исследованиях. Обычной практикой является использование для этих целей результатов реконструкции роста организмов с помощью различных моделей. Применяемые в подобных случаях критерии (положение кривых роста на графиках, значения параметров уравнений роста и т.п.) часто неполно отражают разброс эмпирических данных, дают лишь относительную оценку, и, соответственно, мало информативны при сопоставлении слабо различающихся возрастных рядов (последовательные изменения размеров животных с возрастом) (Максимович, 1989). Наиболее объективными в этом плане представляются способы, позволяющие проводить сравнение ростовых характеристик моллюсков с учетом разброса исходных данных. Уже более тридцати лет сотрудники кафедры ихтиологии и гидробиологии СПбГУ для подобных целей используют специально разработанный метод попарного статистического сравнения (классификации) возрастных рядов (Максимович, 1989). Однако предложенный алгоритм до сих пор не получил широкого распространения. Цель настоящего сообщения – подробное рассмотрение процедуры статистического сравнения ростовых показателей на примере анализа гетерогенности поселений беломорских *Macoma balthica* (Linnaeus, 1758) по характеру группового роста.

### Методы

Материал собран на Учебно-Научной Базе «Беломорская» Санкт-Петербургского Государственного университета, расположенной в устье губы Чупа (Кандалакшский залив, Белое море). Изучены показатели группового линейного роста *Macoma balthica* на двух участках в акваториях Керетского архипелага (Кандалакшский залив Белого моря), различающихся по прибойности и характеру донных отложений: 1 – илисто-песчаный пляж в неприбойной зоне полузамкнутой акватории в проливе Сухая Салма; 2 - песчаный пляж в прибойной зоне открытой акватории в бухте Ключиха. Основу грунта на обоих участках составил мелкий песок (от 62 % (1) до 90 % (2)). При этом мелкодисперсные фракции (алевриты и пелиты) полностью отсутствовали в донных отложениях участка 2, а на участке

1 их доля была более 30 %. Наблюдения начаты в восьмидесятых годах прошлого века. Материал собирали отдельно в среднем (СГЛ) и нижнем (НГЛ) горизонтах литорали и в верхней (гл. 0,5 м) сублиторали (ВСЛ). Возраст и характер линейного роста маком определяли по результатам анализа внешней морфологии раковин. По данным разных лет наблюдений в каждом поселении (вертикальный горизонт) были определены средние размеры моллюсков в периоды первых шести годовых остановок роста. Всего было измерено 6758 особей.

Предлагаемый способ представляет попарное статистическое сравнение возрастных рядов, выровненных с использованием теоретических моделей, и объединение рядов в группы с применением классификационной процедуры. Для аппроксимации возрастных рядов в рассматриваемом алгоритме предложены две модели:

1. линейная модификация уравнения Берталанфи:

$$L_t = L_\infty (1 - \exp^{-k(t-t_0)})$$

где  $L_t$  - длина раковины особей в возрасте  $t$ , мм;  $L_\infty$ ,  $k$  и  $t_0$  - коэффициенты.

2. уравнение прямой линии.

Уравнение Берталанфи наиболее часто используется для реконструкции ростовых показателей моллюсков на протяжении жизненного цикла. Однако его применение накладывает на возрастные ряды определенные ограничения. Данная модель не подходит для аппроксимации эмпирических данных, в которых отсутствует информация о скорости роста на поздних этапах онтогенеза, т.е. не соблюдается условие экспоненциального снижения темпа роста с возрастом. В этом случае (моллюски растут практически линейно), для аппроксимации возрастных рядов вполне адекватным представляется использование линейной регрессии.

Собственно метод состоит в сопоставлении величин остаточной дисперсии, получаемых при описании каждого из двух сравниваемых возрастных рядов собственной регрессионной моделью ( $S_1^2 = (SS_1 + SS_2)/(n_1 - 3 + n_2 - 3)$ ) и при проведении аналогичных расчетов по общему уравнению ( $S_2^2 = SS/n_1 + n_2 - 3$ ). Значимость различий между дисперсиями определяется по критерию Фишера  $F = S_2^2/S_1^2 > F_{кр}$ . В качестве меры расстояния между сравниваемыми возрастными рядами используется частное от деления  $F$ -критерия на его критическое значение ( $F_{кр}$ ). Результаты сравнения каждой пары рядов представляются в виде матрицы, исследование которой осуществляется с помощью кластерного анализа. В матрице значения  $F/F_{кр}$  меньше 1 свидетельствуют о том, что на выбранном уровне значимости (в данной работе -  $\alpha < 0,05$ ) различия между рядами случайны. Объединение элементов матрицы можно осуществить двумя способами: на основе взвешенного и невзвешенного парногрупповых методов с определением в каждом конкретном случае параметров общего уравнения, суммы квадратов отклонений всех входящих в данный кластер рядов от общей теоретической линии и остаточной дисперсии. Результаты кластерного анализа для наглядности представляют в виде дендрограмм. Для проведения всех расчетов авторами сообщения разработана специальная компьютерная программа.

