

## ВРЕМЯ ДИВЕРГЕНЦИИ РЫБ СЕМЕЙСТВА ANOPLOPOMATIDAE

**С. Ю. Орлова\*, Д. М. Щепетов\*\*\*, Н. С. Мюге\*\*\*, А. А. Байталюк\*\*\*,  
А. М. Орлов\*\*\*\*\***

\*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного  
хозяйства и океанографии (ВНИРО), Москва

\*\*ФГБУН Институт биологии развития им. А. Н. Кольцова РАН (ИБР),  
Москва

\*\*\*Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр  
(ТИНРО-Центр), Владивосток

\*\*\*\*ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции  
им. А. Н. Северцова РАН (ИПЭЭ), Москва; Дагестанский  
государственный университет (ДГУ), Махачкала; Томский  
государственный университет (ТГУ)

## DIVERGENCE TIME OF FISHES OF THE FAMILY ANOPLOPOMATIDAE

**S. Yu. Orlova\*, D. M. Shchepetov\*\*\*, N. S. Muge\*\*\*, A. A. Baitaliuk\*\*\*,  
A. M. Orlov\*\*\*\*\***

\*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography  
(VNIRO), Moscow

\*\*Koltzov Institute of Developmental Biology (IDB) RAS, Moscow

\*\*\*Pacific Research Fisheries Center (TINRO-Center), Vladivostok

\*\*\*\*A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution (IPEE) RAS, Moscow;  
Dagestan State University (DSU), Makhachkala;  
Tomsk State University (TSU)

Семейство анаплопомовых рыб Anoplopomatidae представлено двумя видами эндемичных для северной части Тихого океана – угольной рыбой *Anoplopoma fimbria* и морским монахом *Erilepis zonifer*, которые имеют частично перекрывающиеся ареалы. Угольная рыба – глубоководный представитель ихтиофауны с непрерывным ареалом от южной Калифорнии до центральной части о. Хонсю, включая акватории Берингова и Охотского морей. Она – важный объект промысла и перспективна для аквакультуры.

Морской монах или эрилепис является достаточно редким представителем семейства анаплопомовых (Anoplopomatidae), распространенным в северной части Тихого океана от прибрежных вод о. Хонсю и Калифорнии на юге до Алеутских о-вов на севере, но в целом, в отличие от угольной рыбы,

населяет более южные акватории. Его жизненный цикл изучен крайне слабо (Орлов, Токранов, 2003; Золотов, Спирин, 2012; Золотов и др., 2014).

Популяционная структура угольной рыбы исследована недостаточно (Орлова и др., 2014) и совершенно не изучена у морского монаха. Время формирования данных видов не установлено, хотя достоверно известно о палеонтологической находке представителя семейства *Anoplomatidae* на территории современного штата Калифорния (США), датированного 5 млн лет назад (Jordan, Gilbert, 1919).

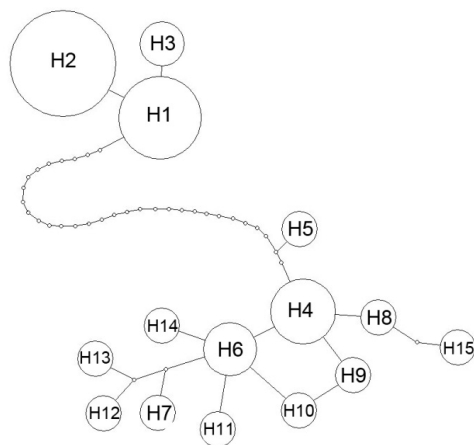
Целью представленной работы является определение времени дивергенции угольной рыбы и морского монаха с учетом калибровки по палеонтологическим находкам и палеогеологическим событиям на основании анализа последовательностей гена цитохром оксидазы митохондриальной ДНК (COI).

Ткани от взрослых особей угольной рыбы ( $n = 24$ ) собраны в 2009–2013 гг. из различных участков ее ареала (восточное побережье Камчатки, банки Командорско-Алеутского архипелага, Берингово море, воды Британской Колумбии и Калифорнии). Ткани от взрослых особей морского монаха собраны в 2013–2014 гг. ( $n = 45$ ) в водах Японии (центральная часть о. Хонсю), на подводных горах Императорского Хребта (Джингу, Оджин, Нинтоку, T365 + 5) и прибрежных водах штата Вашингтон.

Все молекулярно-генетические исследования (выделение ДНК, ПЦР, очистка ПЦР-продукта, сиквенс-реакция, секвенирование нуклеотидной последовательности) проводили по стандартным молекулярно-генетическим методикам. Для реакции секвенирования брали 0.3 пмоль ПЦР-продукта и 3.2 пмоль соответствующего праймера. Каждый полученный ПЦР-продукт секвенировали как с прямого (F), так и с обратного (R) праймера. Секвенирование ДНК производили на приборе ABI Prism 3130xl согласно протоколу фирмы-изготовителя. Для амплификации участка гена COI использовали набор универсальных праймеров (Ivanova et al., 2007). Компьютерную обработку полученных данных осуществляли при помощи пакетов программ Geneious 6.0.5, сети гаплотипов построены на основе метода статистической парсимонии (*maximum parsimony*) в программе TCS.2.1., филогенетическое дерево в программе BEAST 2.4.2.

