

БИОЛОГИЯ, МОРФОЛОГИЯ
И СИСТЕМАТИКА ГИДРОБИОНТОВ

УДК 597-14

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ФОРМЫ И ХИМИЧЕСКОГО
СОСТАВА САГИТТАЛЬНЫХ ОТОЛИТОВ У ПОПУЛЯЦИЙ
Channa punctatus (Channidae) р. ГАНГ (ИНДИЯ)¹

© 2022 г. М. Сингх^а, А. Кашьяп^{а, б}, Дж. А. Ансари^с, М. Сераджуддин^{а, *}

^аУниверситет Лакхнау, Научно-исследовательская лаборатория биологии рыб, факультет зоологии, Лакхнау, Индия

^бСредняя школа, Говиндпур, Моханлалгандж, Лакхнау, Индия

^сМедицинский университет Короля Георга, кафедра биохимии, Лакхнау, Индия

*e-mail: lu.fisheries@gmail.com

Поступила в редакцию 08.06.2021 г.

После доработки 28.12.2021 г.

Принята к публикации 18.01.2022 г.

Изменения формы и состава микроэлементов сагиттальных отолитов у популяций *Channa punctatus* (Bloch, 1793) из трех рек (Гомти, Ганг и Кен) бассейна р. Ганг в трех географически удаленных точках (Лакхнау, Канпур и Банда). Форму отолитов анализировали с использованием индексов формы, геометрической морфометрии, анализа Фурье, и проверяли с помощью одномерных и многомерных статистических методов. Три индекса формы из шести (кругообразность, округлость и прямоугольность) достоверно различались в ANOVA ($p < 0.05$) между тремя обследованными популяциями. Анализ главных компонент переменных формы в геометрической морфометрии и нормализованных эллиптических дескрипторов Фурье (NEFDS) показал, что их изменчивость достигает 82.25 и 80.10% общей дисперсии соответственно. Визуализация изменения формы, объясненного главными компонентами, изображена в виде сеток деформации формы (относительных деформаций) и реконструкции контура отолита. Содержание микроэлементов в отолитах из трех рек также различалось, концентрации Sr и Ba, Mn и Pb и Fe были значительно выше (ANOVA, $p < 0.05$) в отолитах из рек Кен, Гомти и Ганг соответственно. Анализ дискриминантных функций (DFA) переменных формы, NEFDS и концентрации микроэлементов отолитов четко дифференцировал отолиты рыб из разных рек на точечных диаграммах с изолированными удаленными группами популяции и 100%-ной классификацией всех образцов в их соответствующей речной популяции. Исследование показало региональные различия в форме отолитов и содержании в них микроэлементов, а также, что рыбы из этих рек жили в разных условиях среды. Эти различия могут быть вызваны географической изоляцией и фрагментацией рек из-за изменения среды обитания, которое ограничивает передвижение рыбы. Таким образом, *C. punctatus* из рек Гомти, Ганг и Кен, отобранных в районах Лакхнау, Канпур и Банда соответственно, существуют как три разные фенотипические линии. Проведенное исследование полезно для разработки эффективных планов устойчивого управления рыболовством с целью сохранения этого вида в бассейне р. Ганг.

Ключевые слова: эллиптический анализ Фурье, геометрическая морфометрия, отолит, изменение формы, *Channa punctatus*, бассейн р. Ганг

DOI: 10.31857/S0320965222030172

**Spatial Variations in the Shape and Chemistry of Sagittal Otoliths
in *Channa punctatus* (Channidae) Populations of Ganga Basin, India**

M. Singh¹, A. Kashyap^{1, 2}, J. A. Ansari³, and M. Serajuddin^{1, *}

¹Fish Biology Research Lab., Department of Zoology, University of Lucknow, Lucknow (U.P.), India

²Junior High School, Govindpur, Mohanlalganj, Lucknow (U.P.), India

³Department of Biochemistry, King George's Medical University, Lucknow (U.P.), India

*e-mail: lu.fisheries@gmail.com

¹ Полный текст статьи опубликован в английской версии журнала *Inland Water Biology*, 2022, Vol. 15, No. 3 и доступен на сайте по ссылке <https://www.springer.com/journal/12212>.

Abstract—Variations in the shape and elemental microchemistry of sagittal otoliths in *Channa punctatus* (Bloch, 1793) populations of three different rivers (Gomti, Ganga and Ken) of Gangetic basin sampled at three geographically distant locations (Lucknow, Kanpur and Banda) were analyzed. In this study, otolith shape was analyzed using shape indices, geometric morphometrics and Fourier analysis and tested through univariate and multivariate statistical procedures. 3 shape indices namely circularity, roundness and rectangularity out of 6 were significantly different in ANOVA ($p < 0.05$) between the three population groups. Principal component analysis of shape variables in geometric morphometrics and normalized elliptical Fourier descriptors (NEFDs) accounted for 82.25 and 80.10% of total variance respectively. Visualization of shape variation explained by principal components was depicted in the form of shape deformation grids (relative warps) and otolith contour reconstruction. The elemental concentrations in the otoliths of the three rivers also differed, and elements Sr and Ba, Mn and Pb, and Fe were significantly higher (ANOVA, $p < 0.05$) in the otoliths of river Ken, Gomti and Ganga respectively. Discriminant function analysis (DFA) of the shape variables, NEFDs and otolith elemental concentration clearly differentiated the otoliths of different rivers in scatter plots with isolated distant population groups and 100% classification of all the specimens into their respective river population. The study indicated regional variations in the shape and otolith microchemistry and also that fish from different rivers lived in different environmental conditions. These variations in the present study might be due to geographical isolation and river fragmentation due to the change in the habitat that limits fish movements. Thus, *C. punctatus* of river Gomti, Ganga and Ken sampled at Lucknow, Kanpur and Banda districts respectively existed as three different phenotypic stocks. This study is useful for the development of effective plans for sustainable fisheries management with the aim of conservation of this economically exploited fish in the Ganga basin.

Keywords: Elliptical Fourier analysis, geometric morphometric, otolith, shape variation, *Channa punctatus*, Ganga basin