## Результаты и обсуждение

В изученном районе Белом моря максимальные размеры и продолжительность жизни маком были 14-19 мм и 7-8 лет соответственно. Однако скорость группового роста в разных поселениях не отличалась однородностью. Так, средние размеры моллюсков в пятую годовую остановку роста в отдельных местообитаниях варьировали почти в полтора раза –

от 8 мм (СГЛ Участка 5) до 12,4 мм (ВСЛ участка 2). Для статистического сравнения групповых возрастных рядов последние были аппроксимированы с помощью уравнения прямой линии. Для каждого ряда определены параметры модели и суммы квадратов отклонений эмпирических данных от линии регрессии.

Сравнение остаточной дисперсии всего статистического комплекса относительно общей модели роста (табл. 1) с остаточной дисперсией, рассчитанной при описании характера роста макров в поселениях отдельными уравнениями, показало неслучайность расхождения между возрастными рядами ( $F/F_{кр}=4.2$ ). Для выявления причин такой неоднородности проведено попарное сравнение возрастных рядов, результаты которого представлены в виде матрицы индексов  $F/F_{кр}$  (табл. 2). При объединении элементов матрицы использован взвешенный парногрупповой метод, по итогам которого построена дендрограмма (рис. 1).

Таблица. 1. Оценка достоверности различий остаточных дисперсий относительно моделей роста

источник вариации	$\nu$	$SS$	$s^2$	$F$	$F_{кр.}$	$F/F_{кр.}$
Общее уравнение	33	45.5	1.4	8.1	1.9	4.2
Отдельные уравнения	23	3.9	0.2			

Примечание:  $\nu$  – число степеней свободы ( $\nu = \sum n_i - 2$ , где  $n_i$  – количество вариантов, использованных при расчете параметров  $i$ -го уравнения);  $SS$  - сумма квадратов отклонений;  $s^2$  - остаточная дисперсия;  $F$  - статистика;  $F_{кр.}$  - критическое значение критерия Фишера ( $\alpha < 0,05$ )

Таблица 2. Матрица индексов  $F/F_{кр.}$

Возрастной ряд:	СГЛ_1	НГЛ_1	ВСЛ_1	СГЛ_2	НГЛ_2
НГЛ_1	0.25				
ВСЛ_1	1.19	1.04			
СГЛ_2	6.40	4.67	3.74		
НГЛ_2	1.03	0.98	1.95	1.64	
ВСЛ_2	0.53	0.57	1.52	2.42	0.34

Обозначения возрастных рядов: горизонт литорали\_номер участка.

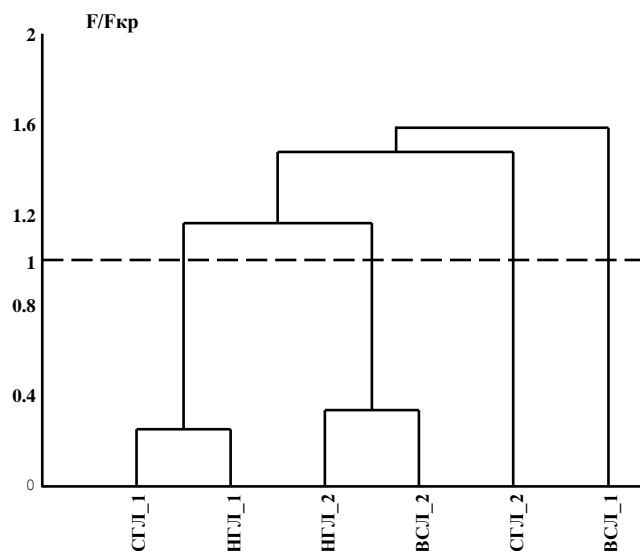


Рис. 1. Дендрограмма сходства групповых возрастных рядов *Macoma balthica* в изученных поселениях. По оси ординат - отношение  $F/F_{кр}$ .; обозначения поселений: горизонт литорали\_участок.

В результате выделены две группы рядов, объединяющие особей с достоверно не различающимися ростовыми показателями, и два ряда, не вошедшие ни в одно объединение. Последние характеризовали групповой рост как наиболее быстрорастущих макром - из сублиторальной зоны илисто-песчаного пляжа (участок 2), так и самых медленно растущих моллюсков - из средней литорали песчаного пляжа (участок 5) (рис. 2). Статистически значимые различия выявлены в характере роста *Macoma balthica* из осушной зоны илисто-песчаного участка и из НГЛ и ВСЛ песчаного пляжа (см. рис. 1).