Полученные выровненные нуклеотидные последовательности участка гена COI мтДНК (526 пар нуклеотидов) от 24 образцов угольной рыбы и 45 образцов морского монаха позволили построить филогенетическую сеть (рис.). Данная сеть характеризует два вида анопломовых рыб, как давно дивергировавших, поскольку между ними обнаружено 30 нуклеотидных замен. У угольной рыбы зарегистрировано 12 гаплотипов и лишь три – у морского монаха. Низкий полиморфизм участка гена COI у морского монаха может свидетельствовать в пользу прохождения этим видом

«бутылочного горлышка» в процессе микроэволюции. Возможно, что данное событие могло произойти в плейстоцене во время ледникового периода около 750 тыс. лет назад. Резкое похолодание в северных широтах повлияло на температуру поверхности воды в северной части Тихого океана, что могло стать ограничением для теплолюбивой пелагической личинки морского монаха, в отличие от более холодоустойчивой личинки угольной рыбы. Судя по сети гаплотипов, морской монах, вероятно, мог сохраниться лишь в одном рефугиуме, на самом юге ареала, вблизи Японии (например, в Японском море) или Калифорнии (море Кортеса).



*Сеть гаплотипов COI угольной рыбы и морского монаха  
(H1, H2, H3 – гаплотипы морского монаха; H4–H15 – гаплотипы угольной рыбы;  
размер круга пропорционален числу особей)*

**Калибровочный сценарий времени дивергенции угольной рыбы и морского монаха по палеонтологической находке.** Предположительно, находка общего предка или родственника современных анополомовых рыб на территории современного штата Калифорния (США) датируется 5 млн лет (Jordan, Gilbert, 1919). На основе генетических данных и информации о палеонтологической находке было построено филогенетическое дерево со временем разделения в 5 млн лет (разброс  $\pm 0,5$  млн лет). Поскольку данный вымерший вид мог быть как общим предком, так и дальним родственником, за основу данную датировку для оценки времени дивергенции видов было решено не брать. Поэтому предложен второй калибровочный сценарий по геологическому событию.

**Калибровочный сценарий времени дивергенции угольной рыбы и морского монаха по геологическому событию.** Известно, что 3.5 млн

л. н. в тихоокеанском регионе произошло значимое событие – закрытие Панамского пролива, которое по причине окончания поступления теплых атлантических вод привело к резким изменениям схемы течений и температурного режима (Romine, 1985; Naug et al., 2001), что, в свою очередь, могло привести к вспышке симпатрического видообразования. Для рыб с планктонной личинкой произошедшие изменения очень принципиальны и, возможно, послужили причиной дивергенции анапломатид на два ныне существующих вида – монаха и угольную. Можно предположить, что описываемое геологическое событие заставило последнюю приспособиться к новым условиям (изменение температуры поверхности воды в сторону потепления в северных широтах) и, соответственно, расширило ее ареал до ныне существующего. Высокие скорости роста угольной рыбы позволяют сократить до минимума пелагическую фазу и быстрее опуститься в глубоководные слои с постоянной температурой. В то же время молодь морского монаха обитает в пелагиали в более теплых термических условиях и значительно дольше (Orlov et al., 2012), что не позволило виду распространиться в северные регионы.

Таким образом, мы предполагаем, что дивергенция морского монаха и угольной рыбы произошла примерно около 3.5 млн л. н. Также можно говорить о прохождении морским монахом в процессе микроэволюции «бутылочного горлышка» в одном рефугиуме, что сократило его генетическое разнообразие.

Авторы признательны Хироши Сеноу (Dr. Hiroshi Senou, Kanagawa Prefectural Museum of Natural History, Odawara, Kanagawa, Japan) за предоставленные образцы тканей морского монаха из вод Японии. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-34-01038.

## ЛИТЕРАТУРА

Золотов О. Г., Спиринов И. Ю. 2012. О промысле и численности эрилеписа (*Erilepis zonifer*) в районе подводного Императорского хребта (северо-западная часть Тихого океана) // Изв. ТИНРО. Т. 168. С. 79–88.

Золотов О. Г., Спиринов И. Ю., Зудина С. М. 2014. Новые данные об ареале, биологии и численности эрилеписа *Erilepis zonifer* (Anoplopomatidae) // Вopr. ихтиол. Т. 54. № 3. С. 288–302.

Орлов А. М., Токранов А. М. 2003. Морской монах *Erilepis zonifer* (Anoplopomatidae): история изучения и новые данные по распределению и биологии // Изв. ТИНРО. Т. 135. С. 3–29.

Орлова С. Ю., Орлов А. М., Волков А. А., Новиков Р. Н. 2014. Микроэволюционные процессы у угольной рыбы *Anoplopoma fimbria* на основании данных о полиморфизме двух участков митохондриальной ДНК // Докл. Акад. Наук. Т. 458. № 3. С. 354–358.

Haug G. H., Tiedemann R., Zahn R., Ravelo A. C. 2001. Role of Panama uplift on oceanic freshwater balance // Geology. Vol. 29. № 3. P. 207–210.

Ivanova N. V., Zelmak T. S., Hanner R. H., Hebert P. D. N. 2007. Universal primers cocktail for fish DNA barcoding // Mol. Ecol. Notes. Vol. 7. № 4. P. 544–548.

Jordan D. S., Gilbert J. Z. 1919. Fossil fishes of southern California. – Stanford: Stanford University Press. – 98 p.

Orlov A. M., Tokranov A. M., Megrey B. A. 2012. A review of the knowledge related to the nomenclature, etymology, morphology, distribution, and biological characteristics of the skilfish, *Erilepis zonifer* (Anoplopomatidae), in the North Pacific Ocean // Deep-Sea: Marine Biology, Geology, and Human Impact (Bailey D. R., Howard S. E., eds.). – New York : Nova Science Publishers, Inc. – P. 63–100.

Romine K., Lombardi G. 1985. Evolution of Pacific circulation in the Miocene: radiolarian evidence from DSDP Site 289 // Geol. Soc. Am. Mem. Vol. 163. P. 273–290.