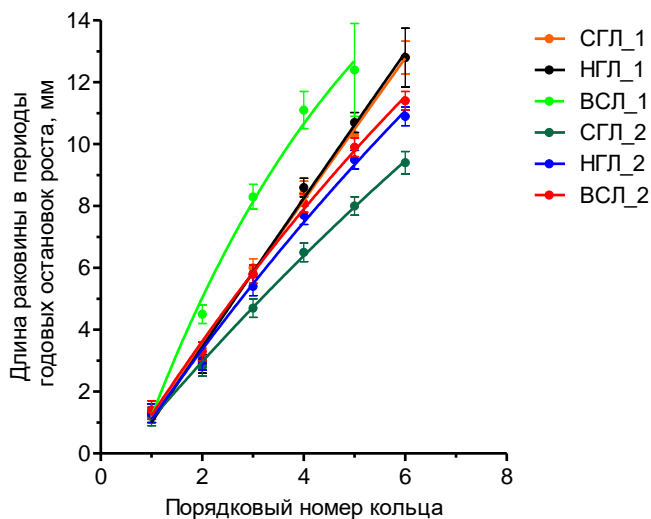


Рис. 2. Реконструкция группового линейного роста *Macoma balthica* в анализируемых поселениях. Точки – средние длины раковины в периоды годовых остановок роста; вертикальные линии – границы 95 % доверительного интервала; обозначения поселений: горизонт литорали\_номер участка.

По итогам анализа прослеживается влияние на рост маком как состава донных отложений, так и продолжительности осушения. В целом, средняя скорость роста моллюсков с песчаного пляжа во всех вертикальных горизонтах была ниже соответствующих аналогичных показателей моллюсков из илисто-песчаного биотопа (см. рис. 1), что вполне согласуется с известными литературными данными (Wenne, Klusek, 1985). В качестве наиболее вероятной причины вариабельности характера роста маком в разных местообитаниях одной и той же акватории многие исследователи называли условия питания (Beukema et al., 1977; Kube et al., 1996). Косвенной характеристикой обилия детрита (основной пищи маком) может служить гранулометрический состав донных отложений. Описана положительная корреляция скорости роста маком и доли мелкозернистой фракции в грунте (Kube et al., 1996). Негативное влияние на рост *Macoma balthica* продолжительного осушения (ограниченное время для питания, резкие колебания условий среды) также известно из литературы (Harvey, Vincent, 1990).

### **Заключение**

Таким образом, вполне очевидны преимущества представленного алгоритма статистического сравнения характера роста двустворчатых моллюсков:

1. Основой сравнительного анализа являются эмпирические данные;
2. Результаты сравнения относительно легко трактовать с экологической точки зрения;
3. Существенно облегчается процедура сравнения индивидуальных ростовых характеристик моллюсков, когда сопоставление нескольких десятков возрастных рядов удается свести к рассмотрению нескольких (как правило, трех-четырех) моделей роста (Gerasimova et al., 2016; Gerasimova et al., 2018).

### **Благодарность**

Авторы благодарят руководство Учебно-научной базы «Беломорская» за предоставленную возможность выполнения данной работы.

### **Финансирование**

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 23-24-00204, <https://rscf.ru/project/23-24-00204/>

### **Список литературы**

1. Максимович, Н.В. Статистическое сравнение кривых роста // Вестник Ленинградского университета. Серия 3. 1989. Вып. 4. № 24. С. 18-25.
2. Beukema, J.J., Cadee, G.C., Jansen, J.J. Variability of growth rate of *Macoma balthica* (L.) in the Wadden Sea in relation availability of food // Biology of Benthic Organisms. 11<sup>th</sup> Eur. Symp. Mar. Biol. Oxford: Pergamon Press, 1977. P. 69-77.
3. Gerasimova, A.V., Martynov, F.M., Filippova, N.A., Maximovich, N.V. Growth of *Mya arenaria* L. at the northern edge of the range: heterogeneity of soft-shell clam growth characteristics in the White Sea // Helgoland Marine Research. 2016. Vol. 70. N 6. P. 1-14.

4. Gerasimova, A.V., Ushanova, E.V., Filippov, A.A., Filippova, N.A., Stogov, I.A., Maximovich, N.V. Long-term changes in cohort structure of the soft-shell clam *Mya arenaria* in the White Sea: growth rate affects lifespan and mortality // Marine Biology Research. 2018. Vol. 14. N 1. P. 51-64.
5. Harvey, M., Vincent, B. Density, size distribution, energy allocation and seasonal variations in shell and soft tissue growth at two tidal levels of a *Macoma balthica* (L.) population // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 1990. Vol. 142. N 3. P. 151-168.
6. Kube, J., Peters, C., Powilleit, M. Spatial variation in growth of *Macoma balthica* and *Mya arenaria* (Mollusca, Bivalvia) in relation to environmental gradients in the Pomeranian Bay (southern Baltic Sea) // Archive of fishery and marine research. 1996. Vol. 44. N 1-2. P. 81-93.
7. Wenne, R., Klusek, Z. Longevity, growth and parasites of *Macoma balthica* (L.) in the Gdansk Bay (South Baltic) // Polskie Archiwum Hydrobiologii/Polish Archives of Hydrobiology. 1985. Vol. 32. N 1. P. 31-45.